การปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

IMPROVE THE ENGINEERING PROPERTIES
OF EMBANKMENT MATERIAL TO BE THE SUBBASE COURSE
THAT WITHSTAND FLOOD CONDITIONS

นายชัยวัฒน์ ขุนพิลึก

สิบเอกสรกฤช นันตะนะ

นายไชยพัฒน์ กระดิษฐ์

โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยศรีปทุม
ปีการศึกษา 2561
1-61CE004

ใบรับรองโครงงาน

หัวข้อ	การปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม
ชื่อนักศึกษา	นายชัยวัฒน์ ขุนพิลึก
	สิบเอกสรกฤช นันตะนะ
	นายไชยพัฒน์ กระดิษฐ์
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช
คณะ	วิศวกรรมศาสตร์
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม อนุมัติให้โครงงานนี้เป็นส่วนหนึ่งของรายวิชาโครงงานวิศวกรรมโยธา

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ไพจิตร ผาวัน)

หัวหน้าภาควิชาวิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง

....

(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช)

อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงาน

หัวข้อ	การปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม
อาจารย์ที่ปรึกษา	ผศ.ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช
หลักสูตร	วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
ภาควิชา	วิศวกรรมโยธาและการพัฒนาเมือง
คณะ	คณะวิศวกรรมศาสตร์
ปีการศึกษา	2561

บทคัดย่อ

โครงงานนี้ศึกษาเกี่ยวกับคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินชั้นผิวทางเดิมของถนนคลองชลประทาน ระหว่างถนนทางหลวงชนบทหมายเลย นย.2011 (กม. 1+400) ถึง แยกทางหลวงชนบทหมายเลข นย.4008 (กม.0+450) เพื่อทำการปรับปรุงคุณภาพให้สามารถทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม โดยหาอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง Soil Cement และ Soil Cement ผสมกับ Polymer ที่เหมาะสม ด้วยการทดสอบวิธี Unconfined Compression test เพื่อหาเปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ และเปอร์เซ็นต์สารผสมเพิ่ม Polymer ผลของการทดสอบได้อัตราส่วนผสมของ Soil Cement ที่เหมาะสมประกอบด้วย Cement เท่ากับ 1.20 % และน้ำ 9.80 % ผลของการทดสอบได้อัตราส่วยผสมของ Soil Cement ผสม Polymer ที่เหมาะสมประกอบด้วย Cement เท่ากับ 1.20 % สาร Polymer เท่ากับ 0.90 % และน้ำ 10.00 % ซึ่งตัวอย่าง Soil Cement ผสม Polymer นั้นมีค่ากำลังรับแรงอัดพัฒนาเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 31.90 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง Soil Cement เมื่อทำการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมของตัวอย่างดินลูกรังพื้นทางเดิม Soil Cement และ Soil Cement ผสม Polymer โดยการทดสอบ CBR เปียกสลับแห้งทั้งหมด 3 รูปแบบ รวมระยะเวลาการทดสอบทั้งหมด 12 วัน ตัวอย่าง Soil Cement ผสม Polymer นั้นมีค่าความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม (% CBR) สูงที่สุดของตัวอย่างวัสดุทดสอบทั้ง 3 ตัวอย่าง เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมที่ไม่ได้ทำการปรับปรุงคุณภาพนั้น มีค่าความทนทาน (% CBR) เพิ่มขึ้นเท่ากับ 2.66 ,2.97 และ 3.23 เท่า ตามลำดับรูปแบบการทดสอบทั้ง 3 รูปแบบ ในการซ่อมสร้างถนนสายนี้ควรเลือกใช้การปรับปรุงคุณภาพด้วย Soil Cement โดยวิธี Pavement In - Place Recycling ซึ่งมีราคาค่าก่อสร้าง 2,856,000 บาท มีราคาถูกกว่าการก่อสร้างใหม่คิดเป็นร้อยละ 27.16 เทียบกับก่อสร้างใหม่ทั้งหมด

คำสำคัญ : ดินซีเมนต์ / ดินซีเมนต์ผสมสารพอลิเมอร์ / Soil Cement / Soil Cement Polymer

กิตติกรรมประกาศ

โครงงานนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณ ผศ.ชัชวาลย์ พูนลาภพานิช อาจารย์ที่ปรึกษาโครงงานที่ให้คำปรึกษาในการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม ตลอดจนการตรวจแก้ไขโครงงานในครั้งนี้จนแล้วเสร็จสมบูรณ์ และขอกราบขอบพระคุณ นางสาวกมลวรรณ สุขถาวร ผู้อำนวยการกลุ่มวิชาแขวงทางหลวงชนบทจังหวัดนครนายก ที่ช่วยให้คำแนะนำและอนุญาตให้ผู้ศึกษาได้ใช้ห้องปฏิบัติการทดสอบและควบคุมคุณภาพวัสดุ ของแขวงทางหลวงชนบทนครนายก ในการศึกษานี้

ขอขอบพระคุณอาจารย์ในสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่านที่ได้มอบความรู้และเปิดมุมมองใหม่ๆอันเป็นประโยชน์อย่างยิ่งในการนำไปประยุกต์ใช้ประโยชน์ต่อหน้าที่การงานและให้ความช่วยเหลือตลอดระยะเวลาในการศึกษา

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงงานขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุน ให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงงานวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากก็น้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใดๆ จากโครงงานวิศวกรรมนี้ ขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

นายชัยวัฒน์ ขุนพิลึก
สิบเอกสรกฤช นันตะนะ
นายไชยพัฒน์ กระดิษฐ์

ผู้จัดทำโครงงาน

วันที่ เดือน พฤษภาคม พ.ศ. 2562

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อ	ก
กิตติกรรมประกาศ	ข
สารบัญ	ค
สารบัญ(ต่อ)	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญรูป	ช
สารบัญรูป(ต่อ)	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	1
1.3 ขอบเขตของการศึกษา	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.1 การปรับปรุงคุณภาพดิน	4
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	8
2.3 ข้อกำหนดน้ำยางพาราผสมสารผสมเพิ่ม สำหรับงานดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ	9
2.4 มาตรฐานงานทาง	10
2.5 มาตรฐานการทดลอง	11
บทที่ 3 วิธีดำเนินการ	19
3.1 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม	20
3.2 การหาปริมาณส่วนผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม	25
3.3 การทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม	28
3.4 การคำนวณราคาค่าก่อสร้างงานทาง	29

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

3.5 การสรุปผลโครงงาน 30
3.6 แผนการดำเนินโครงงาน 30

บทที่ 4 ผลการศึกษา 31

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของการปรับปรุงคุณภาพดินให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม 31
4.2 ผลการเทียบเทียบคุณสมบัติเบื้องต้นทางวิศวกรรมของการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม 32
4.3 ผลการออกแบบส่วนผสมของการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม 33
4.4 ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม 35
4.5 ผลการคำนวณราคาต้นทุนต่อ 1 กิโลเมตร 36

บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ 37

5.1 สรุปผล 37
5.2 อภิปรายผลการทดสอบ 38
5.3 ข้อเสนอแนะ 38

บรรณานุกรม 39

ภาคผนวก 41

ภาคผนวก ก. มาตรฐานวิธีการทดลอง 42
ภาคผนวก ข. ตารางและกราฟแสดงผลการทดสอบ 59
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณราคาค่าก่อสร้างต่อ 1 กิโลเมตร 133
ภาคผนวก ง. รูปถ่ายกิจกรรม 149
ภาคผนวก จ. ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน 158

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า

2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำยางพาราผสมสารผสมเพิ่ม 10
2.2 ขนาดคละของวัสดุชั้นรองพื้นทาง 12
2.3 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน 15
2.4 ตารางแสดงค่าแรงกดมาตรฐาน 16
2.5 ความสัมพันธ์ของ % CBR กับการใช้งาน 17
3.1 อัตราส่วนผสมของ Soil Cement 25
3.2 อัตราส่วนผสมของ Soil Cement ผสม Polymer 27
4.1 ผลการทดสอบ Sieve Analysis 32
4.2 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม 32
4.3 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ 32
4.4 ผลการทดสอบการบดอัดตัวอย่างวัสดุและค่า OMC ที่เหมาะผสม 33
4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของวัสดุดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ 1.00, 1.20, 3.00 และ 5.00 % 33
4.6 ผลการทดสอบ UCS. ตัวอย่าง Soil Cement ผสม Polymer 0.25 ,0.90 ,0.50 ,1.50 และ 2.50 % 34
4.7 ผลการทดสอบเปียกสลับแห้ง โดยการทดสอบ CBR 35
4.8 ผลการคำนวณราคาค่าก่อสร้างต่อ 1 กิโลเมตร 36

สารบัญรูป

รูปที่ หน้า

1.1 ชั้นโครงสร้างของถนนคลองชลประทานที่ใช้ในโครงงาน 2
2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (Typical compaction curve) 5
2.2 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในเม็ดดินหยาบ 5
2.3 โครงสร้างของดินซีเมนต์ 6
2.4 สถานภาพต่างๆ ของดินเหนียว 13
2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น 14
2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง, ค่าความชื้น และพลังงานที่ใช้ในการบดอัด 15
3.1 ผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน 19
3.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ 20
3.3 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis 21
3.4 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน 22
3.5 การทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) 22
3.6 วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน 23
3.7 การทดลองเพื่อหาค่า CBR วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ 24
3.8 อุปกรณ์การทดลองเพื่อหาค่า CBR 25
3.9 การเตรียมอุปกรณ์การทดสอบ UCS. และส่วนผสมของตัวอย่าง Soil Cement 26
3.10 การเตรียมอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง Soil Cement ผสมกับ Polymer 27
3.11 สาร Polymer ที่ใช้ในการทดสอบ 28
3.12 ตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมรูปแบบที่ 1 แช่น้ำ (Soaked) 4 วัน 29
3.13 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างงาน Pavement In-Place Recycling ของกรมบัญชีกลาง 29
3.14 แผนการดำเนินโครงงาน 30

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่ หน้า

4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุชั้นรองพื้นทางผสมปูนซีเมนต์ที่ อัตราส่วน 1%, 3%, 5% 34
4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุชั้นรองพื้นทางผสมปูนซีเมนต์ที่ 1.20 % สารผสมเพิ่ม Polymer ที่อัตราส่วน 0.25 %, 0.50 %, 1.50 % และ 2.50 % 35
4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม 36

บทที่ 1
บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

จากปัญหาอุทกภัยครั้งใหญ่ปี พ.ศ. 2554 ในจังหวัดนครนายก ยังมีถนนที่ยังไม่ได้งบประมาณในการซ่อมแซมหรือทำการก่อสร้างใหม่ ในการก่อสร้างถนนขนาน 2 ช่องจราจรนั้นใช้งบประมาณต่อ 1 กิโลเมตร ประมาณ 3.5 – 4 ล้านบาท และยังมีข้อจำกัดด้านแหล่งวัสดุในการก่อสร้างชั้นรองพื้นทางและชั้นพื้นทาง ที่ต้องใช้จากจังหวัดใกล้เคียง เนื่องจากจังหวัดนครนายกเป็นแหล่งท่องเที่ยวทำให้ราคาที่ดินนั้นมีราคาสูงมาก จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณภาพดินให้สามารถนำกลับมาใช้ได้ใหม่อีกครั้ง

ในการจัดทำโครงงานจะพิจารณาคันทางเดิมของถนนคลองชลประทานภายในจังหวัดนครนายก โดยในการปรับปรุงคุณภาพของถนนเดินที่มีผิวจราจรเป็นดินลูกรังนำกลับมาใช้เป็นชั้นรองพื้นของถนนที่ออกแบบก่อสร้างใหม่ โดยใช้วิธี Pavement In - Place Recycling หากทำการก่อสร้างแบบเดิมจะต้องขุดรื้อวัสดุเดิมที่ใช้ไม่ได้ไปทิ้งและขนวัสดุใหม่เข้ามาทดแทน ทำให้วัสดุที่มีอย่างจำกัดในธรรมชาติลดลงอย่างรวดเร็ว และยังส่งผลกระทบต่อชุมชนข้างเคียงในเส้นทางการขนวัสดุ

จากหลักการและเหตุผลข้างต้น ผู้จัดทำโครงงานจึงมีความสนใจที่จะศึกษากระบวนการทดสอบและปรับปรุงคุณภาพผิวทางเดิมของถนนคลองชลประทานหมุนเวียนกลับมาใช้ใหม่เป็นชั้นรองพื้นทางที่สามารถทนต่อสภาวะน้ำท่วมได้

1.2 วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติวัสดุผิวทางเดิม

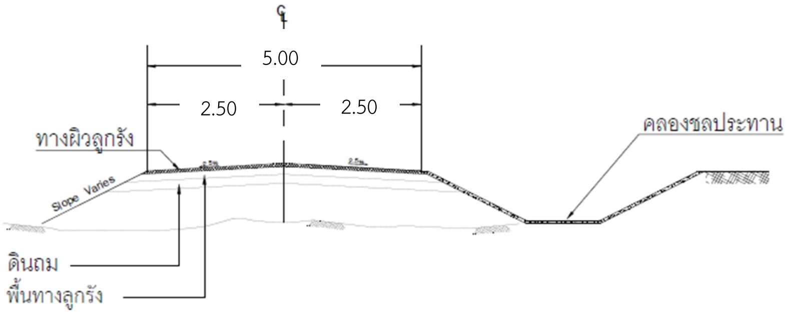
1.2.2 เพื่อวิเคราะห์หาอัตราส่วน Soil Cement และ Soil Cement ผสม Polymer ที่เหมาะสม

1.2.3 เพื่อเปรียบเทียบพฤติกรรมการพัฒนากำลังอัด และความทดทานในสภาวะน้ำท่วมของวัสดุผิวทางเดิม กับการปรับปรุงคุณภาพด้วย Soil Cement และ Soil Cement ผสม Polymer

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

การศึกษาปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุคันทางเดิมให้เป็นวัสดุรองพื้นทางที่ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม เป็นการศึกษาทดสอบและวิเคราะห์โดยทำการทดลองในห้องปฏิบัติการเท่านั้น ซึ่งใช้มาตรฐานการออกแบบและทดลองของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท เป็นแนวทางในการดำเนินการโดยกำหนดให้ค่ากำลังต้านทานแรงอัดของแท่งตัวอย่างวัสดุที่มีอายุการบ่มที่ 7 วัน มีค่าไม่น้อยกว่า 7.02 ksc. (689 kPa) และหาค่าความทนทานในการต้านทานแรงเฉือน (CBR) กระบวนการเปียกสลับแห้ง จำนวน 3 แนวทางด้วยกัน และกำหนดของเขตของการจัดทำโครงงานขอบเขตดังนี้

1.3.1 วัสดุที่ใช้เป็นวัสดุผิวทางเดิมของถนนครรลองชลประทานที่เคยเกิดสภาวะน้ำท่วมภายในพื้นที่จังหวัดนครนายก ตำแหน่งสายทางที่ใช้ดำเนินโครงงานตั้งอยู่ระหว่างแยกทางหลวงชนบท หมายเลข นย.2011 (กม.1+400) ถึง แยกทางหลวงชนบท หมายเลข นย.4008 (กม.0+450)



รูปที่ 1.1 ชั้นโครงสร้างของถนนคลองชลประทานที่ใช้ในโครงงาน

1.3.2 วัสดุที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางเดิม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนประเภทที่ 1 ที่มีคุณสมบัติตามมาตรฐาน มอก.15 และ โพลิเมอร์สังเคราะห์ (Polymer Synthetic Resin)

1.3.3 ทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง ตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท ประกอบด้วย

- การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน
- การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน
- การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ
- การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน
- การทดสอบเพื่อหาค่า CBR
- การทดสอบหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน

1.3.4 มาตรฐานการคำนวณราคาค่าก่อสร้างงานทาง

ในการคำนวณราคาค่าก่อสร้างงานทางนั้นจะใช้หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม กรมบัญชีกลาง พฤศจิกายน 2559

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 สามารถพัฒนากำลัง Soil Cement และ Soil Cement ผสมกับ Polymer โดยการปรับอัตราส่วนที่เหมาะสมและสามารถทนต่อสภาวะน้ำท่วมได้

1.4.2 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมทำให้เกิดความคุ้มค่าและลดต้นทุนค่าก่อสร้างเมื่อเทียบกับการก่อสร้างแบบเดิมอย่างน้อยร้อยละ 20

1.4.3 สามารถส่งเสริมการใช้ทรัพยากรธรรมชาติ ที่มีอยู่จำกัดให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บทที่ 2
ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 การปรับปรุงคุณภาพดิน

การปรับปรุงคุณภาพของดินเป็นกระบวนการที่ทำให้ดินตามธรรมชาติมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมที่ดีขึ้นความทนทานต่อการสึกกร่อนสามารถรับน้ำหนักหรือการจราจรภายใต้การเปลี่ยนแปลงสภาพอากาศโดยอาจใช้การบดอัดการทำให้แน่นด้วยเทคนิคเฉพาะการควบคุมการทดลองหรือการใช้สารผสมเพิ่มซึ่งอาจอยู่ในรูปของของเหลวหรือเป็นผงมาเติมลงในดินซึ่งปัจจัยหลักที่เราต้องพิจารณาคือขนาดคละและปริมาณความชื้นในมวลดินที่ให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด

การปรับปรุงคุณภาพดินประกอบด้วยแนวความคิดพื้นฐานที่สำคัญประกอบด้วย

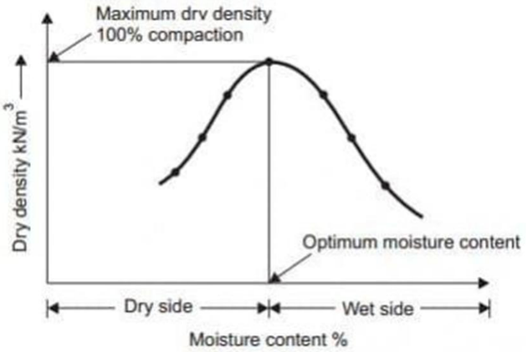
- Densification (การทำให้แน่น) เช่น surface compaction
- Cementation (การเชื่อมประสาน) เช่น soil cement
- Reinforcement (การเสริมแรง) เช่นearth reinforcement
- Drainage and Consolidation (การระบาย) เช่น dewatering, preloading

โดยในโครงงานนี้จะมุ่งสนใจในเรื่อง Densification (การทำให้แน่น) และ Cementation (การเชื่อมประสาน)

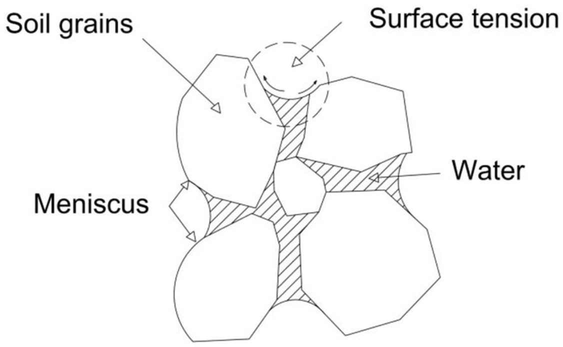
2.1.1 ทฤษฎีการบดอัดดินของ Proctor (1930)

ทฤษฎีพื้นฐานการบดอัดดินสำหรับดินที่มีการเชื่อมแน่นได้ถูกสร้างความสัมพันธ์ขึ้นโดย R.R.Proctor (1930) โดยเริ่มต้นเมื่อมีการสร้างเขื่อนกักเก็บน้ำใน Los Angeles และเขาได้พัฒนาหลักการบดอัดดินโดยตีพิมพ์ในหนังสือ Engineering New-Record (Proctor ,1933) แล้วนำวิธีการดังกล่าวไปใช้ในห้องปฏิบัติการโดยเรียกวิธีดังกล่าวว่า Proctor Test และ Proctor ได้กล่าวไว้ว่าประสิทธิภาพของการบดอัดดินถูกกำหนดโดยแรงเสียดทานระหว่างเม็ดดิน โดยแบ่งการบดอัดดินเป็น 2 ด้วน คือ ด้านแห้งและด้านเปียก สำหรับการบดอัดดินที่แห้งมากๆจะเกิดแรงเสียดทานสูงมากเนื่องจากแรงตึงผิวที่เกิดจากความชื้นคาพิลลารี่ (Capillary Moisture) เป็นผลทำให้การบดอัดทำได้ยาก แต่เมื่อมีน้ำเติมลงไปในดินที่แห้งมากๆ น้ำจะไปลดแรงคาพิลารี่เป็นผลให้แรงเสียดทานลดลงไปด้วย ถ้าเติมน้ำเข้าไปอีกเรื่อยๆ จนไปสลายแรงเสียดทานได้แล้ว น้ำก็จะทำหน้าที่เป็นสารหล่อลื่นทำให้เม็ดดินเกิดการเรียงตัวใหม่ จนถึงปริมาณน้ำที่เติมเต็มช่องว่างในช่วงหนึ่งจะทำให้ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเรียกจุดที่ดินมีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดว่า maximum dry density และเรียกปริมาณความชื้นที่จุดนี้ว่า optimum moisture content หลังจากจุดนี้ เมื่อเติมน้ำเข้าไปอีกจะ

ทำให้ความหนาแน่นแห้งลดลง ทั้งนี้เนื่องจากน้ำเข้าไปแทนที่เนื้อดิน ทำให้เนื้อดินที่มีปริมาตรลดลง อีกทั้งเกิดจากความถ่วงจำเพาะของน้ำนั้นมีค่าน้อยกว่าดินในขณะที่ความหนาแน่นเปียกเพิ่มขึ้น และเมื่อความชื้นในดินสูงขึ้นมากๆ จะพบว่าดินนั้นจะอยู่ในสภาพที่อ่อนตัว ซึ่งอยู่ในสภาพที่ไม่สามารถรับน้ำหนักได้อีกต่อไป



รูปที่ 2.1 ลักษณะทั่วไปของเส้นการบดอัดดิน (Typical compaction curve)



รูปที่ 2.2 ผลของแรงตึงผิวที่ทำให้เกิดแรงยึดเหนี่ยวปรากฏ (Apparent Cohesion) ในเม็ดดินหยาบ

2.1.2 กลไกการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์

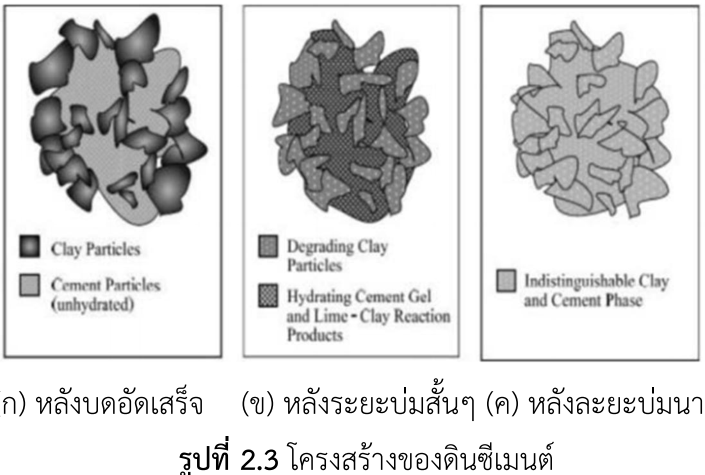
Lambe et al. (1959: 67-103) อธิบายว่าซีเมนต์เป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นจากผลึกของTricalcium Silicate (C3S) Dicalcium Silicate (C2S) Tricalcium Aluminate (C3A) TeteacalciumAluminate Ferrite (C4AF) เมื่อผสมกับน้ำ และดินจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ทำให้ได้สารประกอบCalcium Silicate Hydrate (CSH) Calcium Aluminate Hydrate (CAH) และ Hydrate Lime ที่แยกตัวออกมาขณะเกิดปฏิกิริยา สารประกอบ CSH และ CAH จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานเมื่อน้ำระเหยออกไป นอกจากนั้น Released Hydrate Lime ที่เกิดขึ้นในขบวนการดังกล่าวยังทำให้ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นทำให้ Colloid Gel หรือ Cement Gel ที่ประกอบไปด้วย CSH และ CAH เกิดการรวมตัวแล้วยึดเกาะกัน เป็นมวลที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามระยะเวลา

การบ่ม ในดินเม็ดหยาบ เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น การยึดเกาะกันของเม็ดจะคล้ายกับในคอนกรีตแต่ว่า Cement Paste จะไม่อุดเต็มช่องว่างอนุภาคของเม็ดดิน แรงเชื่อมยึดติดจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางด้าน Mechanical Interlock ของอนุภาคเม็ดดินที่มีCSH และ CAH เกาะอยู่ ที่ผิวอนุภาคของเม็ดดิน

สำหรับดินเม็ดละเอียด แรงยึดเกาะกันจะประกอบไปด้วยแรงทางด้าน Mechanical Interlock และChemical Cementation การยึดเกาะทางด้าน Chemical Cementation นั้นเกิดจากปฏิกิริยาระหว่างซีเมนต์กับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่ตามผิวของเม็ดดินโดยมีน้ำเป็นตัวกลาง การเกิดปฏิกิริยาทำให้สารประกอบ CSH และ CAH เพิ่มขึ้นและทำให้เม็ดดินเกิดการเชื่อมกัน

Mitchell and Jack (1966) ได้อธิบายเกี่ยวกับโครงสร้างของดินซีเมนต์เกี่ยวกับการเปลี่ยนแปลงในส่วนประกอบและโครงสร้างของดินซีเมนต์ซึ่งสามารถแบ่งได้ 3 ช่วง ดังนี้

- ภายใต้การบดอัด ช่วงเวลานี้เป็นช่วงที่ซีเมนต์ยังไม่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ซึ่งอนุภาคปูนซีเมนต์ที่ Unhydrated จะเข้าไปผสมกับอนุภาคของดิน
- ภายใต้การบ่มระยะสั้น ช่วงเวลานี้อนุภาคของซีเมนต์จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นทำให้เกิดเป็น Cement Gel แทรกซึมตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และ Released Lime เริ่มทำปฏิกิริยากับดินที่เป็น Active Soil Silica หรือ Active Soil Alumina เป็นผลให้เกิดการแยกตัวของ Soil Silica หรือ Soil Alumina ในดินและจะแผ่กระจายไปตามอนุภาคของดิน
- ภายใต้การบ่มระยะยาว ช่วงเวลาในอนุภาคของซีเมนต์จะเกิดกระบวนการ Cement Hydration อย่างสมบูรณ์ซึ่งจะส่งผลให้ Cement Gel และขอบเขตการแทรกซึมแผ่กระจายไปทั้งก้อนของดินซีเมนต์ซึ่งจะทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงขึ้นเมื่ออายุการบ่มมากขึ้น



(ก) หลังบดอัดเสร็จ (ข) หลังระยะบ่มสั้นๆ (ค) หลังละยะบ่มนานๆ

รูปที่ 2.3 โครงสร้างของดินซีเมนต์

Pendola et al. (1969) สรุปถึงการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์ว่าเป็นกระบวนการร่วมกันของปฏิกิริยาทางฟิสิกส์เคมี (Physical-Chemical) ระหว่างซีเมนต์ น้ำ และดินซึ่ง

ประกอบด้วยกลไก 2 ชนิด คือ ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงต้น (Primary Reaction) และปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงปลาย (Secondary Reaction)

- ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงต้น (Primary Reaction)

Cement Hydration เป็นกระบวนการที่สำคัญที่สุดโดยจะเกิดขึ้นขณะที่ซีเมนต์รวมตัวกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยา Cement Hydration ก่อให้เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดินและก่อรูปร่างเป็นโครงข่ายต่อเนื่องกันมากบ้างน้อยบ้างตามการคละของขนาดดิน ทำให้เม็ดดินที่ไม่ถูกทำปฏิกิริยาเข้ามาใกล้ชิดกัน โครงข่ายดังกล่าวจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุที่ถูกปรับปรุง และแทรกตัวระหว่างช่องว่างทำให้ลดการซึมผ่านการบวมตัวของมวลดินรวมทั้งความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพเนื่องจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงความชื้นรอบๆ

- ปฏิกิริยาเคมีที่เกิดขึ้นในช่วงปลาย (Secondary Reaction)

Pozzolannic Reaction เป็นกระบวนการที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาระหว่าง Free Lime ที่ถูกปล่อยออกมาระหว่างปฏิกิริยา Cement Hydration กับซิลิก้า หรืออลูมินาในดิน ทำให้เกิดสารเชื่อมแน่น เพิ่มขึ้นจากเดิมและทำให้เกิดการยึดเกาะในดินที่ถูกปรับปรุงคุณภาพ แต่ปฏิกิริยานี้อาศัยเวลานาน และมีผลทำให้กำลังของดินเพิ่มขึ้น

2.1.2 สารพอลิเมอร์ (Polymer)

พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารที่สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิดมีลักษณะเป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ซึ่งเกิดจากโมเลกุลพื้นฐานที่เรียกว่า มอนอเมอร์ (Monomer) จำนวนมากมาสร้างพันธะเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโคเวเลนต์ โดยพอลิเมอร์บางชนิดอาจเกิดจากมอนอเมอร์ที่เป็นชนิดเดียวกันทั้งหมดมาเชื่อมต่อกัน เช่น แป้ง และพอลิเอทิลีน เป็นต้น แต่ในบางชนิดก็อาจเกิดขึ้นจากมอนอเมอร์ที่แตกต่างกันมาเชื่อมต่อกันก็ได้ ตัวอย่างเช่น พอลิเอสเทอร์ และโปรตีน เป็นต้น

ในปัจจุบันพอลิเมอร์ได้เข้ามามีบทบาทต่อการดำเนินชีวิตของมนุษย์และกระบวนการอุตสาหกรรมต่าง ๆ อย่างมาก โดยตัวอย่างของพอลิเมอร์ที่เป็นที่รู้จักอย่างกว้างขวางและมีการใช้ประโยชน์กันมาก ได้แก่ พลาสติก เส้นใยสังเคราะห์ และยางพารา เป็นต้น

พอลิเมอร์เป็นสารที่มีอยู่มากมายหลายชนิด ซึ่งในแต่ละชนิดก็จะมีสมบัติและการกำเนิดที่แตกต่างกัน ดังนั้นการจัดจำแนกประเภทพอลิเมอร์จึงสามารถทำได้หลายวิธีขึ้นอยู่กับว่าใช้ลักษณะใดเป็นเกณฑ์ในการพิจารณา เราสามารถจำแนกประพอลิเมอร์ได้ โดยอาศัยลักษณะต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

2.1.2.1 พิจารณาตามแหล่งกำเนิด

เป็นวิธีการพิจารณาโดยดูจากวิธีการกำเนิดของพอลิเมอร์ชนิดนั้น ซึ่งจะสามารถจำแนกพอลิเมอร์ได้เป็น 2 ประเภท คือ พอลิเมอร์ธรรมชาติ และพอลิเมอร์สังเคราะห์

(1) พอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural Polymers) เป็นพอลิเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ สามารถพบได้ในสิ่งมีชีวิตทุกชนิด โดยพอลิเมอร์ธรรมชาติเหล่านี้เป็นสิ่งที่สิ่งมีชีวิตผลิตขึ้นโดยอาศัยกระบวนการทางเคมีต่าง ๆ ที่เกิดขึ้นภายในเซลล์ และมีการเก็บสะสมไว้ใช้ประโยชน์ตามส่วนต่าง ๆ ดังนั้นพอลิเมอร์ธรรมชาติจึงมีความแตกต่างกันไปตามชนิดของสิ่งมีชีวิตและตำแหน่งที่พบในสิ่งมีชีวิต ตัวอย่างพอลิเมอร์ธรรมชาติ ได้แก่ เส้นใยพืช เซลลูโลส และไคติน เป็นต้น

(2) พอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymers) เกิดจากกาสังเคราะห์ขึ้นโดยมนุษย์ ด้วยวิธีการนำสารมอนอเมอร์จำนวนมากมาทำปฏิกิริยาเคมีภายใต้สภาวะที่เหมาะสมทำให้มอนอเมอร์เหล่านั้นเกิดพันธะโคเวเลนต์ต่อกันกลายเป็นโมเลกุลพอลิเมอร์ โดยสารมอนอเมอร์ที่มักใช้เป็นสารตั้งต้นในกระบวนการสังเคราะห์พอลิเมอร์ คือ สารไฮโดรคาร์บอนที่เป็นผลพลอยได้จากการกลั่นน้ำมันดิบและการแยกแก๊สธรรมชาติ เช่น เอททีลีน สไตรีน โพรพิลีน ไวนิลคลอไรด์ เป็นต้น

2.1.2.2 พิจารณาตามมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ

เป็นวิธีการพิจารณาโดยดูจากลักษณะมอนอเมอร์ที่เข้ามาสร้างพันธะร่วมกัน โดยจะสามารถจำแนกได้เป็น 2 ประเภท คือ

(1) โฮโมพอลิเมอร์ (Homopolymer) คือ พอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ชนิดเดียวกันทั้งหมด เช่น แป้ง พอลิเมอร์ และพีวีซี เป็นต้น

(2) โคพอลิเมอร์ (Copolymer) คือ พอลิเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์มากกว่า 1 ชนิดขึ้นไป เช่น โปรตีน ซึ่งเกิดจากกรดอะมิโนที่มีลักษณะต่าง ๆ มาเชื่อมต่อกันและพอลิเอสเทอร์ เป็นต้น

2.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

กิตติศักดิ์ โชติ และประทีป ดวงเดือน (2556) ศึกษาการนำเถ้าก้นเตา จากโรงไฟฟ้าและปูนขาวมาใช้ในการปรับปรุง คุณภาพดินลูกรัง เพื่อพัฒนาคุณภาพของวัสดุ เพื่อนำไปใช้ในงานทาง ผลการศึกษาพบว่า เมื่อผสมปริมาณ เถ้าก้นเตาและปูนขาวเพิ่มขึ้น ค่าดัชนีความ เหนียวของดินลดลง ค่าความหนาแน่นแห้ง สูงสุดมีแนวโน้มลดลง และปริมาณความชื้น เหมาะสมมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น ปริมาณเถ้าก้นเตา และปูนขาวที่ทำให้ค่า Unsoaked และ Soaked CBR มีค่าเพิ่มสูงมากที่สุด คือประมาณ 40% ในดินลูกรังเกรดผสม B และ D เมื่อผสมเกินกว่าค่า นี้ กำลังจะไม่เพิ่มขึ้น

นิโรจน์ เงินพรหม (2553) ได้ศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัด ผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็ก เพื่อหาปริมาณส่วนผสมใช้ปรับปรุงดินชั้นทาง โดยลูกรังเป็นส่วนผสมคงที่ 95 % โดยน้ำหนักและมีปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ผสมตะกรันเหล็ก 5 % ซึ่งทำให้ดินที่ปรับปรุงได้ค่าอยู่ในเกณฑ์ระดับดีมากเหมาะสำหรับเป็นวัสดุพื้นทาง

ไพวรรณ์ เขียวอ่อน ได้ศึกษากำลังรับแรงอัดและกำลังแรงดัดของตัวอย่างวัสดุพื้นทางเดิมปรับปรุงคุณภาพ ด้วยซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม ผลการทดสอบพบว่าปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมในการปรับปรุงกำลังรับแรงอัดที่ปริมาณน้ำเหมาะสม เท่ากับร้อยละ 3.5 ปริมาณสารโพลิเมอร์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 5 การเติมสารโพลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมนี้ ช่วยเพิ่มกาลังรับแรงอัดได้มากขึ้นถึงร้อยละ 18 เพิ่มกำลังรับแรงดัดได้มากขึ้นถึงร้อยละ 13 และเพิ่มค่าการโก่งตัวได้มากขึ้นถึงร้อยละ 176

สันติ ขำตรี (2557) ได้ศึกษาหาปริมาณและอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ต่อยางพาราที่เหมาะสม เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการออกแบบและสามารถนำไปก่อสร้างถนนให้เกิดประสิทธิภาพสูงสุด และผลการศึกษาพบว่า เถ้าไม้ยางพาราสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพของดินเหนียวให้สามารถนำมาเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางได้

อรรถพล มาลัย (2556) ศึกษาคุณสมบัติการซึมได้ และ CBR.ของดินชั้นทางบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา ผลการทดสอบพบว่าค่าการแบกทาน (CBR) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา พบว่าค่าการแบกทาน (CBR) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่ามาตรฐานพื้นทาง (ทล.ม.201/2544) กล่าวคือค่าการแบกทาน (CBR) มีค่ามากกว่า 80เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากผลการทดสอบค่าแบกทาน (CBR) แบบแช่น้ำเนื่องจากเป็นค่าที่นำมาพิจารณาออกแบบถนน

จากงานวิจัยเหล่านี้สรุปว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อกำลังของดินซีเมนต์คือ ปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์ คุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของดินซีเมนต์ถูกศึกษาอย่างจริงจังและมีการศึกษาด้านนั้นมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อที่จะได้ข้อมูลผลวิจัยนำไปคิดค้นพัฒนาคุณสมบัติของดินซีเมนต์ให้มีประสิทธิภาพการใช้งานมากยิ่งขึ้นและให้เหมาะสมสำหรับการเลือกใช้งานดินซีเมนต์ที่ต้องการคุณสมบัติเฉพาะงานด้วย

2.3 ข้อกำหนดน้ำยางพาราผสมสารผสมเพิ่ม สำหรับงานดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางธรรมชาติ

น้ำยางธรรมชาติ (natural rubber latex) หมายถึง สารคอลลอยด์ที่มีลักษณะเป็นของเหลวที่ได้จากต้นยางพาราที่มีชื่อทางวิทยาศาสตร์ว่า Hevea brasiliensis (มอก.980-2552) แบ่งเป็น 2 ชนิดคือ

- น้ำยางสด (field latex) คือ น้ำยางที่ได้จากการกรีดเปลือกต้นยางและผสมสารเคมีรักษาสภาพของน้ำยางแล้ว

- น้ำยางข้น (concentrated latex) คือ น้ำยางธรรมชาติที่ทำให้เข้มข้นโดยการหมุนเหวี่ยงหรือแยกครีม (มอก.980-2552)

ตารางที่ 2.1 สมบัติทางกายภาพและทางเคมีของน้ำยางพาราผสมสารผสมเพิ่ม

รายการ	สมบัติ	หน่วย	เกณฑ์กำหนด
1	การกระจายตัวในน้ำ	-	กระจายตัวในน้ำได้ดี
2	สารที่เป็นของแข็งทั้งหมด (TOTAL SOLID CONTENT, TSC)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	≤ 35
3	ปริมาณเนื้อยางธรรมชาติ (NATURAL RUBBER CONTENT) ด้วยการทดสอบการเปลี่ยนน้ำหนักของสารโดยอาศัยสมบัติทางความร้อน (THERMOGRAVIMETIC TGA)	ร้อยละโดยน้ำหนัก (%)	≥ 30
4	ความหนืด (VISCOSITY)	เซนติพอยส์	<50
5	ความเป็นกรด-ด่าง (pH)		>9

2.4 มาตรฐานงานทาง

2.4.1 มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

มาตรฐานที่ ทล.-ม.205/2532 งานนี้ประกอบด้วยวัสดุมวลรวม ซึ่งมีขนาดคละกันอย่างสม่ำเสมอจากใหญ่ไปหาเล็ก โดยจะก่อสร้างเป็นชั้นเดียว หรือหลายชั้นไปบนชั้นวัสดุคัดเลือก หรือชั้นอื่นใดที่ได้เตรียมไว้ และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้ว โดยการเกลี่ยแต่งและบดทับให้ถูกต้องตามแนวระดับ ความลาด ขนาด ตลอดจนรูปตัดตามที่แสดงไว้ในแบบ

- มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-102/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 35

- มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index” ไม่เกินร้อยละ 11

- มีค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517 “วิธีการทดลองหาค่า CBR” ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ความแน่นแห้งของการบดอัดร้อยละ 95 ของความแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”

2.4.2 มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase)

มาตรฐานที่ ทล.-ม.206/2532 งานนี้ประกอบด้วยการก่อสร้างรองพื้นทางที่ใช้ดินผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำโดยจะสร้างเป็นชั้นเดียวหรือหลายชั้นไปบนชั้นวัสดุคัดเลือก หรือชั้นอื่นใดที่เตรียมไว้และได้รับการตรวจสอบว่าถูกต้องแล้ว โดยการปูหรือเกลี่ยแต่ง และบดทับให้ถูกต้องตามที่แสดงไว้ในแบบ

- มีขนาดโตสุดไม่เกิน 50 มิลลิเมตรและส่วนที่ผ่านตะแกรงขนาด 0.075 มิลลิเมตร (เบอร์ 200) ไม่เกินร้อยละ 40
- มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-102/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 40
- มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index” ไม่เกินร้อยละ 20

2.5 มาตรฐานการทดลอง

2.5.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ

วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis (ทล.-ท. 204/2516 , มทช. (ท) 501.8 - 2545)

มวลดินประกอบด้วยเม็ดดินหลายชนิด เช่น 5 ซม. ลงมาจนกระทั่ง 0.0002 มม. ซึ่งไม่สามารถมองเห็นได้ด้วยตาเปล่า คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของมวลดินจะขึ้นอยู่กับขนาดเม็ดดิน มวลดินที่ใหญ่กว่าตะแกรงเบอร์ 200 ส่วนมากจะไม่มีความเหนียวหรือแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ด เช่น ดินทราย (Cohesionless Soil) ส่วนดินที่มีส่วนประกอบเม็ดเล็กมาก เช่น ดินเหนียว (Cohesive Soil) นอกจากนั้นขนาดเม็ดดินยังมีอิทธิพลกับ กาซึมน้ำ การรับแรง อัตราการทรุดตัว การหาขนาดของเม็ดดินอาจทำได้หลายวิธี แต่ที่นิยมปฏิบัติกันแพร่หลายคือ วิธีร่อนผ่านตะแกรงที่มีช่องขนาดต่างๆ มักใช้กับดินที่มีขนาด 0.075 มม. ขึ้นไป

การกระจายขนาดเม็ดดิน มักแสดงด้วยกราฟ แสดงความสัมพันธ์ระหว่างขนาดเม็ดในสเกลลอการิทึม (Logarithmic Scale) และเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักของเม็ดที่มีขนาดเล็กกว่าที่ระบุ (Percent Finer) ซึ่งเรียกว่า กราฟการกระจายขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Curve)

การกำหนดการกระจายขนาดของเม็ดดินที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้น จะกำหนดการกระจายขนาดของเม็ดดินที่บดอัดแล้ว ทำให้ได้ค่าความแน่นดีที่สุด ซึ่งอาจจะมีหลายกลุ่มการกระจายที่สามารถใช้ได้ ซึ่งการกระจายขนาดเม็ดดินของวัสดุชั้นรองพื้นทาง (มทช.202-2557) เป็นมาตรฐานดังตาราง

ตารางที่ 2.2 ขนาดคละของวัสดุชั้นรองพื้นทาง

ขนาดและตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ				
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.	ชนิด จ.
2”	100	100	-	-	-
1”	-	75-95	100	100	100
3/8”	30-65	40-75	50-85	60-100	-
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15	10-20	6-20

2.5.2 การหาค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก (Atterberg’s limits)

วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน (ทล.-ท. 102/2515, มทช.(ท) 501.5-2545) วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (ทล.-ท. 103/2515, มทช.(ท) 501.6 - 2545)

มวลดินเปลี่ยนแปลงสถานภาพ และคุณสมบัติทางฟิสิกส์ไปได้มากขึ้นอยู่กับปริมาณความชื้นในมวลดินเอง โดยเฉพาะในมวลดินที่มีส่วนของเม็ดขนาดเล็กอยู่มาก เช่น ดินเหนียว แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมักเกิดจากสนามประจุไฟฟ้าโดยรอบ จะมีการเปลี่ยนแปลงเมื่อความชื้นเปลี่ยนไป ถ้าเรานำดินเหนียวมาผสมน้ำจนมีความชื้นสูง ดินจะมีสภาพคล้ายของเหลว และถ้าทำให้ความชื้นค่อยๆ ลดลงไป ปริมาตรของมวลดินก็จะลดลงเป็นปฏิภาคกัน มวลดินจะเปลี่ยนสภาพจากของเหลวเป็นพลาสติก และกึ่งของแข็งตามลำดับ

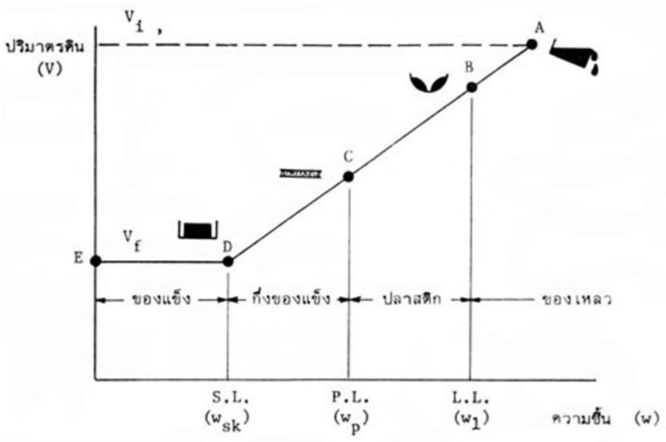
ดังนั้นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินในลักษณะนี้จะไวต่อความชื้นมาก ไม่เหมือนมวลดินที่มีเม็ดขนาดใหญ่เป็นส่วนประกอบ เช่น ดินทราย ความชื้นในมวลดิน ณ จุดเปลี่ยนสภาพ เรียกว่า ลิมิต (Limit) ซึ่งเป็นคุณสมบัติเฉพาะของมวลดินนั้นๆ นอกจากจะใช้เป็นตัวบ่งบอกคุณสมบัติพื้นฐานแล้วยังใช้ในการจำแนกหมวดหมู่ (Soil Classification) และคาดคะเนคุณสมบัติทางวิศวกรรมบางอย่าง เช่น การทรุดตัวของชั้นดิน

จุดเปลี่ยนสภาพ หรือ ลิมิต ของมวลดินมีด้วยกัน 5 ลิมิต คือ Cohesion Limit, Sticky Limit, Shrinkage Limit, Plastic Limit และ Liquid Limit แต่ภายหลังนำมาใช้ประโยชน์
ทางด้านปฐพีกลศาสตร์เพียงสามลิมิตสุดท้าย และสองลิมิตสุดท้ายสำหรับงานทาง

ค่าขีดจำกัดแอตเตอร์เบิร์ก หมายถึง ปริมาณน้ำในมวลดินที่ทำให้สถานภาพความเหนียวของมวลดินเปลี่ยนแปลงไป สถานภาพของมวลดินแบ่งออกเป็น 4 สถานภาพ โดยจุดแบ่งแต่ละสถานภาพ เรียกว่า ลิมิต

ค่าลิมิตเหลว (Liquid Limit) หมายถึง ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดของมวลดินที่ใส่อยู่ในถ้วยทองเหลืองครึ่งทรงกลม และมวลดินถูกปาดให้เป็นร่องรูปตัววีขนาดมาตรฐานโดยมีฐานด้านล่างกว้าง 2 มม.ภายหลังจากการเคาะถ้วยทองเหลืองจำนวน 25 ครั้งด้วยอัตราเร็วในการเคาะ 2 ครั้งต่อวินาที โดยมีระยะตกกระทบ 1ซม. แล้วทำให้ดินไหลมาชนกันยาวประมาณ 12.7 มม.

ค่าลิมิตพลาสติก (Plastic Limit) หมายถึง ปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดในมวลดินเมื่อมวลดินถูกคลึงให้เป็นเส้นกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. แล้วดินแตกร้าวออกไม่สามารถคลึงให้เป็นเส้นต่อเนื่องกันได้



รูปที่ 2.4 สถานภาพต่างๆ ของดินเหนียว

การคำนวณหาค่า Plastic Limit (PL.) และ Plasticity Index (PI.) ได้จากสมาการดังต่อไปนี้

$$\text{Plastic Limit (PL.)} = \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม) x100 (\%)}}{\text{มวลของดินแห้ง}} \qquad (2.1)$$

$$\text{Plasticity Index (PI.)} = \text{LL.} - \text{PL. (\%)} \qquad (2.2)$$

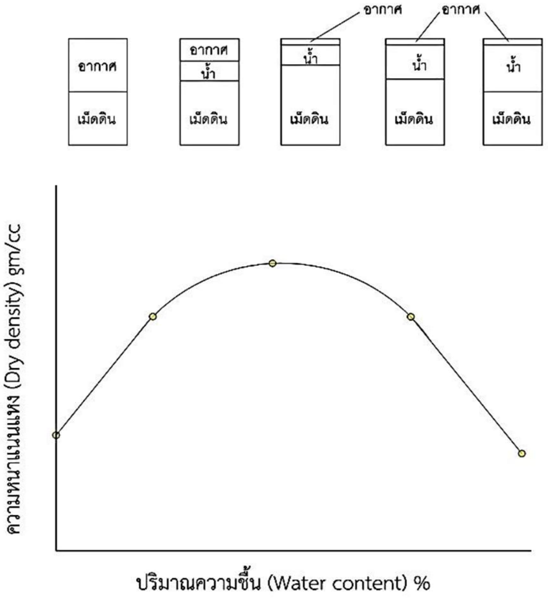
2.5.3 การบดอัด (Compaction)

วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (ทล.-ท. 108/2517, มทช.(ท) 501.2 -2545)

การบดอัด เป็นกระบวนการที่ใช้แรง หรือน้ำหนัก หรือพลังงานจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกันเพื่อเพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ (Permeability) เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีน

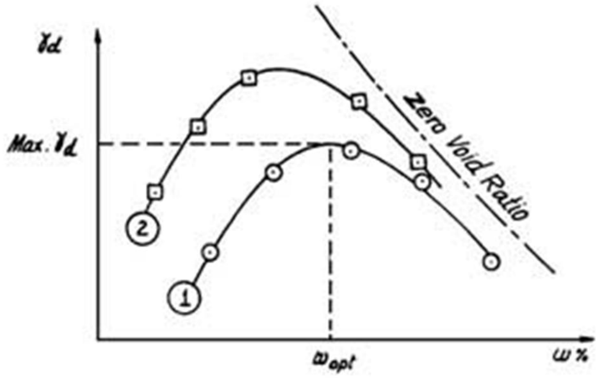
แกะ รถบดชนิดสั่นสะเทือน เป็นต้น การจะเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดินหรือวัสดุที่จะบดอัด

การบดอัดให้ได้ความแน่น (Density) ตามความต้องการของการใช้งานจะต้องอาศัยน้ำ เนื่องจากน้ำที่อยู่โดยรอบเม็ดดินจะทำให้เม็ดดินมีการเลื่อนตัวเข้ามาชิดกันได้ มีโครงสร้างที่มีความแน่นขึ้น อากาศจะถูกขับออกจากดินทำให้ช่องว่างในดินลดลง ดังนั้นดินที่มีปริมาณความชื้นมากขึ้นก็จะได้ค่าความแน่นแห้งสูงขึ้นจนถึงค่า ๆ หนึ่ง ซึ่งอากาศในดินส่วนมากได้ถูกขับออกมาแล้ว และทำให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) โดยปริมาณความชื้นที่ทำให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุดนี้ เรียกว่า Optimum Moisture Content หากเติมน้ำเข้าไปในดินอีกก็จะทำให้ค่าความแน่นแห้งต่ำลงได้ ทั้งนี้เพราะน้ำส่วนที่เติมเข้าไปจะไปแทนที่บางส่วนของอนุภาคดิน ทำให้เม็ดดินเลื่อนห่างจากกัน ดังแสดงในรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งและค่าปริมาณความชื้น

นอกจากความชื้นซึ่งมีผลโดยตรงในกระบวนการบดอัดดังกล่าวแล้ว ในการก่อสร้างนั้นพลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็เป็นตัวแปรที่สำคัญที่จะทำให้การบดอัดได้ความแน่นเพิ่มขึ้น โดยพลังงานที่ใช้ในการบดอัดที่สูงกว่า สามารถบดอัดให้ได้ความแน่นแห้งสูงสุดที่ความชื้นในการบดอัดที่ต่ำกว่า ดังแสดงในรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้ง, ค่าความชื้น และพลังงานที่ใช้ในการบดอัด

ด้วยเหตุผลและข้อเท็จจริงดังกล่าว จึงได้มีการกำหนดวิธีทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความแน่นของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ เป็นวิธีการทดสอบการบดอัดแบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมการก่อสร้างถนน ในปัจจุบันยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้มีวิวัฒนาการให้มีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากขึ้นหลายเท่าตัว จึงได้มีการกำหนดวิธีการทดสอบการบดอัดโดยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มากขึ้น เรียกว่า วิธีการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) ในการทำการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งจะใช้เป็นมาตรฐาน ในการควบคุมการบดอัดในสนามต่อไป ดังแสดงในตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.3 ตารางเปรียบเทียบการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

วิธีการทดสอบ	**ขนาด Mold**	**น้ำหนักตุ้ม (ปอนด์)**	**ระยะยก (นิ้ว)**	**จำนวนชั้นการบดอัด (ชั้น)**	**จำนวนครั้งของการบดอัด**	**ดินที่ใช้ทดสอบคือดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด**
แบบสูงกว่ามาตรฐาน						
ก. Modified Proctor	4 นิ้ว	10	18	5	25	3/4 นิ้ว
ข. AASHTO T-180	6 นิ้ว	10	18	5	56	3/4 นิ้ว
ค. Modified Proctor	4 นิ้ว	10	18	5	25	เบอร์ 4
ง. AASHTO T-180	6 นิ้ว	10	18	5	56	เบอร์ 4

2.5.4 การหาค่า ซี.บี.อาร์. (California Bearing Ratio)

วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR (ทล.-ท. 109/2517 , มทช.(ท) 501.3 - 2545)

การทดลองนี้กำหนดขึ้น เป็นวิธีการทดสอบวัดค่าแรงเฉือน (Shearing Resistance) ของวัสดุที่บดอัดจนแน่นดีแล้ว โดยใช้ค้อนบดทับใน Mold ที่ Optimum moisture content เพื่อนำมาใช้ในการออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงาน

ค่าเปอร์เซ็นต์ CBR สามารถคำนวณได้โดยการวัด อ่านค่าแรงเฉือนของดินที่บดอัดแน่นที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และใช้ท่อนเหล็กทดสอบมาตรฐานที่มีพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว กดลงบนตัวอย่างดินดังกล่าวด้วยอัตราการทรุดตัวเท่ากับ 0.5 นิ้วต่อนาที จากนั้นนำค่าแรงเฉือนที่อ่านได้ ณ ระยะกดลึกที่กำหนด หารด้วยค่าแรงเฉือนมาตรฐานที่ได้จากการกดท่อนเหล็กดังกล่าวบนหินที่บดอัดแน่น ตามระยะการทรุดตัวที่เท่ากัน ค่าตัวเลขที่ได้เรียกว่า เปอร์เซ็นต์ CBR ดังสมการที่ต่อไปนี้

$$\text{CBR} = \frac{\text{Test Unit Load}}{\text{Standard Unit Load}} \times 100\ \% \tag{2.3}$$

เมื่อ Test Unit Load = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด

Standard Unit Load = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน

ตารางที่ 2.4 ตารางแสดงค่าแรงกดมาตรฐาน

PENETRATION (mm.)	STANDARD LOAD (kg.)	STANDARD UNIT LOAD (kg/cm^2)
2.54 (0.1”)	1,360.8 (3,000 lb)	70.3 (1,000 lb/in^2)
5.08 (0.2”)	2,041.2 (4,500 lb)	105.46 (1,500 lb/in^2)
7.62 (0.3”)	2,585.5 (5,700 lb)	133.59 (1,900 lb/in^2)
10.16 (0.4”)	3,129.8 (6,900 lb)	161.71 (2,300 lb/in^2)
12.70 (0.5”)	3,538.0 (7,800 lb)	182.81 (2,600 lb/in^2)

ค่าเปอร์เซ็นต์ CBR โดยทั่วไปแล้วใช้ค่าอัตราส่วนของแรงกดที่ความลึก 0.1 นิ้ว แต่ถ้าผลปรากฏว่าเปอร์เซ็นต์ CBR ของแรงกดที่ 0.2 นิ้ว สูงกว่าที่ 0.1 นิ้ว การทดลองควรจะกระทำซ้ำอีกครั้ง และถ้าเปอร์เซ็นต์ CBR ยังคงเป็นเช่นเดิม ก็ให้ใช้ค่า CBR ที่ความลึก 0.2 นิ้ว

ตารางที่ 2.5 ความสัมพันธ์ของ % CBR กับการใช้งาน

% CBR	คุณสมบัติเหมาะสมทางวิศวกรรม	การใช้งาน
0 – 3	very poor	subgrade
3 – 7	poor to fair	subgrade
7 – 20	fair	subbase
20 – 50	good	subbase, base
50 – 80	very	good base
> 80	excellent	base

2.5.5 การทดลองกำลังอัดแกนเดียว

วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (ทล.-ท. 105/2515)

การทดสอบแรงอัดของดินโดยปราศจากแรงด้านข้าง เป็นการทดสอบหากำลังต้านทานแรงเฉือนของดินโดยไม่มีแรงดันด้านข้างมากระทำต่อผิวตัวอย่างดิน ทำให้สภาพของตัวอย่างดินที่นำมาทดสอบแตกต่างจากดินในสภาพธรรมชาติ การทดสอบนี้สามารถให้ผลที่รวดเร็วเมื่อเปรียบเทียบกับวิธีอื่น

ขอบข่าย Unconfined Compressive Strength คือ ค่าแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งแท่งตัวอย่างดินรูปทรงกระบอกหรือรูป Prismatic จะรับได้ ถ้าในกรณีที่ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อ ความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกินร้อยละ 20 ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ที่ความเครียดร้อยละ 20 นั้น เป็นค่า Unconfined Compressive Strength การทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO 208-70 อธิบายถึงการหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน ในสภาพ Unconfined Compressive Strength อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดลอง จะควบคุมโดย ความเครียด (Strain) หรือควบคุมโดยความเค้น (Stress) ในการทดลอง Unconfined Compressive Strength นั้นสามารถคำนวณหาค่าต่างๆจากสมการตั้งต่อไปนี้

คำนวณหาค่าความเครียดในแนวดิ่ง สำหรับแรงกดใดๆ ($\in$)

$$\in = \frac{\Delta L}{L_0} \qquad (2.4)$$

เมื่อ ΔL = ระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใดๆ โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge

L_0 = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใดๆ (A)

$$A = \frac{A_0}{1 - \epsilon} \qquad (2.5)$$

เมื่อ A_0 = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

ϵ = ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้นๆ

คำนวณหาค่าความเค้นสำหรับแรงกดใดๆ (σ_c)

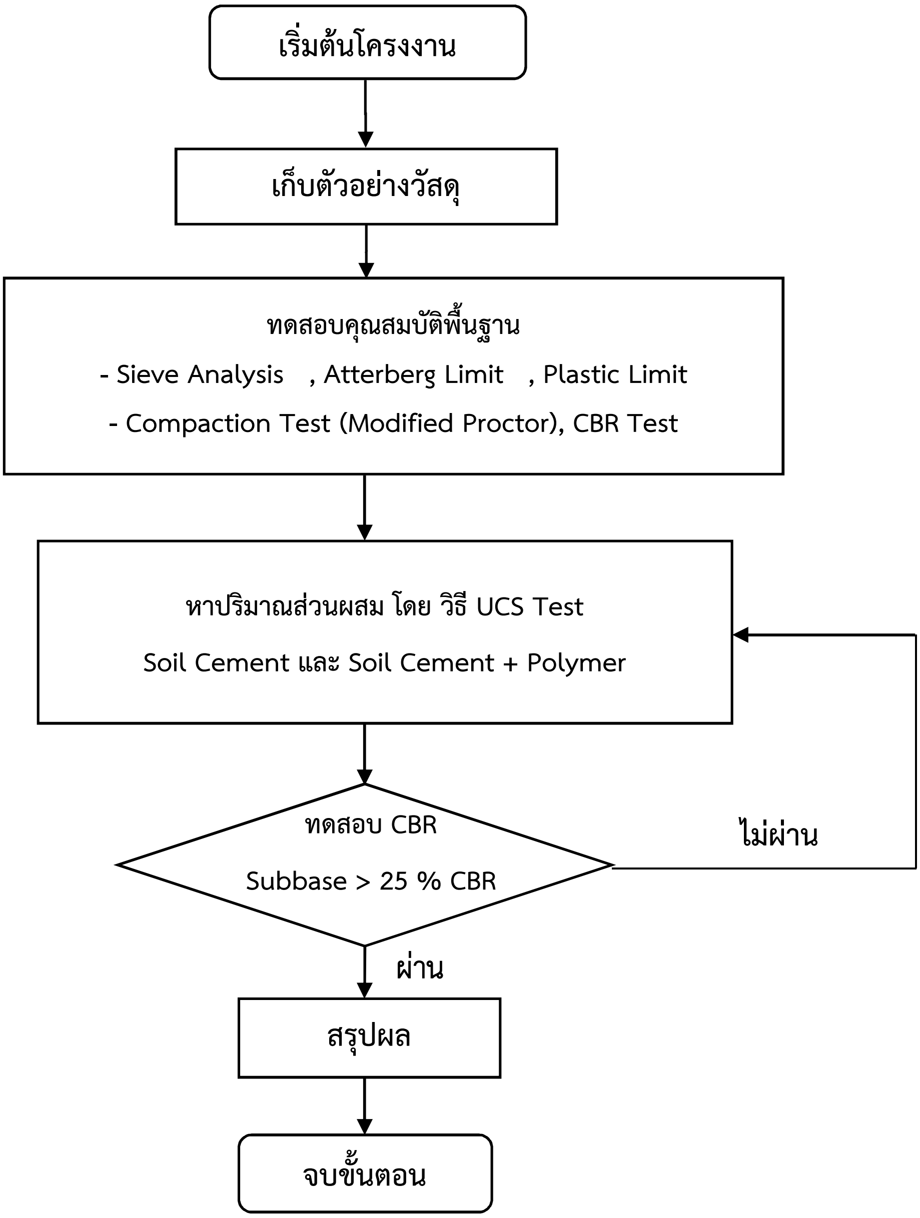
$$\sigma_c = \frac{P}{A} \qquad (2.6)$$

เมื่อ P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดนั้นๆ

บทที่ 3
วิธีการดำเนินการ

โครงงานนี้เป็นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม โดยทำการปรับปรุงผิวทางเดิมซึ่งเป็นวัสดุดินลูกรังนำกลับมาใช้เป็นชั้นรองพื้นทาง โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานดังรูปภาพที่ 3.1



รูป 3.1 ผังแสดงขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การเตรียมตัวอย่างและทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

นำตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมมาตรวจสอบคุณสมบัติเบื้องต้น โดยทำการเก็บตัวอย่างจากถนนคลองชลประทานบริเวณแยกทางหลวงชนบท หมายเลข นย.2011 ที่กม. 1+400 นำมาผึ่งและนำเขาตู้อบที่อุณหภูมิ 100 °C จากนั้นนำไปทดสอบหาคุณสมบัติเบื้องทางวิศวกรรมและทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับ มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ทล.-ม.205/2532 และมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase) ทล.-ม.206/2532

(ก.) นำตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมมาผึ่งที่อุณหภูมิห้อง

(ข.) ทำการอบตัวอย่าง 24 ชม. ก่อนนำไปทำการทดสอบ

รูปที่ 3.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

3.1.1 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis

ตามวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis (ทล.-ท. 204/2516 , มทช.(ท) 501.8 - 2545) ตามรูปที่ 3.3

(ก.) เตรียมตัวอย่างและอุปกรณ์ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 204/2516 , มทช.(ท) 501.8 - 2545

(ข.) นำตัวอย่างที่เตรียมไว้ใส่ลงในเครื่องเขย่าตะแกรง

รูปที่ 3.3 การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis

3.1.2 การทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน

ตามวิธีการทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน (ทล.-ท. 102/2515, มทช.(ท) 501.5-2545) ดังรูปที่ 3.4

(ก.) เตรียมอุปกรณ์ตามมาตรฐาน

(ข.) ตัวอย่างที่ทำการเคาะจนสัมผัสกัน

รูปที่ 3.4 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน

3.1.3 การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน

วิธีการทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (ทล.-ท. 103/2515,มทช.(ท) 501.6 - 2545) ดังรูปที่ 3.5

รูปที่ 3.5 การทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI)

3.1.4 การทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

ตามวิธีการทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (ทล.-ท. 108/2517, มทช.(ท) 501.2 -2545) ดังรูปที่ 3.6

(ก.) เตรียมอุปกรณ์ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 108/251, มทช.(ท) 501.2 -2545

(ข.) ทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

รูปที่ 3.6 วิธีการทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

3.1.5 การทดสอบเพื่อหาค่า CBR

ตามวิธีการทดสอบเพื่อหาค่า CBR วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ (ทล.-ท. 109/2517 , มทช.(ท) 501.3 - 2545) ดังรูปที่ 3.7

(ก.) ทำการแต่งผิวหนังจากการบดอัดตามมาตรฐาน ทล.-ท. 109/2517, มทช.(ท) 501.3 - 2545

(ข.) นำตัวอย่างแช่น้ำและติดตั้ง Dial gauge

รูปที่ 3.7 การทดสอบเพื่อหาค่า CBR วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ

รูปที่ 3.8 อุปกรณ์การทดสอบเพื่อหาค่า CBR ตามมาตรฐานทล.-ท. 109/251, มทช.(ท) 501.3 - 2545

3.2 การหาปริมาณส่วนผสมเพื่อปรับปรุงคุณภาพของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

ในการการออกแบบส่วนผสม จะใช้วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (ทล.-ท. 105/2515) โดยหาปริมาณส่วนผสมของตัวอย่างดังต่อไปนี้

3.2.1 Soil Cement

การหาปริมาณส่วนผสมของ Soil Cement ดำเนินการโดยนำวัสดุดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ ในปริมาณร้อยละ 1, 3, และ 5 ทำการบดอัดตามการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยเตรียมตัวอย่างดินซีเมนต์จำนวน 3 ก้อนตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากนั้น ห่อตัวอย่างในถุงพลาสติกและบ่มเป็นเวลา 7 วัน ก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัดนำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง และผึ่งให้แห้งที่อุณหภูมิห้อง ผลทดสอบที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณปูนซีเมนต์กับกำลังรับแรงอัดโดยที่จะใช้ร้อยละของปูนซีเมนต์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 689 kPA หรือ 7.02 ksc

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของ Soil Cement

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์	ดินลูกรังชั้นพื้นทางเดิม (กรัม)	ปูนซีเมนต์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)
1%	5,000	50	ได้จาก OMC.
3%	5,000	150	ได้จาก OMC.
5%	5,000	250	ได้จาก OMC.

(ก.) เตรียมอุปกรณ์ทดสอบตามมาตรฐาน ทล.-ท.105/2515

(ข.) การเตรียมอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง Soil Cement

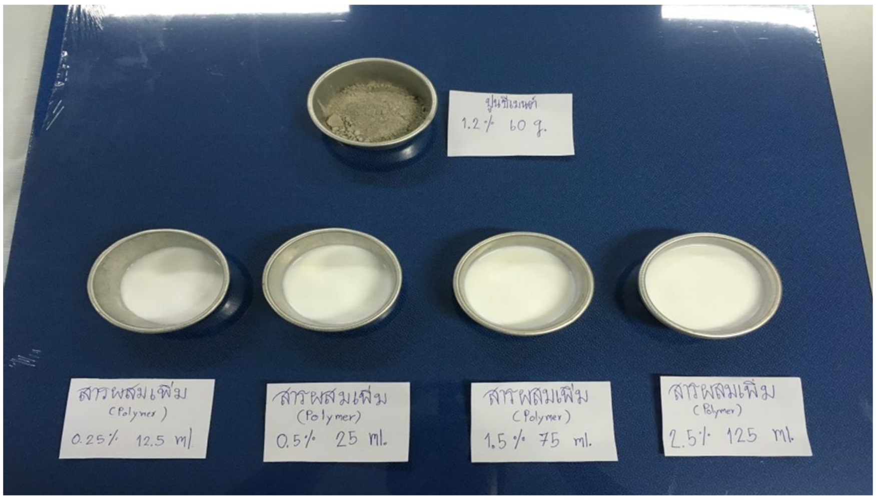
รูปที่ 3.9 การเตรียมอุปกรณ์การทดสอบ UCS. และส่วนผสมของตัวอย่าง Soil Cement

3.2.2 Soil Cement ผสมกับ Polymer

ในการหาปริมาณส่วนผสมของ Soil Cement ผสมกับ Polymer มีขั้นตอนเหมือนกับข้อที่ 3.2.1 โดยใช้ร้อยละของปูนซีเมนต์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดอยู่ที่ 689 kPA หรือ 7.02 kscและทำการเติมสาร Polymer ในปริมาณร้อยละ 0.25, 0.5, 1.5, และ 2.5 โดยจะนำค่าร้อยละของสาร Polymer ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดไปใช้

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของ Soil Cement ผสม Polymer

Polymer	**ดินลูกรังชั้นพื้นทางเดิม (กรัม)**	**ปูนซีเมนต์ (กรัม)**	**Polymer (ml.)**	**น้ำ (กรัม)**
0.25%	5,000	ได้จากการออกแบบ Soil Cement	12.50	ได้จาก OMC.
0.50%	5,000		25.00	
1.50%	5,000		75.00	
2.50%	5,000		125.00	



รูปที่ 3.10 การเตรียมอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง Soil Cement ผสมกับ Polymer

สาร Polymer ที่มีคุณสมบัติทางกายภาพและทางเคมี ดังนี้

- ลักษณะ : เป็นของเหลวสีขาวขุ่น
- จุดเดือด (Boiling Point) : 100°c
- ค่าความถ่วงจำเพาะ : 1.0 – 1.2
- ค่าความเป็นกรด – ด่าง (PH Value) : 9.0 – 11.50
- ค่าความหนืด : 900 – 1600 cps

รูปที่ 3.11 สาร Polymer ที่ใช้ในการทดสอบ

3.3 การทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

ในการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมนี้จะทำการทดสอบโดยใช้วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR (ทล.-ท. 109/2517 ,มทช.(ท) 501.3 - 2545) วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ และวิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ โดยจะทำการทดสอบแบบเปียกสลับแห้ง มีด้วยกันทั้งหมด 3 รูปแบบการทดลองดังนี้

รูปแบบที่ 1 แช่น้ำ (Soaked) 4 วัน แล้วทำการกดก้อนตัวอย่าง

รูปแบบที่ 2 แช่น้ำ (Soaked) 4 วัน นำออกตากแดดแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) 4 วัน แล้วทำการกดก้อนตัวอย่าง

รูปแบบที่ 3 แช่น้ำ (Soaked) 4 วัน นำออกตากแดดแบบไม่แช่น้ำ (Unsoaked) 4 วัน และนำไปแช่น้ำ (Soaked) 4 วัน แล้วทำการกดก้อนตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมประกอบด้วย

- ตัวอย่าง Soil aggregate (ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม)
- ตัวอย่าง Soil Cement
- ตัวอย่าง Soil Cement ผสมกับ Polymer

โดยปริมาณส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบครั้งนี้จะใช้ตามที่ได้ทำการหาปริมาณส่วนผสมที่เหมาะสมจากวิธีการทดสอบข้อ 3.2 โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบกับ มาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ทล.-ม.205/2532 โดยชั้นโครงสร้างรองพื้นทางนั้นจะต้องมีค่า ร้อยละของ CBR มากกว่าร้อยละ 25

รูปที่ 3.12 ตัวอย่างการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมรูปแบบที่ 1 แช่น้ำ (Soaked) 4 วัน

3.4 การคำนวณราคาค่าก่อสร้างงานทาง

ในการคำนวณราคาค่าก่อสร้างนั้น ใช้หลักเกณฑ์การคำนวณราคากลางงานก่อสร้างทาง สะพาน และท่อเหลี่ยม กรมบัญชีกลาง พฤศจิกายน 2559 โดยเปรียบเทียบจากวิธีการก่อสร้างโดยรื้อวัสดุเก่าทิ้งแล้วทำการก่อสร้างใหม่ทั้งหมด กับการนำวัสดุเก่ามาปรับปรุงคุณภาพโดยวิธี Pavement In-Place Recycling ตามปริมาณส่วนผสมของ Soil Cement และ Soil Cement ผสมกับ Polymer

3.2(5) งานปรับปรุงชั้นทางเดิมในที่ ขุดลึกเฉลี่ย 0.20 ม. (Pavement In Place Recycling)
(ชั้นพื้นทางหินคลุก/กรวดโม่)
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (งาน Pavement In Place Recycling : ขุดลึกเฉลี่ย 20 ซม................)
=...............บาท/ตร.ม.
หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ขุด (γd) =...............ตัน/ลบ.ม.
ปริมาณยางแอสฟัลต์(โดยน้ำหนัก)=...............% X γd X 0.20 (ถ้ามี) =...............ตัน/ตร.ม.
ค่ายาง AC (รวมค่าขนส่ง) (ถ้ามี) =...............บาท/ตัน
ค่ายาง AC =...............บาท/ตร.ม.
ปริมาณปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก)=...............% X γd X 0.20 =...............ตัน/ตร.ม.
ค่าปูนซีเมนต์ชนิด Bulk (รวมค่าขนส่ง) =...............บาท/ตัน
ค่าปูนซีเมนต์ =...............บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (งาน Stabilized Layer : ค่าบ่มวัสดุ หินคลุก...............) X 0.20 (ความหนา)
=...............บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน=...............+...............+...............+............... =...............บาท/ตร.ม.

รูปที่ 3.13 ตัวอย่างรายการคำนวณค่าก่อสร้างงาน Pavement In-Place Recycling ของกรมบัญชีกลาง

3.5 การสรุปผลโครงงาน

จากการดำเนินการทดสอบตามวิธีการต่างๆ ทำการเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างตัวอย่าง Soil aggregate (ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม) ,ตัวอย่าง Soil Cement และตัวอย่าง Soil Cement ผสมกับ Polymer นำมาวิเคราะห์และประมวลผลตามวัตถุประสงค์ที่ได้ตั้งไว้ และสรุปผลการวิจัยว่ามีความเหมาะสมหรือไม่อย่างไร และใช้เป็นแนวทางในการออกแบบถนนคันคลองชลประทานต่อไป

3.6 แผนการดำเนินโครงงาน

3.6.1 รวบรวมข้อมูลโครงงานระหว่างวันที่ 1 มิถุนายน ถึงวันที่ 15 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

3.6.2 นำเสนอโครงร่างวันที่ 16 กรกฎาคม พ.ศ. 2561

3.6.3 จัดทำรูปเล่มโครงงานบทที่ 1, 2 และ 3 ระหว่างวันที่ 20 กรกฎาคม ถึงวันที่ 31 ตุลาคม พ.ศ. 2561

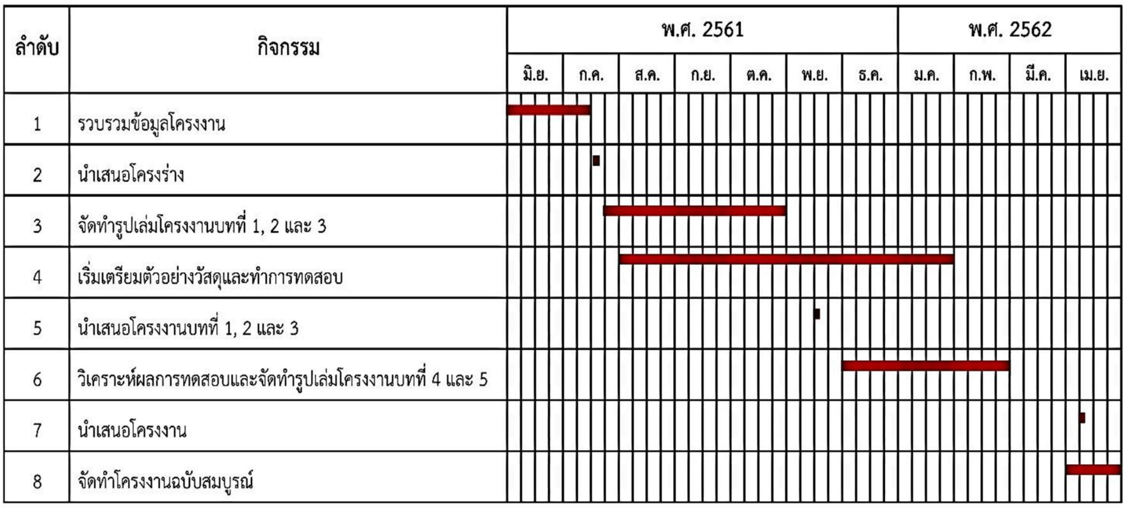
3.6.4 เริ่มเตรียมตัวอย่างวัสดุและทำการทดสอบระหว่างวันที่ 1 สิงหาคม พ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 31 มกราคม 2562

3.6.5 นำเสนอโครงงานบทที่ 1, 2 และ 3 วันที่ 14 พฤศจิกายน พ.ศ. 2561

3.6.6 วิเคราะห์ผลการทดสอบและจัดทำรูปเล่มโครงงานบทที่ 4 และ 5 ระหว่างวันที่ 1 ธันวาคม พ.ศ. 2561 ถึงวันที่ 28 กุมภาพันธ์ พ.ศ. 2562

3.6.7 นำเสนอโครงงานภายในเดือน เมษายน พ.ศ. 2562

3.6.8 จัดทำโครงงานฉบับสมบูรณ์ ระหว่างวันที่ 1 ถึงวันที่ 30 เมษายน พ.ศ. 2562



รูปที่ 3.14 แผนการดำเนินโครงงาน

บทที่ 4
ผลการศึกษา

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของการปรับปรุงคุณภาพดินให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

วัสดุชั้นผิวทางเดิมที่ได้นำมาใช้ในการศึกษา เป็นวัสดุที่ในสายทาง ถนนเลียบคลองชลประทาน แยกทางหลวงชนบท นย.2011 (กม.1+400) – แยกทางหลวงชนบท นย.4008 (กม.0+400) ระยะทาง 4.000 กม. คุณสมบัติเบื้องต้นที่ทดสอบประกอบด้วย การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) การทดสอบขีดจำกัดแอตเตอเบิร์ก การทดสอบ Compaction Test โดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน และการทดสอบ CBR Test

ผลการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยผ่านตะแกรง (Sieve Analysis) ตามมาตรฐานของทางหลวงและทางหลวงชนบท (ทล.-ท. 204/2516 , มทช.(ท) 501.8 - 2545) ได้ข้อมูลการกระจายตัว ดังแสดงในตารางที่ 4.2.1 พบว่าวัสดุชั้นรองพื้นทางเดิม เป็นชนิด ค.

ผลการทดสอบขีดจำกัดแอตเตอเบิร์ก ในการทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL) ของวัสดุชั้นรองพื้นทางเดิม ตามมาตรฐานของทางหลวง และทางหลวงชนบท ดิน (ทล.-ท. 102/2515, มทช.(ท) 501.5-2545) และการทดสอบหาค่า Plastic Index (PI) ตามมาตรฐานของทางหลวงและทางหลวงชนบท(ทล.-ท. 103/2515,มทช.(ท) 501.6 - 2545) ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.2.2 พบว่าวัสดุชั้นรองพื้นทางเดิมผ่านเกณฑ์ตามมาตรฐานที่กำหนด

ผลการทดสอบการบดอัดวัสดุชั้นรองพื้นทางเดิม (Compaction Test)โดยทำการบดอัดโดยวิธีสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานของทางหลวงและทางหลวงชนบท (ทล.-ท. 108/2517, มทช.(ท) 501.2 -2545) โดยได้ผลการทดสอบ ตามค่าดังนี้

Maximum Dry Density = 1..870 กรัม/ซม^3

Optimum Moisture Content = 10.10 %

ผลการทดสอบ CBR Test ตามมาตรฐานของทางหลวงและทางหลวงชนบท (ทล.-ท. 109/2517 , มทช.(ท) 501.3 - 2545) โดยได้ผลการทดสอบในตารางที่ 4.2 พบว่า วัสดุชั้นรองพื้นทางเดิม มีเปอร์เซ็นต์ CBR เท่ากับ 18.60 % ไม่ผ่านตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

4.2 ผลการเทียบเทียบคุณสมบัติเบื้องต้นทางวิศวกรรมของการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

จากการทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมเบื้องต้น ได้ผลสรุปดังตารางที่ 4.1 , 4.2 และ 4.3

ตารางที่ 4.1 ผลการทดสอบ Sieve Analysis

ขนาดและตะแกรงมาตรฐาน	น้ำหนักที่ผ่านตะแกรงเป็นร้อยละ						ผลการทดสอบ
	ชนิด ก.	ชนิด ข.	ชนิด ค.	ชนิด ง.	ชนิด จ.	% ผ่านตะแกรงเฉลี่ย	
2”	100	100	-	-	-	100.00	ชนิด ค.
1”	-	75-95	100	100	100	100.00	
3/8”	30-65	40-75	50-85	60-100	-	80.35	
เบอร์ 4	25-55	30-60	35-65	50-85	55-100	49.00	
เบอร์ 10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100	25.70	
เบอร์ 40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50	15.90	
เบอร์ 200	2-8	5-20	5-15	10-20	6-20	8.70	

ตารางที่ 4.2 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางวัสดุมวลรวม

การทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐานกำหนด	ผลทดสอบ	ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์คุณสมบัติ
Liquid Limit	≤ 35	35.95	ไม่ผ่าน
Plastic Index	≤ 11	9.56	ผ่าน
% CBR	≥ 25	18.60	ไม่ผ่าน

ตารางที่ 4.3 ตารางสรุปผลการเปรียบเทียบผลการทดสอบกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์

การทดสอบ	เกณฑ์มาตรฐานกำหนด	ผลทดสอบ	ผลการเปรียบเทียบเกณฑ์คุณสมบัติ
ผ่านตะแกรงเบอร์ 200	≤ 40	8.70	ผ่าน
Liquid Limit	≤ 40	35.95	ผ่าน
Plastic Index	≤ 20	8.39	ผ่าน

4.3 ผลการออกแบบส่วนผสมของการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

ผลการทดสอบการบดอัดด้วยวิธี Modified Compaction วัสดุทั้ง 3 ตัวอย่าง พบว่า Maximum Dry Density และ Optimum Moisture Content มีค่าดังผลในตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบการบดอัดตัวอย่างวัสดุและค่า OMC ที่เหมาะผสม

วัสดุตัวอย่าง	**MAXIMUN DRY DENSITY (g/cm^3)**	**OPTIMUM MOISTURE CONTENT (%)**
ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม	1.870	10.10
SOIL CEMENT CEMENT 1.20 %	1.925	9.80
SOIL CEMENT ผสม POLYMER CEMENT 1.20 % POLYMER 0.90 %	1.920	10.00

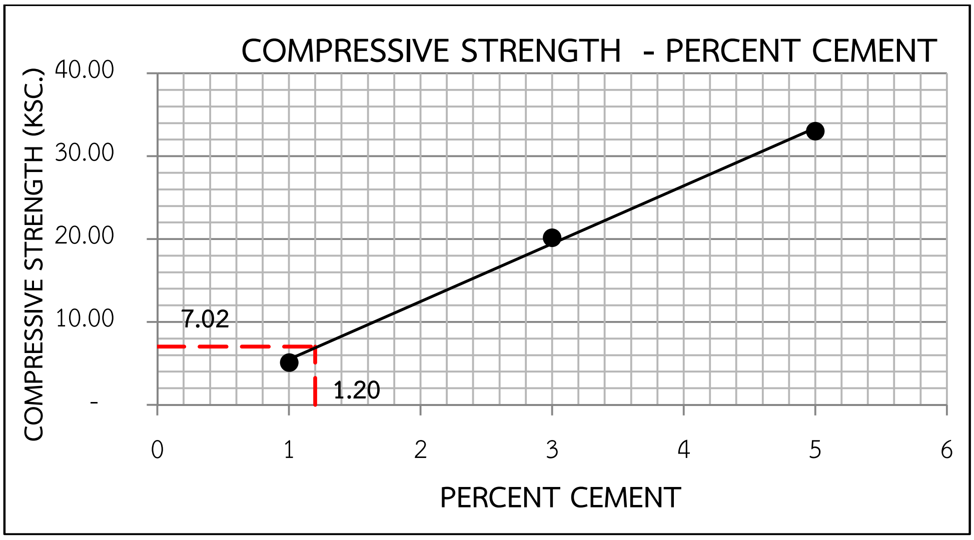
ผลการทดสอบรับแรงอัดอิสระของวัสดุชั้นรองพื้นทางเดิม (Unconfined Compressive Strength) ตามมาตรฐาน (ทล.-ท. 105/2515) ได้ผลการทดสอบ ตารางที่ 4.5 และ 4.6

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังอัดของวัสดุดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมผสมปูนซีเมนต์ 1 ,1.2 ,3 และ 5%

CEMENT (%)	**UCS. (ksc.) ที่ 7 วัน**			
	ตัวอย่างที่ 1	**ตัวอย่างที่ 2**	**ตัวอย่างที่ 3**	**ค่าเฉลี่ย**
1.00	5.00	5.23	5.10	5.11
1.20	**8.50**	**8.14**	**9.97**	**8.87**
3.00	18.76	20.99	20.73	20.16
5.00	33.60	32.66	32.88	33.05

จากผลการทดสอบนำมาพล๊อตกราฟระหว่าง % ปูนซีเมนต์และค่ากำลังรับแรงอัด ตามรูปภาพที่ 4.1 แล้ววิเคราะห์หาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังอัดที่ต้องการตามมาตรฐานชั้นรองพื้นทาง มีค่าไม่น้อยกว่า 689 kpa หรือ7.02 ksc.

เมื่อใช้ค่า Unconfined Compressive Strength ที่ 7.02 ksc. (689 kpa) จะได้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ผสมกับวัสดุชั้นรองพื้นทางเดิมที่ 1.20 %

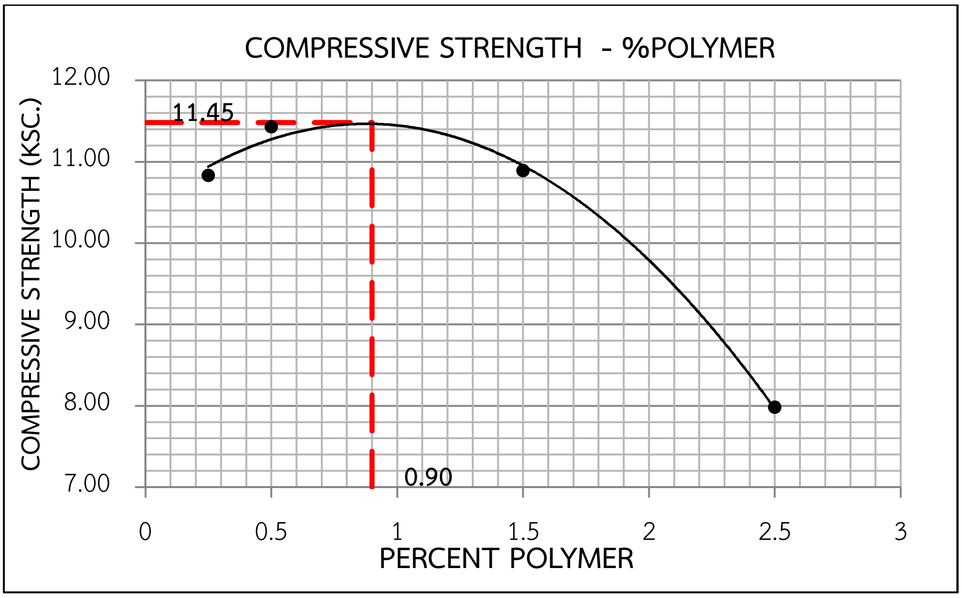


รูปที่ 4.1 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุชั้นรองพื้นทางผสมปูนซีเมนต์ที่อัตราส่วน 1%, 3%, 5%

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบ UCS. ตัวอย่าง Soil Cement ผสม Polymer 0.25 ,0.90 ,0.50 ,1.50 และ 2.50 %

POLYMER (%)	UCS. (KSC.) ที่ 7 วัน			
	ตัวอย่างที่ 1	**ตัวอย่างที่ 2**	**ตัวอย่างที่ 3**	**ค่าเฉลี่ย**
0.25	10.52	10.59	10.39	10.50
0.50	11.75	11.29	11.26	11.43
0.90	**11.48**	**11.92**	**11.70**	**11.70**
1.50	9.86	10.04	9.91	9.94
2.50	8.09	8.16	7.89	8.05

เมื่อนำค่ามาพล็อตกราฟหาอัตราส่วนสารผสมเพิ่ม (Polymer) ที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ 1.20 % จะได้อัตราส่วนของสารผสมเพิ่ม (Polymer) ที่ 0.9 % ซึ่งเป็นอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม โดยที่กำลังอัดของวัสดุ Soil Cement ผสม Polymer มีค่าสูงสุดเท่ากับ 11.70 ksc. ซึ่งมีกำลังอัดสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด



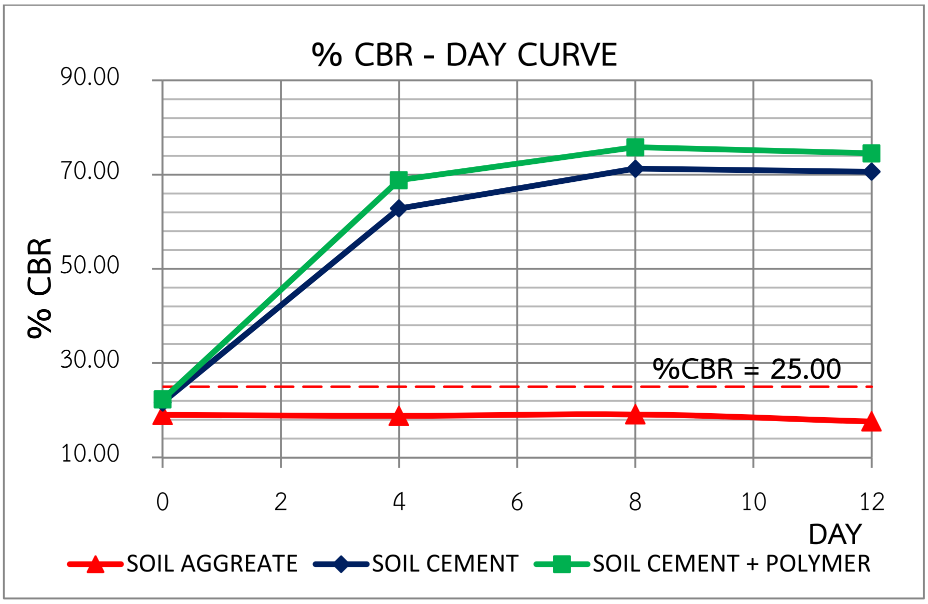
รูปที่ 4.2 กราฟแสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของวัสดุชั้นรองพื้นทางผสมปูนซีเมนต์ที่ 1.20 % และสารผสมเพิ่ม Polymer ที่อัตราส่วน 0.25%, 0.50%, 1.50% และ 2.50%

4.4 ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

ในการทดสอบความทนทานส่อสภาวะน้ำท่วมนั้นจะใช้การทดของ C.B.R. แบบเปียกสลับแห้ง โดยใช้มาตรฐานชั้นรองพื้นทางค่า % CBR ต้องมากกว่าร้อยละ 25 ถึงจะผ่านเกณฑ์คุณสมบัติ ผลการทดสอบมีค่าดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบเปียกสลับแห้ง โดยการทดสอบ CBR

ตัวอย่างวัสดุ	**ทดสอบ UNSOAKED** %CBR (0 DAY)	**รูปแบบการทดสอบที่ 1** %CBR (4 DAY)	**รูปแบบการทดสอบที่ 2** %CBR (8 DAY)	**รูปแบบการทดสอบที่ 3** %CBR (12 DAY)
ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม	19.00	18.80	19.10	17.60
SOIL CEMENT	21.65	62.80	71.25	70.60
SOIL CEMENT ผสม POLYMER	22.30	68.80	75.80	74.50
เกณฑ์คุณสมบัติ	ไม่ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน	ผ่าน



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม

4.5 ผลการคำนวณราคาต้นทุนต่อ 1 กิโลเมตร

ในการคำนวณราคาค่าก่อสร้างนั้นใช้วิธีการคำนวณของกรมบัญชีกลาง โดยทำการคำนวณจากวิธีการก่อสร้างทั้งหมด 3 วิธี และได้ผลราคาค่าก่อสร้างดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการคำนวณราคาค่าก่อสร้างต่อ 1 กิโลเมตร

วิธีการก่อสร้าง	**ราคาค่าก่อสร้างต่อ 1 กิโลเมตร (บาท)**	**เปรียบเทียบความแตกต่าง (%)**
รื้อวัสดุผิวทางเดิมและใช้ของใหม่ทดแทน	3,921,000	-
วิธี PAVEMENT IN - PLACE RECYCLING (SOIL CEMENT)	2,856,000	-27.16
วิธี PAVEMENT IN - PLACE RECYCLING (SOIL CEMENT ผสม POLYMER)	4,836,000	23.33

บทที่ 5
สรุปผลและข้อเสนอแนะ

การศึกษาการปรับปรุงคุณภาพชั้นรองพื้นทางให้ทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมนั้น ทำการศึกษาโดยนำตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมของถนนคลองชลประทานจังหวัดนครนายกมาเป็นตัวอย่างทดสอบ มีทั้งหมด 3 ตัวอย่าง คือ ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม Soil Cement และ Soil Cement ผสมสาร Polymer โดยทำการทำการตรวจสอบคุณสมบัติของดินเปรียบกับมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ แล้วทำการหาอัตราส่วนผสมของ Cement และสาร Polymer ที่เหมาะสมโดยการทดสอบ UCS. แล้วจึงนำอัตราส่วนที่เหมาะสมในแต่ละตัวอย่างไปทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม โดยการทดสอบ CBR แบบเปียกสลับแห้ง

5.1 สรุปผล

5.1.1 ในการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานมาตรฐานชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์ สามารถนำดินลูกรังชั้นพื้นทางเดิมไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธี Pavement In – Place Recycling ของวัสดุ Soil cement หรือ Soil Cement ผสม Polymer ได้

5.1.2 อัตราส่วนที่เหมาะสมของ Soil Cement ประกอบด้วย Cement 1.20% และน้ำ 9.80% มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 8.87 ksc.

5.1.3 อัตราส่วนที่เหมาะสมของ Soil Cement ผสมสาร Polymer ประกอบด้วย Cement เท่ากับ 1.20% สาร Polymer 0.90% และน้ำ 10.00% มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 11.70 ksc. มีค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นคิดเป็นร้อยละ 31.90 เมื่อเปรียบเทียบกับตัวอย่าง Soil Cement

5.1.4 จากการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม ตัวอย่าง Soil Cement มีค่าความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมเพิ่มขึ้น 2.34, 2.73 และ 3.01 เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างดินลูกรังผิวชั้นทางเดิม และตัวอย่าง Soil Cement ผสม Polymer มีค่าความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมเพิ่มขึ้น 2.66, 2.97 และ 3.23 เท่า เมื่อเทียบกับตัวอย่างดินลูกรังผิวชั้นทางเดิม ผลการทดสอบทั้ง 2 ตัวอย่างผ่านเกณฑ์มาตรฐานมาตรฐานชั้นรองพื้นทาง

5.1.5 การปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธี Pavement In – Place Recycling ของวัสดุ Soil cement ใช้งบประมาณน้อยที่สุด และเมื่อเปรียบเทียบกับการก่อสร้างโดยการรื้อวัสดุผิวทางเดิมแล้วใช้วัสดุใหม่ทดแทน ใช้งบประมาณในการก่อสร้างลดลง 27.16%

5.2 อภิปรายผลการทดสอบ

5.2.1 ในการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมนั้น จะเห็นได้ว่าแนวโน้มของ %CBR มีการลดลง ควรเพิ่มรูปแบบการทดลองจาก 3 รูปแบบ จะได้เห็นแนวโน้มของ %CBR ว่าจะลดลง หรือเริ่มคงที่ จะทำให้ผลการทดสอบชัดเจนยิ่งขึ้น

5.2.2 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของ Soil Cement ผสม Polymer มีปริมาณมากกว่า Soil Cement ในความเป็นจริงแล้ว Soil Cement ผสม Polymer ควรใช้น้ำในการผสมน้อยกว่า อาจเป็นเพราะในการเก็บตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมจากถนนคลองชลประทานต่างตำแหน่งกันทำให้ขนาดคละของดินต่างกัน จึงส่งผลต่อปริมาณน้ำที่เหมาะสม

5.3 ข้อเสนอแนะ

5.3.1 ในการออกแบบไม่ว่าจะเป็นชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางของถนน เพื่อที่จะให้เกิดประโยชน์สูงสุด ต้องพิจารณาจากคุณสมบัติของวัสดุเดิมก่อน หากสามารถนำวัสดุเดิมมาทำการปรับปรุงคุณภาพหมุนเวียนใช้ใหม่จะเป็นการประหยัดทรัพยากรธรรมชาติและงบประมาณให้กับประเทศเป็นอย่างมาก

5.3.2 โครงงานนี้สามารถนำไปศึกษาต่อยอดโดยการทดสอบและปรับปรุงคุณภาพของดินกับวัสดุชนิดอื่น โดยเพิ่มการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength, ITS) และค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus, RM) เป็นการศึกษาในด้านอายุการใช้งานของถนน เพื่อเพิ่มแนวทางในการตัดสินใจในการเลือกใช้วัสดุที่เหมาะสมและเกิดประโยชน์สูงสุด

บรรณานุกรม

กรมทางหลวงชนบท (2543). **มาตรฐานวิธีการทดลอง Standard test methods เล่มที่ 1.** พิมพ์ครั้งที่ 1. กระทรวงคมนาคม.

กิตติศักดิ์ โชติ, ประทีป ดวงเดือน (2556). **การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง ด้วยเถ้าก้นเตาและปูนขาว.** ว.วิศวกรรมสารมก 2556 ; 83 : 47-53.

ชูศักดิ์ คีรีรัตน์. **ปฐพีกลศาสตร์ (SOIL MECHANICS).** พิมพ์ครั้งที่ 1. กรุงเทพฯ : เลขที่ 1/129 ถนนรามอินทรา มีนบุรี; 2554.

นิโรจน์ เงินพรหม. **การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก.** ว.วิชาการและวิจัย มทร.พระนคร 2553; 4(1): 27-31.

ปิติ จันทรุไทย, สราวุธ จริตงาม, สันติ ขำตรี. **การปรับปรุงคุณภาพดินโดยผสมเถ้าไม้ยางพารา.** ว.วิชาวารสาร 2557; 33 : 69-73.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2552). **วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (ทล.-ท. 108/2517).** กรมทางหลวง ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2552). **วิธีการทดลองเพื่อหาค่า CBR วิธี ก. การทดลองแบบแช่น้ำ และวิธี ข. การทดลองแบบไม่แช่น้ำ (ทล.-ท. 109/2517).** กรมทางหลวง ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2552). **วิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.) ของดิน (ทล.-ท. 102/2515).** กรมทางหลวง ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2552). **วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (ทล.-ท. 103/2515).** กรมทางหลวง ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2552). **วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis (ทล.-ท. 204/2516).** กรมทางหลวง ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ.

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ (2552). **วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (ทล.-ท. 105/2515).** กรมทางหลวง ถนนศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ.

สำนักวิเคราะห์ วิจัยและพัฒนา. **คู่มือปฏิบัติงานควบคุมคุณภาพวัสดุ.** กรมทางหลวงชนบท เลขที่ 9 ถ.พหลโยธิน แขวงอนุสาวรีย์ เขตบางเขน กรุงเทพฯ.

อรรถพล มาลัย. **คุณสมบัติการซึมได้และ CBR. ของดินชั้นทางบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา.** วิทยานิพนธ์ วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา ภาควิชาวิศวกรรมโยธา. มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์; 2556

ภาคผนวก

ภาคผนวก ก.

มาตรฐานวิธีการทดลอง

1. วิธีการทดลองหาค่าLiquid Limit (LL) ของดิน

การทดลอง ทล.-ท. 102/2515 ,มทช.(ท) 501.5-2545 (เทียบเท่าAASHTO T 89)

1.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจากAHTM D 423-66, Test Method No. Calif. 204-13 อธิบายการหาค่า Liquid Limit ของดินโดยวิธีMechanical Method

1.2 วิธีทำ

1.2.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1.2.1.1 เครื่องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)

1.2.1.2 ตะแกรงเบอร์4 (4.75 มิลลิเมตร) และตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร)

1.2.1.3 เครื่องมือทดลอง Liquid Limit 1 ชุด

1.2.1.4 เครื่องมือปาดร่องดิน (Grooving Tool)

1.2.1.5 ถ้วยกระเบื้องเคลือบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางประมาณ 115 มิลลิเมตร (4.5 นิ้ว) หรือแผ่นกระจกสำหรับผสมดินขนาด 150 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร

1.2.1.6 Spatula ขนาดยาวประมาณ 75 มิลลิเมตร (3.0 นิ้ว) กว้าง 20 มิลลิเมตร (0.75 นิ้ว)

1.2.1.7 Pipette หรือเครื่องมือที่เหมาะสมสำหรับใส่น้ำ

1.2.1.8 กระป๋องอบดินขนาดเล็ก

1.2.1.9 เครื่องชั่งชนิดอ่านละเอียดถึง 0.01 กรัม

1.2.1.10 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

1.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

1.2.2.1 นำตัวอย่างตากแห้งหรืออบแห้งที่อุณหภูมิไม่เกิน 60 องศาเซลเซียส มาผสมกันให้ทั่วแล้วแบ่งด้วยเครื่องแบ่งตัวอย่างดิน หรือใช้วิธี Quartering โดยมากทำพร้อมกับ Sieve Analysis ใช้ตัวอย่างที่คาดว่าจะมีส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) มีมวลประมาณ 300 กรัม

1.2.2.2 ถ้ามีตัวอย่างจับเกาะกันก้อน ให้ใช้เครื่องบดหรือค้อนยางค่อย ๆ บด หรือ ทุบให้ก้อนดินแตกตัว แต่ต้องไม่ให้ส่วนที่เป็นเม็ดแข็งแตก

1.2.2.3 นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ซ้อนข้างบนอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันก้อนโตค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า5 นาที

1.2.2.4 นำดินที่ค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ทิ้งไป เทดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425มิลลิเมตร) ใส่ขวดหรือภาชนะใดเขียนป้ายบอกแหล่งและหมายเลขทดลองของวัสดุกำกับด้วยทุกครั้ง

1.2.3 การทดลอง

1.2.3.1 ให้ตรวจสอบเครื่องมือทดลอง Liquid Limit ดังนี้

(1) เครื่องมือทดลองต้องอยู่ในสภาวะดีและมีขนาดถูกต้อง

(2) สลักยึดถ้วยกระทะต้องไม่สึกหรอจนถ้วยกระทะเอียง

(3) สกรูยึดถ้วยกระทะจะต้องแน่น

(4) แนวปาดดินในถ้วยกระทะจะต้องไม่สึกเป็นร่อง

(5) ให้ตรวจสอบเครื่องมือปาดร่องดินบ่อย ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างของเครื่องมือนี้ถูกต้องตามมาตรฐาน

(6) ให้ตรวจสอบความสูงของถ้วยกระทะที่จะยกขึ้น โดยใช้ด้ามของเครื่องมือปาดร่องดิน ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 มิลลิเมตร วัดระยะตกของถ้วยกรทะให้ได้ 10 มิลลิเมตร ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับโดยคลายสกรูยึดถ้วยกระทะให้หลวมเสียก่อนปล่อยให้ถ้วยกระทะวางลงบนที่วัดแล้วจึงขันสกรูให้แน่นดังเดิม หมุนที่หมุนถ้วยกระทะเร็ว ๆ หลาย ๆ ครั้ง ถ้าได้ยินสียง“แก๊ก” เบา ๆ แสดงว่าการตั้งถูกต้องแล้ว แต่ถ้าถ้วยกระทะยังคงสูงขึ้นไปอีกหรือไม่ได้ยินเสียง“แก๊ก” เลยจะต้องปรับเครื่องใหม่

1.2.3.2 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาเทลงบนแผ่นกระจก ผสมกันให้ทั่วแล้วแต่งเป็นรูปกรวย ใช้ Spatula กดยอดทรงกรวย แล้วหมุน Spatula จนครบรอบ เพื่อทำให้กองวัสดุตัวอย่างแบนราบลง ใช้Spatula แบ่งตัวอย่างเป็น 4 ส่วน ด้วยวิธี Quartering นำส่วนตรงกันข้ามรวมกันเพื่อทดลองส่วนที่เหลือเก็บไว้ทดลองเพิ่มเติม

1.2.3.3 นำตัวอย่างที่แบ่งมานี้มาผสมกับน้ำในถ้วยกระเบื้องเคลือบ หรือบนแผ่นกระจกเติมน้ำลงไปประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ใช้ Spatula ผสมไปมา แล้วบี้จนกระทั้งดินและน้ำผสมทั่วกัน แล้วเพิ่มน้ำอีกครั้งละประมาณ 1-3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่ว ใช้เวลาผสมให้เข้ากันทั้งหมด 5-10 นาที

1.2.3.4 เมื่อผสมน้ำแล้วคลุกจนทั่วแล้ว กะให้เคาะได้ประใน 40 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ใช้แผ่นกระจกปิดข้างบน ตั้งทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 50 นาที และ ไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนที่เป็นดินเหนียว ดูดซึมน้ำจนทั่ว

1.2.3.5 นำตัวอย่างใส่ลงตรงกลางถ้วยกระทะ ใช้ Spatula กดและปาดดิน โดยพยามปาดให้น้อยครั้งที่สุดและป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ข้างใน ให้ดินตรงกลางถ้วยกระทะหนา 10 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่เหลือเก็บไว้ในถ้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

1.2.3.6 จับยึดถ้วยกระทะให้แน่นใช้เครื่องมือปาดร่องดินปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลางให้เป็นร่องที่สะอาดและเรียบร้อยในกรณีที่ตัวอย่างค่อนข้างแข็ง หรือ มี Plasticity Index (PI) ต่ำ การกดเครื่องมือปาดร่องลงไปอาจจะทำให้ตัวอย่างทางด้านปลายฉีกหลุดหรือดินเคลื่อนออกจากกัน ดังนั้นให้ค่อย ๆ ปาดจากหน้าไปหลังและจากหลังไปหน้า กลับไปกลับมาหลายๆ ครั้ง แต่ต้องไม่เกิน 6 ครั้ง แล้วค่อย ๆ ปาดเป็นร่องลึกลงไปเรื่อย ๆ จนครั้งสุดท้ายแตะก้นถ้วยพอดีและได้ร่องดินที่สะอาดเรียบร้อย

1.2.3.7 หมุนเคาะถ้วยกระทะด้วยอัตรา 2 ครั้งต่อวินาที จนกระทั้งดินเคลื่อนที่มาสัมผัสกันเป็นระยะยาว 12.7 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) ระยะเวลาที่ใช้ทดลองนับตั้งแต่ใส่ตัวอย่างลงในถ้วยกระทะจนกระทั่งเคาะเสร็จต้องไม่เกิน 3 นาที

1.2.3.8 ถ้าไม่แน่ใจว่าการทดลองในข้อ 1.2.3.7 ถูกต้อง ให้ทำการตรวจสอบโดยรีบนำตัวอย่างมาผสมใหม่โดยเร็ว แล้วนำกับไปทดสอบใหม่ ถ้าการเคาะในครั้งนี้นับจำนวนครั้งได้เท่าเดิมหรือต่างกัน 1 ครั้ง ถือว่าการทดลองถูกต้อง แต่ถ้าผิดกันมากกว่านั้น จะต้องนำเอาตัวอย่างมาผสมกันใหม่เพื่อให้น้ำผสมกับตัวอย่างจนทั่ว แล้วนำมาทดลองอีกครั้ง การตรวจสอบนี้จะมีความสำคัญมากในช่วงที่ใส่น้ำลงไปมาก ๆ และตัวอย่างมี PI สูงเพราะตัวอย่างดูดซึมน้ำยังไม่เต็มที่ขณะทำการทดลองและยังดูดซึมน้ำตลอดเวลา จึงทำให้ค่าทดลองมีค่าแตกต่างกัน

1.2.3.9 ทันทีที่เคาะจนตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกัน 12.7 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) ให้ใช้ช้อนตักตัวอย่างตรงที่ตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันตลอดแนวความกว้างของตัวอย่างที่ตั้งฉากกับร่องตัวอย่างเอาตัวอย่างใส่กระป๋องปิดฝาให้แน่น แล้วนำไปชั่งหามวล จดจำนวนครั้งที่เคาะไว้ด้วย

1.2.3.10 รวมตัวอย่างจากถ้วยกระทะมาใส่ในถ้วยกระเบื้องเคลือบตามเดิม (หรือบนแผ่นกระจก) เติมน้ำลงไปแล้วผสมให้เข้ากัน แล้วดำเนินการทดลองตามข้อ 1.2.3.5 ถึง 1.2.3.9

1.2.3.11 ทำการทดลอง 4 จุด แต่ละจุดให้การเคาะต่างกัน 5-7 ครั้ง และจุดต่าง ๆ ควรอยู่ระหว่างช่วงต่อไปนี้

จุดที่ 1 ช่วงการเคาะ 35-40 ครั้ง
จุดที่ 2 ช่วงการเคาะ 25-35 ครั้ง
จุดที่ 3 ช่วงการเคาะ 20-30 ครั้ง
จุดที่ 4 ช่วงการเคาะ 15-25 ครั้ง
การทดลองที่เคาะนอกช่วง 15-40 ใช้ไม่ได้

1.2.3.12 ถ้าหากตัวอย่างเปียกเพราะเติมน้ำมากเกินไป แล้วต้องการให้ตัวอย่างแห้งขึ้นให้เกลี่ยตัวอย่างบางๆ บนแผ่นกระจกหรือในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผึ่งลมไว้ชั่วครู่ แล้วทำการคลุกผสมกันใหม่ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง จนกว่าตัวอย่างจะแห้งตามที่ต้องการ แต่อย่าผึ่งตัวอย่างไว้จนผิวหน้าแข็งเป็นคราบขึ้นที่ผิวหน้า ห้ามใช้วิธีเอาตัวอย่างใหม่ผสมเพิ่มลงไปเพื่อให้ตัวอย่างแข็งขึ้น

1.2.3.13 ตัวอย่างที่ใส่กระป๋อง หลังจากหามวลแล้ว (ให้ชั่งละเอียดถึง 0.01 กรัม) นำเข้าเตาอบที่อุณหภูมิ 105-115 องศาเซลเซียส อบจนแห้งและมีน้ำหนักคงที่แล้วนำออกจากเตาอบทิ้งไว้จนเย็นแล้วชั่งหามวลอบแห้ง คำนวณหาปริมาณน้ำในดิน (Water Content) ของตัวอย่างแต่ละชุด

2. วิธีการหาค่าPlastic Limit (PL) และPlasticity Index (PI) ของดิน

การทดลอง ทล.-ท. 103/2515 ,มทช.(ท) 501.6-2545 (เทียบเท่าAASHTO T 90)

2.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 90 อธิบายถึงการหาค่าปริมาณน้ำต่ำสุดในดินเมื่อดินนั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic โดยการนำดินมาคลึงเป็นเส้นให้แตกตัวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว)

2.2 วิธีทำ

2.2.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

2.2.1.1 ใช้เครื่องมือชุดเดียวกับที่ทดลองหาLiquid Limit ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515

2.2.1.2 แผ่นกระจกขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตร

2.2.1.3 การเตรียมตัวอย่างดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่างของวิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit ของดินตามการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515

2.2.2 การทดลอง

2.2.2.1 นำตัวอย่างประมาณ 8 กรัม มาคลุกขยี้ขยำให้เข้ากันจนทั่ว แล้วทำเป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape)

2.2.2.2 ใช้นิ้วมือคลึงตัวอย่างออกเป็นเส้น โดยใช้น้ำหนักกดลงแต่เพียงพอดี ในอัตราการคลึง 80 ถึง 90 เที่ยวต่อนาที (คลึงไปและกลับนับเป็น 1 เที่ยว) ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างโตสม่ำเสมอกันตลอด เส้นตัวอย่างจะค่อย ๆ ยาวออกและเส้นผ่านศูนย์กลางจะค่อย ๆ ลดลง

2.2.2.3 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงจนเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างแตกพอดี ให้ดำเนินการตามข้อที่ 2.2.2.11

2.2.2.4 ถ้าเส้นตัวอย่างยังไม่แตก เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงถึง 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว) ให้หักเส้นตัวอย่างออกเป็นหกหรือแปดชิ้น ใช้นิ้วขยี้และขยำทั้งสองมือจนเข้ากันดีแต่งเป็นรูปยาวรีแล้วคลึงใหม่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.2.2

2.2.2.5 ถ้าดำเนินการตามข้อ 2.2.2.4 แล้วเส้นตัวอย่างยังคงไม่แตก ให้ดำเนินการตาม วิธี 2.2.3.4 ซ้ำใหม่ จนกระทั่งเส้นตัวอย่างแตก ไม่สามารถคลึงต่อไปได้

2.2.2.6 ถ้าการแตกของเส้นตัวอย่างตามข้อ 2.2.2.5 เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างนั้นเคยคลึงได้ขนาด 3.2 มิลลิเมตรมาก่อนแล้วให้ดำเนินการตามข้อ 2.2.2.11 ได้

2.2.2.7 การแตกของเส้นตัวอย่าง จะแสดงลักษณะผิดแผกกันไปสุดแล้วแต่ชนิดของดินดินบางชนิดอาจะแตกออกเป็นก้อนเล็กๆ มากมาย บางชนิดแตกออกเป็นลักษณะทรงกระบอก โดยเริ่มต้นแตกปริออกจากปลายทั้งสองข้างก่อน แล้วจึงแตกติดต่อไปตรงกลาง จนในที่สุดเส้นตัวอย่างจะแตกออกเป็นชิ้นบางๆ เล็กๆ หรืออาจจะแตกในลักษณะอื่นก็ได้

2.2.2.8 การปฏิบัติตามข้อ 2.2.3.4 สำหรับดินที่เหนียวมากในการคลึงให้เป็นเส้นแต่ละครั้ง การคลึงครั้งหลังๆ จำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักมากขึ้น ตัวอย่างดินชนิดนี้เมื่อแตกออกจะแตกเป็นปล้อง ๆมีขนาดยาว 0.6 ถึง 10.0 มิลลิเมตร (0.25-0.375 นิ้ว)

2.2.2.9 ในการคลึงแต่ละครั้งตามข้อ 2.2.3.4 ห้ามเปลี่ยนอัตราเร็ว หรือเปลี่ยนน้ำหนักการคลึง หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่าง เพื่อต้องการให้เส้นตัวอย่างแตกที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร

2.2.2.10 สำหรับตัวอย่างที่มี Plasticity น้อยๆ ในครั้งแรกควรทำดินตัวอย่างให้มีรูปร่างยาวรีและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร เล็กน้อย

2.2.2.11 รวบรวมตัวอย่างที่แตกทั้งหมดใส่ลงในกระป๋องปิดฝารีบนำไปชั่ง แล้วบันทึกมวลไว้และเอาไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส นำไปชั่ง บันทึกมวลดินแห้ง หามวลที่หายไป และถือว่าเป็นมวลของน้ำ

2.2.2.12 ให้ทำการทดลองตัวอย่างละอย่างน้อย 2 ครั้ง แต่ผลต่างของค่า Plastic Limit (PL) จะต้องไม่เกิน 2%

3. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ (Sieve Analysis)

การทดลอง ทล.-ท. 204/2516 ,มทช.(ท) 501.8-2545 (เทียบเท่า AASHO T 27-70)

3.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 27-70 และ T 37-70 เพื่อหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ถึงขนาดเล็ก มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง

3.2 วิธีทำ

3.2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

3.2.1.1 ตะแกรงช่องผ่าน ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง

3.2.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียด 0.2% ของตัวอย่างทั้งหมด

3.2.1.3 แปรงลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน สำหรับทำความสะอาดตะแกรง

3.2.1.4 เตาอบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส

3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธีแบ่งสี่ หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้ว

3.2.3 การทดลอง

3.2.3.1 ถ้ามีส่วนละเอียดจับก่อนใหญ่หรือมีส่วนละเอียดจับกันเองเป็นก้อน ต้องทำให้ส่วนละเอียดหลุดออกจากก้อนใหญ่หรือส่วนละเอียดที่จับกันเป็นก้อนแตกให้หมด ตากหรืออบตัวอย่างให้ผิวแห้ง (Surface Dry) ที่อุณหภูมิ 110±5 องศาเซลเซียส

3.2.3.2 นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่างๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวดิ่งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาที ไม่เกิน 1% ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์4) ต้องไม่ซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์4) ต้องมีตัวอย่างค้างตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1,000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัม สำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) ถ้าตัวอย่างค้างตะแกรงเกินกว่าที่กำหนดให้แบ่งตัวอย่างทดลองสองครั้ง หรือเพิ่มตะแกรงขนาดใหญ่กว่าตะแกรงที่ค้างเกินเข้าไปอีกขนาดหนึ่ง นำตัวอย่างที่ค้างตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

4. วิธีการทดลองCompaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

การทดลอง ทล.-ท. 108/2517 ,มทช.(ท) 501.2-2545 (เทียบเท่า AASHTO T 180)

4.1 ขอบข่าย

การทดลอง Compaction วิธีเป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดทับ เมื่อทำการบดทับแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร(18 นิ้ว)

วิธี ก. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง152.4 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี“ก”

4.2 วิธีทำ

4.2.1 เครื่องมือ

เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

4.2.1.1 แบบ (Mold) ทำด้วยโลหะแข็งและเหนียว ลักษณะทรงกระบอกกลวงมี 2 ขนาด คือ

(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) สูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) และจะมีปลอก (Collar) ขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบ

(2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 4.2.1.1 รองด้านล่าง เพื่อให้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร หรืออาจใช้แบบขนาดสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) โดยไม่ต้องใช้แทงโลหะรองแต่ต้องใช้ฐานทึบ หรือแบบขนาดสูงอื่นใด ซึ่งถ้าใช้แท่งโลหะรองแล้วได้ความสูงของตัวอย่างในแบบเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

4.2.1.2 แท่งโลหะรอง เป็นโลหะรูปทรงกระบอก เพื่อใช้แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 150.8 มิลลิเมตร (5.9375 นิ้ว) แล้วสูงขนาดต่าง ๆ ซึ่งเมื่อใช้ตามแบบข้อ 4.2.1.1 (2) แล้วจะเหลือเป็นตัวอย่างสูงเท่ากับ 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว)

4.2.1.3 ค้อน (Hammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้เป็นรูปทรงกระบอกมีเส้นผ่านศูนย์กลาง50.8 มิลลิเมตร(2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้ามถือ 4.537 กิโลกรัม (10 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวอย่างบังคับให้มีระยะตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีรูระบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

4.2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลังเมื่อการทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดันและโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่ใช้ให้ใช้สิ่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

4.2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

4.2.1.6 ตาชั่งScale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

4.2.1.7 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110±5 องศาเซลเซียส สำหรับอบดินตัวอย่าง

4.2.1.8 เหล็กปาด (Straight Edge) เป็นเหล็กคล้ายไม้บรรทัด หนา และแข็งเพียงพอในการตัดแต่งตัวอย่างที่ส่วนบนของแบบ มีความยาวไม่น้อยกว่า 300 มิลลิเมตร แต่ไม่ยาวเกินไปจนแกะกะและหนาประมาณ 3.0 มิลลิเมตร

4.2.1.9 ตะแกรงร่อนดินเส้นผ่านศูนย์กลางขนาดประมาณ 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) สูงประมาณ 51 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีขนาดดังนี้

(1) ขนาด19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

(2) ขนาด4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

4.2.1.10 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่างๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาดช้อน พลั่ว เกรียง ค้อนยาง และถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanic Mixer ก็ได้

4.2.1.11 กระป๋องอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำ

4.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ได้แก่ ดินหรือหิน คลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

4.2.2.1 ถ้าขนาดตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดใหญ่กว่า19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ให้เตรียมตัวอย่างดังต่อไปนี้

(1) นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง เมื่อแห้งพอเหมาะแล้ว (มีน้ำประมาณ 2-3 %) นำมาร่อนผ่านตะแกรงเป็น 3 ขนาด คือ

- ขนาดใหญ่กว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)
- ขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด4.75 มิลลิเมตร (เบอร์4)
- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์4)

(2) ทำการชั่งมวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 4.2.2.1 (1) ก็จะทราบมวลของแต่ละตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดเท่าใด

(3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ทิ้งไป

(4) แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 4.2.2.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 (เบอร์4) ด้วยมวลที่เท่ากับตัวอย่าง

(5) คลุกตัวอย่างที่ได้จากข้อ 4.2.2.1 (4) ให้เข้ากัน

4.2.2.2 ถ้าขนาดของตัวอย่างก้อนที่ใหญ่ที่สุด มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร(3/4 นิ้ว) ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีตากแห้ง (มีน้ำประมาณ 2-3%) และทำ Quartering หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่างแล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

4.2.2.3 ถ้าต้องการทดลองตามวิธี ค. หรือ ง. ดังตัวอย่างในขอบข่าย ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีการตากแห้ง แล้วใช้ค้อนทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด4.75 มิลลิเมตร(เบอร์4) แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

4.2.2.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 4.2.2.1 หรือ 4.2.2.2 หรือ 4.2.2.3 แล้วแต่กรณีให้ได้มวลรวมประมาณ ดังนี้

(1) ถ้าใช้แบบขนาดเล็กตามข้อ 4.2.1.1 (1) ให้ใช้มวล 3,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

(2) ถ้าใช้แบบขนาดใหญ่ตามข้อ 4.2.1.1 (2) ให้ใช้มวล 6,000 กรัม สำหรับการทดลอง 1 ครั้ง

4.2.2.5 ปริมาณตัวอย่างตามข้อ 4.2.2.4 ให้เตรียมตัวอย่างได้ไม่น้อยกว่า 4 ครั้ง

4.2.3 การทดลองการทดลอง Compaction Test จะใช้แบบ (Mold) ขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวในขอบข่าย และให้ดำเนินการทดลอง ดังนี้

4.2.3.1 นำตัวอย่างที่เตรียมไว้มาคลุกเคล้าให้เข้ากันดี

4.2.3.2 เติมน้ำในปริมาณหนึ่งโดยปกติจะเริ่มที่ 4% ต่ำกว่าน้ำที่ให้ความแน่นสูง (Optimum Moisture Content)

4.2.3.3 คลุกเคล้าตัวอย่างที่เติมน้ำแล้ว หรือนำเข้าเครื่องผสมจนเข้ากันดี

4.2.3.4 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบซึ่งมีปลอกสวมเรียบร้อย โดยประมาณให้ดินแต่ละชั้นเมื่อบดทับแล้วมีความสูงประมาณ 1 ใน 5 ของ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว)

4.2.3.5 ทำการบดทับด้วยค้อน ดังนี้

- ตามวิธี ก และ ค จำนวน 25 ครั้ง
- ตามวิธี ข และ ง จำนวน 56 ครั้ง

4.2.3.6 ดำเนินการบดทับจนได้ตัวอย่างที่ทำการบดทับแล้วเป็นชั้น จำนวน 5 ชั้น มีความสูงประมาณ 127 มิลลิเมตร (5 นิ้ว) (สูงกว่าแบบประมาณ 10 มิลลิเมตร)

4.2.3.7 ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดแต่งหน้าให้เรียบเท่าระดับของขอบตอนบนของแบบ กรณีมีหลุมบนหน้า ให้เติมดินตัวอย่างแล้วใช้ค้อนทุบให้แน่นพอควร นำไปชั่งจะได้มวลของดินตัวอย่างและมวลของแบบ หักมวลของแบบออกจะได้มวลของดินตัวอย่าง

4.2.3.8 ในขณะเดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ ให้นำดินใส่กระป๋องอบดินเพื่อนำไปทดลองหาปริมาณน้ำในดินด้วย มวลของดินที่นำไปหาปริมาณน้ำให้ใช้ดังนี้

- ขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 300 กรัม
- ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มิลลิเมตร ใช้ประมาณ 100 กรัม

4.2.3.9 คำนวณหาค่าความแน่นเปียก ρ_t (Wet Density) และความแน่นแห้งρ_d (Dry Density) เมื่อทราบปริมาณน้ำในดิน w (Moisture content)

4.2.3.10 ดำเนินการตามข้อ 4.2.3.1 ถึงข้อ 4.2.3.9 โดยเพิ่มน้ำขึ้น 2% จนกว่าจะได้ความหนาแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง หรืออาจลดน้ำที่ผสม ในกรณีที่เมื่อเพิ่มน้ำแล้วได้ความแน่นลดลงเพื่อให้เขียน Curve ได้

4.2.3.11 เขียนCurve ระหว่างความหนาแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละw ก็ทราบความแน่นแห้งสูงสุด Max ρ_d (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

5. การทดลองเพื่อหาค่า CBR

การทดลอง ทล.-ท. 109/2517 ,มทช.(ท) 501.3-2545 (เทียบเท่าAASHTO T 193)

5.2 วิธีทำ

5.2.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

5.2.1.1 แบบ (Mold) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 6 นิ้ว และปลอก (collar)

5.2.1.2 ค้อน (Hammer) มี 2 ขนาด ดังนี้

(1) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 18 นิ้ว น้ำหนัก 10 ปอนด์ ใช้สำหรับการหาค่า C.B.R. ที่ความแน่นแบบสูงกว่ามาตรฐาน

(2) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 2 นิ้ว มีตัวบังคับให้ระยะตก 12 นิ้ว น้ำหนัก 5.5 ปอนด์ ใช้สำหรับการหาค่า C.B.R. ที่ความแน่นแบบมาตรฐาน

5.2.1.3 เหล็กถ่วงน้ำหนัก (Surcharge Weight)

5.2.1.4 แผ่นวัดการขยายตัว (Swell Plate)

5.2.1.5 สามขา (Tripod)

5.2.1.6 Dial gauge

5.2.1.7 เครื่องอ่านน้ำหนัก (Proving Ring)

5.2.1.8 เครื่องกด (Loading Machine)

5.2.2 การทดลอง

5.2.2.1 นำตัวอย่างดินประมาณ 6 กก. ไปผึ่งให้แห้ง หรืออบให้แห้งที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส แล้วใช้ค้อนยางทุบดินที่เกาะกันเป็นก้อนจนแยกออกจากกัน ดินที่เหมาะกับการทดสอบ CBR คือดินที่ร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว กรณีที่เม็ดดินค้างตะแกรง 3/4นิ้ว ให้คัดเม็ดดินที่ค้างนั้นทิ้ง แล้วชดเชยด้วยดินที่ผ่านตะแกรงขนาด 3/4 นิ้ว แต่ค้างบนตะแกงเบอร์ 4 ด้วยน้ำหนักที่เท่ากัน

5.2.2.2 นำตัวอย่างดินที่เตรียมไว้จากข้อ 5.2.2.1 มาคุกเคล้าจนเข้ากันดี จากนั้นให้เพิ่มน้ำที่ดินมีความหนาแน่นแห้งสูงสุด OMC คลุกเคล้าตัวอย่างให้เข้ากันดี

5.2.2.3 แบ่งตัวอย่างใส่ลงในแบบ กระทุ้งดินอัดแน่นในแบบ ตามวิธีการทดลองหาค่าความแน่นที่ปริมาณความชื้นที่ความแน่นแห้งสูงสุด (ตามวิธีทดลอง Compaction)

5.2.2.4 หลังจากบดอัดครบตามจำนวนที่กำหนดในมาตรฐานแล้ว ถอดปลอกออก ใช้เหล็กปาดดินส่วนที่สูงเกินขอบ พร้อมกับซ่อมแต่งผิวบนของดินให้เรียบร้อยเสมอกับปากแบบ

5.2.2.5 นำแบบและดินตัวอย่างใบชั่งน้ำหนัก เพื่อนำไปคำนวณหาความแน่นชื้น

5.2.2.6 วางแผ่นเหล็กถ่วงน้ำหนักบนดินตัวอย่าง ใช่แผ่นวัดการขยายตัว แล้วนำแบบลงแช่ในน้ำให้ท่วมตัวอย่างให้มิด วางก้านสามขา ลงบนปลอกของแบบ จัดให้ก้านของ Dial Gauge อยู่กึ่งกลางบนก้านของแผ่นวัดการขยายตัว จด Initial Reading ที่อ่านได้จาก Dial Gauge จากนั้นแช่น้ำทิ้งไว้ 96 ชั่วโมง (4 วัน) บันทึกวันและเวลาอ่านค่า บน Dial Gauge ทุกวัน เพื่อนำค่าไปคำนวณหาเปอร์เซ็นต์การขยายตัว (Swell)

5.2.2.7 เมื่อครบ 4 วัน ให้นำตัวอย่างขึ้นจากน้ำ ตะแคงแบบให้น้ำไหลออกประมาณ 15 นาที ระวังอย่าให้ผิวหน้าของตัวอย่างเสียหาย จากนั้นยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก

5.2.2.8 ทำการชั่งหามวล เมื่อหักมวลของแบบออกก็จะทราบมวลของตัวอย่างภายหลังการแช่น้ำแล้วจากนั้นนำไปทดสอบ Penetration Test ต่อทันที

5.2.2.9 นำตัวอย่างตามข้อ 8 มาใส่แผ่นถ่วงน้ำหนัก จากนั้นนำตัวอย่างขึ้นตั้งบนเครื่องกด ตั้งให้ท่อนกดอยู่ตรงกึ่งกลางรูของแผ่นถ่วงน้ำหนัก

5.2.2.10 เดินเครื่อง กดให้แผ่นฐานเคลื่อนขึ้นหรือท่อนกดเคลื่อนลง จนสัมผัสผิวหน้าของตัวอย่าง มีแรงกดประมาณ 4 กก. (40 นิวตัน) ตั้งหน้าปัดของ Proving Ring ให้เป็นศูนย์ พร้อมทั้งตั้งหน้าปัดของ Dial Gauge ที่วัด Penetration ให้เป็นศูนย์ด้วย

5.2.2.11 เพิ่มแรงลงบนท่อนกด ด้วยอัตราเร็วที่สม่ำเสมอเท่ากับ 1.27 มม. (0.05 นิ้ว) ต่อนาที โดยการอ่าน Penetration Dial Gauge เทียบกับนาฬิกาจับเวลา

5.2.2.12 ทำการบันทึกแรงกดเมื่อ Penetration อ่านได้ที่

(1) 0.63 มม. (0.025 นิ้ว) (8) 5.08 มม. (0.200 นิ้ว)

(2) 1.27 มม. (0.050 นิ้ว) (9) 5.08 มม. (0.225 นิ้ว)

(3) 0.63 มม. (0.075 นิ้ว) (10) 5.08 มม. (0.250 นิ้ว)

(4) 0.63 มม. (0.100 นิ้ว) (11) 5.08 มม. (0.275 นิ้ว)

(5) 0.63 มม. (0.125 นิ้ว) (12) 5.08 มม. (0.300 นิ้ว)

(6) 0.63 มม. (0.150 นิ้ว) (13) 5.08 มม. (0.325 นิ้ว)

(7) 0.63 มม. (0.175 นิ้ว) (14) 5.08 มม. (0.300 นิ้ว)

เสร็จแล้วคลายแรงที่กดออก นำตัวอย่างพร้อมแบบออกจากแท่นของเครื่องกด ยกแผ่นถ่วงน้ำหนักออก จากนั้นนำตัวอย่างบริเวณที่ถูกท่อนกดๆ ลงไปเห็นรู ไปหาปริมาณน้ำในดิน (โดยขนาดก้อนใหญ่สุด 19.0 มม. ใช้ประมาณ 300 กรัม ขนาดก้อนใหญ่สุด 4.75 มม. ใช้ประมาณ 100 กรัม) นำปริมาณตัวอย่างดังกล่าวใส่ลงในกระป๋องอบดิน ชั่งหามวล แล้วน้ำไปอบจนแห้งเพื่อหาปริมาณน้ำในดิน

5.2.2.13 ดำเนินการทดลอง Penetration Test ของตัวอย่างที่เตรียมไว้อีก 2 ตัวอย่าง โดยวิธีเดียวกัน

6. วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน

การทดลอง ทล.-ท. 105/2515 (เทียบเท่า AASHTO T 208)

6.1 ขอบข่าย

การทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 208-70 อธิบายถึงการหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดินในสภาพ Undisturbed และ Remolded อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดลอง จะควบคุมโดยความเครียด (Strain) หรือควบคุมโดยความเค้น (Stress) ก็ได้

6.2 วิธีทำ

6.2.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

6.2.1.1 เครื่องกด เป็นเครื่องใช้กดแท่งตัวอย่าง มีหลายแบบ เช่น ใช้ Deadweight หรือ Hydraulic เป็นแรงกด หรืออาจใช้เครื่องมือกดชนิดอื่นๆ ที่สามารถควบคุมอัตราเร็วของแรงกด และมีกำลังกดเพียงพอ สำหรับดินที่มีค่าUnconfined Compressive Strength น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ต้องใช้เครื่องกดที่สามรถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.001 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และ

สำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength มากกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) เครื่องกดจะต้องอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.005 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

6.2.1.2 เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง (Thin Wall Tube)

6.2.1.3 Dial Gauge ใช้วัดได้ละเอียดถึง 0.01 มิลลิเมตร หรือ 0.001 นิ้ว สามารถอ่านระยะทางเคลื่อนที่ได้ไม่น้อยกว่าร้อยละ 20 ของความยาวแท่งตัวอย่าง ที่จะใช้ทดลอง

6.2.1.4 Vernier Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

6.2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

6.2.1.6 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110±5 องศาเซลเซียส

6.2.1.7 เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.01 กรัม ใช้สำหรับตัวอย่างดินที่มีมวลน้อยกว่า 100 กรัม สำหรับตัวอย่างดินที่มีมวลมากกว่า 100 กรัม ให้ใช้เครื่องชั่งชนิดอ่านได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม

6.2.1.8 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่น ๆ ที่ต้องใช้ คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

6.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

6.2.2.1 ขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรจะมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 33 มิลลิเมตร (1.3 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุในตัวอย่างต้องไม่เกิน 1 ใน 10 ของเส้นผ่านศูนย์กลางแบบแท่งตัวอย่าง และสำหรับแท่งตัวอย่างที่มีเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีขนาดเท่ากับหรือมากกว่า 71 มิลลิเมตร (2.8 นิ้ว) ขนาดที่ใหญ่ที่สุดของเม็ดวัสดุต้องไม่เกิน 1 ใน 6 ของเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่าง ถ้าหากหลังจากเสร็จการทดลองแล้วพบว่า มีเม็ดวัสดุที่ใหญ่กว่าที่กำหนดไว้ก็ให้หมายเหตุไว้ในแบบฟอร์มอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างจะมีค่าตั้งแต่ 2 ถึง 3 วัดความสูงและเส้นผ่านศูนย์กลางของแท่งตัวอย่างให้ได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว โดยใช้ Vernier Caliper หรือเครื่องมือชนิดอื่นที่เหมาะสม

6.2.2.2 ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง Undisturbed ขนาดใหญ่หรือจากดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้ท่อบาง แท่งตัวอย่างที่ได้จากท่อบางอาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่ง แต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ได้ระบุมาแล้ว ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องระมัดระวังอย่าให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัดเกิดขึ้นในระหว่างการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดินหรือ

จะทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วน ๆ การเตรียมตัวอย่างทดลองถ้าหากเป็นไปได้ก็ควรเตรียมในห้องที่ควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ในการตัดและแต่งปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวอย่างถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ก็ให้ปิดผิวหน้าด้วยปูนปลาสเตอร์ โดยให้มีความหนาน้อยที่สุดหรือใช้ Hydrostone หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ให้ชั่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างทั้งแท่งหรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง 6.2.2.3 ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed มาห่อด้วยแผ่นยางบางๆ แล้วใช้นิ้วขยำขยี้ เพื่อให้ดินถูก Remold อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปปนในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีขนาดที่ได้ระบุไว้ในข้อ 6.2.2.1 เมื่อได้อัดดินใน Mold จนเต็มแล้วให้แต่งปลายแท่งตัวอย่างจนเรียบได้หน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง แล้วดันแท่งตัวอย่างออกจาก Mold และชั่งหามวลของแท่งตัวอย่าง ตัวอย่าง Remolded ที่ได้จะต้องได้ดินเป็นเนื้อเดียวกันมี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิม

6.2.3 การทดลอง

6.2.3.1 โดยวิธีควบคุมความเครียด (Strain)

วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมอันล่างของเครื่องกด แล้วเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนของเครื่องกดแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง หมุนหน้าปัดของ Dial Gauge ที่ใช้อ่านระยะทางของการกดให้เข็มชี้ที่ศูนย์ กดแท่งตัวอย่างด้วยอัตราเร็วคิดเป็นความเครียดในแนวดิ่ง 0.5 ถึง 2 เปอร์เซ็นต์ต่อนาทีจดแรงกดและระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่างทุกๆ 30 วินาที ในการใช้อัตราเร็วของความเครียดค่าใดจะต้องประมาณว่าระยะเวลาตั้งแต่เริ่มให้แรงกดจนถึงแรงกดสูงสุด จะต้องไม่เกิน 10 นาที เพิ่มแรงกดต่อไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งแรงกดลดลงในขณะที่ความเครียดเพิ่มขึ้น หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่า 20 เปอร์เซ็นต์ หาปริมาณน้ำในดินโดยนำแท่งตัวอย่างเข้าเตาอบ นอกจากกรณีที่ต้องเตรียมแท่งตัวอย่าง Remolded ก็ให้ใช้ส่วนของดินที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่างได้

6.2.3.2 โดยวิธีควบคุมความเค้น (Stress)

ก่อนการทดลองให้ประมาณค่าแรงกดสูงสุดของแท่งตัวอย่าง วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกดเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่าง แล้วตั้งศูนย์บนหน้าปัดที่ใช้อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง ใช้แรงกดเริ่มแรกบนแท่งตัวอย่างเท่ากับ 1/15 ถึง 1/10 ของแรงกดสูงสุดที่ได้ประมาณไว้แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาที แล้วอ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง เพิ่มแรงกดต่อไปเท่ากับแรงกดแรก แล้วทิ้งไว้ครึ่งนาทีเหมือนครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปเรื่อยๆ จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุด หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเพิ่มแรงกด ถ้าสังเกตว่า

จะต้องใส่แรงกดมากกว่า 15 ครั้งหรือน้อยกว่า 10 ครั้ง เพื่อให้ได้แรงกดสูงสุดแล้ว จะต้องรีบเปลี่ยนแรงกดแต่ละครั้งให้มากขึ้น หรือน้อยลงทันที ในการหาปริมาณน้ำในดิน อาจหาจากดินทั้งแท่งที่ทดลองเสร็จแล้ว หรือส่วนของดินที่เป็นตัวแทนแท่งตัวอย่างก็ได้

ภาคผนวก ข.

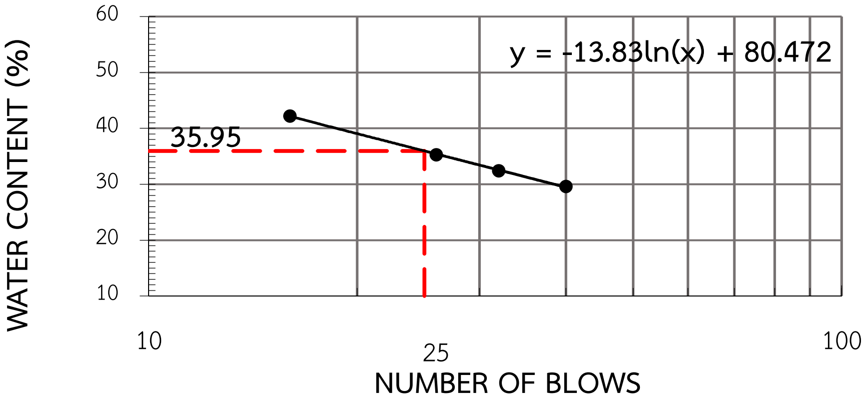
ตารางและกราฟแสดงผลการทดสอบ

1. ทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุดินลูกรังชั้นพื้นทางเดิม

1.1 ผลการทดสอบหาพิกัดเหลว (LL.) และพิกัดพลาสติก (PL.)

ตารางที่ ข-1 ผลการทดสอบหาพิกัดเหลว (LL.) และพิกัดพลาสติก (PL.) ของวัสดุดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

		LIQUID LIMIT (LL.)				PLASTIC LIMIT (PL.)	
CAN No.		C3	C8	I3	H5	E4	D8
No OF BLOWS		40	32	26	16		
Wt. WET SOIL+CAN.	g	46.90	47.90	50.40	44.10	29.90	35.00
Wt. DRY SOIL+CAN.	g	43.86	44.40	46.02	39.32	29.40	34.62
Wt.WATER	g	3.04	3.50	4.38	4.78	0.50	0.38
Wt. CONTANER	g	33.60	33.60	33.60	28.00	27.60	33.10
Wt. DRY SOIL	g	10.26	10.80	12.42	11.32	1.80	1.52
WATER CONTENT	%	29.63	32.41	35.27	42.23	27.78	25.00
AVERAGE	%	34.88				26.39	



รูปที่ ข-1 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับจำนวนครั้งของการเคาะ

ผลการทดสอบ

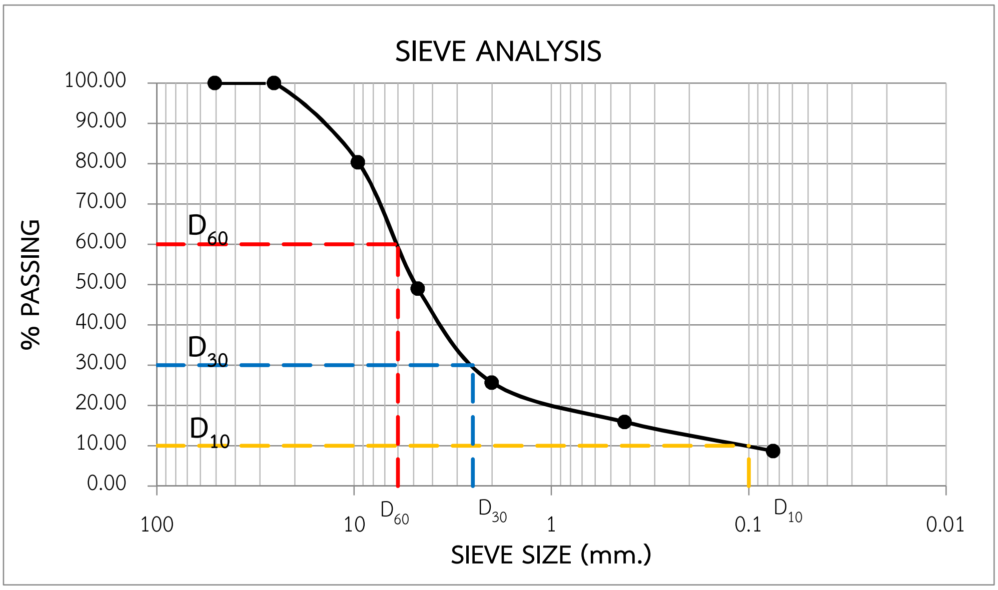
Plastic Limit (PL.)	26.39
Liquid Limit (LL.)	35.95
Plastic Index (PI.)	9.56

1.2 ผลการทดสอบ Sieve Analysis

ตารางที่ ข-2 ผลการทดสอบ Sieve Analysis ของวัสดุดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

TEST No. 1				3,000 g.	
SIEVE	WT. RETAINED g.	% RETAINED %	CUMULATIVE % RETAINED	% PASSING	AVERAGE % PASSING
2"				100.00	
1"				100.00	
3/8"	583	19.43	19.43	80.57	
#4	946	31.53	50.97	49.03	
#10	670	22.33	73.30	26.70	
#40	326	10.87	84.17	15.83	
#200	194	6.47	90.63	9.37	
PAN	281	9.37	100.00	0.00	

TEST No. 2				3,000 g.	
SIEVE	WT. RETAINED g.	% RETAINED %	CUMULATIVE % RETAINED	% PASSING	AVERAGE % PASSING
2"				100.00	100.00
1"				100.00	100.00
3/8"	596	19.87	19.87	80.13	80.35
#4	935	31.17	51.03	48.97	49.00
#10	728	24.27	75.30	24.70	25.70
#40	262	8.73	84.03	15.97	15.90
#200	238	7.93	91.97	8.03	8.70
PAN	241	8.03	100.00	0.00	0.00



รูปที่ ข-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงกับเบอร์ตะแกรง

From Grain Size Distribution Curve

% Gravel	= 51.00 %	D_{10}	=	0.10
% Sand	= 40.30 %	D_{30}	=	2.50
% Fines	= 8.70 %	D_{60}	=	6.00
% Coarse-grained soil	= 91.30 %			
% Coarse-grained soil	= 8.70 %			

C_u = D_{60} / D_{10} = 60

C_c = $D_{30}^{2} / (D_{60} \times D_{10})$ = 0.104

Unified Classification of Soil : GP - GM

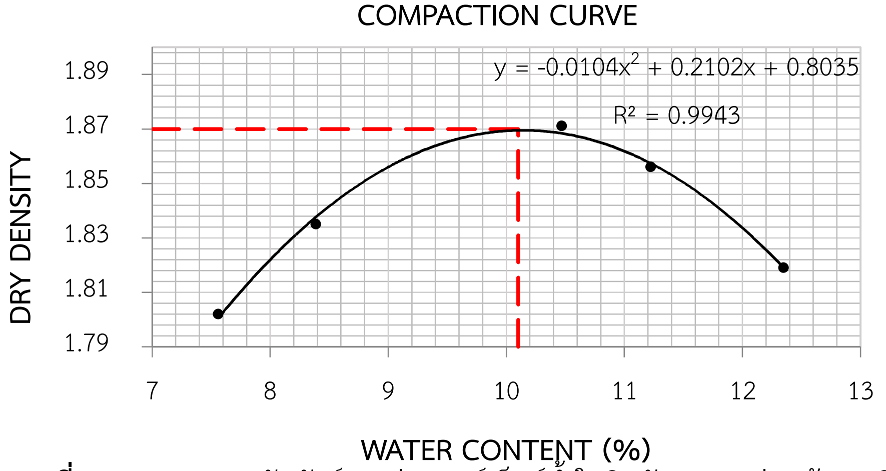
1.3 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

Volume of Mold 947.87 cm^3 **ตัวอย่าง** ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

Wt. of Mold 4,218.00 g.

ตารางที่ ข-3 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน

DETERMINATION NO.		**1**	**2**	**3**	**4**	**5**
CAN NO.		H4	F4	G4	B4	C9
WT. CAN	g.	33.90	30.52	27.70	30.00	33.10
WT. CAN + WET SOIL	g.	116.40	84.80	98.40	107.30	106.80
WT. CAN + DRY SOIL	g.	110.60	80.60	91.70	99.50	98.70
WT. OF WATER	g.	5.80	4.20	6.70	7.80	8.10
WT. DRY SOIL	g.	76.70	50.08	64.00	69.50	65.60
WATER CONTENT	**%**	**7.56**	**8.39**	**10.47**	**11.22**	**12.35**
WT. MOLD + SOIL	g	6,055.00	6,103.00	6,177.00	6,175.00	6,155.00
WT. SOIL	g	1,837.00	1,885.00	1,959.00	1,957.00	1,937.00
WET DENSITY	g/cm^3	1.938	1.989	2.067	2.065	2.044
DRY DENSITY	g/cm^3	**1.802**	**1.835**	**1.871**	**1.856**	**1.819**



รูปที่ ข-3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับความแน่นแห้งของดิน

ผลการทดสอบ

Maximum Dry Density , ρ_{max} **1.870** g/cm^3

Optimum Moisture Content **10.10** %

1.4 ผลการทดสอบ C.B.R.

ตัวอย่าง ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม **ค่า OMC** 10.10 %

ตารางที่ ข-4 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง

DENSITY		BEFORE SOAKING			AFTER SOAKING		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	12,104	11,824	12,456	12,116	11,832	12,473
WT. MOLD	g	7,309	7,175	7,566	7,309	7,175	7,566
WT. SOIL	g	4,795	4,649	4,890	4,807	4,657	4,907
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,441.07	2,317.89	2,308.77	2,441.07	2,317.89	2,308.77
WET DENSITY	g/cm^3	1.964	2.006	2.118	1.969	2.009	2.125
DRY DENSITY	g/cm^3	1.780	1.810	1.910	1.780	1.810	1.910
WATER CONTENT		BEFORE SOAKING			AFTER SOAKING		
CAN No.		C9	J1	A8	D2	B1	B2
WT. CAN + WET SOIL	g	98.41	93.50	128.85	98.74	95.32	111.25
WT. CAN + DRY SOIL	g	92.37	87.66	119.38	92.25	89.09	103.46
WT. OF WATER	g	6.04	5.84	9.47	6.49	6.23	7.79
WT. CAN	g	32.98	33.68	33.68	32.45	32.98	33.42
WT. DRY SOIL	g	59.39	53.98	85.7	59.8	56.11	70.04
WATER CONTENT	%	10.17	10.82	11.05	10.85	11.10	11.12
AVERAGE	%	10.68			11.03		

ตารางที่ ข-5 ผลการทดสอบหาเปอร์เซ็นต์การพองตัว Height fo mold 12.690 cm.

BLOW PER LAYER		12		25		56	
DATE	TIME	SWEEL x0.01 mm	%	SWEEL x0.01 mm	%	SWEEL x0.01 mm	%
20/8/2561	17:30:00	15	0.12	13	0.10	10	0.08
21/8/2561	17:30:00	20	0.16	18	0.14	14	0.11
22/8/2561	17:30:00	23	0.18	22	0.17	19	0.15
23/8/2561	17:30:00	25	0.20	23	0.18	22	0.17

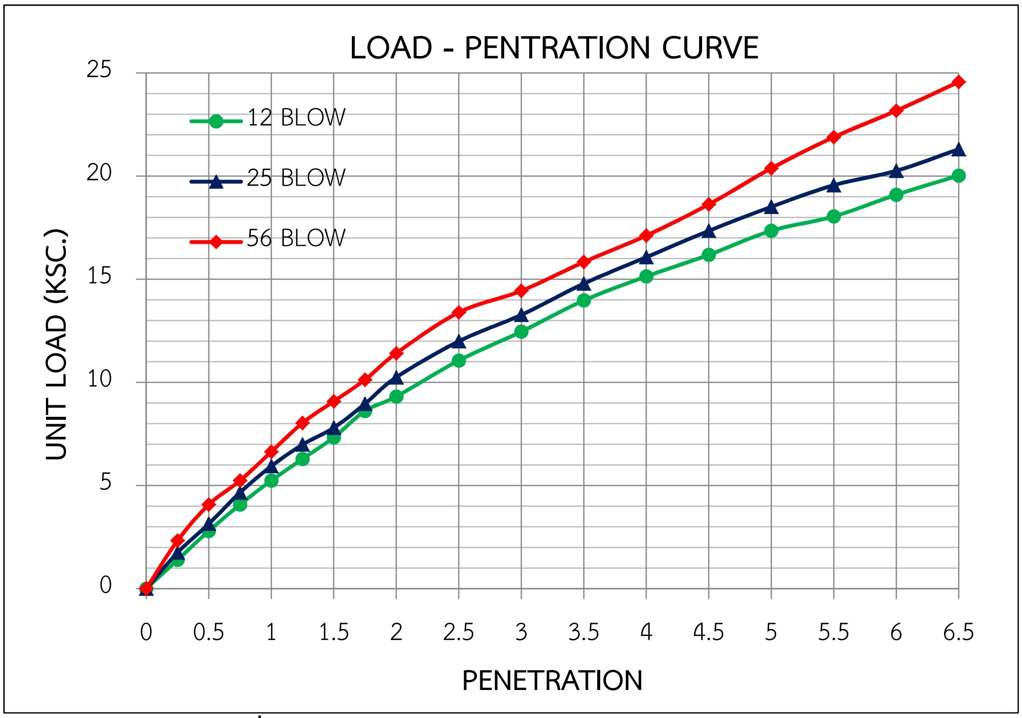
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K <u>2.2533</u> kg/div

Pistion Area <u>19.355</u> cm^2

ตารางที่ ข-6 ผลการทดสอบ Penetration SOAKED

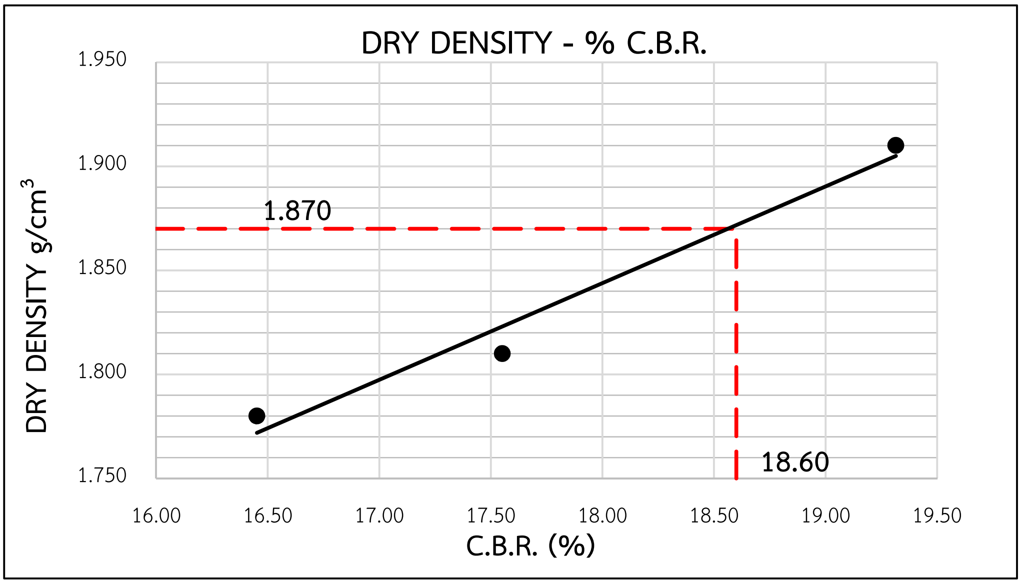
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	12	1.40	15	1.75	20	2.33
50	24	2.79	27	3.14	35	4.07
75	35	4.07	40	4.66	45	5.24
100	45	5.24	51	5.94	57	6.64
125	54	6.29	60	6.99	69	8.03
150	63	7.33	67	7.80	78	9.08
175	74	8.62	77	8.96	87	10.13
200	80	9.31	88	10.24	98	11.41
250	**95**	**11.06**	**103**	**11.99**	**115**	**13.39**
300	107	12.46	114	13.27	124	14.44
350	120	13.97	127	14.79	136	15.83
400	130	15.13	138	16.07	147	17.11
450	139	16.18	149	17.35	160	18.63
500	**149**	**17.35**	**159**	**18.51**	**175**	**20.37**
550	155	18.05	168	19.56	188	21.89
600	164	19.09	174	20.26	199	23.17
650	172	20.02	183	21.30	211	24.56



รูปที่ ข-4 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-7 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	11.06	11.99	13.39
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	17.35	18.51	20.37
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	15.73	17.06	19.05
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	16.45	17.55	19.32
DRY DENSITY	g/cm^3	1.780	1.810	1.910
WATER CONTENT	%	10.17	10.82	11.05
SWELL	%	0.20	0.18	0.17



รูปที่ ข-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

100 % MOD. Proctor	=	1.870	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.10	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	**18.60**	**%**

1.5 ผลการทดสอบความแน่นภาคสนาม (Field Density Test)

Wt. of Sand in Cone 1997 g

Density of Sand 1.696 g/cm^3

ตารางที่ ข-8 ผลการทดสอบความแน่นภาคสนาม (Sand cone method)

STATION		0+200	0+400	0+600	0+800
WT. OF COMTAINER + CONE + SAND	g.	7,292	7,285	7,276	7,263
REMAINING	g.	3,454	3,225	3,316	3,284
WT. OF SAND IN HOLE + CONE	g.	3,838	4,060	3,960	3,979
WT. OF SAND IN CONE	g.	1,997	1,997	1,997	1,997
WT. OF SAND IN HOLE	g.	1,841	2,063	1,963	1,982
UNIT WT. OF TEST SAND	g/cm^3	1.696	1.696	1.696	1.696
VOLUME OF HOLE	cm^3	1,085	1,216	1,157	1,169
WT. OF TRAY + WET SAMPLE	g.	2,464	2,364	2,307	2,322
WT. OF TRAY	g.	304	304	304	304
WT. OF WET SAMPLE	g.	2,160	2,060	2,003	2,018
CAN NO.		C6	F4	G4	B3
WT. CAN	g.	33.05	30.52	27.70	33.20
WT. CAN + WET SOIL	g.	180.82	150.17	125.74	155.43
WT. CAN + DRY SOIL	g.	170.56	142.30	118.70	147.56
WT. OF WATER	g.	10.26	7.87	7.04	7.87
WT. DRY SOIL	g.	137.51	111.78	91.00	114.36
WATER CONTENT	%	**7.46**	**7.04**	**7.74**	**6.88**
WET DENSITY	g/cm^3	1.990	1.943	1.993	1.987
DRY DENSITY	g/cm^3	1.852	1.815	1.85	1.859
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	1.844			

ความแน่นของวัสดุแห้ง (Dry Density) = 1.844 g/cm^3

ความแน่นสูงสุด (ในห้องทดลอง) = 1.870 g/cm^3

ค่าร้อยละของการบดอัดวัสดุ = 98.61 %

2. ออกแบบส่วนผสม Soil Cement

ข้อมูลการทดสอบ

Volum. of Mold	=	1,650	cm^3
Wt. of Mold	=	6,225	g.
K. Factor	=	2.2533	Kg/Div.

2.1 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (ผสม Cement 1 %)

ตารางที่ ข-9 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Cement 1 %)

SOIL CEMENT		CEMENT			**1.00%**
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,807	9,827	9,860	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	OMC.
WT. OF SAMPLE	g.	3,582	3,602	3,635	**10.00%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.171	2.183	2.203	
DRY DENSITY	g/cm^3	1.976	1.987	1.994	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**1.986**			
CAN NO.		H4	W5	22	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	145.41	147.53	143.41	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	135.42	137.26	132.94	
WT. OF WATER	g.	9.99	10.27	10.47	
WT. OF CAN	g.	33.98	33.17	33.20	
WT. DRY SOIL	g.	101.44	104.09	99.74	
WATER CONTENT	%	9.85	9.87	10.50	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**10.07**			

ตารางที่ ข-10 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement (ผสม Cement 1 %)

เริ่มทดสอบ	15 สิงหาคม 2561		**กดตัวอย่าง**		22 สิงหาคม 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.22	20.05	82.07	182	410	5.00
2	7	10.23	20.05	82.23	191	430	5.23
3	7	10.23	20.05	82.23	186	419	5.10
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**5.11**	**ksc.**

2.2 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Cement 3 %)

ตารางที่ ข-11 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Cement 3 %)

SOIL CEMENT		CEMENT			3.00%
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,826	9,807	9,850	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	OMC.
WT. OF SAMPLE	g.	3,601	3,582	3,625	**9.60%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.182	2.171	2.197	
DRY DENSITY	g/cm^3	1.987	1.976	2.020	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**1.994**			
CAN NO.		B10	D5	F4	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	147.49	162.57	160.04	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	137.24	150.17	149.86	
WT. OF WATER	g.	10.25	12.40	10.18	
WT. OF CAN	g.	32.96	24.37	33.65	
WT. DRY SOIL	g.	104.28	125.80	116.21	
WATER CONTENT	%	9.83	9.86	8.76	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**9.48**			

ตารางที่ ข-12 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement (Cement 3 %)

เริ่มทดสอบ	15 สิงหาคม 2561			**กดตัวอย่าง**	22 สิงหาคม 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.24	20.05	82.39	686	1,546	18.76
2	7	10.23	20.05	82.23	766	1,726	20.99
3	7	10.22	20.05	82.07	755	1,701	20.73
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**20.16**	**ksc.**

2.3 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (ผสม Cement 5 %)

ตารางที่ ข-13 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Cement 5 %)

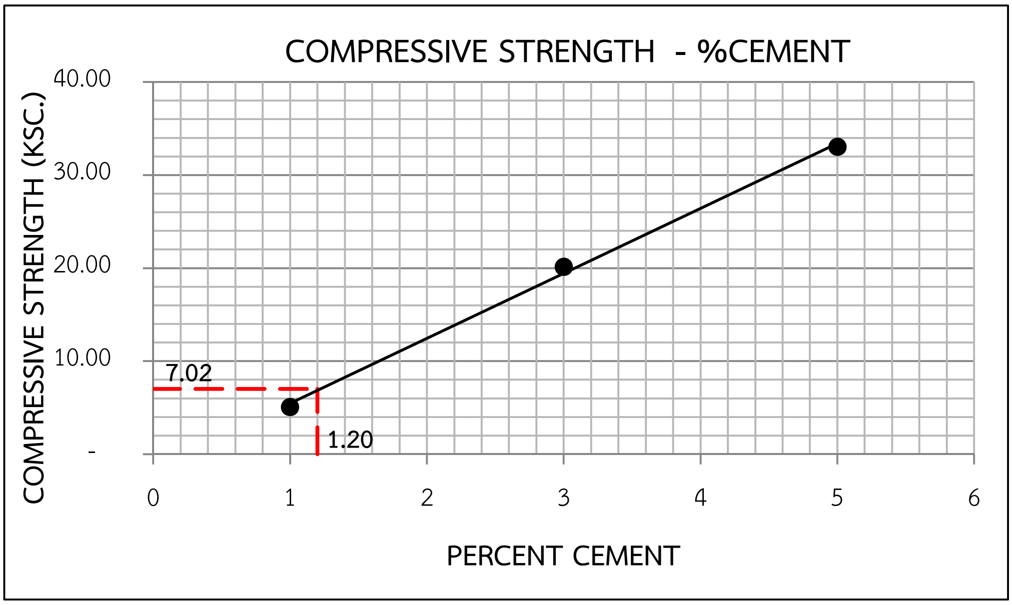
SOIL CEMENT		CEMENT		5.00%	
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,860	9,912	9,925	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	OMC.
WT. OF SAMPLE	g.	3,635	3,687	3,700	**9.90%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.203	2.235	2.242	
DRY DENSITY	g/cm^3	2.017	2.050	2.052	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**2.040**			
CAN NO.		G5	F8	A2	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	141.40	148.66	157.50	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	132.35	139.09	146.73	
WT. OF WATER	g.	9.05	9.57	10.77	
WT. OF CAN	g.	33.95	32.87	30.88	
WT. DRY SOIL	g.	98.40	106.22	115.85	
WATER CONTENT	%	9.20	9.01	9.30	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**9.17**			

ตารางที่ ข-14 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement (ผสม Cement 5 %)

เริ่มทดสอบ	15 สิงหาคม 2561			**กดตัวอย่าง**	22 สิงหาคม 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.22	20.05	82.07	1224	2,758	33.60
2	7	10.23	20.05	82.23	1192	2,686	32.66
3	7	10.23	20.05	82.23	1200	2,704	32.88
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**33.05**	**ksc.**

ตารางที่ ข-15 สรุปผล Compressive Strength ของปูนซีเมนต์ 1 , 3 และ 5 เปอร์เซ็นต์

PERCENT CEMENT	%	1	3	5
AVERAGE COMPRESSIVE STRENGTH	KSC.	5.11	20.16	33.05



รูปที่ ข.-6 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากำลังรับแรงอัด - เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์

ผลการทดสอบ

เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ที่ผ่าน 7.02 ksc. = 1.2 %

2.4 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (ผสม Cement 1.2 %)

ข้อมูลการทดสอบ

Volum. of Mold	=	1,650	cm^3
Wt. of Mold	=	6,225	g.
K. Factor	=	2.2533	Kg/Div.

ตารางที่ ข-16 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Cement 1.20 %)

SOIL CEMENT		CEMENT			1.20%
SAMPLE NO.		1	2	3	OMC. 9.80%
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,943	9,935	9,988	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	
WT. OF SAMPLE	g.	3,718	3,710	3,763	
WET DENSITY	g/cm^3	2.253	2.248	2.281	
DRY DENSITY	g/cm^3	2.045	2.067	2.092	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**2.068**			
CAN NO.		A3	B6	C9	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	144.78	152.32	150.44	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	134.43	142.59	140.73	
WT. OF WATER	g.	10.35	9.73	9.71	
WT. OF CAN	g.	32.75	31.77	32.82	
WT. DRY SOIL	g.	101.68	110.82	107.91	
WATER CONTENT	%	10.18	8.78	9.00	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**9.32**			

ตารางที่ ข-17 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement (ผสม Cement 1.20 %)

เริ่มทดสอบ	25 สิงหาคม 2561		**กดตัวอย่าง**		1 กันยายน 2561		
SAMPLE NO.	CURING DAYS	DIMENSIONS D CM.	H CM.	A CM.	DIAL READING	ULTIMATE LOAD KG.	UCS. KSC.
1	7	10.23	20.05	82.23	310	699	8.50
2	7	10.23	20.05	82.23	297	669	8.14
3	7	10.23	20.05	82.23	364	820	9.97
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**8.87**	**ksc.**

3. ออกแบบส่วนผสม Soil Cement + Polymer

ข้อมูลการทดสอบ

OMC.	=	9.80	%
Volum. of Mold	=	1,650	cm^3
Wt. of Mold	=	6,225	g.
K. Factor	=	2.2533	Kg/Div.

3.1 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Polymer 0.25 %)

ตารางที่ ข-18 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Polymer 0.25 %)

SOIL CEMENT + POLYMER		CEMENT	1.20%	POLYMER	0.25%
SAMPLE NO.		1	2	3	OMC. 9.80%
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,890	9,812	9,827	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	
WT. OF SAMPLE	g.	3,665	3,587	3,602	
WET DENSITY	g/cm^3	2.221	2.174	2.183	
DRY DENSITY	g/cm^3	2.021	1.994	1.993	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	2.002			
CAN NO.		A1	C2	B9	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	115.94	123.05	119.12	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	108.02	115.19	111.70	
WT. OF WATER	g.	7.92	7.86	7.42	
WT. OF CAN	g.	28.25	28.23	33.90	
WT. DRY SOIL	g.	79.77	86.96	77.80	
WATER CONTENT	%	9.93	9.04	9.54	
AVERAGE WATER CONTENT	%	9.50			

ตารางที่ ข-19 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer (Polymer 0.25 %)

เริ่มทดสอบ	5 กันยายน 2561		**กดตัวอย่าง**	12 กันยายน 2561			
SAMPLE NO.	CURING DAYS	DIMENSIONS D CM.	H CM.	A CM.	DIAL READING	ULTIMATE LOAD KG.	UCS. KSC.
1	7	10.23	20.05	82.23	402	906	11.02
2	7	10.23	20.05	82.23	386	870	10.58
3	7	10.23	20.05	82.23	398	897	10.91
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**10.83**	**ksc.**

3.2 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Polymer 0.50 %)

ตารางที่ ข-20 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Polymer 0.50 %)

SOIL CEMENT + POLYMER		CEMENT 1.20%	POLYMER	0.50%	
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,891	9,884	9,823	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	OMC.
WT. OF SAMPLE	g.	3,666	3,659	3,598	**9.80%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.222	2.218	2.181	
DRY DENSITY	g/cm^3	2.027	2.032	1.974	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**2.011**			
CAN NO.		A3	B6	C9	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	118.94	129.01	120.12	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	111.42	120.23	111.93	
WT. OF WATER	g.	7.52	8.78	8.19	
WT. OF CAN	g.	32.96	24.37	33.65	
WT. DRY SOIL	g.	78.46	95.86	78.28	
WATER CONTENT	%	9.58	9.16	10.46	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**9.74**			

ตารางที่ ข-21 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer (Polymer 0.50 %)

เริ่มทดสอบ		5 กันยายน 2561		**กดตัวอย่าง**	12 กันยายน 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.22	20.04	82.07	428	964	11.75
2	7	10.23	20.05	82.23	412	928	11.29
3	7	10.22	20.05	82.07	410	924	11.26
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**11.43**	**ksc.**

3.3 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Polymer 1.50 %)

ตารางที่ ข-22 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Polymer 1.50 %)

SOIL CEMENT + POLYMER		CEMENT 1.20%	POLYMER 1.50%		
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,823	9,854	9,810	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	OMC.
WT. OF SAMPLE	g.	3,598	3,629	3,585	**9.80%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.181	2.199	2.173	
DRY DENSITY	g/cm^3	1.983	1.994	1.979	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**1.985**			
CAN NO.		D8	G5	D7	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	136.78	137.92	118.34	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	127.35	128.22	110.82	
WT. OF WATER	g.	9.43	9.70	7.52	
WT. OF CAN	g.	32.98	33.95	33.92	
WT. DRY SOIL	g.	94.37	94.27	76.90	
WATER CONTENT	%	9.99	10.29	9.78	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**10.02**			

ตารางที่ ข-23 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer (Polymer 1.50 %)

เริ่มทดสอบ	5 กันยายน 2561		**กดตัวอย่าง**		12 กันยายน 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.23	20.05	82.23	410	924	11.24
2	7	10.23	20.05	82.23	387	872	10.61
3	7	10.23	20.05	82.23	395	890	10.82
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**10.89**	**ksc.**

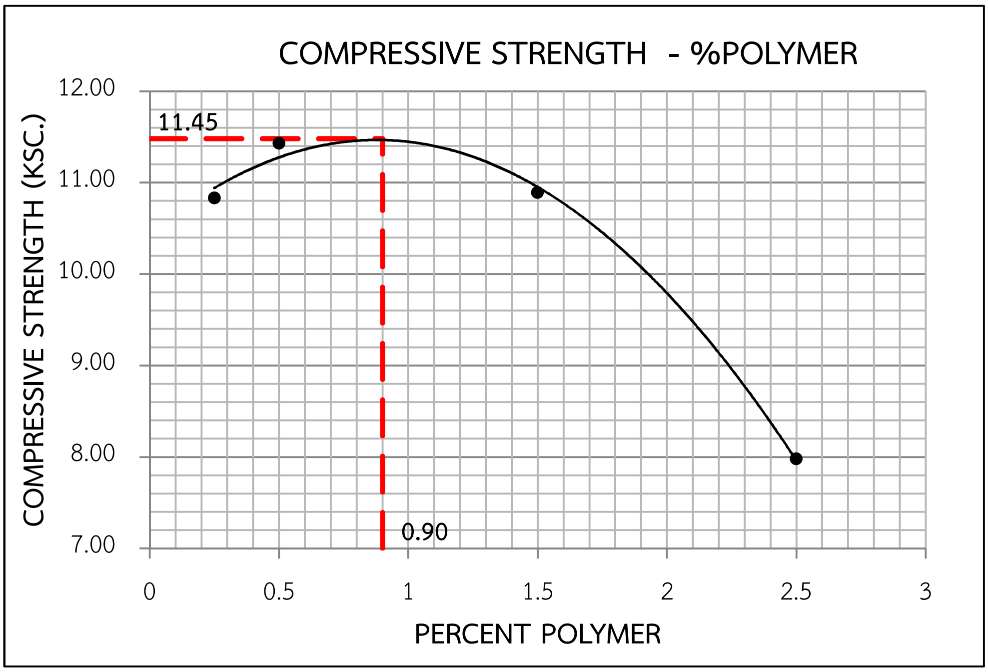
3.4 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Polymer 2.50 %)

ตารางที่ ข-24 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Polymer 2.50 %)

SOIL CEMENT + POLYMER		CEMENT **1.20%**	POLYMER	**2.50%**	
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,810	9,806	9,762	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	OMC.
WT. OF SAMPLE	g.	3,585	3,581	3,537	**9.80%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.173	2.170	2.144	
DRY DENSITY	g/cm^3	1.954	1.973	1.935	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**1.954**			
CAN NO.		C6	B8	B3	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	110.08	149.95	124.97	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	102.31	139.39	116.03	
WT. OF WATER	g.	7.77	10.56	8.94	
WT. OF CAN	g.	33.00	33.93	33.20	
WT. DRY SOIL	g.	69.31	105.46	82.83	
WATER CONTENT	%	11.21	10.01	10.79	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**10.67**			

ตารางที่ ข-25 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer (Polymer 2.50 %)

เริ่มทดสอบ	5 กันยายน 2561		**กดตัวอย่าง**		12 กันยายน 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.23	20.05	82.23	283	638	7.76
2	7	10.23	20.05	82.23	302	680	8.28
3	7	10.23	20.05	82.23	289	651	7.92
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**7.98**	**ksc.**



รูปที่ ข.-7 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ค่ากำลังรับแรงอัด - เปอร์เซ็นต์ปูนซีเมนต์ผสมสาร Polymer

ผลการทดสอบ

เปอร์เซ็นต์สาร Polymer ที่ให้กำลังอัดสูงสุด = 0.90 %

3.5 ผลทดสอบ Unconfined Compressive Strength (Polymer 0.90 %)

ข้อมูลการทดสอบ

OMC.	=	10.00	%
Volum. of Mold	=	1,650	cm^3
Wt. of Mold	=	6,225	g.
K. Factor	=	2.2533	Kg/Div.

ตารางที่ ข-24 ผลการทดสอบหาค่าความแน่นแห้งและเปอร์เซ็นต์น้ำในดิน (Polymer 0.90 %)

SOIL CEMENT + POLYMER		CEMENT **1.20%**	POLYMER	**0.90%**	
SAMPLE NO.		1	2	3	
WT. OF MOLD + SAMPLE	g.	9,953	9,982	9,979	
WT. OF MOLD	g.	6,225	6,225	6,225	**OMC.**
WT. OF SAMPLE	g.	3,728	3,757	3,754	**10.00%**
WET DENSITY	g/cm^3	2.259	2.277	2.275	
DRY DENSITY	g/cm^3	2.066	2.069	2.072	
AVERAGE DRY DENSITY	g/cm^3	**2.069**			
CAN NO.		D7	G5	D7	
WT. OF CAN + WET SOIL	g.	132.76	121.20	118.22	
WT. OF CAN + DRY SOIL	g.	124.23	113.25	110.70	
WT. OF WATER	g.	8.53	7.95	7.52	
WT. OF CAN	g.	32.98	33.95	33.92	
WT. DRY SOIL	g.	91.25	79.30	76.78	
WATER CONTENT	%	9.35	10.03	9.79	
AVERAGE WATER CONTENT	%	**9.72**			

ตารางที่ ข-15 ผลการทดสอบ UCS. ของตัวอย่าง Soil Cement (ผสม Cement 1.20 %)

เริ่มทดสอบ	13 กันยายน 2561			**กดตัวอย่าง**	20 กันยายน 2561		
SAMPLE	CURING	DIMENSIONS			DIAL	ULTIMATE	UCS.
		D	H	A		LOAD	
NO.	DAYS	CM.	CM.	CM.	READING	KG.	KSC.
1	7	10.23	20.05	82.23	419	944	11.48
2	7	10.23	20.05	82.23	435	980	11.92
3	7	10.23	20.05	82.23	427	962	11.70
AVERAGE ULTIMATE COMPRESSIVE STRENGTH					=	**11.70**	**ksc.**

4. ผลการทดสอบหาค่า Optimum Moisture Content ที่ใช้ในการทดสอบและออกแบบส่วนผสม

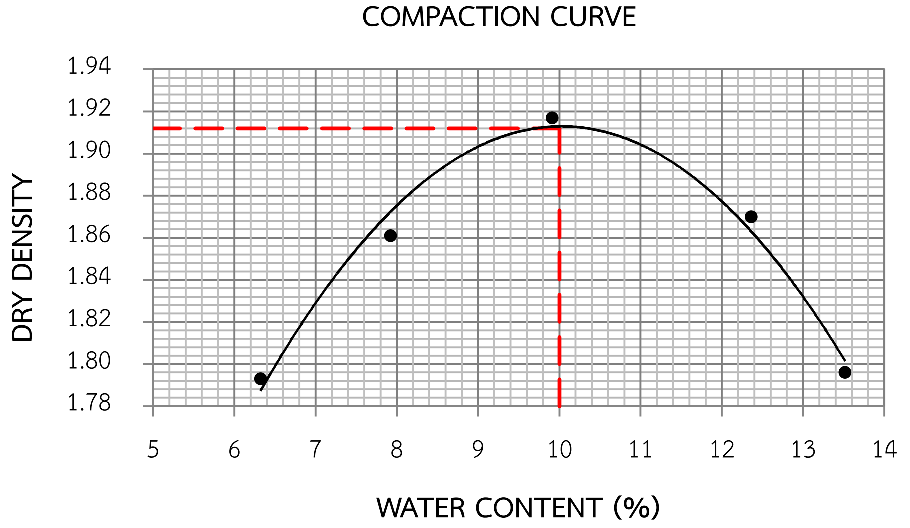
4.1 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน Soil Cement (Cement 1.00 %)

Volume of Mold 947.87 cm^3 Cement 1.00 %

Wt. of Mold 4,218.00 g.

ตารางที่ ข-26 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน

DETERMINATION NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		A1	A2	B1	B4	C3
WT. CAN	g.	32.84	33.74	32.99	33.67	38.78
WT. CAN + WET SOIL	g.	112.70	106.05	98.40	107.30	106.80
WT. CAN + DRY SOIL	g.	107.95	100.74	92.50	99.20	98.70
WT. OF WATER	g.	4.75	5.31	5.90	8.10	8.10
WT. DRY SOIL	g.	75.11	67.00	59.51	65.53	59.92
WATER CONTENT	%	**6.32**	**7.93**	**9.91**	**12.36**	**13.52**
WT. MOLD + SOIL	g	6,025.00	6,121.00	6,215.00	6,210.00	6,151.00
WT. SOIL	g	1,807.00	1,903.00	1,997.00	1,992.00	1,933.00
WET DENSITY	g/cm^3	1.906	2.008	2.107	2.102	2.039
DRY DENSITY	g/cm^3	**1.793**	**1.861**	**1.917**	**1.870**	**1.796**



รูปที่ ข-8 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับความแน่นแห้งของดิน

ผลการทดสอบ

Maximum Dry Density , ρ_{max} **1.912** g/cm^3

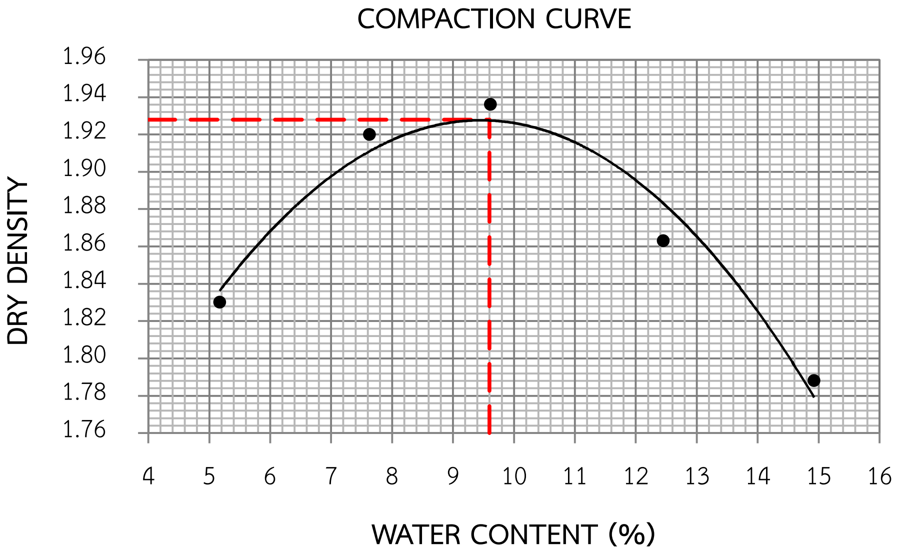
Optimum Moisture Content **10.00** %

4.2 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน Soil Cement (Cement 3.00 %)

Volume of Mold	947.87	cm^3	Cement	3.00	%
Wt. of Mold	4,218.00	g.			

ตารางที่ ข-27 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน

DETERMINATION NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		A3	A4	C1	C2	C4
WT. CAN	g.	32.88	34.11	32.88	32.93	33.42
WT. CAN + WET SOIL	g.	106.70	112.38	101.85	110.32	99.25
WT. CAN + DRY SOIL	g.	103.07	106.83	95.80	101.75	90.70
WT. OF WATER	g.	3.63	5.55	6.05	8.57	8.55
WT. DRY SOIL	g.	70.19	72.72	62.92	68.82	57.28
WATER CONTENT	%	**5.17**	**7.63**	**9.62**	**12.45**	**14.93**
WT. MOLD + SOIL	g	6,043.00	6,176.00	6,230.00	6,204.00	6,166.00
WT. SOIL	g	1,825.00	1,958.00	2,012.00	1,986.00	1,948.00
WET DENSITY	g/cm^3	1.925	2.066	2.123	2.095	2.055
DRY DENSITY	g/cm^3	**1.830**	**1.920**	**1.936**	**1.863**	**1.788**



รูปที่ ข-9 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับความแน่นแห้งของดิน

ผลการทดสอบ

Maximum Dry Density , ρ_{max}	**1.928**	g/cm^3
Optimum Moisture Content	**9.60**	%

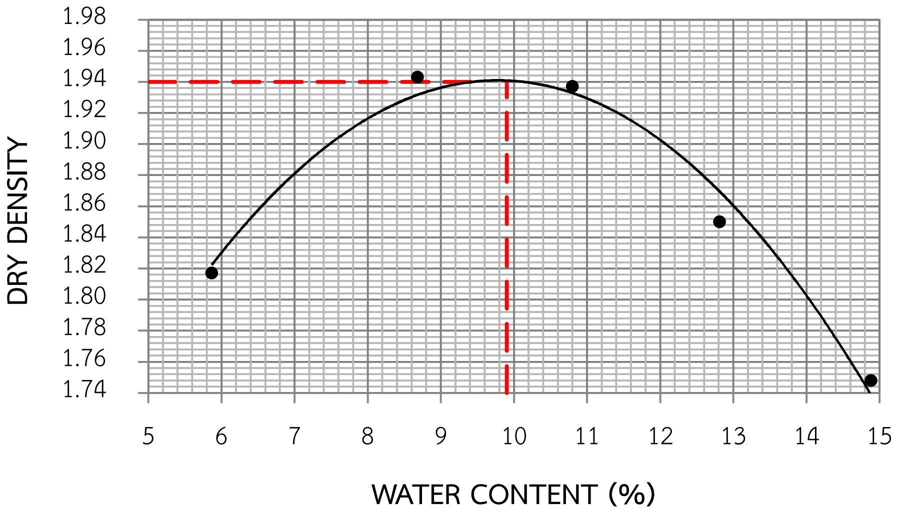
4.3 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน Soil Cement (Cement 5.00 %)

Volume of Mold	947.87	cm^3	Cement	5.00	%
Wt. of Mold	4,218.00	g.			

ตารางที่ ข-28 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน

DETERMINATION NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		A5	A6	B2	B3	C5
WT. CAN	g.	33.75	33.73	32.77	32.96	32.84
WT. CAN + WET SOIL	g.	117.12	130.25	116.48	96.01	110.80
WT. CAN + DRY SOIL	g.	112.50	122.54	108.32	88.85	100.70
WT. OF WATER	g.	4.62	7.71	8.16	7.16	10.10
WT. DRY SOIL	g.	78.75	88.81	75.55	55.89	67.86
WATER CONTENT	%	**5.87**	**8.68**	**10.80**	**12.81**	**14.88**
WT. MOLD + SOIL	g	6,042.00	6,220.00	6,252.00	6,196.00	6,121.00
WT. SOIL	g	1,824.00	2,002.00	2,034.00	1,978.00	1,903.00
WET DENSITY	g/cm^3	1.924	2.112	2.146	2.087	2.008
DRY DENSITY	g/cm^3	**1.817**	**1.943**	**1.937**	**1.850**	**1.748**

COMPACTION CURVE



รูปที่ ข-10 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับความแน่นแห้งของดิน

ผลการทดสอบ

Maximum Dry Density , ρ_{max}	**1.940**	g/cm^3
Optimum Moisture Content	**9.90**	%

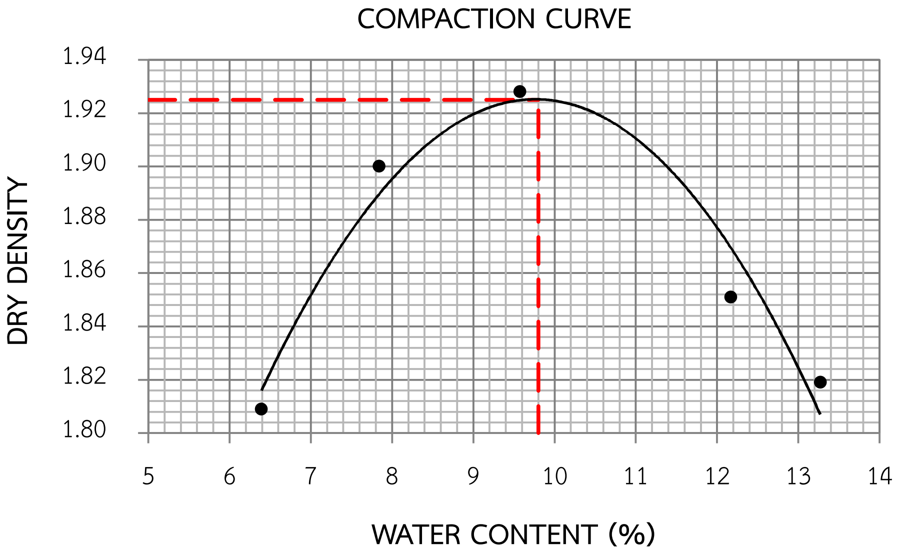
4.4 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน Soil Cement (Cement 1.20 %)

Volume of Mold 947.87 cm^3 Cement 1.20 %

Wt. of Mold 4,218.00 g.

ตารางที่ ข-29 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน

DETERMINATION NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		A1	A2	B1	B2	B3
WT. CAN	g.	32.84	33.74	32.99	32.77	32.96
WT. CAN + WET SOIL	g.	122.38	117.64	105.79	118.22	103.38
WT. CAN + DRY SOIL	g.	117.00	111.54	99.43	108.95	95.13
WT. OF WATER	g.	5.38	6.10	6.36	9.27	8.25
WT. DRY SOIL	g.	84.16	77.80	66.44	76.18	62.17
WATER CONTENT	%	**6.39**	**7.84**	**9.57**	**12.17**	**13.27**
WT. MOLD + SOIL	g	6,043.00	6,160.00	6,220.00	6,186.00	6,171.00
WT. SOIL	g	1,825.00	1,942.00	2,002.00	1,968.00	1,953.00
WET DENSITY	g/cm^3	1.925	2.049	2.112	2.076	2.060
DRY DENSITY	g/cm^3	**1.809**	**1.900**	**1.928**	**1.851**	**1.819**



รูปที่ ข-11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับความแน่นแห้งของดิน

ผลการทดสอบ

Maximum Dry Density , ρ_{max} **1.925** g/cm^3

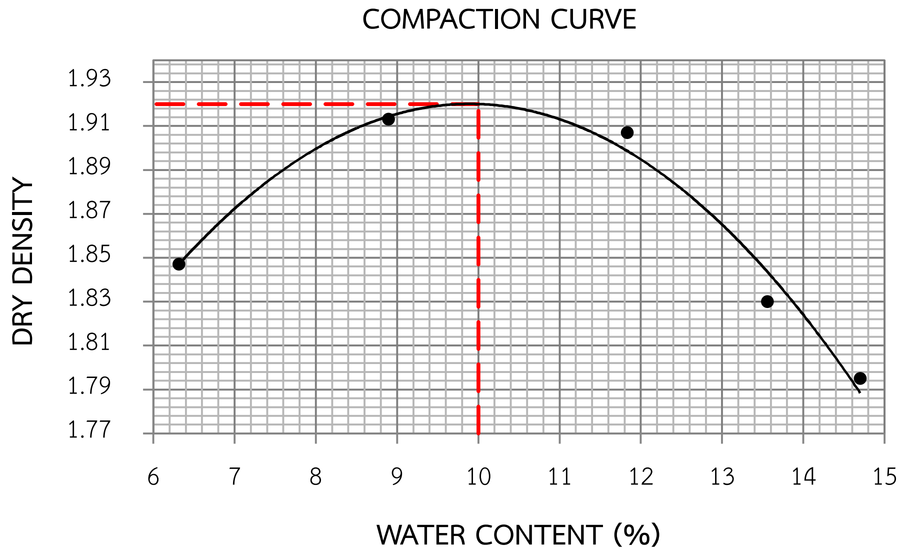
Optimum Moisture Content **9.80** %

4.5 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน Soil Cement + Polymer

Volume of Mold	947.87	cm^3	Cement	1.20	%
Wt. of Mold	4,218.00	g.	Polymer	0.90	%

ตารางที่ ข-30 ผลการทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน

DETERMINATION NO.		1	2	3	4	5
CAN NO.		A1	A5	A6	B2	B3
WT. CAN	g.	32.84	33.75	33.73	32.77	32.96
WT. CAN + WET SOIL	g.	117.85	125.33	123.21	105.97	110.20
WT. CAN + DRY SOIL	g.	112.80	117.85	113.74	97.23	100.30
WT. OF WATER	g.	5.05	7.48	9.47	8.74	9.90
WT. DRY SOIL	g.	79.96	84.10	80.01	64.46	67.34
WATER CONTENT	%	**6.32**	**8.89**	**11.84**	**13.56**	**14.70**
WT. MOLD + SOIL	g	6,080.00	6,192.00	6,240.00	6,188.00	6,170.00
WT. SOIL	g	1,862.00	1,974.00	2,022.00	1,970.00	1,952.00
WET DENSITY	g/cm^3	1.964	2.083	2.133	2.078	2.059
DRY DENSITY	g/cm^3	**1.847**	**1.913**	**1.907**	**1.830**	**1.795**



รูปที่ ข-12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำในดินกับความแน่นแห้งของดิน

ผลการทดสอบ

Maximum Dry Density , ρ_{max}	**1.920**	g/cm^3
Optimum Moisture Content	**10.00**	%

5. ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมของตัวอย่าง Soil aggregate (ดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม)

5.1 ตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม (ทดสอบแบบ Unsoaked)

ค่า OMC 10.10 % **ระยะเวลารวม** 0 วัน

ตารางที่ ข-31 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของดินตัวอย่าง

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56			
WT. MOLD + SOIL	g	12,104	11,824	12,456			
WT. MOLD	g	7,309	7,175	7,566			
WT. SOIL	g	4,795	4,649	4,890			
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,441.07	2,317.89	2,308.77			
WET DENSITY	g/cm^3	1.964	2.006	2.118			
DRY DENSITY	g/cm^3	1.780	1.810	1.910			
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		C9	J1	A8			
WT. CAN + WET SOIL	g	98.41	93.50	128.85			
WT. CAN + DRY SOIL	g	92.37	87.66	119.38			
WT. OF WATER	g	6.04	5.84	9.47			
WT. CAN	g	32.98	33.68	33.68			
WT. DRY SOIL	g	59.39	53.98	85.7			
WATER CONTENT	%	10.17	10.82	11.05			
AVERAGE	%	10.68					

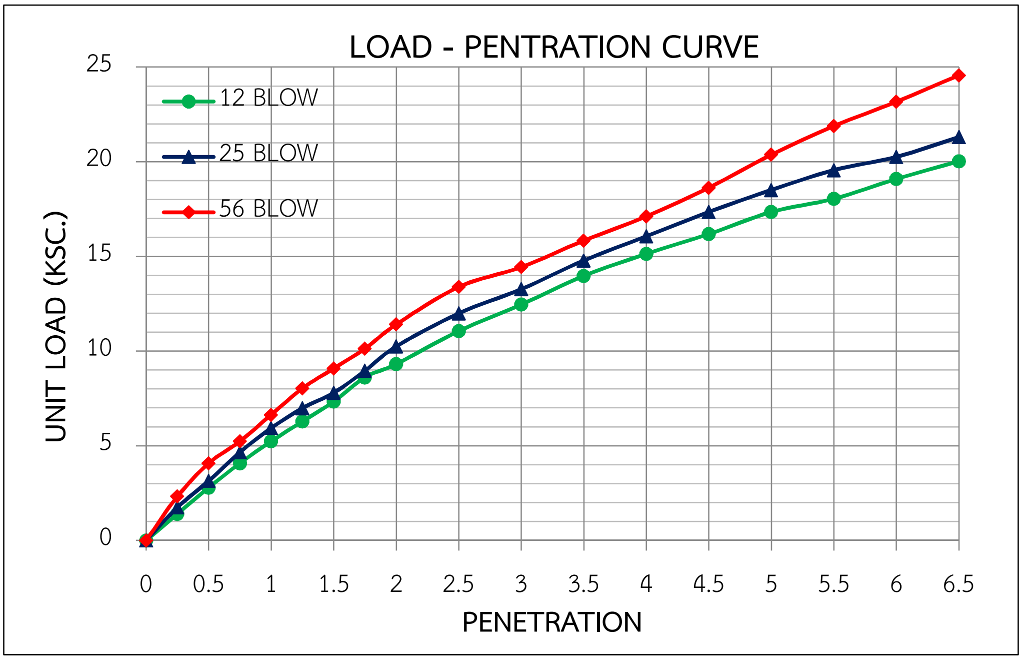
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-32 ผลการทดสอบ Penetration

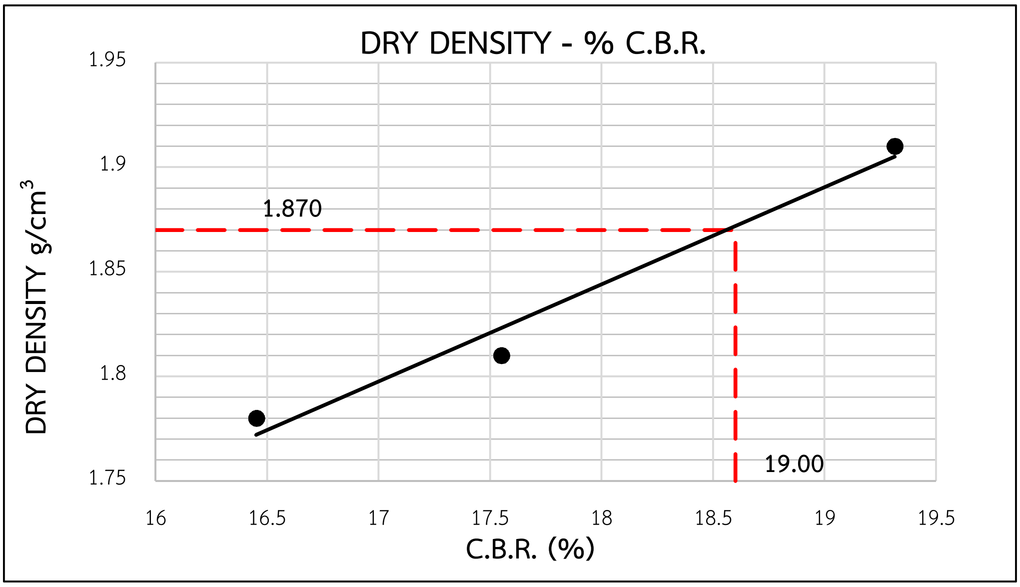
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	12	1.40	15	1.75	20	2.33
50	24	2.79	27	3.14	35	4.07
75	35	4.07	40	4.66	45	5.24
100	45	5.24	51	5.94	57	6.64
125	54	6.29	60	6.99	69	8.03
150	63	7.33	67	7.80	78	9.08
175	74	8.62	77	8.96	87	10.13
200	80	9.31	88	10.24	98	11.41
250	**95**	**11.06**	**103**	**11.99**	**115**	**13.39**
300	107	12.46	114	13.27	124	14.44
350	120	13.97	127	14.79	136	15.83
400	130	15.13	138	16.07	147	17.11
450	139	16.18	149	17.35	160	18.63
500	**149**	**17.35**	**159**	**18.51**	**175**	**20.37**
550	155	18.05	168	19.56	188	21.89
600	164	19.09	174	20.26	199	23.17
650	172	20.02	183	21.30	211	24.56



รูปที่ ข-13 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-33 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	10.80	11.80	12.80
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	17.50	18.60	21.00
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	15.36	16.79	18.21
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	16.59	17.64	19.91
DRY DENSITY	g/cm^3	1.780	1.810	1.910
WATER CONTENT	%	10.17	10.82	11.05



รูปที่ ข-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

100 % MOD. Proctor	=	1.870	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.10	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	**19.00**	**%**

5.2 ตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม รูปแบบการทดสอบที่ 1

ค่า OMC 10.10 % **ระยะเวลารวม** 4 วัน

ตารางที่ ข-34 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของดินตัวอย่าง

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,100	11,085	11,029	11,120	11,025	11,059
WT. MOLD	g	6,919	6,842	6,602	6,919	6,842	6,602
WT. SOIL	g	4,181	4,243	4,427	4,201	4,183	4,457
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,138.68	2,110.35	2,127.93	2,138.68	2,110.35	2,127.93
WET DENSITY	g/cm^3	1.955	2.011	2.080	1.964	1.982	2.095
DRY DENSITY	g/cm^3	1.780	1.830	1.900	1.770	1.790	1.880
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		A1	A4	B1	A1	A2	A3
WT. CAN + WET SOIL	g	110.62	128.56	117.52	116.62	120.25	143.21
WT. CAN + DRY SOIL	g	103.82	120.16	110.08	108.25	112.06	131.85
WT. OF WATER	g	6.8	8.4	7.44	8.37	8.19	11.36
WT. CAN	g	32.84	33.11	32.99	32.84	33.74	32.88
WT. DRY SOIL	g	70.98	87.05	77.09	75.41	78.32	98.97
WATER CONTENT	%	9.58	9.65	9.65	11.10	10.46	11.48
AVERAGE	%	9.63			11.01		

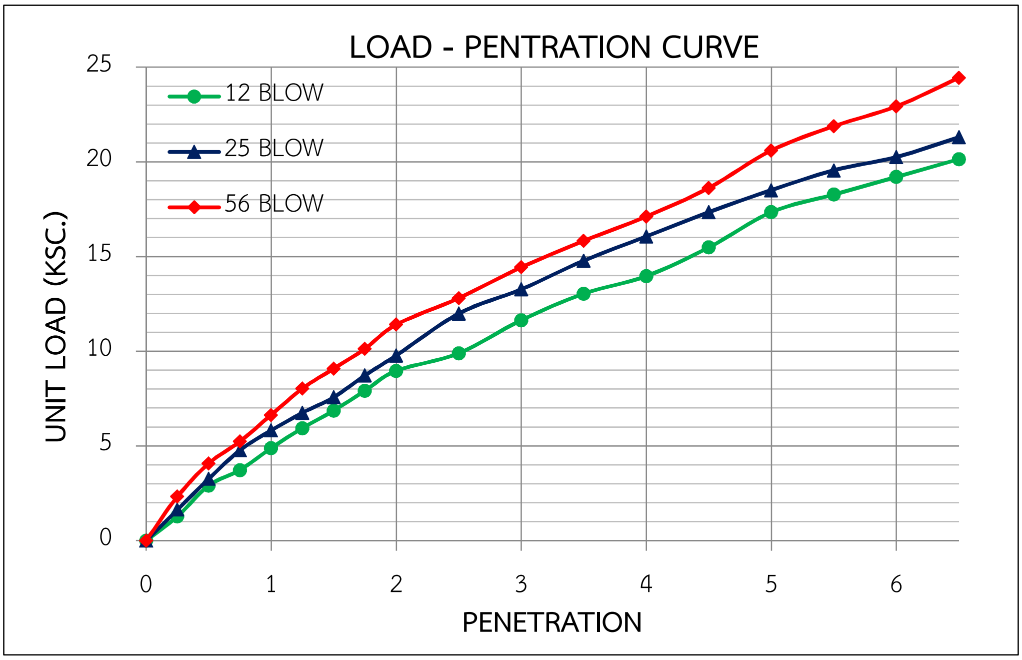
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-35 ผลการทดสอบ Penetration

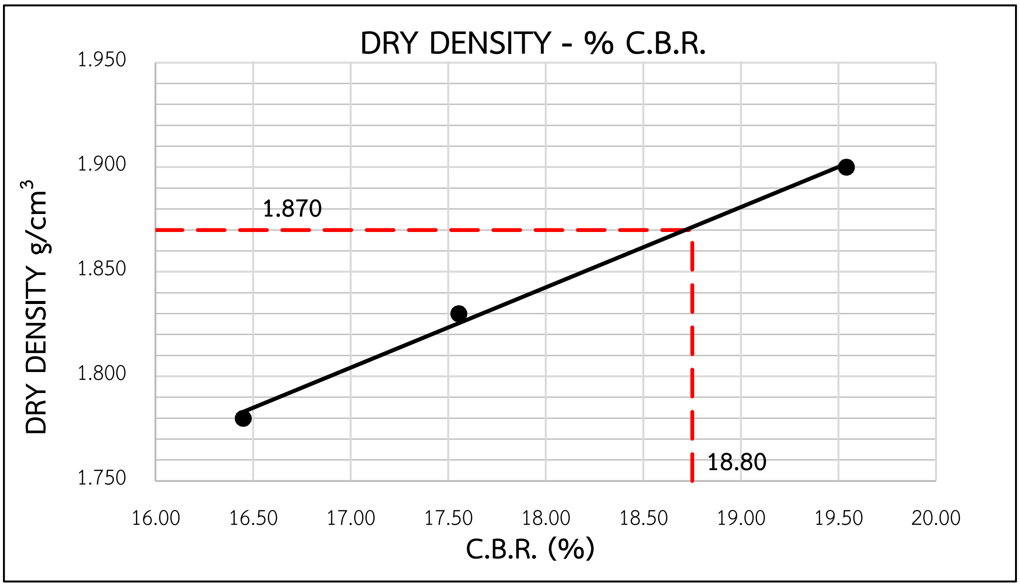
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	11	1.28	14	1.63	20	2.33
50	25	2.91	28	3.26	35	4.07
75	32	3.73	41	4.77	45	5.24
100	42	4.89	50	5.82	57	6.64
125	51	5.94	58	6.75	69	8.03
150	59	6.87	65	7.57	78	9.08
175	68	7.92	75	8.73	87	10.13
200	77	8.96	84	9.78	98	11.41
250	**85**	**9.90**	**103**	**11.99**	**110**	**12.81**
300	100	11.64	114	13.27	124	14.44
350	112	13.04	127	14.79	136	15.83
400	120	13.97	138	16.07	147	17.11
450	133	15.48	149	17.35	160	18.63
500	**149**	**17.35**	**159**	**18.51**	**177**	**20.61**
550	157	18.28	168	19.56	188	21.89
600	165	19.21	174	20.26	197	22.93
650	173	20.14	183	21.30	210	24.45



รูปที่ ข-15 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-36 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	9.90	11.99	12.81
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	17.35	18.51	20.61
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	14.08	17.06	18.22
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	16.45	17.55	19.54
DRY DENSITY	g/cm^3	1.780	1.830	1.900
WATER CONTENT	%	9.58	9.65	9.65



รูปที่ ข-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

100 % MOD. Proctor	=	1.870	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.10	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	18.80	%

5.3 ตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม รูปแบบการทดสอบที่ 2

ค่า OMC 10.10 % **ระยะเวลารวม** 8 วัน

ตารางที่ ข-37 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของดินตัวอย่าง

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,938	11,756	12,400	11,895	11,732	12,374
WT. MOLD	g	7,309	7,175	7,566	7,309	7,175	7,566
WT. SOIL	g	4,629	4,581	4,834	4,586	4,557	4,808
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,441.07	2,317.89	2,308.77	2,441.07	2,317.89	2,308.77
WET DENSITY	g/cm^3	1.896	1.976	2.094	1.879	1.966	2.082
DRY DENSITY	g/cm^3	1.730	1.800	1.910	1.730	1.790	1.920
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		B1	B2	B5	B1	C3	C4
WT. CAN + WET SOIL	g	125.22	101.79	116.52	114.22	136.81	123.393
WT. CAN + DRY SOIL	g	117.25	95.53	109.38	107.85	128.02	116.38
WT. OF WATER	g	7.97	6.26	7.14	6.37	8.79	7.013
WT. CAN	g	32.99	32.77	33.68	32.99	38.78	33.42
WT. DRY SOIL	g	84.26	62.76	75.7	74.86	89.24	82.96
WATER CONTENT	%	9.46	9.97	9.43	8.51	9.85	8.45
AVERAGE	%	9.62			8.94		

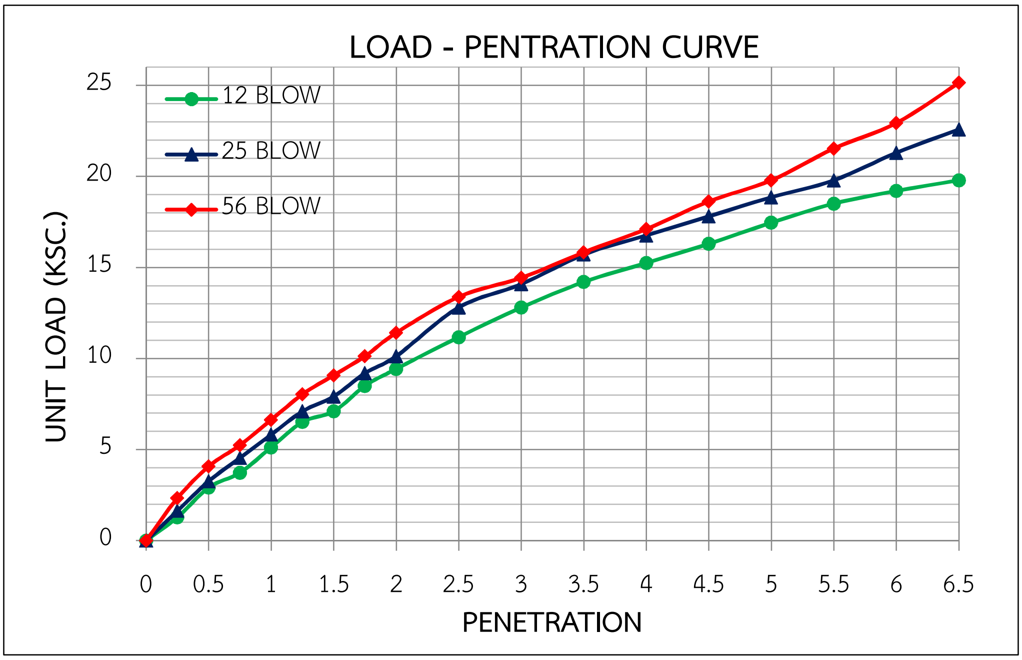
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-38 ผลการทดสอบ Penetration

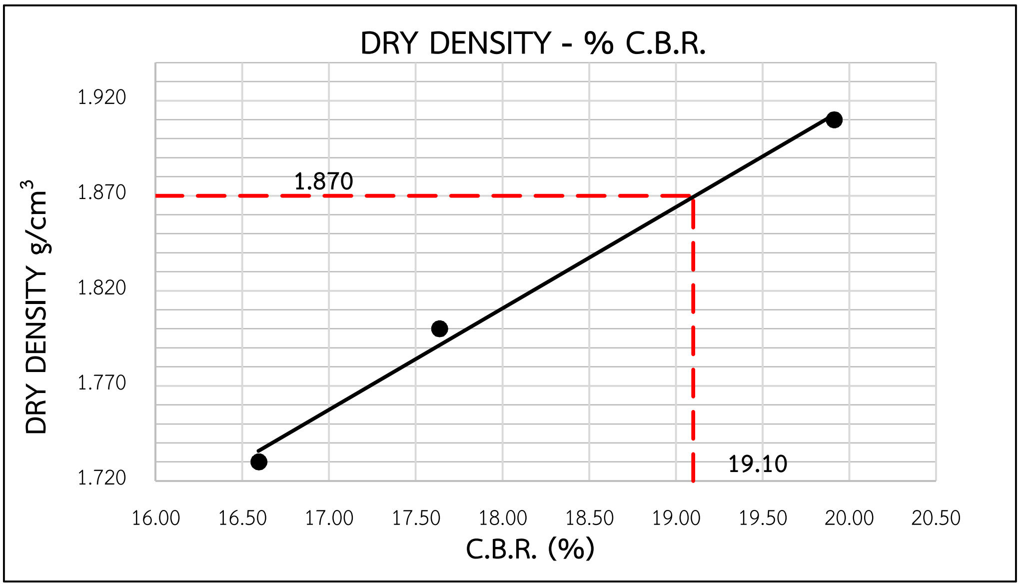
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	11	1.28	14	1.63	20	2.33
50	25	2.91	28	3.26	35	4.07
75	32	3.73	39	4.54	45	5.24
100	44	5.12	50	5.82	57	6.64
125	56	6.52	61	7.10	69	8.03
150	61	7.10	68	7.92	78	9.08
175	73	8.50	79	9.20	87	10.13
200	81	9.43	87	10.13	98	11.41
250	**96**	**11.18**	**110**	**12.81**	**115**	**13.39**
300	110	12.81	121	14.09	124	14.44
350	122	14.20	135	15.72	136	15.83
400	131	15.25	144	16.76	147	17.11
450	140	16.30	153	17.81	160	18.63
500	**150**	**17.46**	**162**	**18.86**	**170**	**19.79**
550	159	18.51	170	19.79	185	21.54
600	165	19.21	183	21.30	197	22.93
650	170	19.79	194	22.59	216	25.15



รูปที่ ข-17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-39 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	10.80	11.80	12.80
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	17.50	18.60	21.00
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	15.36	16.79	18.21
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	16.59	17.64	19.91
DRY DENSITY	g/cm^3	1.730	1.800	1.910
WATER CONTENT	%	9.46	9.97	9.43



รูปที่ ข-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

100 % MOD. Proctor	=	1.870	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.10	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	19.10	%

5.4 ตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม รูปแบบการทดสอบที่ 3

ค่า OMC 10.10 % **ระยะเวลารวม** 12 วัน

ตารางที่ ข-40 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของดินตัวอย่าง

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,632	11,605	11,435	11,712	11,721	11,526
WT. MOLD	g	7,355	7,220	6,846	7,355	7,220	6,846
WT. SOIL	g	4,277	4,385	4,589	4,357	4,501	4,680
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,139.77	2,121.13	2,131.58	2,139.77	2,121.13	2,131.58
WET DENSITY	g/cm^3	1.999	2.067	2.153	2.036	2.122	2.196
DRY DENSITY	g/cm^3	1.820	1.880	1.970	1.840	1.900	1.990
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		A5	C1	C2	A1	A2	A3
WT. CAN + WET SOIL	g	136.52	124.39	119.32	125.22	111.74	105.49
WT. CAN + DRY SOIL	g	127.22	116.32	111.85	116.25	103.64	98.63
WT. OF WATER	g	9.3	8.07	7.47	8.97	8.1	6.86
WT. CAN	g	33.75	32.88	32.93	32.84	33.74	32.88
WT. DRY SOIL	g	93.47	83.44	78.92	83.41	69.9	65.75
WATER CONTENT	%	9.95	9.67	9.47	10.75	11.59	10.43
AVERAGE	%	9.70			10.93		

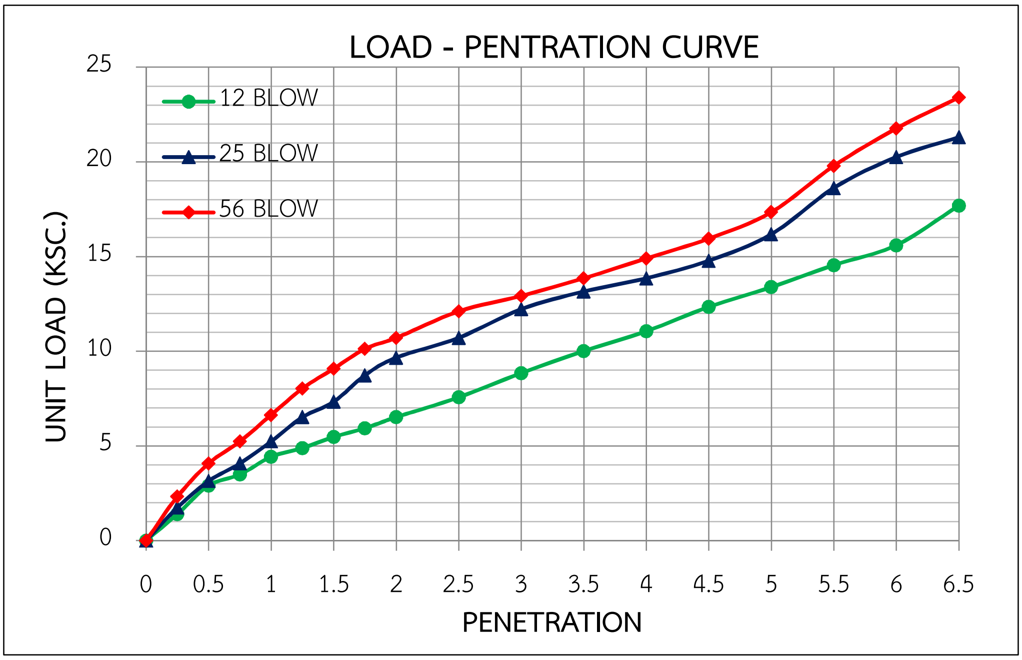
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-41 ผลการทดสอบ Penetration

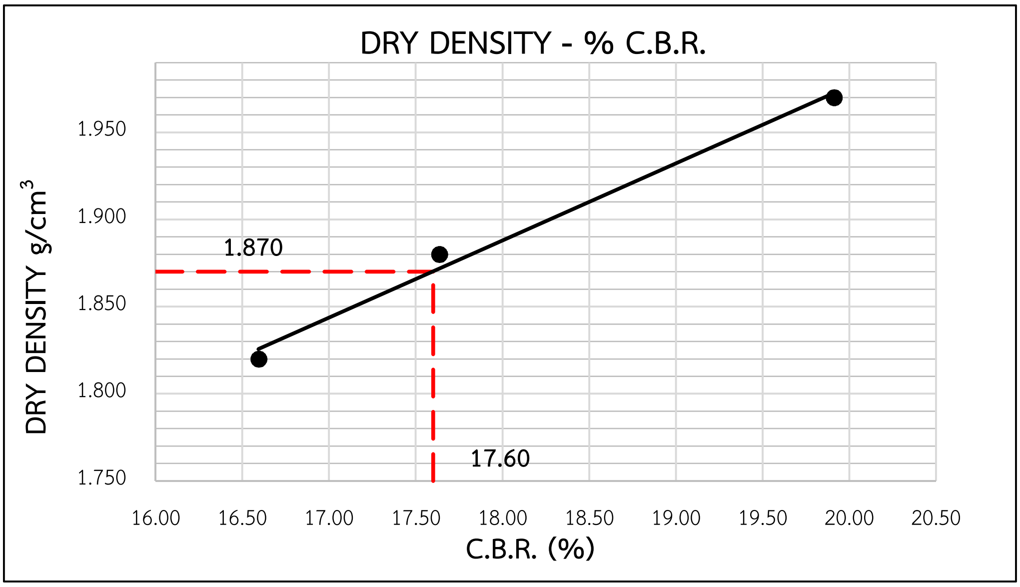
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	12	1.40	15	1.75	20	2.33
50	25	2.91	27	3.14	35	4.07
75	30	3.49	35	4.07	45	5.24
100	38	4.42	45	5.24	57	6.64
125	42	4.89	56	6.52	69	8.03
150	47	5.47	63	7.33	78	9.08
175	51	5.94	75	8.73	87	10.13
200	56	6.52	83	9.66	92	10.71
250	**65**	**7.57**	**92**	**10.71**	**104**	**12.11**
300	76	8.85	105	12.22	111	12.92
350	86	10.01	113	13.16	119	13.85
400	95	11.06	119	13.85	128	14.90
450	106	12.34	127	14.79	137	15.95
500	**115**	**13.39**	**139**	**16.18**	**149**	**17.35**
550	125	14.55	160	18.63	170	19.79
600	134	15.60	174	20.26	187	21.77
650	152	17.70	183	21.30	201	23.40



รูปที่ ข-19 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-42 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	10.80	11.80	12.80
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	17.50	18.60	21.00
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	15.36	16.79	18.21
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	16.59	17.64	19.91
DRY DENSITY	g/cm^3	1.820	1.880	1.970
WATER CONTENT	%	9.95	9.67	9.47



รูปที่ ข-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิม

100 % MOD. Proctor	=	1.870	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.10	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	17.60	%

6. ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมของตัวอย่าง Soil Cement

6.1 ตัวอย่าง Soil Cement (ทดสอบแบบ Unsoaked)

ค่า OMC 9.80 % **ระยะเวลารวม** 0 วัน

ตารางที่ ข-43 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56			
WT. MOLD + SOIL	g	11,759	11,745	11,494			
WT. MOLD	g	7,355	7,220	6,846			
WT. SOIL	g	4,404	4,525	4,648			
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,139.77	2,121.13	2,131.58			
WET DENSITY	g/cm^3	2.058	2.133	2.181			
DRY DENSITY	g/cm^3	1.854	1.928	1.961			
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		B5	A5	A4			
WT. CAN + WET SOIL	g	118.43	129.14	130.20			
WT. CAN + DRY SOIL	g	109.89	119.94	120.51			
WT. OF WATER	g	8.54	9.20	9.69			
WT. CAN	g	32.43	33.75	34.11			
WT. DRY SOIL	g	77.46	86.19	86.40			
WATER CONTENT	%	11.03	10.67	11.22			
AVERAGE	%	10.97					

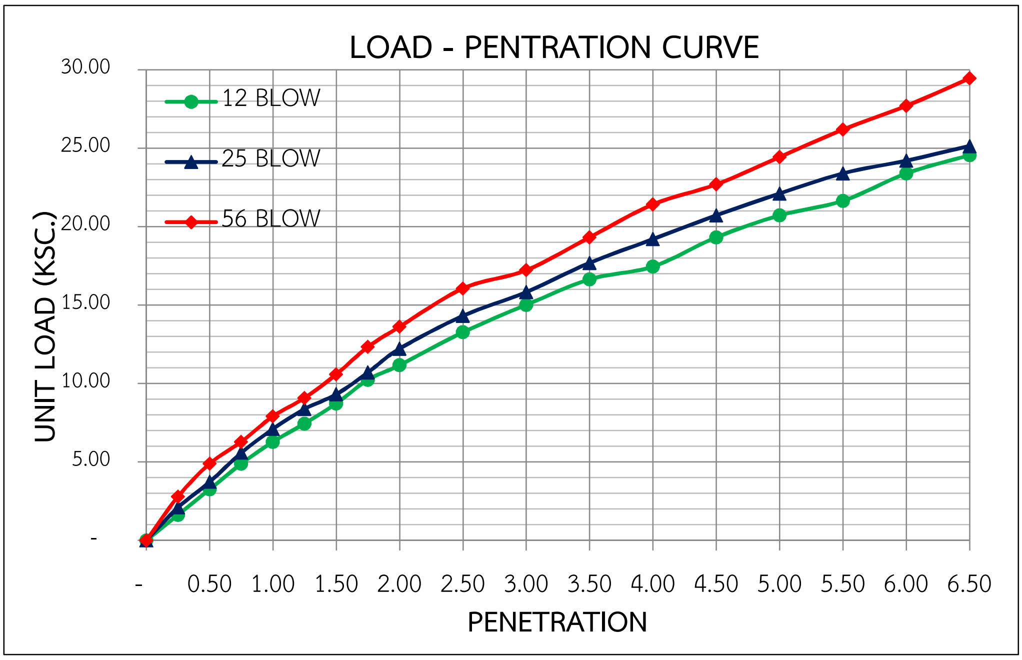
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-44 ผลการทดสอบ Penetration

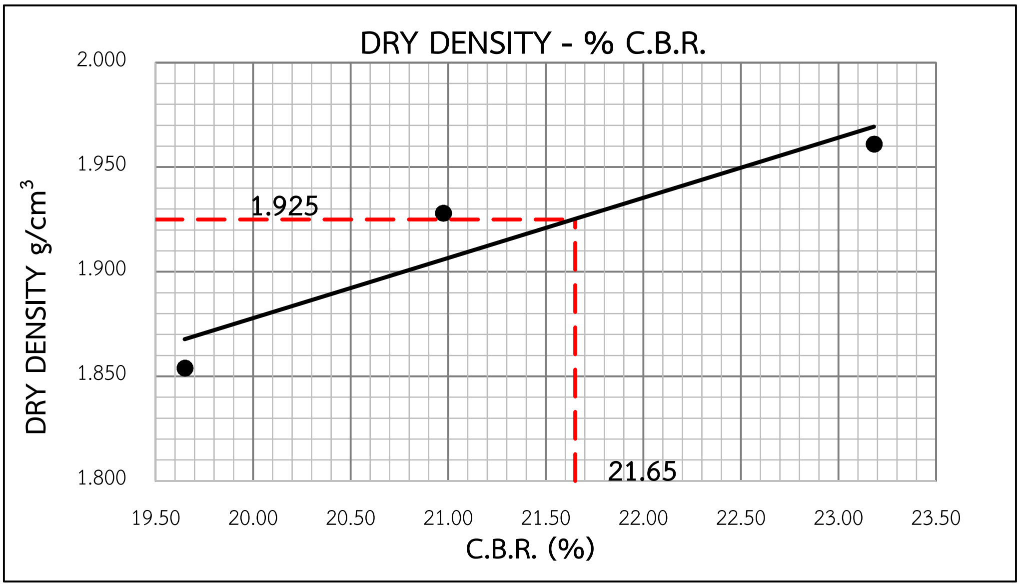
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	14	1.63	18	2.10	24	2.79
50	28	3.26	32	3.73	42	4.89
75	42	4.89	48	5.59	54	6.29
100	54	6.29	61	7.10	68	7.92
125	64	7.45	72	8.38	78	9.08
150	75	8.73	80	9.31	91	10.59
175	88	10.24	92	10.71	106	12.34
200	96	11.18	105	12.22	117	13.62
250	**114**	**13.27**	**123**	**14.32**	**138**	**16.07**
300	129	15.02	136	15.83	148	17.23
350	143	16.65	152	17.70	166	19.33
400	150	17.46	165	19.21	184	21.42
450	166	19.33	178	20.72	195	22.70
500	**178**	**20.72**	**190**	**22.12**	**210**	**24.45**
550	186	21.65	201	23.40	225	26.19
600	201	23.40	208	24.22	238	27.71
650	211	24.56	216	25.15	253	29.45



รูปที่ ข-21 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-45 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	13.27	14.32	16.07
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	20.72	22.12	24.45
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	18.88	20.37	22.85
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	19.65	20.97	23.18
DRY DENSITY	g/cm^3	1.854	1.928	1.961
WATER CONTENT	%	11.03	10.67	11.22



รูปที่ ข-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement

100 % MOD. Proctor	=	1.925	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	9.80	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	21.65	%

6.2 ตัวอย่าง Soil Cement รูปแบบการทดสอบที่ 1

ค่า OMC 9.80 % **ระยะเวลารวม** 4 วัน

ตารางที่ ข-46 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,712	11,800	11,482	11,825	11,921	11,574
WT. MOLD	g	7,355	7,220	6,846	7,355	7,220	6,846
WT. SOIL	g	4,357	4,580	4,636	4,470	4,701	4,728
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,139.77	2,121.13	2,131.58	2,139.77	2,121.13	2,131.58
WET DENSITY	g/cm^3	2.036	2.159	2.175	2.089	2.216	2.218
DRY DENSITY	g/cm^3	1.850	1.947	1.973	1.869	1.993	1.974
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		A3	F8	A2	A1	A2	A3
WT. CAN + WET SOIL	g	138.57	130.11	140.8	125.7	112.30	116.5
WT. CAN + DRY SOIL	g	128.91	120.54	130.61	115.9	104.4	107.30
WT. OF WATER	g	9.66	9.57	10.19	9.8	7.9	9.2
WT. CAN	g	33.17	32.87	30.88	32.84	33.74	32.88
WT. DRY SOIL	g	95.74	87.67	99.73	83.06	70.66	74.42
WATER CONTENT	%	10.09	10.92	10.22	11.80	11.18	12.36
AVERAGE	%	10.41			11.78		

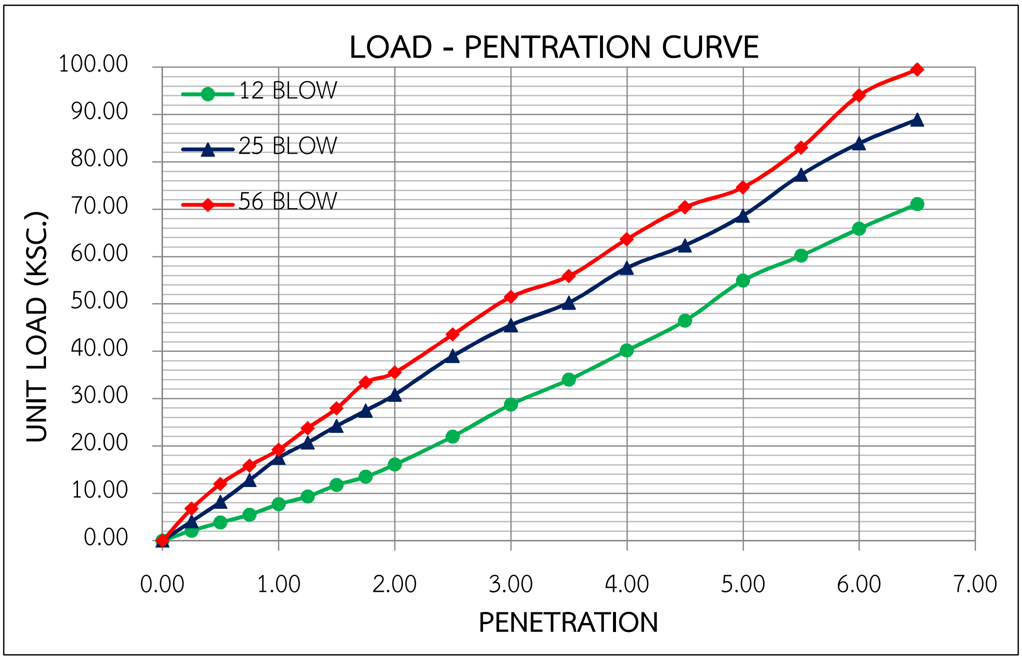
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-47 ผลการทดสอบ Penetration

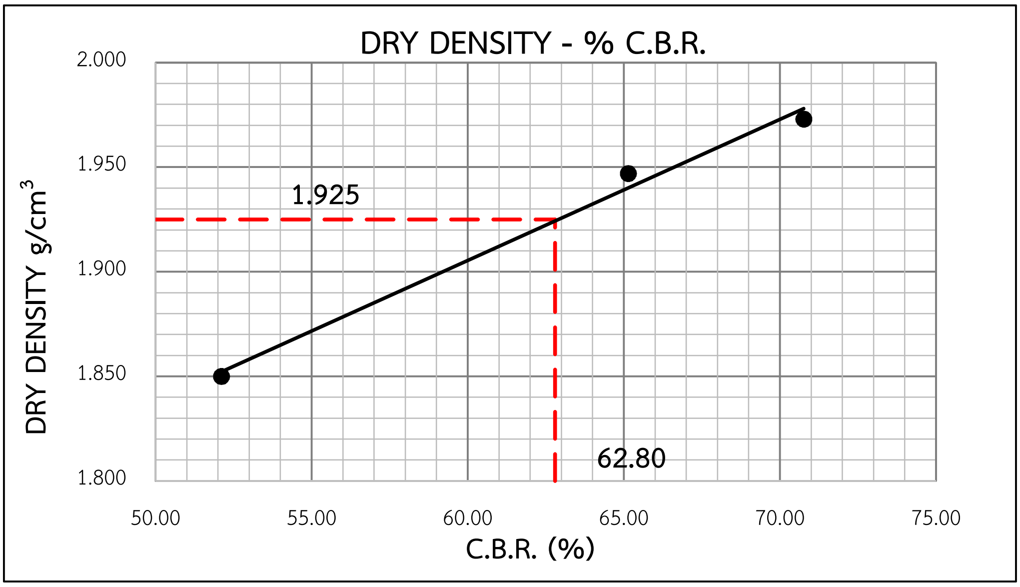
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	18	2.10	35	4.07	58	6.75
50	33	3.84	70	8.15	103	11.99
75	47	5.47	110	12.81	136	15.83
100	66	7.68	150	17.46	165	19.21
125	80	9.31	178	20.72	204	23.75
150	101	11.76	208	24.22	240	27.94
175	116	13.50	236	27.48	287	33.41
200	138	16.07	265	30.85	305	35.51
250	**189**	**22.00**	**335**	**39.00**	**374**	**43.54**
300	247	28.76	391	45.52	442	51.46
350	292	33.99	432	50.29	480	55.88
400	345	40.16	495	57.63	547	63.68
450	399	46.45	536	62.40	605	70.43
500	**472**	**54.95**	**590**	**68.69**	**641**	**74.62**
550	517	60.19	664	77.30	713	83.01
600	566	65.89	721	83.94	808	94.07
650	611	71.13	764	88.94	855	99.54



รูปที่ ข-23 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-48 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	22.00	39.00	43.54
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	54.95	68.69	74.62
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	31.30	55.48	61.94
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	52.11	65.13	70.76
DRY DENSITY	g/cm^3	1.850	1.947	1.973
WATER CONTENT	%	10.09	10.92	10.22



รูปที่ ข-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement

100 % MOD. Proctor	=	1.925	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	9.80	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	62.80	%

6.3 ตัวอย่าง Soil Cement รูปแบบการทดสอบที่ 2

ค่า OMC 9.80 % **ระยะเวลารวม** 8 วัน

ตารางที่ ข-49 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,278	11,688	11,863	11,238	11,628	11,833
WT. MOLD	g	6,948	7,164	7,313	6,948	7,164	7,313
WT. SOIL	g	4,330	4,524	4,550	4,290	4,464	4,520
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,119.35	2,132.42	2,128.87	2,119.35	2,132.42	2,128.87
WET DENSITY	g/cm^3	2.043	2.122	2.137	2.024	2.093	2.123
DRY DENSITY	g/cm^3	1.859	1.913	1.936	1.864	1.923	1.950
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		F6	F2	C4	A4	A5	A6
WT. CAN + WET SOIL	g	128.31	131.14	109.44	112.33	110.26	125.74
WT. CAN + DRY SOIL	g	118.91	121.53	102.30	106.14	104.03	118.25
WT. OF WATER	g	9.4	9.61	7.14	6.19	6.23	7.49
WT. CAN	g	24.12	33.25	33.77	34.11	33.75	33.73
WT. DRY SOIL	g	94.79	88.28	68.53	72.03	70.28	84.52
WATER CONTENT	%	9.92	10.89	10.42	8.59	8.86	8.86
AVERAGE	%	10.41			8.77		

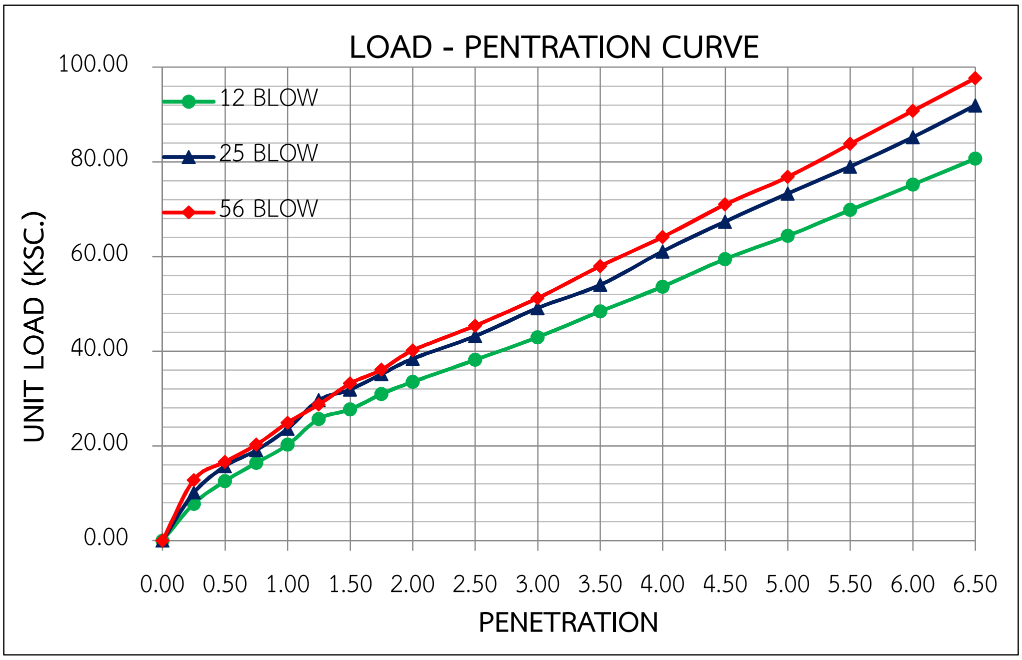
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-50 ผลการทดสอบ Penetration

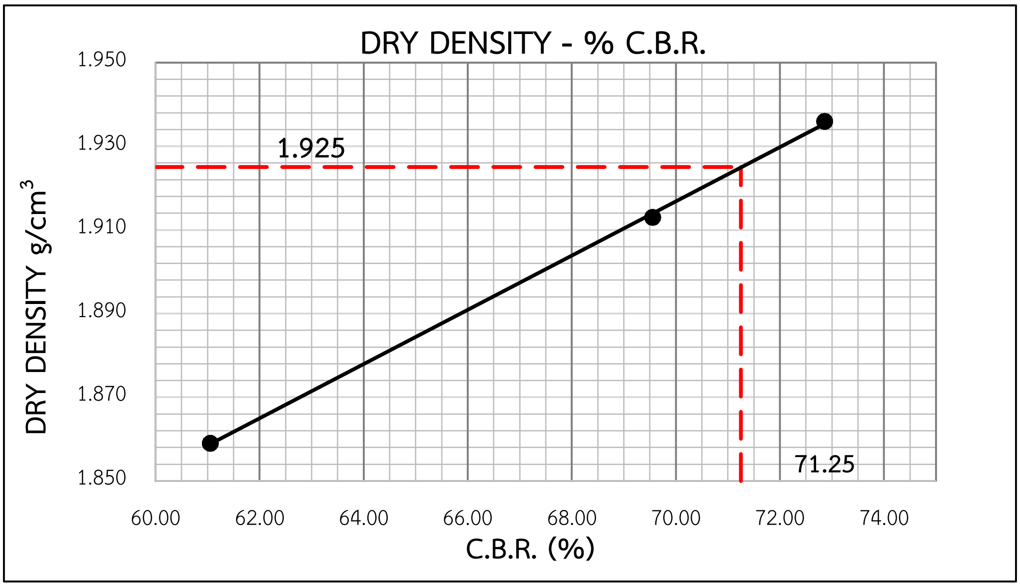
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	67	7.80	87	10.13	110	12.81
50	108	12.57	135	15.72	143	16.65
75	141	16.42	164	19.09	174	20.26
100	174	20.26	203	23.63	214	24.91
125	221	25.73	255	29.69	247	28.76
150	238	27.71	274	31.90	285	33.18
175	266	30.97	302	35.16	310	36.09
200	288	33.53	330	38.42	345	40.16
250	**328**	**38.19**	**371**	**43.19**	**390**	**45.40**
300	369	42.96	422	49.13	440	51.22
350	416	48.43	464	54.02	498	57.98
400	461	53.67	525	61.12	551	64.15
450	511	59.49	579	67.41	610	71.02
500	**553**	**64.38**	**630**	**73.34**	**660**	**76.84**
550	600	69.85	679	79.05	720	83.82
600	646	75.21	732	85.22	780	90.81
650	693	80.68	790	91.97	839	97.68



รูปที่ ข-25 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-51 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	38.19	43.19	45.40
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	64.38	73.34	76.84
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	54.32	61.44	64.59
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	61.05	69.55	72.86
DRY DENSITY	g/cm^3	1.859	1.913	1.936
WATER CONTENT	%	9.92	10.89	10.42



รูปที่ ข-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement

100 % MOD. Proctor	=	1.925	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	9.80	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	71.25	%

6.4 ตัวอย่าง Soil Cement รูปแบบการทดสอบที่ 3

ค่า OMC 9.80 % **ระยะเวลารวม** 12 วัน

ตารางที่ ข-52 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	12,276	12,010	12,632	12,352	12,176	12,708
WT. MOLD	g	7,309	7,175	7,566	7,309	7,175	7,566
WT. SOIL	g	4,967	4,835	5,066	5,043	5,001	5,142
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,441.07	2,317.89	2,308.77	2,441.07	2,317.89	2,308.77
WET DENSITY	g/cm^3	2.035	2.086	2.194	2.066	2.158	2.227
DRY DENSITY	g/cm^3	1.847	1.888	1.991	1.842	1.938	1.981
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		A8	B5	C4	B1	B2	B3
WT. CAN + WET SOIL	g	135.3	123.16	110.44	128.73	135.71	102.39
WT. CAN + DRY SOIL	g	125.91	114.54	103.30	118.36	125.22	94.72
WT. OF WATER	g	9.39	8.62	7.14	10.37	10.49	7.67
WT. CAN	g	33.68	32.43	33.42	32.99	32.77	32.96
WT. DRY SOIL	g	92.23	82.11	69.88	85.37	92.45	61.76
WATER CONTENT	%	10.18	10.50	10.22	12.15	11.35	12.42
AVERAGE	%	10.30			11.97		

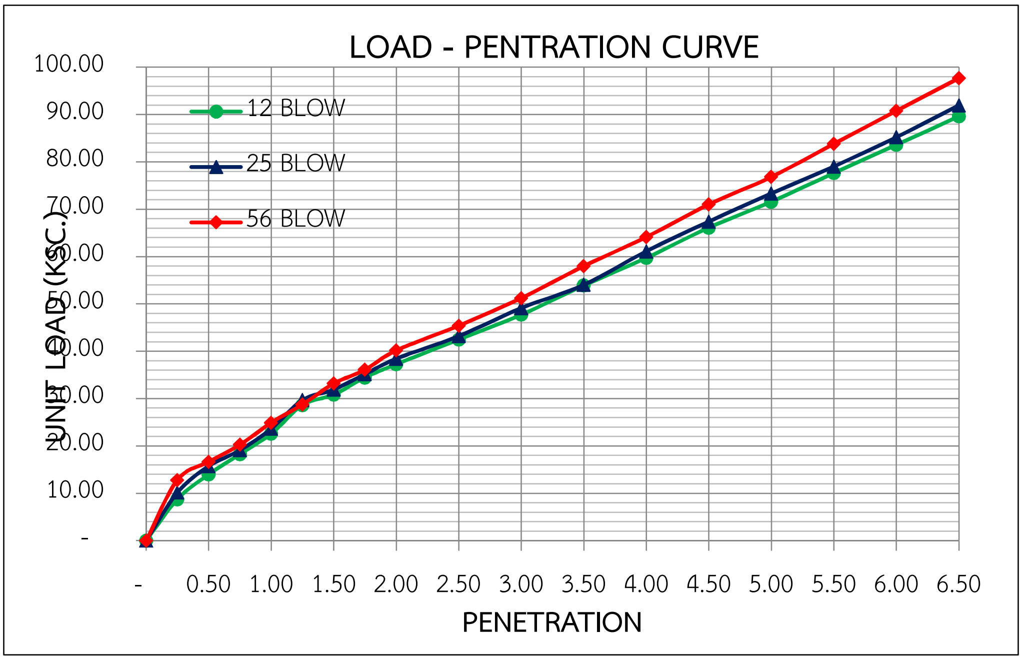
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-53 ผลการทดสอบ Penetration

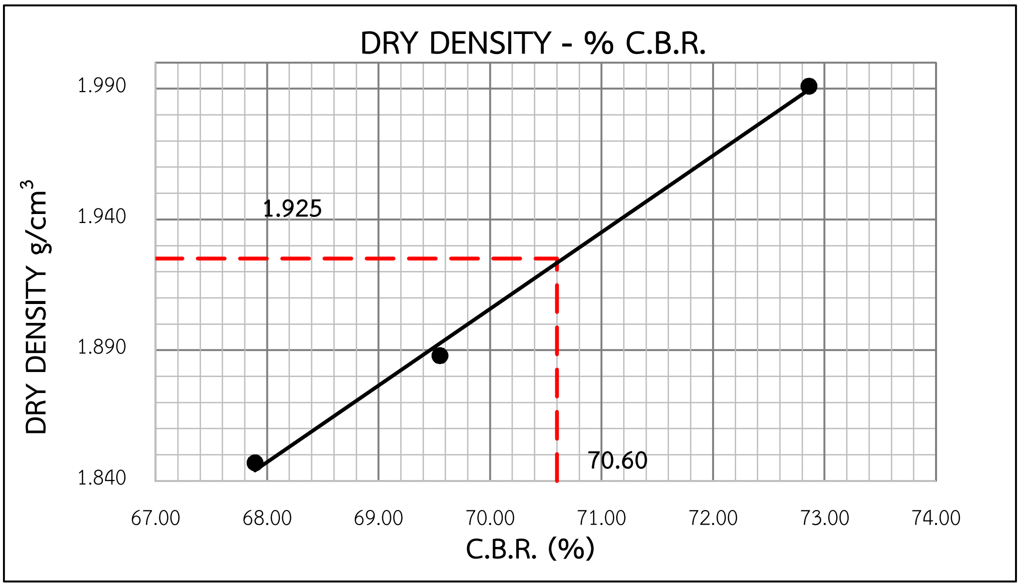
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	75	8.73	87	10.13	110	12.81
50	120	13.97	135	15.72	143	16.65
75	157	18.28	164	19.09	174	20.26
100	194	22.59	203	23.63	214	24.91
125	246	28.64	255	29.69	247	28.76
150	265	30.85	274	31.90	285	33.18
175	296	34.46	302	35.16	310	36.09
200	320	37.25	330	38.42	345	40.16
250	**365**	**42.49**	**371**	**43.19**	**390**	**45.40**
300	410	47.73	422	49.13	440	51.22
350	463	53.90	464	54.02	498	57.98
400	513	59.72	525	61.12	551	64.15
450	568	66.13	579	67.41	610	71.02
500	**615**	**71.60**	**630**	**73.34**	**660**	**76.84**
550	667	77.65	679	79.05	720	83.82
600	718	83.59	732	85.22	780	90.81
650	770	89.64	790	91.97	839	97.68



รูปที่ ข-27 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-54 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	42.49	43.19	45.40
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	71.60	73.34	76.84
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	60.45	61.44	64.59
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	67.89	69.55	72.86
DRY DENSITY	g/cm^3	1.847	1.888	1.991
WATER CONTENT	%	10.18	10.50	10.22



รูปที่ ข-28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement

100 % MOD. Proctor	=	1.870	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.10	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	**70.60**	%

7. ผลการทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วมของตัวอย่าง Soil Cement ผสมสาร Polymer

7.1 ตัวอย่าง Soil Cement + Polymer (ทดสอบแบบ Unsoaked)

ค่า OMC 10.00 % **ระยะเวลารวม** 0 วัน

ตารางที่ ข-55 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

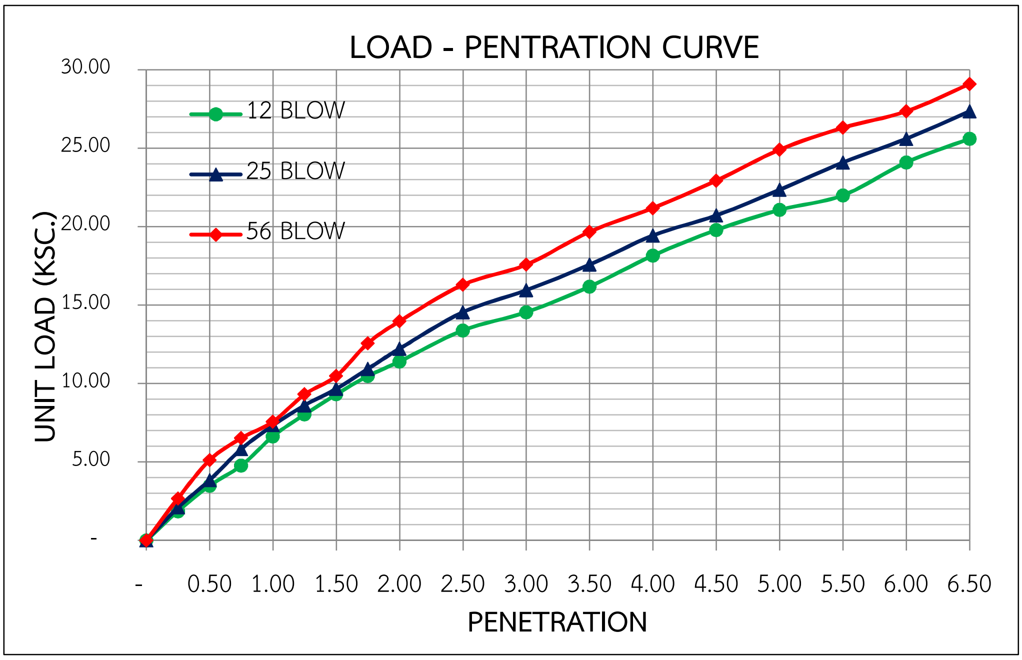
DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56			
WT. MOLD + SOIL	g	11,703	11,700	11,470			
WT. MOLD	g	7,355	7,220	6,846			
WT. SOIL	g	4,348	4,480	4,624			
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,139.77	2,121.13	2,131.58			
WET DENSITY	g/cm^3	2.032	2.112	2.169			
DRY DENSITY	g/cm^3	1.827	1.903	1.957			
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		B1	A3	C2			
WT. CAN + WET SOIL	g	104.13	108.32	122.4			
WT. CAN + DRY SOIL	g	96.95	100.94	113.64			
WT. OF WATER	g	7.18	7.38	8.76			
WT. CAN	g	32.99	33.88	32.93			
WT. DRY SOIL	g	63.96	67.06	80.71			
WATER CONTENT	%	11.23	11.01	10.85			
AVERAGE	%	11.03					

ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K	2.2533	kg/div
Pistion Area	19.355	cm^2

ตารางที่ ข-56 ผลการทดสอบ Penetration

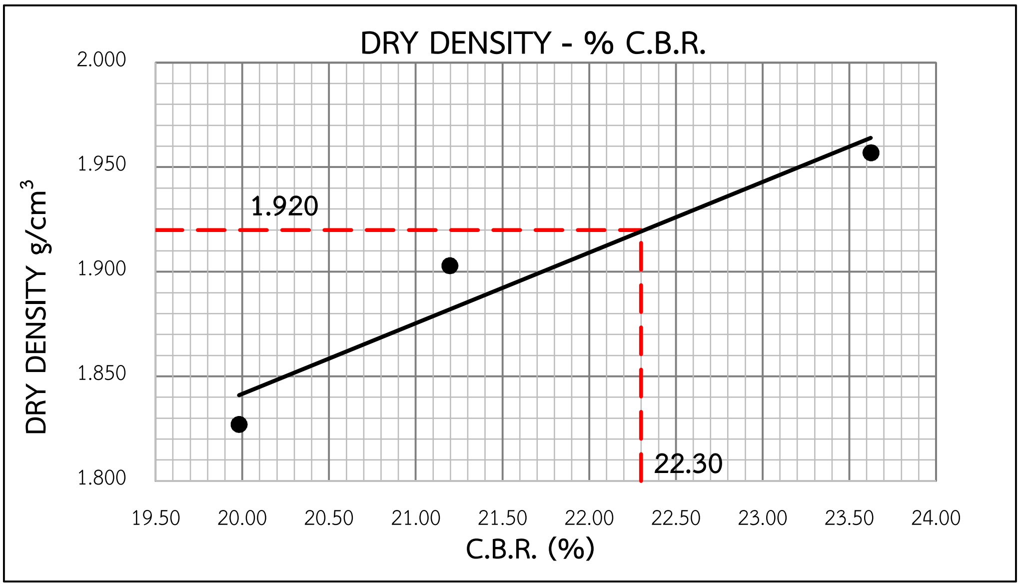
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	16	1.86	18	2.10	23	2.68
50	30	3.49	33	3.84	44	5.12
75	41	4.77	50	5.82	56	6.52
100	57	6.64	63	7.33	65	7.57
125	69	8.03	74	8.62	80	9.31
150	80	9.31	83	9.66	90	10.48
175	90	10.48	94	10.94	108	12.57
200	98	11.41	105	12.22	120	13.97
250	**115**	**13.39**	**125**	**14.55**	**140**	**16.30**
300	125	14.55	137	15.95	151	17.58
350	139	16.18	151	17.58	169	19.67
400	156	18.16	167	19.44	182	21.19
450	170	19.79	178	20.72	197	22.93
500	**181**	**21.07**	**192**	**22.35**	**214**	**24.91**
550	189	22.00	207	24.10	226	26.31
600	207	24.10	220	25.61	235	27.36
650	220	25.61	235	27.36	250	29.10



รูปที่ ข-29 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-57 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	13.39	14.55	16.30
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	21.07	22.35	24.91
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	19.04	20.70	23.18
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	19.98	21.20	23.62
DRY DENSITY	g/cm^3	1.827	1.903	1.957
WATER CONTENT	%	11.23	11.01	10.85



รูปที่ ข-30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

100 % MOD. Proctor	=	1.920	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.00	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	22.30	%

7.2 ตัวอย่าง Soil Cement + Polymer รูปแบบการทดสอบที่ 1

ค่า OMC 10.00 % **ระยะเวลารวม** 4 วัน

ตารางที่ ข-58 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

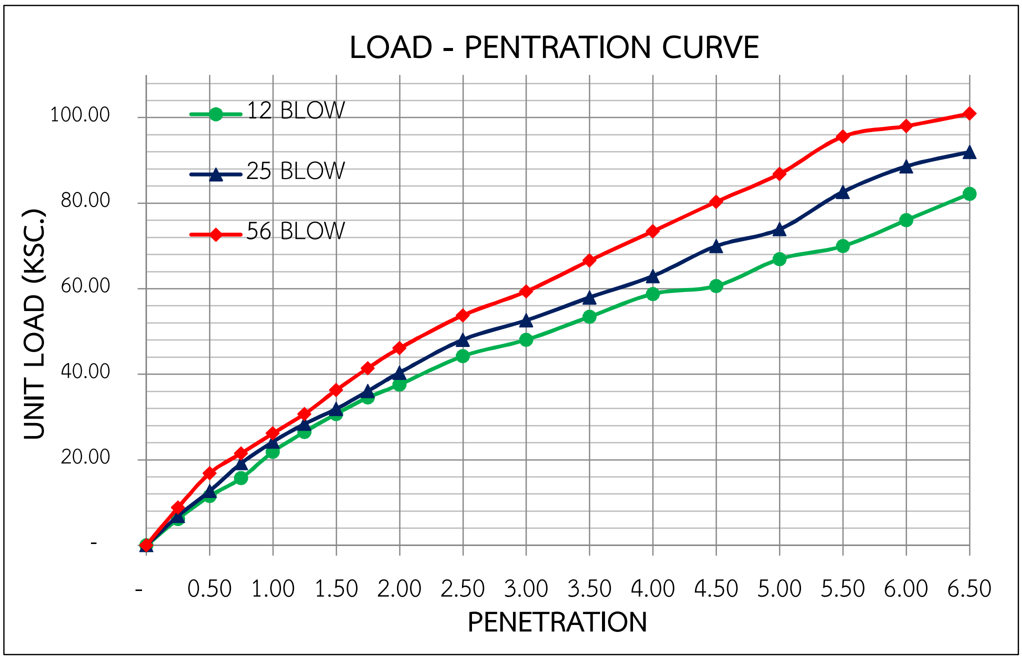
DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	12432	12104	12632	12502	12195	12717
WT. MOLD	g	7309	7175	7566	7309	7175	7566
WT. SOIL	g	5123	4929	5066	5193	5020	5151
VOLUME OF MOLD	cm^3	2441.07	2317.89	2308.77	2441.07	2317.89	2308.77
WET DENSITY	g/cm^3	2.099	2.127	2.194	2.127	2.166	2.231
DRY DENSITY	g/cm^3	1.896	1.927	1.985	1.895	1.935	2.005
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		C9	G7	B1	A4	A6	A7
WT. CAN + WET SOIL	g	99.41	142.53	141.31	110.23	119.68	128.74
WT. CAN + DRY SOIL	g	93.01	132.25	131.03	101.92	110.52	119.03
WT. OF WATER	g	6.40	10.28	10.28	8.31	9.16	9.71
WT. CAN	g	32.98	32.84	33.68	34.11	33.73	33.02
WT. DRY SOIL	g	60.03	99.41	97.35	67.81	76.79	86.01
WATER CONTENT	%	10.66	10.34	10.56	12.25	11.93	11.29
AVERAGE	%	10.52			11.82		

ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K	2.2533	kg/div
Pistion Area	19.355	cm^2

ตารางที่ ข-59 ผลการทดสอบ Penetration

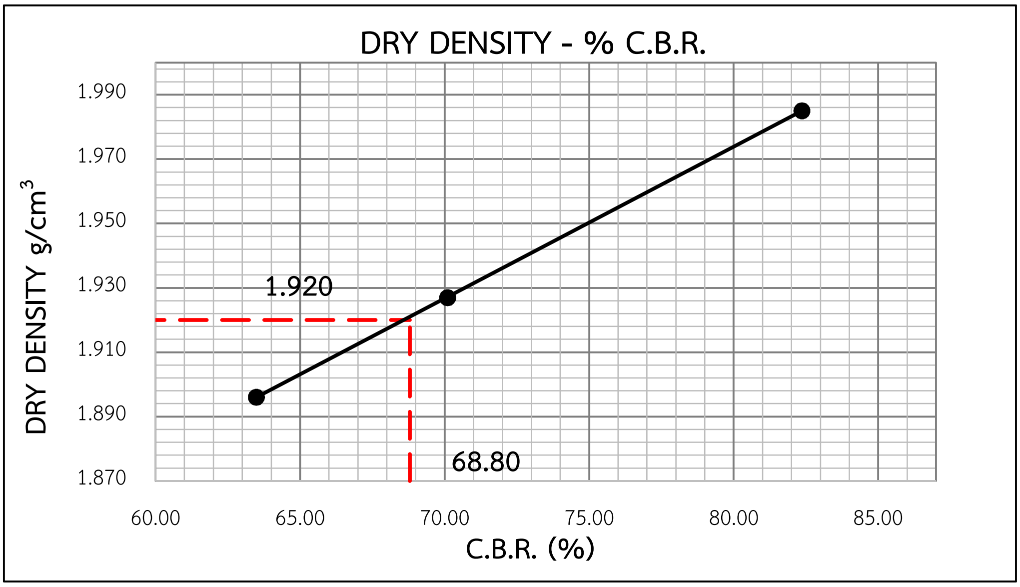
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	53	6.17	59	6.87	76	8.85
50	99	11.53	109	12.69	145	16.88
75	135	15.72	165	19.21	185	21.54
100	188	21.89	208	24.22	225	26.19
125	228	26.54	244	28.41	264	30.73
150	264	30.73	274	31.90	312	36.32
175	297	34.58	310	36.09	356	41.45
200	323	37.60	347	40.40	396	46.10
250	**380**	**44.24**	**413**	**48.08**	**462**	**53.79**
300	413	48.08	452	52.62	510	59.37
350	459	53.44	498	57.98	572	66.59
400	505	58.79	541	62.98	631	73.46
450	521	60.65	601	69.97	690	80.33
500	**575**	**66.94**	**635**	**73.93**	**746**	**86.85**
550	601	69.97	710	82.66	821	95.58
600	653	76.02	761	88.60	842	98.03
650	706	82.19	790	91.97	867	100.94



รูปที่ ข-31 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-60 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	44.24	48.08	53.79
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	66.94	73.93	86.85
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	62.93	68.39	76.51
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	63.48	70.10	82.35
DRY DENSITY	g/cm^3	1.896	1.927	1.985
WATER CONTENT	%	10.66	10.34	10.56



รูปที่ ข-32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

100 % MOD. Proctor	=	1.920	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.00	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	68.80	%

7.3 ตัวอย่าง Soil Cement + Polymer รูปแบบการทดสอบที่ 2

ค่า OMC 10.00 % **ระยะเวลารวม** 8 วัน

ตารางที่ ข-61 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,780	11,715	11,452	11,743	11,702	11,398
WT. MOLD	g	7,355	7,220	6,846	7,355	7,220	6,846
WT. SOIL	g	4,425	4,495	4,606	4,388	4,482	4,552
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,139.77	2,121.13	2,131.58	2,139.77	2,121.13	2,131.58
WET DENSITY	g/cm^3	2.068	2.119	2.161	2.051	2.113	2.136
DRY DENSITY	g/cm^3	1.885	1.913	1.956	1.891	1.935	1.959
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		B3	B9	A5	A1	A2	A9
WT. CAN + WET SOIL	g	122.42	121.70	112.17	120.32	125.82	99.76
WT. CAN + DRY SOIL	g	114.52	113.07	104.75	113.52	118.07	94.25
WT. OF WATER	g	7.9	8.63	7.42	6.8	7.75	5.51
WT. CAN	g	32.96	33.02	33.74	32.84	33.74	32.92
WT. DRY SOIL	g	81.56	80.05	71.01	80.68	84.33	61.33
WATER CONTENT	%	9.69	10.78	10.45	8.43	9.19	8.98
AVERAGE	%	10.31			8.87		

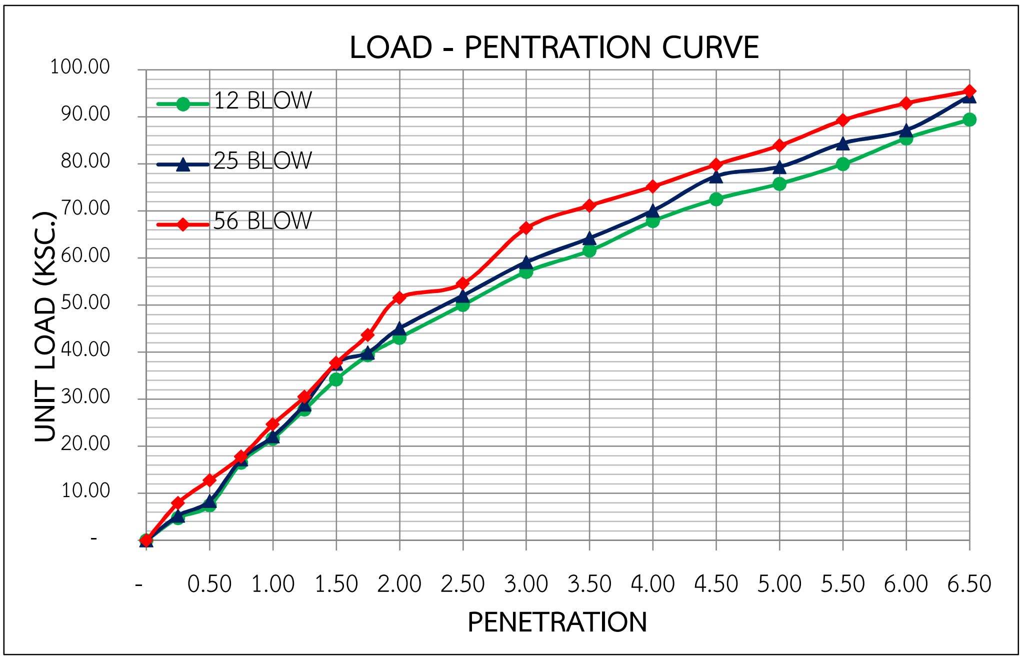
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-62 ผลการทดสอบ Penetration

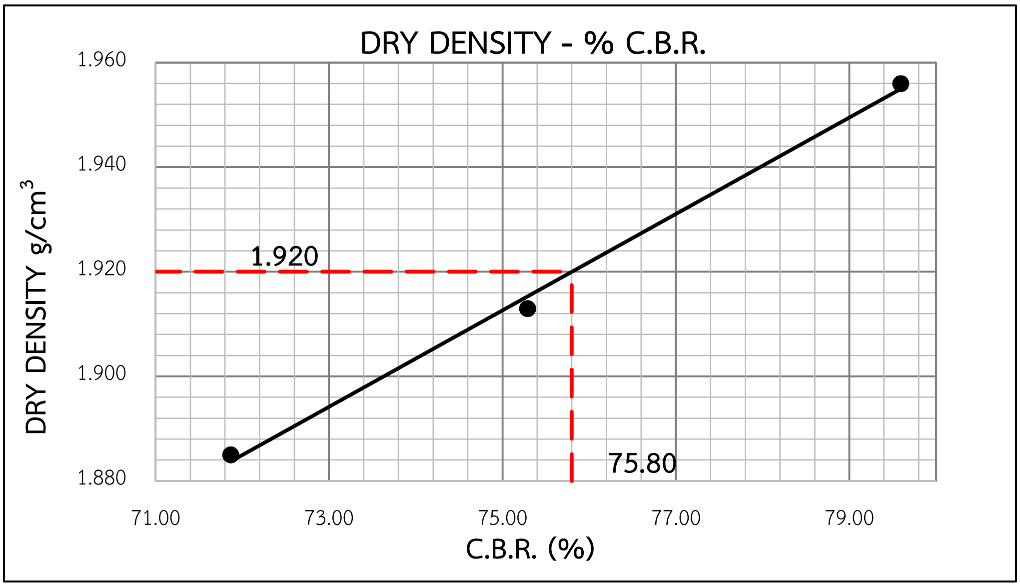
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	41	4.77	45	5.24	68	7.92
50	64	7.45	72	8.38	110	12.81
75	142	16.53	148	17.23	153	17.81
100	186	21.65	190	22.12	212	24.68
125	239	27.82	248	28.87	262	30.50
150	294	34.23	323	37.60	324	37.72
175	338	39.35	343	39.93	375	43.66
200	370	43.08	387	45.05	443	51.57
250	**430**	**50.06**	**447**	**52.04**	**469**	**54.60**
300	490	57.05	508	59.14	570	66.36
350	529	61.59	552	64.26	611	71.13
400	583	67.87	602	70.08	646	75.21
450	623	72.53	665	77.42	686	79.86
500	**651**	**75.79**	**682**	**79.40**	**721**	**83.94**
550	687	79.98	725	84.40	767	89.29
600	734	85.45	749	87.20	798	92.90
650	768	89.41	811	94.42	820	95.46



รูปที่ ข-33 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-63 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	50.06	52.04	54.60
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	75.79	79.40	83.94
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	71.21	74.02	77.67
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	71.87	75.29	79.59
DRY DENSITY	g/cm^3	1.885	1.913	1.956
WATER CONTENT	%	9.69	10.78	10.45



รูปที่ ข-34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

100 % MOD. Proctor	=	1.920	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.00	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	75.80	%

7.4 ตัวอย่าง Soil Cement + Polymer รูปแบบการทดสอบที่ 3

ค่า OMC 10.00 % **ระยะเวลารวม** 12 วัน

ตารางที่ ข-64 ผลการทดสอบค่าความแน่นและค่าเปอร์เซ็นต์น้ำของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

DENSITY		BEFORE			AFTER		
BLOW PER LAYER		12	25	56	12	25	56
WT. MOLD + SOIL	g	11,393	11,703	11,904	11,473	11,835	11,996
WT. MOLD	g	6,948	7,164	7,313	6,948	7,164	7,313
WT. SOIL	g	4,445	4,539	4,591	4,525	4,671	4,683
VOLUME OF MOLD	cm^3	2,119.35	2,132.42	2,128.87	2,119.35	2,132.42	2,128.87
WET DENSITY	g/cm^3	2.097	2.129	2.157	2.135	2.190	2.200
DRY DENSITY	g/cm^3	1.897	1.936	1.962	1.917	1.958	1.963
WATER CONTENT		BEFORE			AFTER		
CAN No.		J10	H1	A2	C1	C3	C4
WT. CAN + WET SOIL	g	111.16	117.80	104.1	116.58	135.36	137.33
WT. CAN + DRY SOIL	g	103.74	111.07	97.75	108.02	124.49	126.15
WT. OF WATER	g	7.42	6.73	6.35	8.56	10.87	11.18
WT. CAN	g	33.57	43.56	33.74	32.88	32.93	33.42
WT. DRY SOIL	g	70.17	67.51	64.01	75.14	91.56	92.73
WATER CONTENT	%	10.57	9.97	9.92	11.39	11.87	12.06
AVERAGE	%	10.15			11.77		

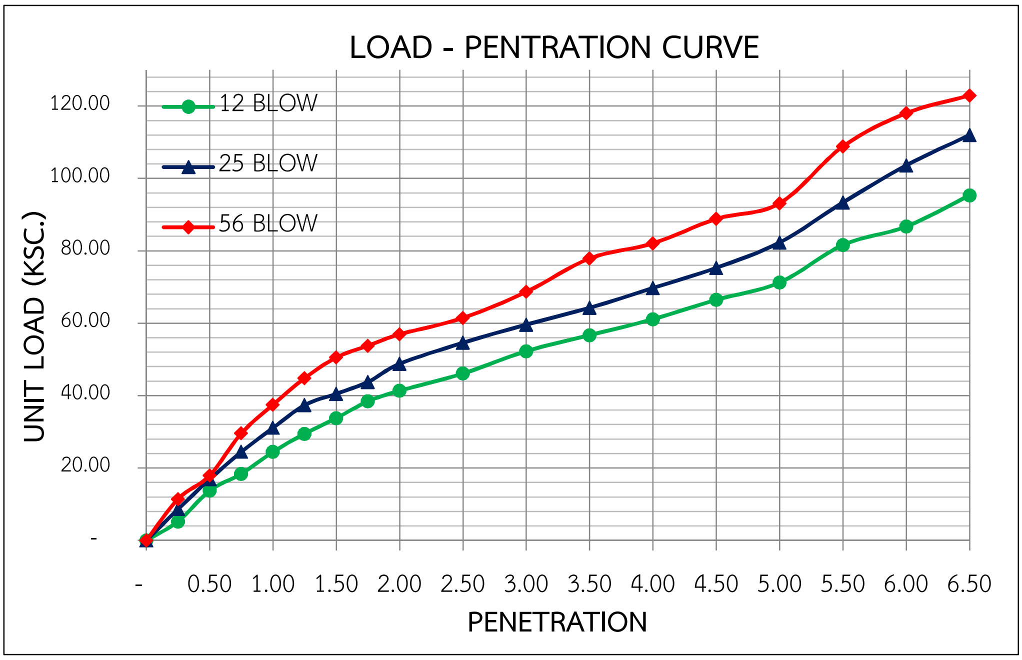
ข้อมูลพื้นฐานอุปกรณ์

Load Scale,K 2.2533 kg/div

Pistion Area 19.355 cm^2

ตารางที่ ข-65 ผลการทดสอบ Penetration

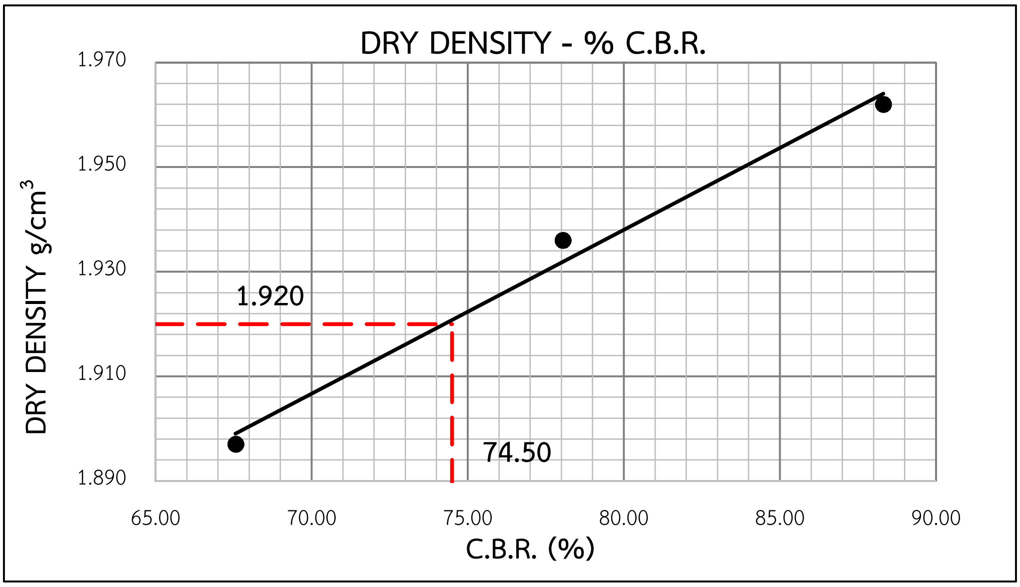
BLOW	12		25		56	
PENETRATION (x0.01 MM.) MM.	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)	LOAD GAUGE READING	UNIT LOAD (KSC.)
0	0	0	0	0	0	0
25	45	5.24	74	8.62	98	11.41
50	118	13.74	145	16.88	154	17.93
75	158	18.39	210	24.45	254	29.57
100	210	24.45	267	31.08	322	37.49
125	253	29.45	321	37.37	385	44.82
150	290	33.76	348	40.51	434	50.53
175	330	38.42	376	43.77	462	53.79
200	355	41.33	419	48.78	489	56.93
250	**396**	**46.10**	**469**	**54.60**	**528**	**61.47**
300	449	52.27	512	59.61	590	68.69
350	487	56.70	552	64.26	669	77.88
400	525	61.12	599	69.74	705	82.08
450	571	66.48	647	75.32	763	88.83
500	**612**	**71.25**	**707**	**82.31**	**800**	**93.14**
550	701	81.61	802	93.37	935	108.85
600	745	86.73	890	103.61	1014	118.05
650	819	95.35	962	112.00	1056	122.94



รูปที่ ข-35 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ระยะจม - แรงกด

ตารางที่ ข-66 สรุปผลการทดสอบ Penetration (C.B.R. Test)

BLOW PER LAYER		12	25	56
UNIT LOAD AT 2.5MM.	Ksc.	46.10	54.60	61.47
UNIT LOAD AT 5.0 MM.	Ksc.	71.25	82.31	93.14
C.B.R. AT 2.5 MM.	%	65.58	77.67	87.44
C.B.R. AT 5.0 MM.	%	67.56	78.05	88.31
DRY DENSITY	g/cm^3	1.897	1.936	1.962
WATER CONTENT	%	10.57	9.97	9.92



รูปที่ ข-36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง ค่า % C.B.R. - ค่าความหนาแน่นแห้งของตัวอย่าง Soil Cement + Polymer

100 % MOD. Proctor	=	1.920	g/cm^3
Optimun Moisture Content	=	10.00	%

ผลการทดสอบ

C.B.R.	=	74.50	%

ภาคผนวก ค.

รายการคำนวณราคาค่าก่อสร้างต่อ 1 กิโลเมตร

สรุปประมาณราคาค่าก่อสร้าง

ประเภทงาน ก่อสร้างถนนลาดยางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

ลักษณะงาน รื้อโครงสร้างชั้นพื้นทางเดิมทดแทนด้วยวัสดุใหม่

สถานที่ตั้ง อ. เมือง จ.นครนายก

ระยะดำเนินการ 1.000 กม. ผิวทางกว้าง 5.000 เมตร

ระหว่าง กม.0+000 ถึง กม. 1+000

ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร วันที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ที่	**รายการ**	**รวมค่างานก่อสร้าง**
1	คิดเป็นราคาค่าก่อสร้าง	3,921,745.10
สรุป	รวมเป็นราคาค่าก่อสร้างประมาณ	3,921,745.10
	คิดเป็นราคา	**3,921,000.00**
(สามล้านเก้าแสนสองหมื่นหนึ่งพันบาทถ้วน)		

หมายเหตุ Factor F **1.3624**

เงินล่วงหน้าจ่าย	0	%	ดอกเบี้ยเงินกู้	6	%
เงินประกันผลงานหัก	0	%	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7	%

รายละเอียดราคาประมาณการ

ประเภทงาน ก่อสร้างถนนลาดยางแอสฟัลต์ติกคอนกรีต

ลักษณะงาน รื้อโครงสร้างชั้นพื้นทางเดิมทดแทนด้วยวัสดุใหม่

สถานที่ตั้ง อ. เมือง จ.นครนายก

ระยะดำเนินการ 1.000 กม. ผิวทางกว้าง 5.000 เมตร

ระหว่าง กม.0+000 ถึง กม. 1+000

ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร วันที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ลำดับที่	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต้นทุน	
				ต่อหน่วย	เป็นเงิน
1	EARTH EXCAVATION	1,000.000	ลบ.ม.	67.70	67,700.00
2	SOIL AGGREGATE SUBBASE	1,080.000	ลบ.ม.	880.11	950,518.80
3	CRUSHED ROCK , SOIL AGGREGATE TYPE BASE	1,000.000	ลบ.ม.	687.48	687,480.00
4	PRIME COAT	5,000.000	ตร.ม.	28.21	141,050.00
5	ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM.THICK	5,000.000	ตร.ม.	192.38	961,900.00
6	THERMOPLASTIC PAINT	225.000	ตร.ม.	290.00	65,250.00
7	TRAFFIC ADMINISTRATION DURING CONTRUCTION	1.000	L.S.	4,657.50	4,657.50
		ค่างานต้นทุมรวมทั้งสิ้น			2,878,556.30
		ค่างานต้นทุมรวมทั้งสิ้น x Factor F			3,921,745.10

ค่างานต้นทุน (ล้านบาท)	≤ 5	≤ 5	2.51	FACTOR F งานทาง
FACTOR F งานทาง	1.3624	1.3624	1.3624	**1.3624**

หมายเหตุ

เงินล่วงหน้าจ่าย	0	%	ดอกเบี้ยเงินกู้	6	%
เงินประกันผลงานหัก	0	%	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7	%

ข้อมูลประกอบการประมาณราคา

ข้อมูลแหล่งวัสดุและระยะทางขนส่ง ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร

ลำดับที่	รายการ	ราคาวัสดุ	หน่วย	ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าขนส่ง (บาท/กม)	รวมราคา	หมายเหตุ
1	หินคลุก	150.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	385.47	อ. เฉลิมพระเกียรติ จ. สระบุรี
2	หินฝุ่น	90.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	325.47	
3	หิน3/4"	285.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	520.47	
4	หิน1/2"	285.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	520.47	
5	หิน3/8"	225.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	460.47	
6	หินผสมแอสฟัลต์	178.50	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	413.97	
7	ดินถม	14.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	249.47	
8	ลูกรัง	250.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	485.47	
9	วัสดุคัดเลือก	20.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	255.47	
10	ซีเมนต์	2,570.00	บาท/ตัน	5.000	9.65	2,579.65	อ. เมือง จ. นครนายก
11	ยาง CSS-1	21,162.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	21,317.85	กทม.
12	ยาง AC 60-70	17,350.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	17,505.85	กทม.
13	ยาง CRS-2	20,682.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	20,837.85	กทม.

ราคาคำนวณต่อหน่วย

1. EARTH EXCAVATION

ค่าดำเนินการ+ค่าเสื่อม (งานตัด - ขึ้นรูปคันทาง : ดิน - ตัก)							
					=	8.04	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนทิ้ง	5.000	กม.			=	20.90	บาท/ลบ.ม.
รวม					=	28.94	บาท/ลบ.ม.
ส่วนขยายตัว	=	28.94	x	1.25	=	36.18	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ+ค่าเสื่อม (งานตัด - ขึ้นรูปคันทาง : ดิน - ขุดตัด)							
					=	31.52	บาท/ลบ.ม.
		ค่างานต้นทุน			=	**67.70**	**บาท/ลบ.ม.**

2. SOIL AGGREGATE SUBBASE

ค่าวัสดุที่แหล่ง					=	250.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าเสื่อมราคาขุด - ขน					=	31.16	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง					=	235.47	บาท/ลบ.ม.
		รวมค่าวัสดุและขนส่ง			=	516.63	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัว	=	516.63	x	1.6	=	826.61	บาท/ลบ.ม.
ค่าเสื่อมราคาบดทับ					=	53.50	บาท/ลบ.ม.
		ค่างานต้นทุน			=	**880.11**	**บาท/ลบ.ม.**

3. CRUSHED ROCK , SOIL AGGREGATE TYPE BASE

ค่าวัสดุหินคลุก จากปากโม่ (รวมค่าตัก)					=	150.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง					=	235.47	บาท/ลบ.ม.
		รวมค่าวัสดุและขนส่ง			=	385.47	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัว	=	385.47	x	1.5	=	578.21	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (BLEND)					=	24.28	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (บดทับ)					=	84.99	บาท/ลบ.ม.
		ค่างานต้นทุน			=	**687.48**	**บาท/ลบ.ม.**

4. PRIME COAT

ค่ายาง CSS - 1	1.00	ลิตร / ตร.ม.	=	21.32	บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา			=	6.89	บาท/ตร.ม.
	ค่างานต้นทุน		=	**28.21**	**บาท/ตร.ม.**

5. ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM.THICK

ปริมาณงาน Asphalt Concrete ทั้งโครงการ			=	-	ตัน
ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน			=	-	บาท/ตัน
ค่าขนยาง AC ขึ้น-ลง			=	35.00	บาท/ตัน
ค่าติดตั้งเครื่องผสม			=	-	บาท/ตัน
ค่ายาง AC (รวมค่าขนขึ้นลง,ขนส่ง)					
17,505.85	x	0.052	=	910.30	บาท/ตัน
ค่าหิน (รวมค่าขนส่ง)					
413.97	x	0.740	=	306.34	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต			=	350.86	บาท/ตัน
รวมค่าวัสดุและค่าดำเนินการ - เสื่อมราคา			=	1,602.50	บาท/ตัน
ค่างานต้นทุน (8.33 ตร.ม. / ตัน)			**=**	**192.38**	**บาท/ตร.ม.**

6. THERMOPLASTIC PAINT (YELLOW & WHITE)

ค่าสี	6.00	กก./ตร.ม.	@ 40.00	=	252.00	บาท/ตร.ม.
ค่าลูกแก้ว	0.40	กก./ตร.ม.	@ 60.00	=	24.00	บาท/ตร.ม.
ค่า Primer (กาวรองพื้น)						
	1.00	ตร.ม.	@ 14.00	=	14.00	บาท/ตร.ม.
	ค่างานต้นทุน			=	**290.00**	**บาท/ตร.ม.**

7. TRAFFIC ADMINISTRATION DURING CONTRUCTION

ราคาป้ายบริหารการจราจรชุดที่ 4		=	55,890.00	บาท/L.S.
ระยะเวลาทำการ	90 วัน			
(0.250 / 3 เดือน) x	55,890.00	=	4,657.50	บาท/L.S.
ค่างานต้นทุน		=	**4,657.50**	**บาท/ตร.ม.**

สรุปประมาณราคาค่าก่อสร้าง

ประเภทงาน งานซ่อมแซมทางหลวงที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ

ลักษณะงาน ซ่อมสร้างวิธี Soil Cement ผิวทางลาดยางแบบ Asphaltic concrete (โดยวิธี Pavement In - Place Recycling)

สถานที่ตั้ง อ. เมือง จ.นครนายก

ระยะดำเนินการ 1.000 กม. ผิวทางกว้าง 5.000 เมตร

ระหว่าง กม.0+000 ถึง กม. 1+000

ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร วันที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ที่	รายการ	รวมค่างานก่อสร้าง
1	คิดเป็นราคาค่าก่อสร้าง	2,856,254.57
สรุป	รวมเป็นราคาค่าก่อสร้างประมาณ	2,856,254.57
	คิดเป็นราคา	**2,856,000.00**
(สองล้านแปดแสนห้าหมื่นหกพันบาทถ้วน)		

หมายเหตุ Factor F **1.3624**

เงินล่วงหน้าจ่าย	0	%	ดอกเบี้ยเงินกู้	6	%
เงินประกันผลงานหัก	0	%	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7	%

รายละเอียดราคาประมาณการ

ประเภทงาน งานซ่อมแซมทางหลวงที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ

ลักษณะงาน ซ่อมสร้างวิธี Soil Cement ผิวทางลาดยางแบบ Asphaltic concrete (โดยวิธี Pavement In - Place Recycling)

สถานที่ตั้ง อ. เมือง จ.นครนายก

ระยะดำเนินการ 1.000 กม. ผิวทางกว้าง 5.000 เมตร

ระหว่า กม.0+000 ถึง กม. 1+000

ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร วันที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ลำดับที่	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต้นทุน	
				ต่อหน่วย	เป็นเงิน
1	PAVEMENT IN - PLACE RECYCLING (SOIL CEMENT)	5,000.000	ลบ.ม.	47.23	236,150.00
2	CRUSHED ROCK , SOIL AGGREGATE TYPE BASE	1,000.000	ลบ.ม.	687.48	687,480.00
3	PRIME COAT	5,000.000	ตร.ม.	28.21	141,050.00
4	ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM.THICK	5,000.000	ตร.ม.	192.38	961,900.00
5	THERMOPLASTIC PAINT	225.000	ตร.ม.	290.00	65,250.00
6	TRAFFIC ADMINISTRATION DURING CONTRUCTION	1.000	L.S.	4,657.50	4,657.50
		ค่างานต้นทุมรวมทั้งสิ้น			2,096,487.50
		ค่างานต้นทุมรวมทั้งสิ้น x Factor F			2,856,254.57

ค่างานต้นทุน (ล้านบาท)	≤ 5	≤ 5	2.51	FACTOR F งานทาง
FACTOR F งานทาง	1.3624	1.3624	1.3624	**1.3624**

หมายเหตุ

เงินล่วงหน้าจ่าย	0	%	ดอกเบี้ยเงินกู้	6	%
เงินประกันผลงานหัก	0	%	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7	%

ข้อมูลประกอบการประมาณราคา

ข้อมูลแหล่งวัสดุและระยะทางขนส่ง ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร

ลำดับที่	รายการ	ราคาวัสดุ	หน่วย	ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าขนส่ง (บาท/กม)	รวมราคา	หมายเหตุ
1	หินคลุก	150.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	385.47	อ. เฉลิมพระเกียรติ จ. สระบุรี
2	หินฝุ่น	90.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	325.47	
3	หิน3/4"	285.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	520.47	
4	หิน1/2"	285.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	520.47	
5	หิน3/8"	225.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	460.47	
6	หินผสมแอสฟัลต์	178.50	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	413.97	
7	ดินถม	14.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	249.47	
8	ลูกรัง	35.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	270.47	
9	วัสดุคัดเลือก	20.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	255.47	
10	ซีเมนต์	2,570.00	บาท/ตัน	5.000	9.65	2,579.65	อ. เมือง จ. นครนายก
11	ยาง CSS-1	21,162.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	21,317.85	กทม.
12	ยาง AC 60-70	17,350.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	17,505.85	กทม.
13	ยาง CRS-2	20,682.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	20,837.85	กทม.

ราคาคำนวณต่อหน่วย

1. PAVEMENT IN - PLACE RECYCLING

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (ขุดลึกเฉลี่ย 20 ซม.)	=	35.47	บาท/ตร.ม.
หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ขุด (γ_d)	=	1,900.00	กก./ลบ.ม.
ปริมาณปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก = 1.20 %)			
= 0.012 X 1900 X 0.20	=	4.56	กก./ตร.ม.
ค่าปูนซีเมนต์ชนิด Bulk (รวมค่าขนส่ง)	=	2.58	บาท/กก.
ค่าปูนซีเมนต์	=	11.76	บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน	=	**<u>47.23</u>**	**บาท/ตร.ม.**

2. CRUSHED ROCK , SOIL AGGREGATE TYPE BASE

ค่าวัสดุหินคลุก จากปากโม่ (รวมค่าตัก)					=	150.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง					=	-	บาท/ลบ.ม.
รวมค่าวัสดุและขนส่ง					=	150.00	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัว	=	150.00	x	1.5	=	225.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (BLEND)					=	24.28	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (บดทับ)					=	84.99	บาท/ลบ.ม.
ค่างานต้นทุน					=	**334.27**	**บาท/ลบ.ม.**

3. PRIME COAT

ค่ายาง CSS - 1	1.00	ลิตร / ตร.ม.	=	21.32	บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา			=	6.89	บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน			=	**28.21**	**บาท/ตร.ม.**

4. ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM.THICK

ปริมาณงาน Asphalt Concrete ทั้งโครงการ			=	-	ตัน
ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน			=	-	บาท/ตัน
ค่าขนยาง AC ขึ้น-ลง			=	35.00	บาท/ตัน
ค่าติดตั้งเครื่องผสม			=	-	บาท/ตัน
ค่ายาง AC (รวมค่าขนขึ้นลง,ขนส่ง)					
17,505.85	x	0.052	=	910.30	บาท/ตัน
ค่าหิน (รวมค่าขนส่ง)					
413.97	x	0.740	=	306.34	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต			=	350.86	บาท/ตัน
รวมค่าวัสดุและค่าดำเนินการ - เสื่อมราคา			=	1,602.50	บาท/ตัน
ค่างานต้นทุน (8.33 ตร.ม. / ตัน)			**=**	**192.38**	**บาท/ตร.ม.**

5. THERMOPLASTIC PAINT (YELLOW & WHITE)

ค่าสี	6.00	กก./ตร.ม.	@	40.00	=	252.00 บาท/ตร.ม.
ค่าลูกแก้ว	0.40	กก./ตร.ม.	@	60.00	=	24.00 บาท/ตร.ม.
ค่า Primer (กาวรองพื้น)						
	1.00	ตร.ม.	@	14.00	=	14.00 บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน					=	**290.00 บาท/ตร.ม.**

6. TRAFFIC ADMINISTRATION DURING CONTRUCTION

ราคาป้ายบริหารการจราจรชุดที่ 4		=	55,890.00	บาท/L.S.
ระยะเวลาทำการ	90 วัน			
(0.250 / 3 เดือน) x	55,890.00	=	4,657.50	บาท/L.S.
ค่างานต้นทุน		=	**4,657.50**	**บาท/ตร.ม.**

สรุปประมาณราคาค่าก่อสร้าง

ประเภทงาน งานซ่อมแซมทางหลวงที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัติ

ลักษณะงาน ซ่อมสร้างวิธี Soil Cement ผสม Polymer ผิวทางลาดยางแบบ AC (โดยวิธี Pavement In - Place Recycling)

สถานที่ตั้ง อ. เมือง จ.นครนายก

ระยะดำเนินการ 1.000 กม. ผิวทางกว้าง 5.000 เมตร

ระหว่าง กม.0+000 ถึง กม. 1+000

ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร วันที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ที่	รายการ	รวมค่างานก่อสร้าง
1	คิดเป็นราคาค่าก่อสร้าง	4,836,535.67
สรุป	รวมเป็นราคาค่าก่อสร้างประมาณ	4,836,535.67
	คิดเป็นราคา	**4,836,000.00**
(สี่ล้านแปดแสนสามหมื่นหมื่นหกพันบาทถ้วน)		

หมายเหตุ **Factor F** **1.3624**

เงินล่วงหน้าจ่าย	0	%	ดอกเบี้ยเงินกู้	6	%
เงินประกันผลงานหัก	0	%	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7	%

รายละเอียดราคาประมาณการ

ประเภทงาน งานซ่อมแซมทางหลวงที่ได้รับผลกระทบจากภัยพิบัต

ลักษณะงาน ซ่อมสร้างวิธี Soil Cement ผิวทางลาดยางแบบ Asphaltic concrete (โดยวิธี Pavement In - Place Recycling)

สถานที่ตั้ง อ. เมือง จ.นครนายก

ระยะดำเนินการ 1.000 กม. ผิวทางกว้าง 5.000 เมตร

ระหว่าง กม.0+000 ถึง กม. 1+000

ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร วันที่ 23 เดือน มีนาคม พ.ศ. 2562

ลำดับที่	รายการ	ปริมาณ	หน่วย	ราคาต้นทุน	
				ต่อหน่วย	เป็นเงิน
1	PAVEMENT IN - PLACE RECYCLING (SOIL CEMENT ผสม POLYMER)	5,000.000	ลบ.ม.	337.93	1,689,674.00
2	CRUSHED ROCK , SOIL AGGREGATE TYPE BASE	1,000.000	ลบ.ม.	687.48	687,480.00
3	PRIME COAT	5,000.000	ตร.ม.	28.21	141,050.00
4	ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM.THICK	5,000.000	ตร.ม.	192.38	961,900.00
5	THERMOPLASTIC PAINT	225.000	ตร.ม.	290.00	65,250.00
6	TRAFFIC ADMINISTRATION DURING CONTRUCTION	1.000	L.S.	4,657.50	4,657.50
		ค่างานต้นทุมรวมทั้งสิ้น			3,550,011.50
		ค่างานต้นทุมรวมทั้งสิ้น x Factor F			4,836,535.67

ค่างานต้นทุน (ล้านบาท)	≤ 5	≤ 5	2.51	FACTOR F งานทาง
FACTOR F งานทาง	1.3624	1.3624	1.3624	**1.3624**

หมายเหตุ

เงินล่วงหน้าจ่าย	0	%	ดอกเบี้ยเงินกู้	6	%
เงินประกันผลงานหัก	0	%	ภาษีมูลค่าเพิ่ม (VAT)	7	%

ข้อมูลประกอบการประมาณราคา

ข้อมูลแหล่งวัสดุและระยะทางขนส่ง ราคาน้ำมัน 27.45 บาท/ลิตร

ลำดับที่	รายการ	ราคาวัสดุ	หน่วย	ระยะขนส่ง (กม.)	ค่าขนส่ง (บาท/กม)	รวมราคา	หมายเหตุ
1	หินคลุก	150.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	385.47	อ. เฉลิมพระเกียรติ จ. สระบุรี
2	หินฝุ่น	90.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	325.47	
3	หิน3/4"	285.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	520.47	
4	หิน1/2"	285.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	520.47	
5	หิน3/8"	225.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	460.47	
6	หินผสมแอสฟัลต์	178.50	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	413.97	
7	ดินถม	14.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	249.47	
8	ลูกรัง	35.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	270.47	
9	วัสดุคัดเลือก	20.00	บาท/ลบ.ม.	70.000	235.47	255.47	
10	ซีเมนต์	2,570.00	บาท/ตัน	5.000	9.65	2,579.65	อ. เมือง จ. นครนายก
11	ยาง CSS-1	21,162.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	21,317.85	กทม.
12	ยาง AC 60-70	17,350.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	17,505.85	กทม.
13	ยาง CRS-2	20,682.00	บาท/ตัน	105.000	155.85	20,837.85	กทม.

ราคาคำนวณต่อหน่วย

1. PAVEMENT IN - PLACE RECYCLING

ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (ขุดลึกเฉลี่ย 20 ซม.)			=	35.47	บาท/ตร.ม.
หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ขุด (γ_d)			=	1,900.00	กก./ลบ.ม.
ปริมาณปูนซีเมนต์ (โดยน้ำหนัก = 1.20 %)					
= 0.012 X 1900 X 0.20			=	4.56	กก./ตร.ม.
ค่าปูนซีเมนต์	2.58	บาท/กก.	=	11.76	บาท/ตร.ม.
ปริมาณสานผสมเพิ่ม Polymer (โดยน้พาหนัก = 0.90 %)					
= 0.009 X 1900 X 0.20			=	3.42	ลิตร./ตร.ม.
ค่าผสมเพิ่ม Polymer	85.00	บาท/ลิตร	=	290.70	บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน			=	**<u>337.93</u>**	**บาท/ตร.ม.**

2. CRUSHED ROCK , SOIL AGGREGATE TYPE BASE

ค่าวัสดุหินคลุก จากปากโม่ (รวมค่าตัก)			=	150.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าขนส่ง			=	-	บาท/ลบ.ม.
รวมค่าวัสดุและขนส่ง			=	150.00	บาท/ลบ.ม.
ส่วนยุบตัว =	150.00	x 1.5	=	225.00	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (BLEND)			=	24.28	บาท/ลบ.ม.
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมราคา (บดทับ)			=	84.99	บาท/ลบ.ม.
ค่างานต้นทุน			=	**<u>334.27</u>**	**บาท/ลบ.ม.**

3. PRIME COAT

ค่ายาง CSS - 1	1.00	ลิตร / ตร.ม.	=	21.32	บาท/ตร.ม.
ค่าดำเนินการและค่าเสื่อมราคา			=	6.89	บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน			=	**<u>28.21</u>**	**บาท/ตร.ม.**

4. ASPHALT CONCRETE WEARING COURSE 5 CM.THICK

ปริมาณงาน Asphalt Concrete ทั้งโครงการ			=	-	ตัน
ค่าขนส่งอุปกรณ์ 80 ตัน			=	-	บาท/ตัน
ค่าขนยาง AC ขึ้น-ลง			=	35.00	บาท/ตัน
ค่าติดตั้งเครื่องผสม			=	-	บาท/ตัน
ค่ายาง AC (รวมค่าขนขึ้นลง,ขนส่ง)					
17,505.85	x	0.052	=	910.30	บาท/ตัน
ค่าหิน (รวมค่าขนส่ง)					
413.97	x	0.740	=	306.34	บาท/ตัน
ค่าดำเนินการ + ค่าเสื่อมผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต			=	350.86	บาท/ตัน
รวมค่าวัสดุและค่าดำเนินการ - เสื่อมราคา			=	1,602.50	บาท/ตัน
ค่างานต้นทุน (8.33 ตร.ม. / ตัน)			**=**	**192.38**	**บาท/ตร.ม.**

5. THERMOPLASTIC PAINT (YELLOW & WHITE)

ค่าสี	6.00	กก./ตร.ม.	@	40.00	**=**	252.00	บาท/ตร.ม.
ค่าลูกแก้ว	0.40	กก./ตร.ม.	@	60.00	**=**	24.00	บาท/ตร.ม.
ค่า Primer (กาวรองพื้น)							
	1.00	ตร.ม.	@	14.00	**=**	14.00	บาท/ตร.ม.
ค่างานต้นทุน					=	**290.00**	**บาท/ตร.ม.**

6. TRAFFIC ADMINISTRATION DURING CONTRUCTION

ราคาป้ายบริหารการจราจรชุดที่ 4		=	55,890.00	บาท/L.S.
ระยะเวลาทำการ	90 วัน			
(0.250 / 3 เดือน) x	55,890.00	=	4,657.50	บาท/L.S.
ค่างานต้นทุน		=	**4,657.50**	**บาท/ตร.ม.**

ภาคผนวก ง.

รูปถ่ายกิจกรรม

การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.)

(ก.) ปาดตัวอย่างลงเครื่องมือทดลอง Liquid Limit

(ข.) เก็บตัวอย่างเข้าตู้อบเพื่อใช้หาปริมาณน้ำในดิน

รูปที่ จ-1 การทดลองหาค่า Liquid Limit (LL.) ทำการทดสอบทั้งหมด 4 ตัวอย่างแล้วจึงนำตัวอย่างไปอบเพื่อใช้คำนวณหาปริมาณน้ำในดิน

การทดลองหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน

รูปที่ จ-2 ทำการคลึงตัวอย่างดินให้มีขนาดประมาณ 3.2 มม.

การทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ Sieve Analysis

รูปที่ จ-3 ทำการชั่งน้ำหนักดินตัวอย่างและตะแกรงก่อนทำการทดสอบ Sieve Analysis

รูปที่ จ-4 ทำติดตั้งตะแกรงทดสอบกับเครื่องเขย่า

การทดสอบความแน่น แบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

รูปที่ จ-5 ผสมดินลูกรังชั้นพื้นทางเดิมที่เตรียมไว้กับน้ำ

รูปที่ จ-6 ทำการบดอัดจำนวน 5 ชั้น ชั้นละ 25 ครั้ง โดยเพิ่มน้ำขึ้น 2% จนกว่าจะได้ความหนาแน่นลดลงจึงหยุดการทดลอง

การทดสอบความแน่นภาคสนาม (Field Density Test)

รูปที่ จ-7 ทำการเจาะผิวทางเพื่อหาความแน่นภาคสนาม

(ก.) ทำการปล่อยทรายลงหลุม

(ข.) ทำการชั่งน้ำหนักทรายที่เหลือในกรวย

รูปที่ จ-8 ปล่อยทรายลงหลุม และทำการชั่งน้ำหลักเพื่อหาน้ำหนักของทรายที่เหลือในกรวยและนำข้อมูลมาใช้คำนวณหาความแน่นแห่งในภาคสนาม

การทดลองเพื่อหาค่า CBR

รูปที่ จ-9 การทดลองเพื่อหาค่า CBR

รูปที่ จ-10 ทำการกดตัวอย่างดินลูกรังชั้นผิวทางเดิมเพื่อนำมาคำนวณหาค่า % CBR เพื่อนำผลไปเทียบกับมาตรฐานรองพื้นทาง

การทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน

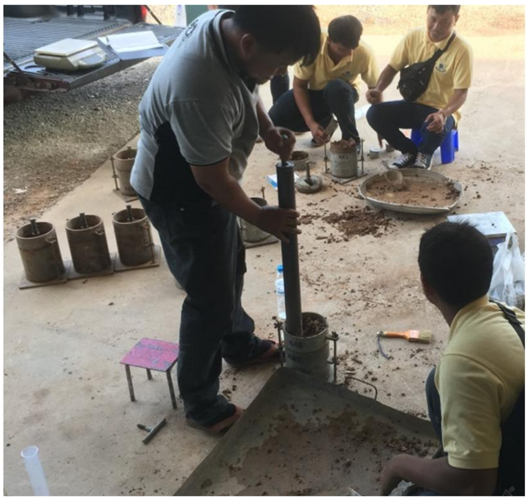
รูปที่ จ-11 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ UCS. ของ Soil Cement ที่อัตราส่วนผสมของ Cement เท่ากับ 1 ,3 และ 5 % เพื่อใช้หาอัตราส่วนที่เหมาะสม บ่มในถุงพลาสติกใช้เวลาในการบ่ม 7 วัน

(ก.) ติดตั้งก้อนตัวอย่างกับเครื่องกด

(ข.) ลักษณะรอยแตกของก้อนตัวอย่าง

รูปที่ จ-12 ทำการกดตัวอย่าง Soil Cement เมื่อได้ เปอร์เซ็นต์ Cement ที่เหมาะสมนำไปออกแบบส่วนผสมของ Soil Cement ผสม Polymer ต่อไป

การทดสอบความทนทานต่อสภาวะน้ำท่วม



(ก.) ทำการบดอัดตัวอย่างตามมาตรฐานการทดสอบ

(ข.) เก็บตัวอย่างไปอบเพื่อหาค่าความชื้นในดิน

รูปที่ จ-13 ทำการเตรียมตัวอย่างของ Soil Cement และ Soil Cement ผสม Polymer เพื่อทดสอบ CBR เปียกสลับแห้งทั้งหมด 3 รูปแบบการทดลอง และเก็บตัวอย่างเพื่อหาค่าความชื้นในดิน

รูปที่ จ-14 ตัวอย่าง Soil Cement ทดสอบรูปแบบที่ 1

สถานที่ทำการวิจัย

อาคารควบคุมคุณภาพวัสดุ สำนักงานทางหลวงชนบทจังหวัดนครนายก เลขที่ 82 หมู่ 7 ตำบลเขาพระ อำเภอเมือง จังหวัดนครนายก

รูปที่ จ-15 อาคารควบคุมคุณภาพวัสดุฯ สถานที่ทำการวิจัย

รูปที่ จ-16 ถนนคลองชลประทานที่ใช้ในการศึกษา

ภาคผนวก จ.

ประวัติย่อผู้ทำโครงงาน

ประวัติผู้ศึกษา

1. ชื่อและนามสกุล

นายชัยวัฒน์ ขุนพิลึก

2. ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างโยธา วิทยาลัยเทคนิคนครสวรรค์ จังหวัดนครสวรรค์

3. ข้อมูลในการติดต่อ

39/1 ต.โค้งไผ่ อ.ขาณุ จ.กำแพงเพชร 62149
เบอร์โทร 062-5936261 e-mail : Chaiwat11nong@gmail.com

ประวัติผู้ศึกษา

1. ชื่อและนามสกุล

สิบเอกสรกฤช นันตะนะ

2. ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างก่อสร้าง วิทยาลัยเทคนิคมหาสารคาม จังหวัดมหาสารคาม

3. ข้อมูลในการติดต่อ

26/162 แขวงลาดพร้าว เขตลาดพร้าว กทม. 10230
เบอร์โทร 094-3035367 e-mail : Sorakhich030336@gmail.com

ประวัติผู้ศึกษา

1. ชื่อและนามสกุล

นายไชยพัฒน์ กระดิษฐ์

2. ประวัติการศึกษา

ประกาศนียบัตรวิชาชีพชั้นสูง สาขาช่างก่อสร้าง มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านตาก จังหวัดตาก

ปริญญาตรี สาขาเทคโนโลยีโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านตาก จังหวัดตาก

3. ข้อมูลในการติดต่อ

76/4 หมู่ 10 ตำบลน้ำรึม อำเภอเมือง จังหวัดตาก 63000

เบอร์โทร 088-4197735   e-mail : hajungcub999@gmail.com