



คุณสมบัติการซึมได้ และ CBR. ของดินชั้นทางบดอัด

ผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา

โดย

นายอรรถพล มาลัย

สนับสนุนงบประมาณโดย

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ประจำปีงบประมาณ 2556

Permeability properties and the CBR. of the
compacted soil mixing asphalt and Para-rubber.

By

Attapole Malai

Granted by

Rajamangala University of Technology Rattakosin

Fiscal year 2013



กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนสนับสนุนการวิจัยจาก งบประมาณสนับสนุนโครงการวิจัยของ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ประจำปีงบประมาณ 2556

ขอขอบพระคุณอาจารย์ประชุม คำพุ่มซึ่งกรุณาสละเวลาให้ความรู้และคำแนะนำตลอด การทำวิจัย

ขอขอบพระคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ที่ เอื้อเพื่อสถานที่วัสดุอุปกรณ์ต่างๆสำหรับทำวิจัย

อรรถพล มาลัย

ธันวาคม 2556



บทคัดย่อ

รหัสโครงการ : A 22/2556
 ชื่อโครงการ : คุณสมบัติการซีเมนต์และ CBR. ของดินชั้นทางบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา
 ชื่อนักวิจัย : นายอรรถพล มาลัย

ประเทศไทยและประเทศอื่นๆ ในแถบที่มีอากาศร้อน ดินลูกรังเป็นวัสดุที่สามารถหาได้ง่าย และนำมาใช้เป็นวัสดุพื้นทางและรองพื้นทางสำหรับงานก่อสร้างถนนและสนามบิน กันอย่างกว้างขวาง ดินลูกรังมีคุณสมบัติทางเชิงกลหลาย ๆ อย่าง ได้แก่ Aggregate Impact Value และ California Bearing Ratio (CBR) ซึ่งค่าเหล่านี้มีประโยชน์อย่างมากสำหรับการเลือกใช้ดินลูกรังมาเป็นวัสดุในงานก่อสร้าง ให้มีประสิทธิภาพดียิ่งขึ้นจึงมีแนวคิดศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติดินลูกรังด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และยางพารา ดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยน้ำยางทั้ง 2 ชนิดจะนำมาทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขต Unconfined Compressive Strength (UCS) และทดสอบกำลังรับแรงแบกทาน California Bearing Ratio (CBR) เพื่อนำผลการทดลองมาใช้ในงานด้านกำลังรับแรงแบกทานและปริมาณการซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ

ผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา พบว่าค่าการแบกทาน (CBR) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานพื้นทาง (ทล.ม.201/2544) กล่าวคือ ค่าการแบกทาน (CBR) มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากผลทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) แบบแช่น้ำ เนื่องจากเป็นค่าที่นำมาพิจารณาออกแบบถนน ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่นำมาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำยางพารา 6.2 เปอร์เซ็นต์

E-mail Address : attapole.mal@rmutr.ac.th
 ระยะเวลาโครงการ : ตุลาคม 2555 - กันยายน 2556

Abstract

Code of project : A 22/2556
Project name : Permeability properties and the CBR. of the compacted soil mixing asphalt and Para-rubber.
Researcher name : Mr. Attapole Malai

Thailand and other countries In bar with hot air Laterite a material that is readily available . And used as surface materials and the foundation for construction of roads and airports. Widely Laterite several mechanical properties include Aggregate Impact Value and California Bearing Ratio (CBR) , which these values are very useful for the selection of gravel as construction materials . Provide even better performance concept study is to improve the soil with asphalt cement and rubber. Laterite updated with latex the two types were tested in compression unlimited scope Unconfined Compressive Strength (UCS) and test the strength bearing California Bearing Ratio (CBR) for the experiments used in the force . bearing strength and volume of permeable material .

Test results for the bearing (CBR) materials with improved quality gravel , asphalt cement and rubber . Found that the bearing (CBR) has increased the quantity of asphalt cement and rubber . Compared to standard surface. (TL-m. 201/2544), namely the bearing (CBR) is greater than 80 percent , based on the test bearing (CBR) with water as it is to consider the design of the road. Thus, the amount of asphalt cement and rubber to improve soil quality is the most appropriate . Amount of asphalt cement 3.0 percent and 6.2 percent water timber .

E-mail Address : attapole.mal@mutr.ac.th
Period of Project : October 1, 2012 – September 30, 2013

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	จ
สารบัญภาพ	ฉ
บทที่ 1 บทนำ	
1.1 ความสำคัญและที่มาของปัญหาที่ทำการวิจัย	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการวิจัย	2
1.3 ขอบเขตของโครงการวิจัย	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 วิธีการดำเนินการวิจัย	3
1.6 นิยามศัพท์เฉพาะ	3
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	4
2.2 การทดลอง	9
2.3 การทดสอบ	12
2.4 สถานภาพของดิน	12
2.5 ประเภทของดิน	13
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	14

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
บทที่ 3 การดำเนินการวิจัย	
3.1 อุปกรณ์	18
3.2 วัสดุ	18
3.3 วิธีการทดสอบ	19
3.4 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ	30
บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการวิจัย	31-45
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	
5.1 สรุปผลการวิจัย	46
5.2 ข้อเสนอแนะ	48
บรรณานุกรม	49
ภาคผนวก	52
ภาคผนวก ก	53
ภาคผนวก ข	74
ประวัตินักวิจัย	92



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของงานวิจัย

ยางพารา สามารถปลูกได้ผลดีในประเทศเขตร้อนชื้น นับตั้งแต่ปี 2534 เป็นต้นมา จนถึงปัจจุบัน ประเทศไทยได้ก้าวขึ้นเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางพาราเป็นอันดับ 1 ของโลก จากข้อมูลสมาคมยางพาราไทยเมื่อปี 2553 พบว่า สามารถส่งออกขายยังต่างประเทศได้ถึง 3,199 ล้านตัน คิดเป็นมูลค่า 296,379 ล้านบาท ปัจจุบันประเทศไทยผลิตยางพาราธรรมชาติได้มากที่สุดในโลก หากแต่ราคาของยางพาราจะไม่คงที่ทำให้มีราคาต่ำอยู่บ่อยๆ และปัญหาที่สำคัญก็คือ ด้านเทคโนโลยีการยาง และนักวิจัยหรือบุคลากรผู้เชี่ยวชาญในสายงานของยางพารายังมีอยู่น้อย เมื่อเทียบกับในสายงานด้านอื่นๆ จึงเกิดปัญหาในการคิดค้นสรรหาวิธีการใหม่ๆ ในการที่จะนำยางพาราเหล่านั้นมาใช้ให้เกิดประโยชน์เพิ่มมากขึ้นในหลายๆ ด้านอีกด้วย

น้ำยางพาราเป็นวัสดุที่สามารถแทรกตัวเข้าไปในช่องว่างของเม็ดดินและก่อตัวเองเป็นฟิล์มได้เป็นอย่างดี ผู้วิจัยจึงเกิดแนวคิดนำน้ำยางพารามาผสมดินบดอัดเพื่อสร้างเป็นชั้นวัสดุกันซึม (Liner) ของบ่อขยะฝังกลบซึ่งในปัจจุบัน รูปแบบในการสร้างบ่อขยะฝังกลบ นิยมทำบ่อขยะ การฝังกลบแบบร่อง (Trench method) และจะต้องมีชั้นวัสดุกันซึมเป็นกันบ่อเพื่อทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำชะมูลฝอยผ่านลงไปปนเปื้อนกับแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินเบื้องล่าง ปัจจุบันวัสดุที่นิยมทำเป็นชั้นวัสดุกันซึม คือ ดินอัดแน่น, แผ่นใยธรณี (Geomembrane), สิ่งทอธรณี (Geotextile) และยางมะตอย (Asphalt) ซึ่งส่วนมากเป็นวัสดุนำเข้าจากต่างประเทศ และพบว่าในบางกรณีชั้นวัสดุกันซึมไม่สามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำได้ดีเท่าที่ควรเนื่องจากขยะและวัสดุฝังกลบมีน้ำหนักมากดินจึงเกิดการทรุดตัวซึ่งในกรณีเช่นนี้หากชั้นวัสดุกันซึมไม่สามารถยึดหยุ่นได้โดยคง ก็จะทำให้เกิดการแตกร้าวจนกระทั่งไม่สามารถควบคุมการไหลออกหรือเข้าของน้ำในบ่อฝังกลบ ทำให้ปริมาณน้ำในบ่อขยะไม่เป็นไปตามต้องการและก๊าซที่เกิดจากการหมักขยะก็จะมีปริมาณน้อยลงอันส่งผลให้ได้รับพลังงานจากบ่อขยะฝังกลบน้อยลงไปด้วย

โครงการวิจัยนี้จะนำยางมะตอยและน้ำยางพารามาผสมกับดินบดอัดให้รับกำลังได้ดี ตามมาตรฐานกรมทางหลวงเพื่อป้องกันการรั่วซึมในชั้นวัสดุกันซึม โดยทดสอบคุณสมบัติการซึมได้, ความสามารถในการรับน้ำหนัก เป็นหลัก เพื่อแก้ไขปัญหาการรั่วซึม เข้า-ออก ของน้ำในบ่อขยะอันเป็นการสนับสนุนให้เกิดทางเลือกในการนำน้ำยางพารามาใช้ให้เกิดประโยชน์และอาจจะนำไปสู่การเพิ่มปริมาณการส่งออกน้ำยางให้มากขึ้นอีกในอนาคต

หากสามารถนำน้ำยางพาราและยางมะตอยมาผสมกับดินบดอัดมาใช้งานได้ตาม ประสงค์ ก็จะเป็นการบูรณาการทางด้านงานวิจัยที่จะสามารถตอบสนองรับความต้องการของการ พัฒนาประเทศ ด้านเทคโนโลยีควบคู่ไปกับความตระหนักถึงภาวะโลกร้อน และตรงเป้าประสงค์ของ ยุทธศาสตร์การพัฒนาประเทศในหลายๆ ด้าน อย่างยั่งยืนต่อไป

1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของชั้นดินบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพาราใน การกันซึม

1.2.2 เพื่อศึกษาถึงสัดส่วนที่เหมาะสมของชั้นดินชั้นทางบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำ ยางพารา

1.2.3 เพื่อเป็นการสนับสนุนให้เกิดทางเลือกในการใช้งานน้ำยางพารา

1.3 ขอบเขตการศึกษา

1.3.1 ศึกษาเฉพาะในส่วนของคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมโยธาเท่านั้น

1.3.2 ศึกษาเฉพาะวัสดุที่หาได้ในพื้นที่ใกล้เคียงหรือสามารถหาซื้อได้ภายในประเทศไทย

1.3.3 วัสดุที่นำมาใช้ในการวิจัยต้องมีปริมาณมากเพียงพอต่อความต้องการของตลาดใน อนาคต

1.3.4 แหล่งที่มาของดินเป็นดินที่เหมาะสมในการทำชั้นทางบดอัดตามมาตรฐานกรมทาง หลวงแห่งประเทศไทย

1.3.5 ทดสอบสมบัติทางกายภาพ ตามมาตรฐาน ASTM

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ระบุ P

- 1) ทราบถึงกระบวนการก่อสร้างดินบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา
- 2) ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของดินบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา
- 3) ทราบสมบัติทางกายภาพของดินบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา
- 4) ทราบสมบัติทางกลดินบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา
- 5) ทราบถึงข้อดีในการใช้ยางมะตอยและน้ำยางพารามาเป็นส่วนผสมเพื่อ พัฒนาคุณสมบัติชั้นกันซึมแบบเดิม

1.4.2 ระบุ I

- 1) ได้ผลิตภัณฑ์ที่เกิดจากน้ำยางพารา
- 2) ได้วัสดุก่อสร้างชนิดใหม่ที่มีคุณสมบัติกันซึมที่ดี
- 3) ได้วัสดุก่อสร้างเชิงนวัตกรรมใหม่
- 4) มีแนวทางที่จะสามารถกำหนดมาตรฐานโดยใช้ของที่ผลิตภายในประเทศ

1.4.3 ระบุ G

- 1) มีการใช้ยางธรรมชาติในงานวัสดุก่อสร้างเพิ่มมากขึ้น
- 2) ลดปริมาณวัสดุเหลือทิ้งจากการเกษตรกรรม
- 3) เพิ่มมูลค่าของทรัพยากรจากเกษตรกรรม
- 4) มีหน่วยงานนำเทคโนโลยีไปใช้อย่างเป็นรูปธรรม
- 5) มีการจดทะเบียนอนุสิทธิบัตร/สิทธิบัตร

1.5 นิยามศัพท์เฉพาะ

- 1.5.1 ชั้นวัสดุกันซึม (Liner)
- 1.5.2 คุณสมบัติการซึมได้ (Permeability)
- 1.5.3 นํ้ายางพารา (Para-Rubber)
- 1.5.4 ยางมะตอย (Asphalt)



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

การศึกษางานวิจัยคุณสมบัติการซึมได้และ CBR. ของดินชั้นทางบดอัดผสมยางมะตอยและน้ำยางพารา เป็นการพัฒนาทดลอง (Experimental development) การวิจัยประยุกต์ (Applied research) เป็นการศึกษาค้นคว้าเพื่อหาความรู้ใหม่ ๆ และมีวัตถุประสงค์เพื่อนำความรู้นั้น ไปใช้ประโยชน์อย่างใดอย่างหนึ่ง หรือเป็นการนำเอาความรู้และวิธีการต่างๆ ที่ได้จากการวิจัยขั้นพื้นฐาน มาประยุกต์ใช้อีกต่อหนึ่ง หรือหาวิธีใหม่ ๆ เพื่อบรรลุเป้าหมายที่ได้ระบุไว้แน่ชัดล่วงหน้า จึงต้องทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้องดังต่อไปนี้

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 วัสดุกันซึม Liner

(1) ชั้นกันซึมธรรมชาติ (Natural Liners) เป็นชั้นดินเหนียวที่มีความหนาเพียงพอจะสามารถใช้เป็นชั้นกันซึมธรรมชาติได้ โดยดินเหนียวมีขนาดเม็ดดินที่เล็กมากและมีค่าสัมประสิทธิ์การยอมให้น้ำซึมผ่าน (Hydraulic conductivity) ต่ำกว่า 1×10^{-7} เซนติเมตรต่อวินาที (cm/s)

(2) ชั้นกันซึมดินเหนียวบดอัด (Compacted Clay Liners) ดินเหนียวสามารถใช้ในการก่อสร้างชั้นกันซึมได้อย่างดี ป้องกันการรั่วซึมของ Leachate และ Landfill gas

(3) ชั้นกันซึมแบบจีโอเมมเบรน (Geomembrane Liners) เป็นชั้นที่ป้องกันการรั่วซึมของ Leachate และ Landfill gas วัสดุสังเคราะห์ (Synthetic materials) ที่เป็นโพลีเมอร์บางชนิดถูกนำมาใช้ในชั้นกันซึมในที่ฝังกลบมูลฝอย เพราะมีคุณสมบัติที่บดน้ำ (Impervious) โพลีเมอร์ที่ใช้ในการทำชั้นกันซึม ได้แก่ High density polyethylene (HDPE), Polypropylene (PP) และ Polyvinylchloride (PVC)

(4) Geotextile (Nonwoven) เป็นชั้นกรอง และเพื่อป้องกันGeomembrane

(5) ชั้นกันซึมดินเหนียวจีโอซินธิติก (Geosynthetic Clay Liners, GCLs) GCLs เป็นวัสดุที่สร้างขึ้นเฉพาะเพื่อใช้เป็นชั้นกันซึมในสถานที่ฝังกลบมูลฝอยโดยจะประกอบไปด้วย เบนโทไนท์ (Bentonite) ซึ่งเป็นดินเหนียวชนิดพิเศษที่มีค่าสัมประสิทธิ์ การยอมให้น้ำซึมผ่านที่ต่ำมาก (ประมาณ 1×10^{-8} ถึง 1×10^{-10} cm/s)

(6) ชั้นกันซึมแบบผสม (Composite Liners) การใช้ชั้นกันซึมแบบผสม คือ ใช้ดินเหนียวบดอัดวางไว้ใต้จีโอเมมเบรน เพื่อให้สามารถป้องกันการเคลื่อนที่แบบการแพร่ที่ผ่านชั้นจีโอเมมเบรนได้

2.1.2 น้ำชะมูลฝอย (Leachate)

คือ ของเหลวที่ไหลซึมผ่านชั้นมูลฝอยและละลายเอามลสารจากมูลฝอยออกมาด้วย ขึ้นอยู่กับ ลักษณะสมบัติของมูลฝอย ระยะเวลาฝังกลบ และ ปริมาณของเหลวที่ซึมผ่านชั้นมูลฝอย

2.1.3 การควบคุมการไหลซึมของน้ำชะมูลฝอย

1. ปูชั้นกันซึม (Liner) ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำชะมูลฝอยผ่านลงไปปนเปื้อนกับแหล่งน้ำผิวดินหรือน้ำใต้ดินเบื้องล่าง

2. ระบบรวบรวมน้ำชะมูลฝอย ทำหน้าที่เก็บรวบรวมน้ำชะมูลฝอย แล้วสูบขึ้นมาจากสถานที่ฝังกลบเพื่อทำการบำบัดน้ำชะมูลฝอยให้เป็นน้ำดีต่อไป

3. ระบบปิดทับชั้นสุดท้าย ทำหน้าที่ป้องกันไม่ให้น้ำฝนซึมผ่านลงไปในพื้นที่ฝังกลบเพื่อลดโอกาสที่จะเกิดน้ำชะมูลฝอยในสถานที่ฝังกลบ

2.1.4 ยางพาราที่นำมาใช้เป็นวัสดุประสาน

ลักษณะของยางพาราที่นำมาใช้มีลักษณะทางกายภาพคือ เป็นน้ำยางสีขาวขุ่นไม่โปร่งแสง มีความเหนียว (แล้วแต่สูตรที่นำมาทดลอง) แต่จะไม่แห้งเมื่อเก็บไว้ที่ๆ ไม่โดนอากาศ เนื่องจากมีการเติมสารแอมโมเนีย เพื่อช่วยลดการแข็งตัวของยางพารา เมื่อเจอกับอากาศภายนอก ขั้นตอนในการทำยางพาราทำได้โดยนำน้ำยางพาราสดมาทำการต้มในอุณหภูมิที่สูงหลังจากนั้นเติมสารแอมโมเนียและมีสารเคมีบางประเภทซึ่งหลังจากการเติมสารเคมีเสร็จเรียบร้อยแล้วจะทำการจัดเก็บอยู่ในแกลลอนถังน้ำมัน โดยมีห้องในการจัดเก็บ เพื่อไม่ให้ยางพาราโดนความร้อนจากแสงอาทิตย์โดยตรง ยางพาราที่นำมาผ่านการต้มและเติมสารเคมีบางประเภทลงไปแล้วนั้น จะมีคุณสมบัติพิเศษในการยืดเกาะมวลสารได้มากขึ้น อีกทั้งยังมีความเหนียวและความยืดหยุ่นมากขึ้น และหากปล่อยให้ยางพาราที่ได้เกิดกระบวนการสันดาปกับอากาศจากภายนอก หรือนำออกตากแดด ยางพาราจะเกิดการแข็งตัว (rigid) และสามารถรองรับน้ำหนักที่กดทับลงมาได้มากขึ้น (โดยมีการใช้ยางพาราที่ได้นี้มาทำเป็นถนนเพื่อใช้แทนยางมะตอยแล้วในหลายประเทศ เช่น เกาหลี เนื่องจากเป็นทางเลือกที่ไม่ก่อให้เกิด มลพิษ (toxic) ระหว่างกระบวนการ เพราะสามารถหลีกเลี่ยงการใช้ปิโตรเลียมอันก่อให้เกิดมลพิษทางอากาศได้) อีกทั้งในประเทศไทยก็มีถนนยางพาราแล้วด้วยเช่นกัน [3] และด้วยการทดสอบจากห้องปฏิบัติการทดลองจึงทำให้ได้ยางพาราที่มีคุณสมบัติในการใช้งานที่มีประสิทธิภาพในการใช้งานออกมา 3 ประเภทดังนี้

2.1.4.1 ยางพารา C45S เป็นยางพาราที่ได้จากการต้มยางพาราดิบ 45% และมีการใส่แอมโมเนียช่วยในการคงสภาพความเป็นของเหลว รวมทั้งมีการใส่สารเคมีอีกบางชนิดเพื่อช่วยในเรื่องของคุณสมบัติในการเกาะยึด และความแข็งแรงของยางพาราเมื่อเจอกับอากาศภายนอก และเกิดการแข็งตัวเป็นวัสดุแข็ง (rigid) คุณสมบัติทางกายภาพทั่วไปของยางพาราชนิดนี้คือ จะมีความหนืดของน้ำยางมากกว่ายางพาราโดยทั่วไป ซึ่งจะทำให้คุณสมบัติทางด้านความแข็งแรงและปลอดภัยดีตามมาด้วย

2.1.4.2 ยางพารา C58S เป็นยางที่ได้จากการต้มยางพาราดิบ 58% และมีการใส่แอมโมเนียช่วยในการคงสภาพความเป็นของเหลว นอกจากนั้นจะมีขั้นตอนในการใส่สารเคมีเช่นเดียวกับยางพารา C45S แต่มีข้อแตกต่างในส่วนของคุณสมบัติทางกายภาพคือ ทางด้านของความเข้มข้นของน้ำยาง โดย C58S จะมีความเข้มข้นของน้ำยางมากกว่า C45S และมีความหนืดของน้ำยางมากกว่า

2.1.4.3 ยางพารา C58S (โซเดียมซิลิเกต) เป็นยางที่ได้จากการต้มยางพาราดิบ 58% และมีการใส่แอมโมเนียช่วยในการคงสภาพความเป็นของเหลว นอกจากนั้น จะมีขั้นตอนในการใส่สารเคมีที่มีคุณสมบัติคล้ายคลึงกับสารประเภทเรซิน ได้แก่ โซเดียมซิลิเกต เข้าไปอีกด้วย ซึ่งจากการเพิ่มเติมสารเคมีลงไป จึงก่อให้เกิดความเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติทางกายภาพนั้นคือ น้ำยางมีความหนืดสูงมากขึ้นและจะมีเนื้อยางที่แน่นกว่าเดิมแต่จะละลายในน้ำได้ดีกว่าสูตรอื่น ก้อนอิฐมวลเบาพารากรีต [4] เป็นหนึ่งในผลงานการใช้อยางพาราสังเคราะห์ ผสมกับวัสดุทางธรรมชาติ ได้แก่ ไข่เล็ยร้อนละเอียด ดินลูกรัง หินฝุ่น ททราย น้ำยางแปรรูปพิเศษ นำมาผสมเพื่อขึ้นรูปเป็นอิฐที่ใช้ในการก่อสร้างทั่วไป

2.1.5 ทดสอบความซึมน้ำของดิน (Soil Permeability Test) [5] มาตรฐานอ้างอิง : ASTM D 2434 – 68

มวลดินเป็นวัสดุที่มีช่องว่างต่อเนื่องในระหว่างเม็ดดิน ดังนั้นเมื่อมีน้ำที่มีความดันต่างกันระหว่าง 2 จุดในมวลดิน ก็จะมีการไหลของน้ำผ่านช่องว่างเหล่านั้น ความสามารถที่มวลดินให้น้ำซึมผ่านไปได้นี้ เรียกว่า “ความซึมน้ำของดิน” (Permeability), k ถ้ามวลดินที่น้ำซึมผ่านได้ง่าย ค่า k ก็ จะสูง เรามักเรียกว่า “Pervious Soil” ถ้าน้ำซึมผ่านได้ยาก ค่า k ต่ำ จะเรียกว่า “Impervious Soil”

ค่าความซึมน้ำของดิน เป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญ ซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของดินหลายอย่าง เช่น การรั่วซึมของน้ำที่เก็บกักโดยการปิดกั้นโดยเขื่อนดิน, ความมั่นคงของลาดเขื่อน ซึ่งเกี่ยวข้องกับแรงดันน้ำภายในตัวเขื่อน, อัตราการทรุดตัวของชั้นดินเกิดจากน้ำหนักสิ่งก่อสร้าง, ความมั่นคงและปริมาณน้ำที่ไหลเข้าบ่อที่ขุดเพื่อก่อสร้างฐานราก, และแม้กระทั่งปริมาณน้ำที่สามารถสูบขึ้นมาใช้ได้จากการเจาะน้ำบาดาล

การหาค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำได้ในสนาม (Field permeability test) ทำโดยการเจาะฝังท่อลงไปดิน ถ้าชั้นดินที่ต้องการหาค่าความซึมน้ำได้อยู่เหนือระดับน้ำใต้ดิน ให้ใช้วิธีสูบน้ำลงไปไหลลงสู่หลุมเจาะ ถ้าชั้นดินอยู่ใต้ระดับน้ำใต้ดิน จะใช้วิธีสูบน้ำเข้าในหรือออกจากหลุมเจาะก็ได้ แล้ววัดอัตราการไหลของน้ำที่จะรักษาระดับความดันคงที่ค่าสัมประสิทธิ์ความซึมน้ำ

$v = ki$ (1)

เมื่อ

- v = ความเร็วของการไหลซึม (LT^{-1})
- i = ไฮดรอลิกเกรดเดียน = $\Delta.h/\Delta.y$
- k = ความซึมน้ำของตัวกลาง ซึ่งเป็นค่าคงที่ (LT^{-1})
- Δh = ความต่างของระดับน้ำ (Head Difference) ในช่วงความยาวของการซึม ΔL

จากสมการที่ 1 จะนำไปใช้ในงานวิเคราะห์ปัญหาทางการไหลซึมของน้ำผ่านชั้นดิน ได้เกือบทุกแบบ สิ่งสำคัญ คือ ค่าคงที่ที่เป็นคุณสมบัติเฉพาะของชั้นดินที่เรียกว่า ค่าความซึมน้ำ (Permeability) ซึ่งจะขึ้นอยู่กับอิทธิพลของสิ่งต่อไปนี้

1. ขนาดและรูปร่างของเม็ดดิน (Grain Size and Shape) แท้ที่จริงแล้วค่าความซึมน้ำควรจะขึ้นอยู่กับขนาดและรูปร่างของช่องว่างระหว่างเม็ดดินมากกว่า แต่คุณสมบัติทั้งสองของมวลดินมีความสัมพันธ์กันอย่างใกล้ชิด เช่น ดินที่มีเม็ดเล็กบางและเป็นแผ่น ช่องว่างที่น้ำซึมผ่านก็มักจะมิลักษณะเช่นเดียวกัน Allen Hazen ได้เสนอว่าในทรายและกรวด ค่าความซึมน้ำสามารถสัมพันธ์กับขนาดเม็ดดังนี้

$K = 100 D_{10}^2$ ซม./ วินาที (2)

เมื่อ D_{10} = ขนาดเม็ดเมื่อมี 10 เปอร์เซนต์ โดยน้ำหนักเป็นเม็ดที่เล็กกว่าที่ระบุ (ซ.ม.)

2. ความหนืดของของเหลวที่ซึมผ่าน (Viscosity of Pore Fluid) ในทางวิศวกรรมโยธามักเกี่ยวข้องกับน้ำเท่านั้น แต่ความหนืดของน้ำก็อาจเปลี่ยนแปลงได้เนื่องจากอุณหภูมิ และมักจะยึดถือเอาความหนืดที่อุณหภูมิ 20 °c เป็นเกณฑ์ เมื่ออุณหภูมิสูงขึ้น ความหนืดจะลดลง ทำให้น้ำซึมผ่านได้ง่าย ดังนั้น ค่าความซึมน้ำ ณ อุณหภูมิต่าง ๆ อาจมีความสัมพันธ์กับที่ 20 °c ดังนี้

$k_T = k_{20} \times (\eta_{20} \div \eta_T)$ (3)

เมื่อ η_{20} , η_T เป็นความหนืดของน้ำที่อุณหภูมิ 20 °c และ T °c ตามลำดับ

3. อัตราส่วนของช่องว่าง (Void Ratio) คือ อัตราส่วนของช่องว่างระหว่างดินต่อปริมาตรเม็ดดิน เช่นในทรายหลวม น้ำยอมไหลสะดวกกว่าทรายอัดแน่น มีผู้พยายามค้นคว้าหาความสัมพันธ์ของค่าความซึมน้ำกับอัตราส่วนช่องว่าง เช่น

$k = c \times [e^3/(1+e)]$ (4)

4. ความอิ่มตัวของมวลดิน (Degree of Saturation) เมื่อมวลดินไม่อิ่มตัว ย่อมจะมี
ฟองอากาศคอยกั้นช่องว่าง ทำให้น้ำไหลซึมไม่สะดวก ดังนั้นในการทดลองในห้องปฏิบัติการจึงมักใช้
ตัวอย่างดินที่อิ่มตัว เพื่อหลีกเลี่ยงอิทธิพลนี้ ในการทดลองหาค่าความซึมน้ำอาจทำได้หลายวิธี เช่น
แบบความดันน้ำคงที่ (Constant head) หรือความดันน้ำเปลี่ยนไป (Variable head) หรือแม้แต่
ทดสอบในสนาม

เมื่อ : $Q = vA = kiA$ (5)

K = ค่าความซึมน้ำของตัวอย่างดิน ซึ่งต้องการทราบ

i = ไฮโดรลิก เกรเดียน = h/L

เมื่อแทนค่า i แล้วหาค่า k ในเทอมตัวแปรต่าง ๆ จะได้

$k = QL/Ah$ (6)

เมื่อ Q = ปริมาณน้ำที่วัดระหว่างการทดสอบ, ซม.³/วินาที

L = ความยาวของตัวอย่างดิน, ซม.

A = พื้นที่หน้าตัดตัวอย่างดิน, ซม.²

h = ความต่างของระดับน้ำ (ดังรูปที่ 1), ซม.

ในกรณีที่รู้ความดันน้ำช่วย $h = p/\gamma_w$ ดังนั้นสมการ 6 จะเป็น

$k = (Q \times L \times \gamma_w)/AP$ (7)

การทดลองหาค่าความซึมน้ำโดยวิธีความดันเปลี่ยน โดยใช้ความดันจากความสูงของระดับน้ำ
ในหลอดแก้ว (Burette) ซึ่งมีพื้นที่หน้าตัด a และระดับน้ำจะลดลงเรื่อยๆ ในระหว่างการทดลอง ถ้า
เราพิจารณาที่ช่วงเวลาใดๆ dt โดยระดับน้ำในหลอดแก้วลดลง dt จากสมการ 1

เมื่อ

a, A = พื้นที่หน้าตัดของหลอดแก้วและ ตัวอย่างดิน ตามลำดับ, ซม.²

L = ความยาวของตัวอย่างดิน, ซม.

T = เวลาที่ทำการทดลองปล่อยให้ระดับ น้ำตกจาก ระดับ h_1 ถึงระดับ h_2 , วินาที

h_1, h_2 = ระดับน้ำเมื่อเริ่มจับเวลา และระดับน้ำเมื่อเวลาผ่านไป 0 และ T วินาที
ตามลำดับ, ซม.

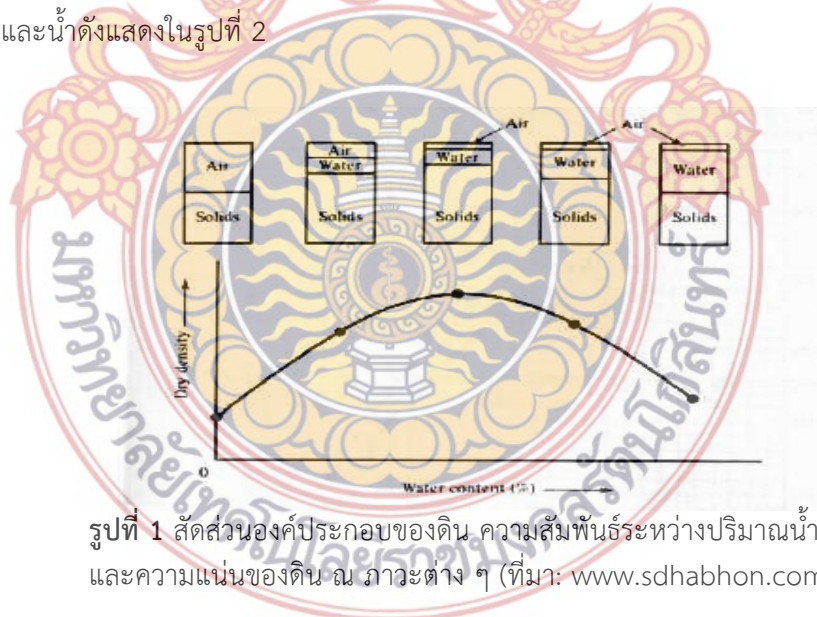
2.2 การทดลอง Standard Compaction

เมื่อดินรับแรงอัดทางกล Mechanical Compaction หรือแรงกระแทกเพื่อไล่อากาศ ออกไปจากช่องว่างระหว่างเม็ดดินจึงทำให้เม็ดดินเคลื่อนตัวเข้าหากันลดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน ปริมาตรมวลดินจึงลดลง ฉะนั้นดินจึงยุบและอัดตัว ความหนาแน่นของเม็ดดินจะสูงขึ้น มีกำลังต้านทานแรงเฉือนและรับน้ำหนักได้มากขึ้น การไหลซึมผ่านของน้ำและการทรุดตัวของดินน้อยลง การศึกษาเกี่ยวกับการทดสอบการบดอัดของดินในห้องทดลองมีด้วยกัน 2 วิธีคือ

2.2.1 Standard Proctor Test

2.2.2 Modified Proctor Test

ซึ่งการที่จะใช้การทดลองโดยวิธีใดก็ตามก็ต้องขึ้นอยู่กับความเหมาะสมของการทดลองซึ่ง ผลที่ได้จากการทดลองทั้งสองจะได้ค่าที่แตกต่างกันเนื่องจากการถ่ายพลังงานลงสู่ดินนั้นแตกต่างกันไปในแต่ละวิธี แต่อย่างไรก็ตามเราก็จะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมในการที่จะทำให้ดินนั้นมีค่าความหนาแน่นสูงสุดทั้งสองวิธี การบดอัดดินเป็นกระบวนการที่ใช้แรงหรือน้ำหนักจากเครื่องมือกล กระทำให้เม็ดดินเบียดตัวชิดกัน เพิ่มความแน่นและความสามารถในการรับน้ำหนัก ลดการทรุดตัว ลดการซึมผ่านของน้ำ เครื่องมือกลที่ใช้ในการบดอัด เช่น รถบดล้อเหล็ก รถบดล้อยาง รถบดตีนแกะ รถบดชนิดสันกระแทก เป็นต้น การเลือกใช้เครื่องมือชนิดใดขึ้นอยู่กับประเภทของดิน หรือวัสดุที่จะบดอัด การบดอัดดิน เป็นกระบวนการปรับปรุงคุณภาพดิน คือทำให้ดินแน่น (Dense) สูงสุด เพื่อเหมาะสมแก่ งานประเภทต่าง ๆ ในเชิงวิศวกรรม การทำให้ดินแน่น หรือทำให้ดินมีความหนาแน่นสูงสุดนอกจากจะใช้พลังงาน เช่น บดอัด (Compact) แล้ว ยังต้องคำนึงถึงปริมาณความชื้น (หรือปริมาณน้ำ) และช่องว่าง (Void) ในดิน เพราะ ปกติดินประกอบด้วย มวลดิน ช่องว่าง และน้ำดังแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 สัดส่วนองค์ประกอบของดิน ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ และความแน่นของดิน ณ ภาวะต่าง ๆ (ที่มา: www.sdhabhon.com)

Hogentogler (1936) อธิบายว่า หากปริมาณความชื้นน้อย แรงตึงผิวระหว่างอนุภาคดินสูง มีความฝืด หรือแรงเสียดทานมาก ดังนั้นจึงบดอัดยาก หากเพิ่มความชื้นอนุภาคดินจัดเรียงตัวดีขึ้น บดอัดง่ายขึ้น หากปริมาณน้ำเกินปริมาณที่เหมาะสม จะเกิดแรงผลักรันระหว่างน้ำกับอนุภาคดิน ทำให้อนุภาคดินไม่สามารถเรียงหรืออัดตัวกันได้ดีเท่าที่ควรและบวมตัว (Swell)

หากปริมาณน้ำมากเกินไป จนเข้าไปแทนที่ช่องว่าง ระหว่างอนุภาคดินทำให้ดินไกล่อึดตัวด้วยน้ำ (Saturation) การบดอัดดินจะทำให้ค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density) ของดินสูงขึ้น ขณะที่ช่องว่าง หรือ โพรงอากาศระหว่างเม็ดดินลดลง ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะทำให้ได้ค่าความหนาแน่นของดินสูงสุด (Maximum Dry Density) เรียก “Optimum Moisture Content, OMC ”

R.R. Proctor (1933) ได้กำหนดวิธีการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความชื้นกับ ความแน่น Density ของดินที่ได้จากการบดอัดในห้องปฏิบัติการ ซึ่งต่อมาได้เป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในการทดสอบการบดอัดในงานก่อสร้างโดยทั่วไปว่าเป็นวิธีการทดสอบมาตรฐาน Standard Proctor Test โดยเฉพาะการทดสอบเพื่อควบคุมงานก่อสร้าง สนามบิน เขื่อนดิน พื้นโรงงาน เป็นต้น ในปัจจุบันยานพาหนะที่ใช้ในการขนส่งได้วิวัฒนาการมีขนาดใหญ่ขึ้น บรรทุกน้ำหนักได้มากหลายเท่าตัว พลังงานที่ใช้ในการบดอัดก็จำเป็นต้องเพิ่มขึ้นด้วย จึงได้มีการกำหนดวิธีการทดสอบการบดอัดดินด้วยการเพิ่มพลังงานให้สูงขึ้น เพื่อจะได้ฐานดินที่มีความแน่นสูงรับน้ำหนักได้มาก เรียกว่า วิธีการทดสอบแบบโมดิไฟด์ Modified Proctor Test

Test	Mold size	Wt. Of hammer (lb.)	No. of layer	height of drop (in)	No. of blow per layer	energy / vol. ft - lb/ft ³
Standard Proctor	Ø 4.0" x 4.6"	5.5	3	12	25	12,400
	Ø 6.0" x 5.0"	5.5	3	12	56	12,400
Modified Proctor	Ø 6.0" x 5.0"	10	5	18	56	56,000
	Ø 4.0" x 4.6"	10	5	18	25	56,300

ตารางที่ 1 แสดงการเปรียบเทียบอุปกรณ์และพลังงานที่ใช้ในการทดสอบ Standard Proctor และ Modified Proctor (ที่มา : www.gerd.eng.ku.ac.th)



รูปที่ 2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Dry Density (ρ) และเป็นเปอร์เซ็นต์ความชื้น (Percent water content) ของ Standard Proctor (1) และ Modified Proctor (2)

ในการทำการบดอัดในห้องทดลอง ซึ่งปกติจะใช้เป็นมาตรฐานในการควบคุมการบดอัดในสนาม ต่อไป จะทำได้โดยการนำเอาวัสดุที่จะใช้ในการบดอัดในสนาม เข้ามาผึ่งให้แห้งแล้วค่อยๆเพิ่มน้ำไปในปริมาณที่พอเหมาะ แล้วเริ่มทำการบดอัดใน Mold (แบบที่ใช้อัด) โดยวิธีการและรายละเอียดจะพูดถึงทีหลัง เมื่อชั่งน้ำหนักเพื่อคำนวณหาความหนาแน่น ในครั้งต่อไปจะเพิ่มปริมาณน้ำขึ้นเรื่อย ๆ อย่างน้อย 4 – 6 ครั้ง เมื่อทราบความชื้นของการบดอัดในแต่ละครั้ง ก็จะหาความสัมพันธ์ของความหนาแน่นของดินแห้งกับความชื้น จะปรากฏเป็นเส้นกราฟโค้งขึ้นมีจุดยอด ซึ่งเรียกว่า “ความหนาแน่นสูงสุด” (Maximum Dry Density) ความชื้นที่จุดนั้นเรียกว่า “ความชื้นที่ความหนาแน่นสูงสุด” (Optimum Water Content) ดังแสดงในรูปที่หนึ่ง ถ้าเอาพลังงานในการบดอัดสูงขึ้นในดินชนิดเดียวกัน เส้นกราฟการบดอัดจะขยับสูงขึ้น ดังเช่นใน รูปที่ 2 (2) จะสามารถสังเกตลักษณะพิเศษ 2 ประการ คือ ค่า ของ Modified Proctor จะสูงกว่า ของ Standard Proctor และค่าเปอร์เซ็นต์ความชื้นที่จุด สูงสุด ซึ่งเรียกว่าความชื้นเหมาะสม (Optimum Moisture Content) ก็จะลดลงด้วย ขณะที่ เพิ่มขึ้น ซึ่งลักษณะพิเศษนี้เป็นคุณสมบัติของดินโดยทั่วไปเมื่อได้รับการบดอัด

2.3 การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR)

ในงานทาง วัสดุที่ใช้ก่อสร้างคันดิน หรือทำ โครงสร้างทาง นอกจากจะต้องปรับปรุงคุณภาพด้วยการบดอัดให้แน่น เช่น บดอัด ณ ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม แล้ว ยังต้องคำนึงถึงกำลังต้านทาน แรง หรือน้ำหนักกด และเสถียรภาพของดิน กล่าวคือ หากดินยุบตัวมาก แต่กำลังต้านทานน้อย อนุมานได้ว่า บดอัดไม่แน่น หรือกลับกัน นอกจากนั้น จะต้องคำนึงถึงเสถียรภาพของดิน เมื่อปริมาณความชื้นสูงมาก คืออิ่มตัว (Saturated) ซึ่งในทางธรรมชาติ อาจเกิดขึ้นได้เช่นโครงสร้างทาง หรือผิวทางในภาวะที่ถูกลูกน้ำท่วมขัง

การทดสอบ California Bearing Ratio (CBR) คล้ายคลึงกับการทดสอบความแน่นของการบดอัด ดินในห้องปฏิบัติการ (ทั้งวิธี Standard หรือ Modified Proctor) ทั้งนี้เพราะกระบวนการเตรียมตัวอย่าง อุปกรณ์ทดสอบ และวิธีทดสอบ คล้ายคลึงกัน และกระบวนการทดสอบ CBR ก็จะต้องทดสอบหาความหนาแน่นของดินด้วยเสมอ เพียงแต่มีรายละเอียดการทดสอบเพิ่มเติม เช่น ทดสอบการบวมตัว (Swell) ของตัวอย่าง ภายใต้สภาวะที่ถูกแช่ในน้ำ (Soaking) ซึ่งเป็นการจำลองสภาวะของดินที่บดอัดในสนาม เช่น โครงสร้างชั้นทางต่าง ๆ ซึ่งอาจถูกน้ำไหลบ่าหรือท่วมขัง เป็นเวลานานพอที่ทำให้ดินบวมตัว เสื่อมรูป (Deform) หรือเสียเสถียรภาพในที่สุด ดังนั้น ในทางปฏิบัติ อาจแก้ไขด้วยการพยายามออกแบบให้ผิวทาง หรือโครงสร้างทางชั้นสำคัญ มีระยะปลอดพื้นน้ำ (Freeboard) อย่างเพียงพอ หรือออกแบบระบบระบายน้ำใต้ผิวดิน (Sub drain) เช่น มีชั้นทรายรองพื้น (Sand cushion) ใต้ผิวทางคอนกรีต ระบบระบายน้ำใต้ดินชนิดมีท่อกรู(Perforated pipe) ตัวกรูหรือวัสดุคัดเลือกลมลก่อนข้างหยาบ ที่มีช่องว่างระหว่างมวล (Void) ค่อนข้างสูง นอกจากนั้น การทดสอบยังมีวัตถุประสงค์จะคำนวณค่า CBR ซึ่งเป็นค่าเปรียบเทียบ (ร้อยละ) ระหว่าง กำลังรับแรงต้านทาน (อาจเรียกว่า แรงถาร หรือ แรงแบกทาน - Bearing capacity) ของดิน ภายใต้ น้ำหนักกด เปรียบเทียบกับกำลังมาตรฐาน ณ ค่าระยะยุบตัว (Penetration) ที่เท่ากัน

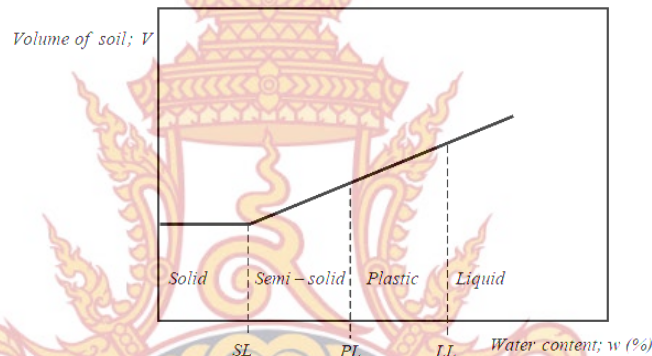
2.4 สถานภาพของดิน

สถานภาพของดินแบ่งได้ดังนี้

2.4.1 ขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินที่จุดเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากของเหลวเป็นพลาสติก หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถไหลไปได้ด้วยน้ำหนักของดินเอง

2.4.2 ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากพลาสติกเป็นวัสดุแข็งของแข็ง หรือคือปริมาณน้ำที่น้อยที่สุดที่ดินสามารถถูกคลึงเป็นเส้นกลม มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มม. ได้โดยไม่เกิดรอยแตกที่ผิว

2.4.3 ขีดจำกัดการหดตัว (Shrinkage Limit, S.L.) หมายถึง ปริมาณน้ำในดินที่จุดซึ่งดินเริ่มเปลี่ยนสถานภาพจากวัสดุแข็งของแข็งเป็นของแข็ง หรือก็คือปริมาณน้ำที่มากที่สุดซึ่งถึงแม้ว่าจะมีการสูญเสียน้ำอีกต่อไปก็ไม่ทำให้ดินหดตัวหรือลดปริมาตรลง



รูปที่ 3 แสดงสถานภาพของมวลดิน

2.5 ประเภทของดิน

2.5.1 ดินเชื่อมแน่น (Cohesive Soil) คือ ดินที่มีคุณสมบัติทางกายภาพที่เมื่อมวลดินเปียก และหลังจากนั้นทำให้แห้งลงเม็ดดินจะยังคงติดกันอยู่ ซึ่งต้องใช้แรงในการแยกเม็ดดินออกจากกัน ในสภาวะแห้ง ดินดังกล่าวจะสามารถตั้งตัวเป็นรูปทรงได้ทั้งในสภาวะที่ความชื้นตามธรรมชาติและในสภาวะแห้ง โดยเฉพาะในสภาวะแห้งจะแข็ง บีบให้แตกได้ยาก เรียกว่า ดินมีกำลังแห้งสูง (High Dry Shear Strength)

2.5.2 ดินไม่เชื่อมแน่น (Cohesionless, Non Cohesive Soil) คือ ดินที่ไม่มีความเป็นพลาสติก (Non Plastic) ในทุกสภาวะของความชื้น สังกัดได้จากการที่มีคุณสมบัติร่วน (Friable) ไม่จับตัวกัน ยกเว้นในสภาวะที่ชื้น (Moist) จะจับตัวกันหลวมๆ เมื่อขุดลงไปหลุมผนังดินจะสามารถตั้งได้ แต่เมื่อแห้งลงผนังดินก็จะพังลง

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

ในปี ค.ศ. 1987, Ohama ได้อธิบายการก่อตัวของคอนกรีตผสมน้ำยาง [6] ไว้ว่าน้ำยางที่ใช้ผสมจะอยู่ในรูปของสารแขวนลอย (Emulsion) โดยอนุภาคของโพลิเมอร์ (Polymer) จะแขวนลอยอยู่ในน้ำยางเหลว ซึ่งเมื่อผสมน้ำยางเข้ากับคอนกรีตแล้ว จะมีปฏิกิริยาเกิดขึ้น 2 ส่วน คือ 1. ปฏิกิริยา ไฮเดรชัน (Hydration) จากซีเมนต์ผสมกับน้ำ และ 2. ปฏิกิริยาการก่อตัวเป็นฟิล์ม (Film) ที่เกิดจากอนุภาคของโพลิเมอร์มารวมตัวกัน (Coalesce) ซึ่งการก่อตัวของชั้นฟิล์มเสมือนเป็นเนื้อเดียวกันกับคอนกรีต ซึ่งจะทำหน้าที่เป็นวัสดุประสานหรือตัวยึด (Binder) ระหว่างมวลรวมเข้าด้วยกันเป็นคอนกรีต

จากรายงานผลการทดลองทั่วโลกเป็นที่ยอมรับว่าการผสมยางลงในแอสฟัลต์ทำให้คุณภาพของถนนดีขึ้นในทุกด้าน [3] สถาบันวิจัยยางมาเลเซียรายงานว่าการถนนหนทางขึ้นประมาณสามเท่า ค่าซ่อมบำรุงถูกลง 2.7 เท่า สถาบันวิจัยถนนของอินเดีย ภายใต้การสนับสนุนของธนาคารโลกรายงานผลการศึกษารถยนต์ที่วิ่งบนถนนลาดยางผสมแอสฟัลต์ใช้น้ำมันน้อยลง 5-7% ถนนสภาพดีทำให้ผู้ขับขี่ปลอดภัยและสบายกว่ายางเคมีที่นิยมใช้กัน ในประเทศพัฒนาจะมีราคาแพงแต่อาจจะถูกลงบ้างเมื่อมีการผลิตจำนวนมาก และดูจะเหมาะสมกับประเทศเหล่านั้น ในสหรัฐอเมริกาประเทศเดียวจะมียางรถยนต์ถูกทิ้งถึง 250 ล้านเส้น เป็นปัญหากับสิ่งแวดล้อมเป็นอันมาก น้ำยางผสมแอสฟัลต์ น่าจะเหมาะกับประเทศกำลังพัฒนาโดยเฉพาะอย่างยิ่งประเทศผู้ผลิตยางธรรมชาติที่ประสบปัญหาราคายางตกต่ำอยู่เสมอ จากการศึกษาของสถาบันวิจัยถนนอินเดียพบว่าถ้าใช้น้ำยางผสมแอสฟัลต์ลาดผิวถนนสองเลนจะใช้ยางธรรมชาติหนึ่งตันต่อระยะหนึ่งกิโลเมตร ดังนั้นถ้าใช้น้ำยางผสมแอสฟัลต์เพียง 10,000 กิโลเมตรก็จะใช้น้ำยางถึง 10,000 ตัน นับว่าเป็นการเพิ่มการใช้ยางภายในประเทศเป็นอย่างดี จะเห็นได้ชัดเจนว่าการใช้ยางที่เพิ่มขึ้นจากการผสมยางกับแอสฟัลต์เพียงไม่เกิน 20% ในการลาดผิวถนนคุ้มกับความทนทานที่เพิ่มขึ้น 1-3 เท่า และค่าซ่อมที่ลดลงประมาณ 30% เมื่อรวมกับผลทางเศรษฐกิจอื่นๆ เช่น การจราจรที่คล่องตัว การประหยัดน้ำมัน ลดอุบัติเหตุ เป็นต้น ยางธรรมชาติที่ผสมเข้าไปเท่าไรก็ลดการนำเข้าแอสฟัลต์เท่านั้นอีกด้วย จึงน่าจะคุ้มค่าทางเศรษฐกิจที่จะใช้น้ำยางผสมแอสฟัลต์

การศึกษาใช้น้ำยางพาราในคอนกรีตมวลเบาแบบฟองอากาศ-อบไอน้ำ [7] โดยทำการทดลองออกแบบส่วนผสม โดยใช้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายบดละเอียดเท่ากับ 1: 1 โดยน้ำหนัก ปริมาณผงอลูมิเนียมเท่ากับร้อยละ 0.3 ของส่วนผสมทั้งหมด อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.50 โดยน้ำหนัก (ไม่รวมน้ำหนักของน้ำในน้ำยางพารา) ปริมาณปูนขาวเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ และปริมาณยิปซัมเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของปูนซีเมนต์ ในการเตรียมน้ำยางพาราใช้สารแอมโมเนียเหลวเข้มข้นร้อยละ 15 ในสัดส่วนร้อยละ 3 ของน้ำหนักน้ำยางพารา คอนกรีตต้องผสมสารลดแรงดึงผิวชนิดไม่มีประจุในปริมาณร้อยละ 4 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์ ใช้อัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0, 0.10, 0.15 และ 0.20 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ ตามลำดับ ทำการผสมและอบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. นำมาทดสอบค่าความหนาแน่นเชิงปริมาตร ค่ากำลังอัดและค่ากำลังดัด ที่อายุ 3, 7, 14 และ 28 วัน ค่าการดูดกลืนน้ำที่อายุ 7 และ 28 วัน ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน ตามมาตรฐาน ASTM ผลการวิจัยพบว่าค่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจะแปรผกผันกับปริมาณอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ในขณะที่ค่ากำลังดัดของคอนกรีตจะแปรผันตรงกับ

ปริมาณอัตราส่วนของน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ โดยที่เมื่อผสมน้ำยางพารามากขึ้นค่ากำลังอัดจะลดลงแต่ค่ากำลังตัดจะเพิ่มขึ้น ค่าความหนาแน่นจะแปรผกผันกับปริมาณของอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ค่าการดูดกลืนน้ำจะแปรผันตรงกับอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ ค่าการเปลี่ยนแปลงความยาว (ร้อยละการหดตัว) มีค่าไม่แน่นอนในแต่ละอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ และมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนมากกว่าคอนกรีตมวลเบาแบบปกติอยู่เล็กน้อย โดยปริมาณน้ำยางที่เหมาะสมที่สุดในงานวิจัยนี้คือ การใช้ปริมาณอัตราส่วนน้ำยางพาราต่อปูนซีเมนต์ 0.10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ เมื่อพิจารณาโดยรวมแล้วสามารถนำไปผลิตเป็นวัสดุคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลางที่สามารถรับกำลังได้สูง และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนได้ดี

Lindh [8] ได้ทำการทดสอบภาคสนามโดยการนำเอาเส้นใยพลาสติกชนิดสั้น (48 มม.) มาผสมกับทรายในการก่อสร้างถนน ในสัดส่วนร้อยละ 0.5 และ 0.25 ของน้ำหนักทรายแห้งพบว่าการเสริมเส้นใยสามารถช่วยเพิ่มเสถียรภาพของทรายภายหลังการบดอัดได้เป็นอย่างดี อีกทั้งผลการทดสอบ CBR พบว่าค่า CBR มีค่ามากกว่าดินที่ไม่ได้ผสมเส้นใย

Fookes และ Denness [9] ได้มีนิยามรอยแตกภายในดินเหนียวว่าเป็นส่วนการแตกหัก (Rupture) เล็กๆบนพื้นที่ผิว ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดการแบ่งแยกและความไม่ต่อเนื่องในวัสดุ

เอกรัตน์ รอดบำรุง [10] รายงานว่าเมื่อนำเส้นใยโพลีเอสเตอร์ผสมในดิน เส้นใยมีส่วนช่วยลดรอยแตกร้าวในดินได้ โดยทำการทดลองกับดินเหนียวสุพรรณบุรีผสมเส้นใยที่อัตราส่วน 0%, 0.1%, 0.2%, 0.3%, 0.4% และ 0.5% โดยน้ำหนักดินแห้งตามลำดับ จากนั้นนำไปผ่านกระบวนการให้ความชื้นและอบแห้งเป็นรอบๆ ทั้งหมด 4 รอบพบว่า การเพิ่มปริมาณเส้นใยส่งผลให้เกิดรอยแตกในดินเหนียวมีปริมาณที่ลดลงอย่างเห็นได้ชัด ปริมาณรอยแตกวัดเป็นเปอร์เซ็นต์ โดยเทียบพื้นที่รอยแตกร้าวที่เกิดขึ้นกับพื้นที่ตัวอย่างดินที่ทำการถ่ายภาพ

ภูรี [11] ศึกษาการผสมเส้นใยผ้าใบในดิน ดินแกรนิตและดินลูกรังพบว่าปริมาณเส้นใยที่เพิ่มขึ้นช่วยลดการแตกร้าวในมวลดินในรอบการอบแห้งที่สูงขึ้น โดยปริมาณส่วนผสมของเส้นใยที่เหมาะสมในการควบคุมการแตกร้าวอยู่ที่ ประมาณ 4 เปอร์เซ็นต์ เมื่อเทียบกับน้ำหนักดินแห้ง



บทที่ 3 วิธีการดำเนินการวิจัย

3.1 อุปกรณ์

1. อุปกรณ์ทดสอบหาขนาดคละของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (Sieve Analysis) ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 205/2517
2. อุปกรณ์ทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติกของวัสดุตัวอย่าง (Atterberg's Limits) ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 102/2515 และ ทล.-ท. 102/2515
3. อุปกรณ์ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 101/2515
4. อุปกรณ์ทดสอบการบดอัด (Compaction Test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 108/2517
5. อุปกรณ์ทดสอบการแบกทาน (California Bearing Ratio) ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 109/2517
6. อุปกรณ์ทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 105/2515
7. อุปกรณ์ทดสอบการอัดตัวคลายน้ำ (Consolidation Test) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D2435-65T

3.2 วัสดุ

1. ดินลูกรังจากแหล่ง บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3209 กม.32 + 500 ซ้ายทาง บ.หนองข้าวเหนียว ต.หนองตากยา อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี
2. แอสฟัลต์คอนกรีตเกรด AC 60-70 ตามมาตรฐาน ทล.-ก.401/2531
3. น้ำยางพารา สวนยางพารา บนทางหลวงแผ่นดินหมายเลข 3209 กม.42 + 000 ซ้ายทาง ต.หนองตากยา อ.ท่าม่วง จ.กาญจนบุรี

3.3 วิธีการทดสอบ

3.3.1 การเตรียมตัวอย่าง

นำดินลูกรังมาเทลงในภาชนะที่เตรียมไว้แล้วทำการตากดินลูกรังในสถานที่โล่งแจ้ง อากาศถ่ายเทประมาณ 2-3 วัน เพื่อลดปริมาณความชื้นในดินลูกรังเพื่อให้ดินลูกรังมีปริมาณความชื้น น้อยที่สุดก่อนนำไปทดสอบ



รูปที่ 4 การเตรียมตัวอย่างวัสดุดินลูกรัง

3.3.2 ทดสอบหาขนาดคละ (Sieve Analysis)

ทดสอบหาขนาดคละ (Sieve Analysis) ดินลูกรังโดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้า เพื่อหาขนาดคละของมวลรวม (Gradation) แล้วเปรียบเทียบมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรง หรือค้ำบนตะแกรงตามขนาดต่างๆ กับมวลรวมทั้งหมดของตัวอย่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{R}{T} \times 100 \quad (3.1)$$

เมื่อ

- P = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก
- R = มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด
- T = มวลของตัวอย่างทั้งหมด



รูปที่ 5 การทดสอบหาขนาดคละ (Sieve Analysis)

3.3.3 ทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติกของวัสดุ

ทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติกของวัสดุดินลูกรัง เพื่อหาค่าปริมาณน้ำต่ำสุดในวัสดุตัวอย่าง เมื่อวัสดุตัวอย่างนั้นยังคงอยู่ในสภาพพลาสติก ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$\text{Liquid Limit (LL)} = \frac{\text{มวลของน้ำในดิน (gm)}}{\text{มวลของดินอบแห้ง (gm)}} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ Liquid Limit (LL) = ปริมาณของน้ำที่มีอยู่พอดีในดินซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะ Plastic เป็นภาวะ Liquid

$$\text{Plastic Limit (PL)} = \frac{\text{มวลของน้ำ (gm)}}{\text{มวลของดินแห้ง (gm)}} \times 100 \quad (3.3)$$

$$\text{Plastic Index (PI)} = \text{LL} - \text{PL} \quad (3.4)$$

เมื่อ Plastic Limit (LL) = อัตราส่วนระหว่างมวลของน้ำต่อมวลของดินแห้ง

Plastic Index (PI) = ค่าจำนวนน้ำต่ำสุดในดิน เมื่อดินนั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic



รูปที่ 6 ทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติกของวัสดุดินลูกรัง



3.3.4 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ

ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุดินลูกรังสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$G_s = \frac{G_t \cdot M_s}{M_s \cdot M_t - M_2} \quad (3.5)$$

เมื่อ

G_s = ค่าความถ่วงจำเพาะของดิน

G_t = ค่าความถ่วงจำเพาะของน้ำที่อุณหภูมิ t (องศาเซลเซียส) (เปิดตารางที่ 1 ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล.-ท. 101/2515)

M_s = มวลของดินแห้ง (gm)

M_1 = มวลของขวด + มวลของน้ำ + มวลของดิน (gm)

M_2 = มวลของขวด + มวลของน้ำ (gm)

t = อุณหภูมิของของผสมในขวด Pycnometer
ขณะซึ่งหามวลมีหน่วยเป็น (องศาเซลเซียส)



รูปที่ 7 ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุ

3.3.5 ทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

ทดสอบการบดอัด (Compaction Test) แบบสูงกว่ามาตรฐาน เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างค่าความแน่นสูงสุดของวัสดุตัวอย่างกับปริมาณน้ำที่ใช้บดอัด สามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

ปริมาณน้ำในวัสดุรวมเป็นร้อยละ

$$W = \frac{(M_1 - M_2)}{M_2} \times 100 \quad (3.6)$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในมวลรวมเป็นร้อยละคิดเทียบกับน้ำหนักของมวลรวมอบแห้ง

M_1 = น้ำหนักของมวลรวมเปียก (gm)

M_2 = น้ำหนักของมวลรวมอบแห้ง (gm)

ค่าความแน่นเปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V} \quad (3.7)$$

เมื่อ ρ_t = ความหนาแน่นเปียก (gm/cm³)

A = น้ำหนักของมวลรวมเปียกที่บดทับในแบบ (gm)

V = ปริมาตรของมวลรวมเปียกที่บดทับในแบบ (cm³)

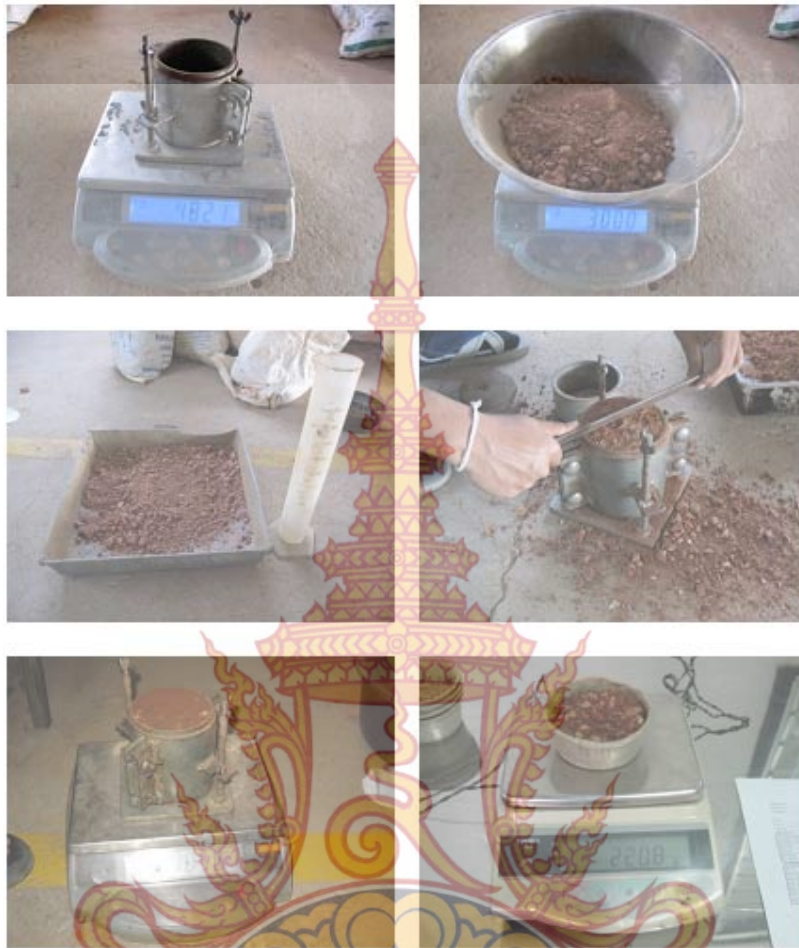
ค่าความแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1 + \frac{\omega}{100}} \quad (3.8)$$

เมื่อ ρ_d = ความหนาแน่นแห้ง (gm/cm³)

ρ_t = ความหนาแน่นเปียก (gm/cm³)

ω = ปริมาณน้ำในมวลรวมเป็นร้อยละ



รูปที่ 8 ทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

3.3.6 ทดสอบหาค่าการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR)

ทดสอบหาค่าการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR) เพื่อเปรียบเทียบกับ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการทดสอบตัวอย่างนั้นโดยใช้ค้อนบดทับในแบบที่ปริมาณน้ำที่ทำให้วัสดุตัวอย่างมีความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content, OMC) เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้างของถนนและใช้ควบคุมงานการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามความต้องการ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการดังนี้

ค่าการแบกทาน (CBR) มีหน่วยเป็นร้อยละ

$$\text{CBR (\%)} = \frac{X}{Y} \times 100 \quad (3.9)$$

- เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด
(สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มิลลิเมตร หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุกๆ 2.54 มิลลิเมตร)
- Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรค่าการขยายตัว (Swell) มีหน่วยเป็นร้อยละ

$$\text{Swell (\%)} = \frac{S}{H} \times 100 \quad (3.10)$$

- เมื่อ S = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell (mm)
- H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของก้อนตัวอย่าง แชน้ำ (mm)



รูปที่ 9 ทดสอบหาค่าการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR)

3.3.7 ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength)

ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength, UCS) คือค่าแรงอัด (Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ ซึ่งก้อนตัวอย่างเป็นรูปทรงกระบอกการทดสอบจะให้แรงกดในแนวตั้งเพียงอย่างเดียว ถ้าค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อความเครียด (Strain) ในแนวตั้งเกิน 20 เปอร์เซ็นต์ ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ความเครียด 20 เปอร์เซ็นต์ นั้นเป็นค่า Unconfined Compressive Strength (UCS) อัตราการเพิ่มแรงอัดในระหว่างการทดสอบจะควบคุมโดย ความเครียดหรือควบคุมโดยความเค้น (Stress) สามารถคำนวณได้ดังนี้

ความเครียดในแนวตั้งสำหรับแรงกดใดๆ

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0} \quad (3.11)$$

เมื่อ ϵ = ความเครียดในแนวตั้ง สำหรับแรงกดใดๆ

ΔL = ระยะยวบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใดๆ ที่อ่านค่าจาก Dial Gauge

L_0 = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

ความเค้นสำหรับแรงกดใดๆ

$$\sigma_c = \frac{P}{A} \quad (3.12)$$

เมื่อ σ_c = ความเค้นสำหรับแรงกดใดๆ

P = แรงกดใดๆ

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้นๆ



รูปที่ 10 ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด

3.3.8 ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation) เพื่อหาค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (Permeability) ทำการทดสอบโดยพิจารณาจากวัสดุดินลูกรังที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพและวัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์คอนกรีตและยางพาราที่ได้ผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) สูงสุด และผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) สูงสุดสามารถคำนวณได้ดังนี้

ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวของดิน

$$C_v = 0.848H^2 / t_{90} \quad (3.13)$$

เมื่อ C_v = ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวของดิน (cm^2/min)

H = ครึ่งหนึ่งของความสูงก้อนตัวอย่าง (cm)

T_{90} = เวลาในการเกิดร้อยละของการอัดตัวคายน้ำ

ในช่วงต่างๆ (min)

ความสัมพันธ์ระหว่างความเครียด (Strain) กับความเค้น (stress)

$$m_v = \frac{\epsilon}{\log \sigma_c} \quad (3.14)$$

เมื่อ m_v = ความลาดชันของความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเครียด (Strain) กับความเค้น (stress)
 ϵ = ความเครียดในแนวดิ่ง สำหรับแรงกดใดๆ
 σ_c = ความเค้นสำหรับแรงกดใดๆ

ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน

$$k = C_v * m_v * r_w \quad (3.15)$$

เมื่อ k = ความสามารถในการไหลซึมผ่านของน้ำในดิน
มีหน่วยเป็น (cm/min)
 C_v = ค่าสัมประสิทธิ์การยุบตัวของดิน (cm²/min)
 m_v = ความลาดชันของความสัมพันธ์ระหว่าง
ความเครียด (Strain) กับความเค้น (stress)
มีหน่วยเป็น (cm²/kg)
 r_w = ความหนาแน่นของน้ำ (kg/cm³)

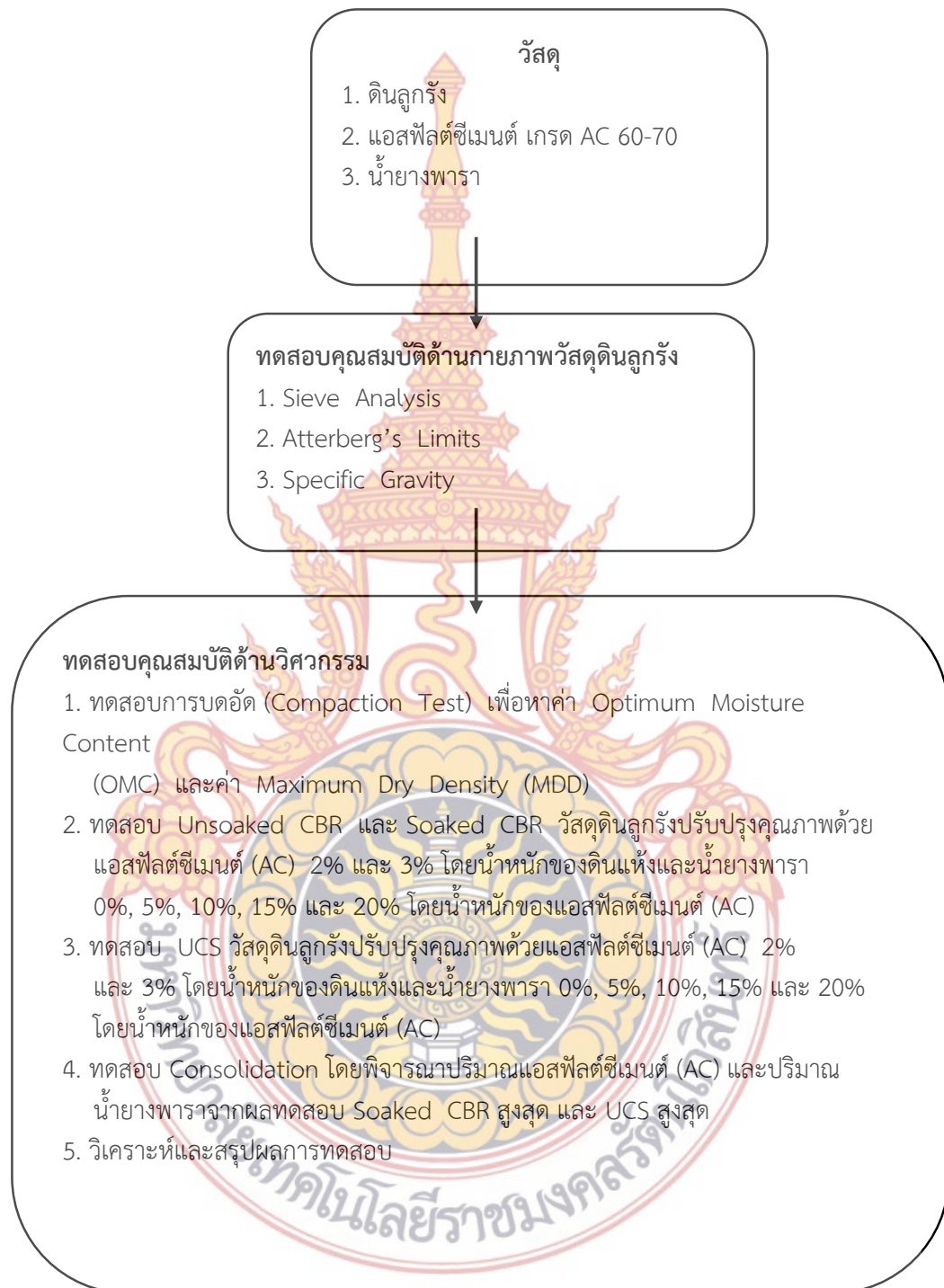




รูปที่ 11 ทดสอบการอัดตัวคายนํ้า (Consolidation)



3.4 ขั้นตอนการดำเนินงานทดสอบ



บทที่ 4 วิเคราะห์ผลการวิจัย

ในการศึกษานี้ได้นำวัสดุดินลูกรังจาก ทล.3209 กม.32 + 500 ซ้ายทาง มาทำการทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ และทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโดยปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) 2% และ 3% โดยน้ำหนักของดินแห้งและน้ำยางพารา 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) ซึ่งได้ผลการทดสอบดังต่อไปนี้

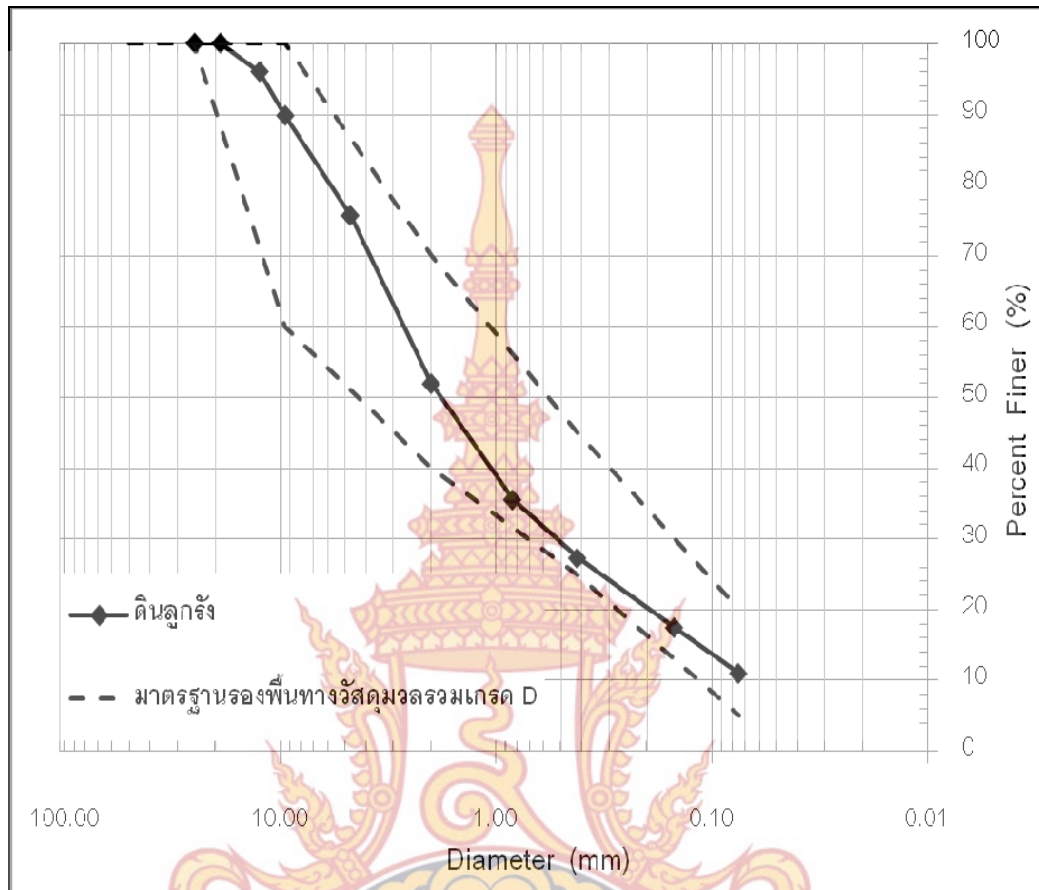
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพของวัสดุดินลูกรัง

4.1.1 ผลทดสอบการหาขนาดคละ (Sieve Analysis)

ผลทดสอบการหาขนาดคละของวัสดุดินลูกรังเป็นดินตะกอนมีลักษณะหยาบมีเม็ดละเอียดผสมอยู่น้อย สัดส่วนขนาดคละไม่สม่ำเสมอ มีสีแดง ขนาดคละของวัสดุลูกรัง ดังแสดงในตารางที่ 4.1 และรูปที่ 4.1

ตารางที่ 4.1 ขนาดคละวัสดุดินลูกรัง

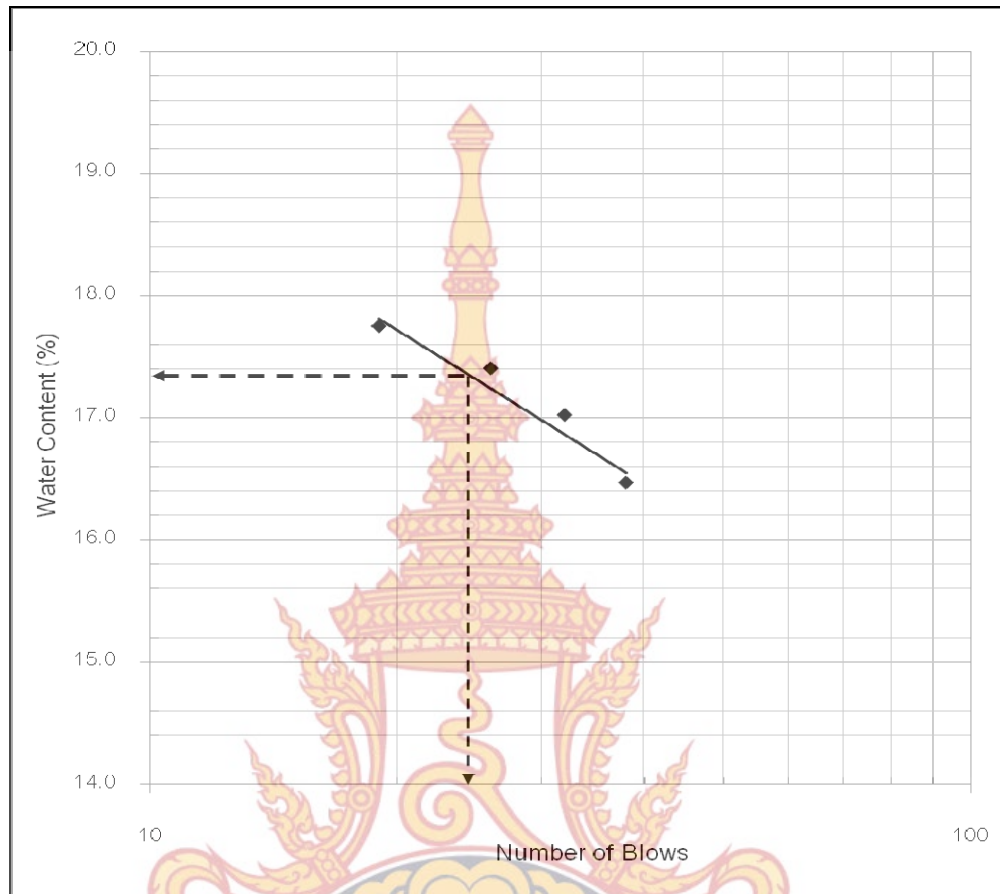
ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล
เบอร์ 2" (50 มม.)	100.00
เบอร์ 1" (25 มม.)	100.00
เบอร์ 3/4" (19 มม.)	100.00
เบอร์ 1/2" (12.5 มม.)	95.99
เบอร์ 3/8" (9.5 มม.)	89.79
เบอร์ 4" (4.75 มม.)	75.65
เบอร์ 10" (2 มม.)	51.90
เบอร์ 20" (0.85 มม.)	35.51
เบอร์ 40" (0.425 มม.)	27.27
เบอร์ 100" (0.15 มม.)	17.45
เบอร์ 200" (0.075 มม.)	10.98



รูปที่ 4.1 ขนาดคละวัสดุดินลูกรัง

4.1.2 ผลทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติก (Atterberg's Limits)

ผลการทดสอบ Liquid Limit (LL) หาปริมาณน้ำในดินขณะที่ดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากของเหลวไปอยู่ในสภาพพลาสติกมีค่าเท่ากับ 17.4% ดังแสดงในรูปที่ 4.2 ส่วนผลการทดสอบ Plastic Limit (PL) หาปริมาณน้ำในมวลดินขณะที่ดินเริ่มเปลี่ยนสภาพจากพลาสติกเป็นสภาพกึ่งแข็งมีค่าเท่ากับ 11.6% และค่าดัชนีพลาสติก Plasticity Index (PI) คือผลต่างระหว่างค่า Liquid Limit (LL) กับ Plastic Limit (PL) ดังนั้นค่าดัชนีพลาสติก Plasticity Index (PI) มีค่าเท่ากับ 5.8%



รูปที่ 4.2 ผลการทดสอบ Liquid Limit (LL)

4.1.3 ผลทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity)

ผลทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะวัสดุดินลูกรัง ซึ่งจากผลการทดสอบได้ผลค่าความถ่วงจำเพาะมีค่าเท่ากับ 2.73 ดังแสดงในตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะ

Determination	ดินลูกรัง			
	1	2	3	4
Sample No.				
Pycnometer + water + Soil M1 (gm)	736.6	738.6	740.7	743.3
Temperature (°C)	72	60	51	38
Pycnometer + water M2 (gm)	641.2	644.4	646.5	649.2
Dish + Dry Soil (gm)	185.5	186.4	186.2	185.8
Dish (gm)	37.4	37.8	38.3	38.7
Dry Soil M _s (gm)	148.1	148.6	148.0	147.0
Gt (เปิดตาราง ทล.-ท.101/2515) (gm/ml)	0.9767	0.9832	0.9876	0.9930
G _s	2.74	2.69	2.72	2.76
Average G _s	2.73			

4.1.4 ผลการจำแนกประเภทดินวัสดุดินลูกรัง

ผลการจำแนกประเภทดินของวัสดุดินลูกรัง ซึ่งพิจารณาจากผลการทดสอบหาขนาด
 คละของวัสดุและผลการทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติก เมื่อจำแนกตามระบบ Unified Soil
 Classification จะอยู่ในกลุ่ม GC และจำแนกตามระบบ AASHTO จะอยู่ในกลุ่ม A-2-4

4.2 ผลทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุดินลูกรัง

ผลทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุดินลูกรังจากแหล่ง ทล.3209 กม.32 + 500 ซ้ายทาง มีผลการทดสอบดังต่อไปนี้

4.2.1 ผลทดสอบการบดอัด (Compaction Test)

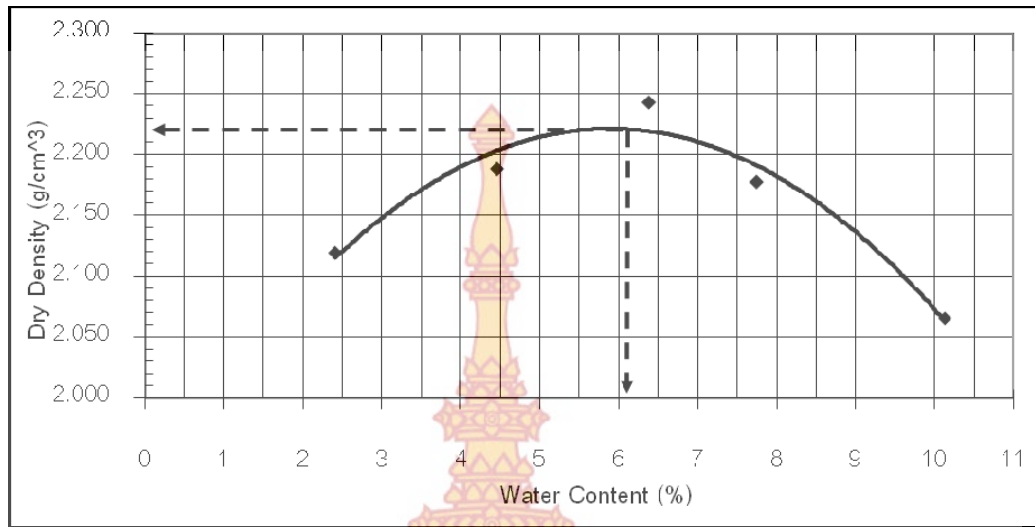
ผลทดสอบการบดอัดวัสดุดินลูกรัง ได้ค่าปริมาณน้ำที่ทำให้วัสดุมีความแน่นสูงสุด (Optimum Moisture Content) เท่ากับ 6.1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความแน่นแห้งสูงสุด (Maximum Dry Density) เท่ากับ 2.220 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ดังแสดงในตารางที่ 4.3 และรูปที่ 4.3

4.2.2 ผลทดสอบค่าการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR)

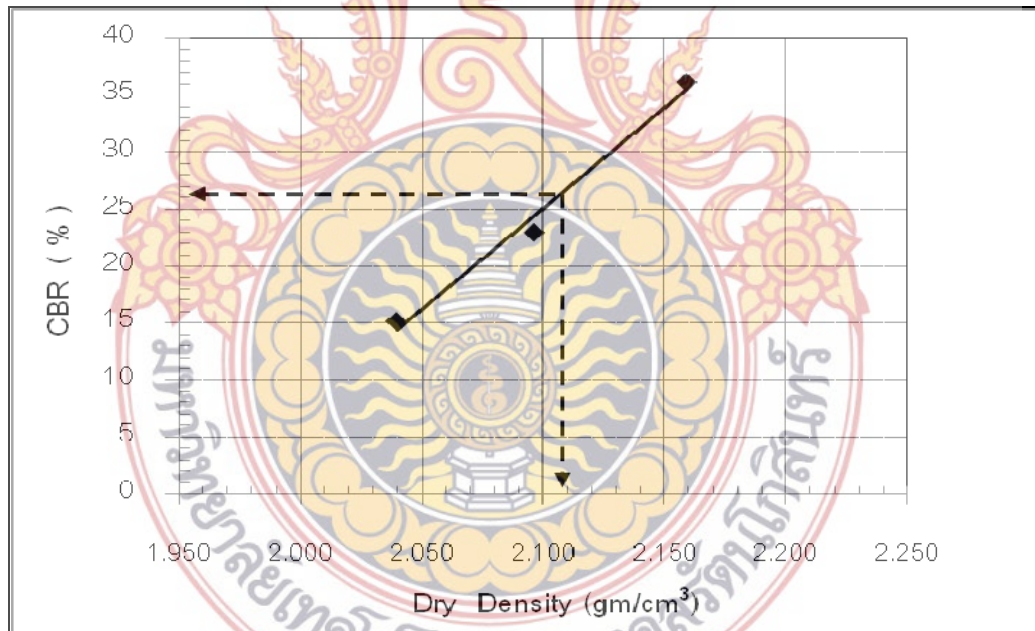
ผลทดสอบค่าการแบกทานวัสดุดินลูกรังได้ผลการทดสอบ CBR แบบแช่น้ำเท่ากับ 26.5 เปอร์เซ็นต์ ค่าการบวมตัวของวัสดุดินลูกรังเท่ากับ 0.37 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำเท่ากับ 33.5 เปอร์เซ็นต์ ดังแสดงในตารางที่ 4.3 รูปที่ 4.4 และรูปที่ 4.5

ตารางที่ 4.3 ผลทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุดินลูกรัง

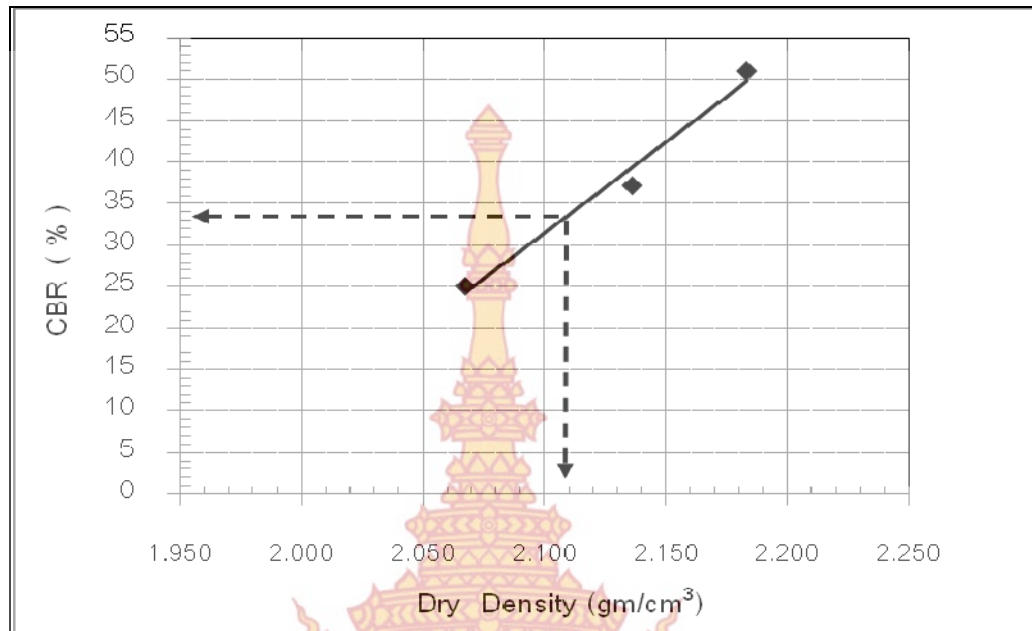
รายการทดสอบ	วัสดุดินลูกรัง
Optimum Moisture Content (OMC) (%)	6.1
Maximum Dry Density (gm/cm ³)	2.220
Maximum Dry Density at 95%	2.109
Unsoaked CBR (%)	33.5
Soaked CBR (%)	26.5
Swell (%)	0.37



รูปที่ 4.3 ผลทดสอบการบดอัด (Compaction Test)



รูปที่ 4.4 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรัง



รูปที่ 4.5 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรัง

4.3 ผลทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

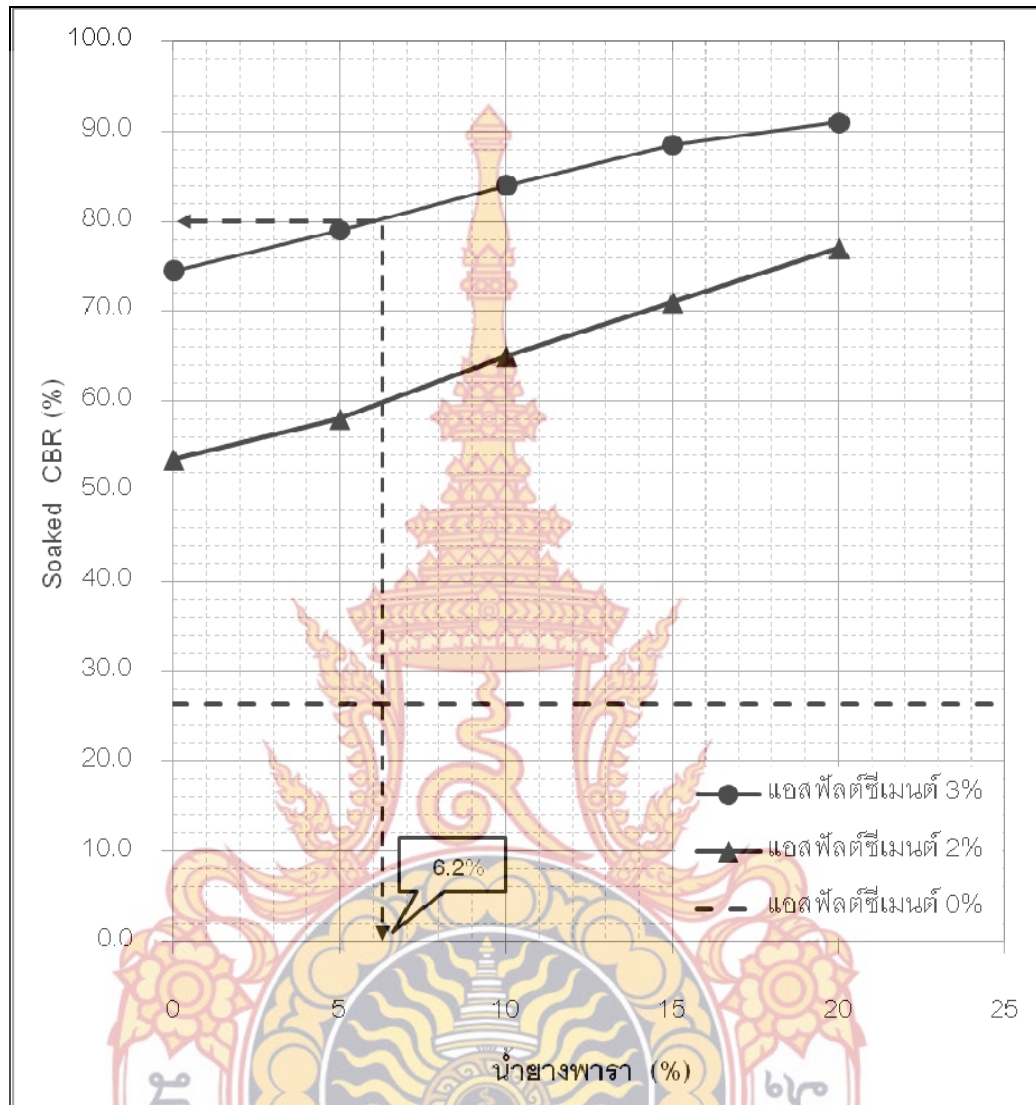
4.3.1 ผลทดสอบค่าการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

ผลทดสอบค่าการแบกทานของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (CBR) แบบแช่น้ำ และแบบไม่แช่น้ำ ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.4 รูปที่ 4.6 และรูปที่ 4.7

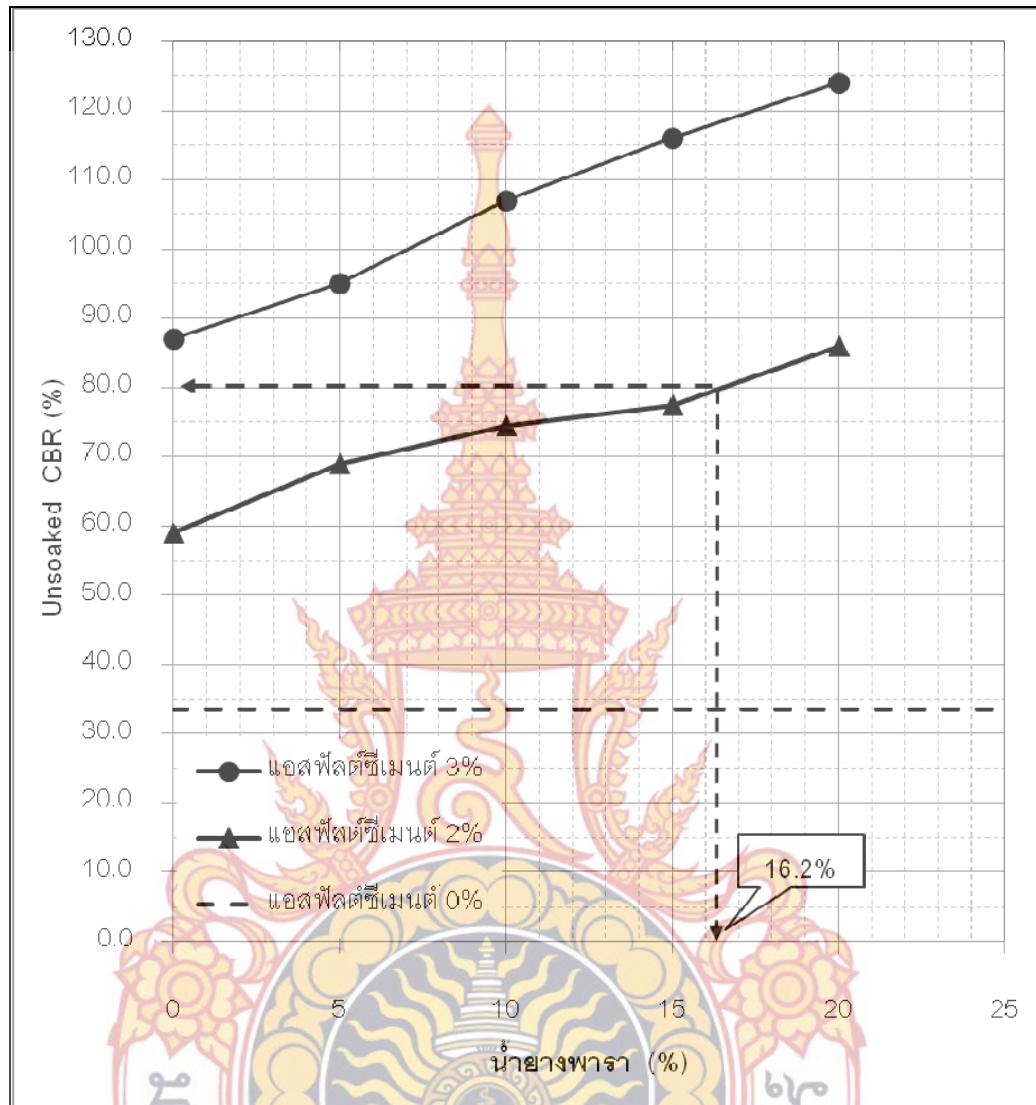
ตารางที่ 4.4 ผลทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

แอสฟัลต์ซีเมนต์ (%)	น้ำยางพารา (%)	Unsoaked CBR (%)	Soaked CBR (%)
0	0	33.5	26.5
2	0	59.0	53.5
	5	69.0	58.0
	10	74.5	65.0
	15	77.5	71.0
	20	86.0	77.0
3	0	87.0	74.5
	5	95.0	79.0
	10	107.0	84.0
	15	116.0	88.5
	20	124.0	91.0





รูปที่ 4.6 ผลทดสอบค่าการแทรกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา



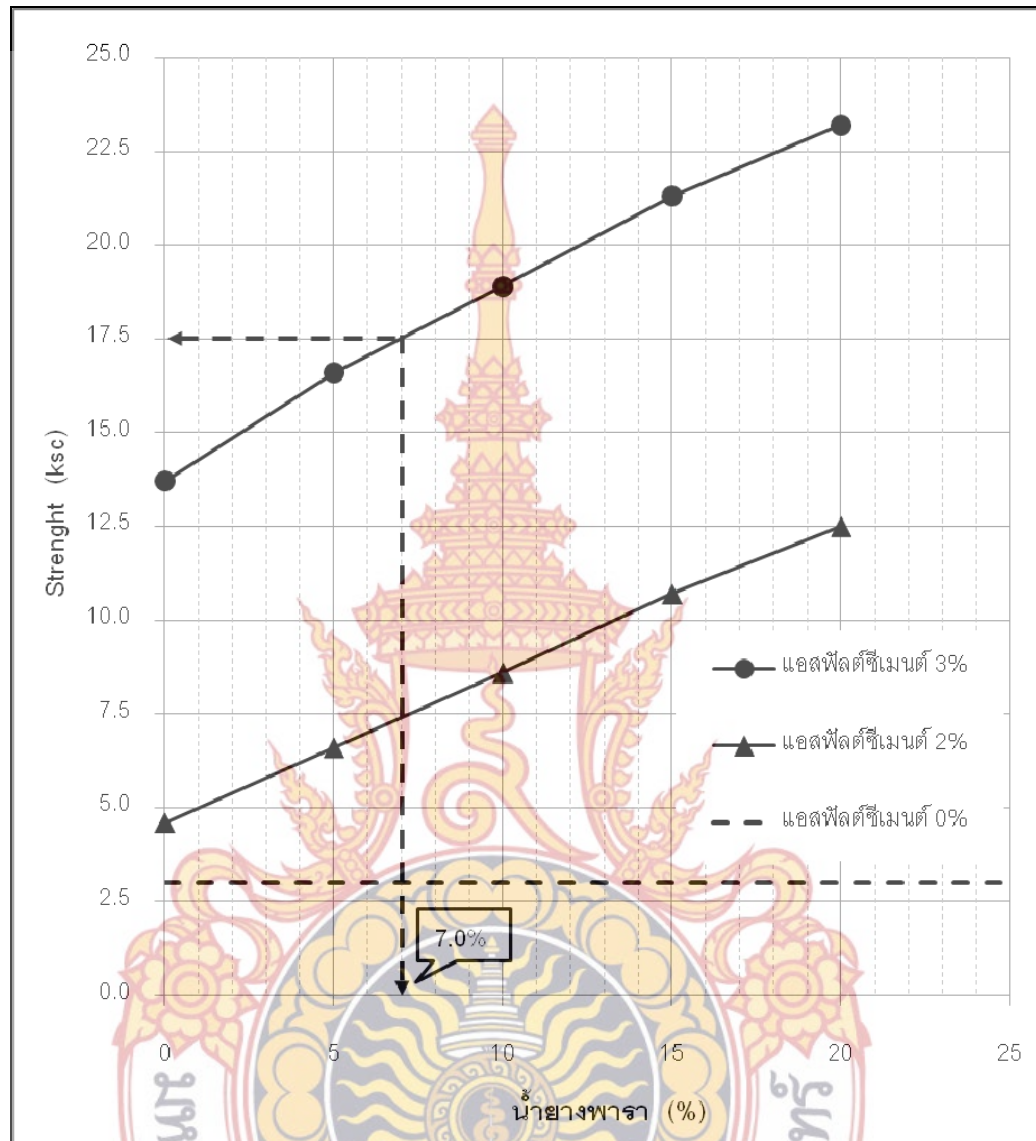
รูปที่ 4.7 ผลทดสอบค่าการแทรกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

4.3.2 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength, UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength, UCS) ของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (UCS) ที่อายุ 7 วัน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.5 และรูปที่ 4.8

ตารางที่ 4.5 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

แอสฟัลต์ซีเมนต์ (%)	น้ำยางพารา (%)	Strenght (ksc)
0	0	3.0
2	0	4.6
	5	6.6
	10	8.6
	15	10.7
	20	12.5
3	0	13.7
	5	16.6
	10	18.9
	15	21.3
	20	23.2



รูปที่ 4.8 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

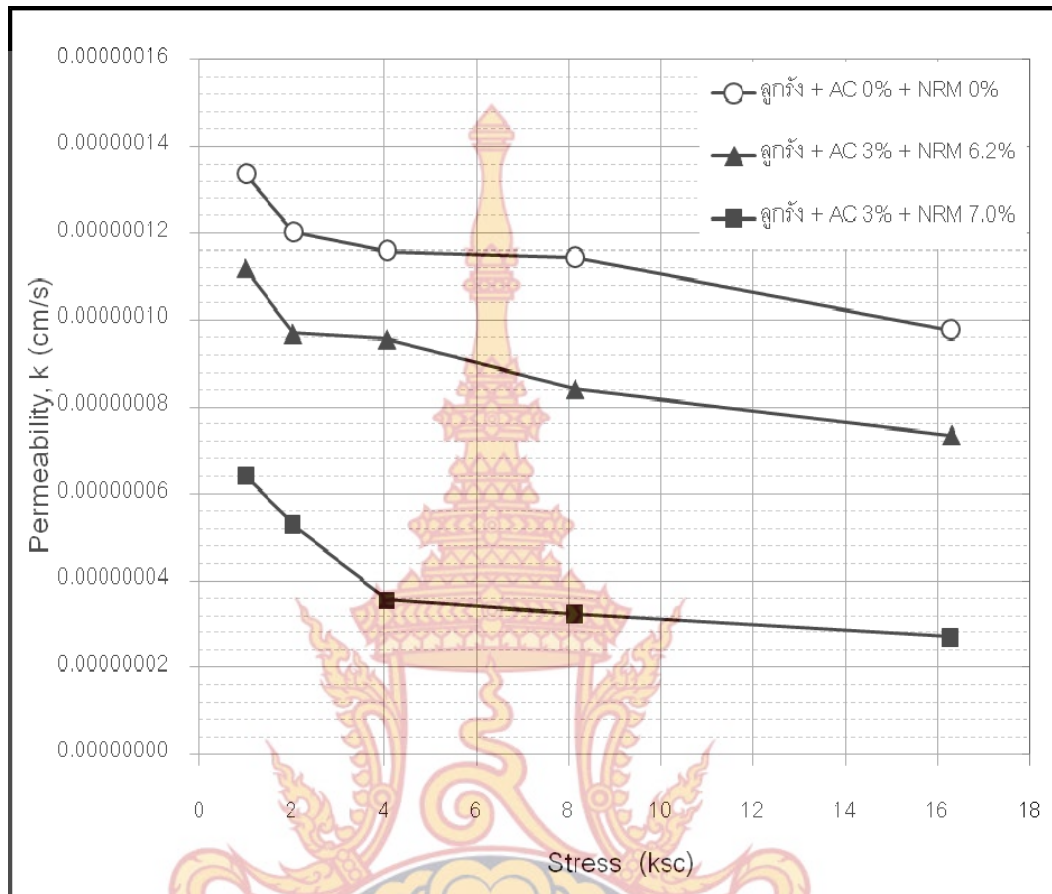
4.3.3 ผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) เพื่อหาค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (Permeability) โดยพิจารณาจากวัสดุดินลูกรังที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพ และวัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และยางพาราที่ผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) สูงสุดคือแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0% ยางพารา 6.2% และผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) สูงสุดคือแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0% ยางพารา 7.0% ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 4.6 และรูปที่ 4.9



ตารางที่ 4.6 ผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) และค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน (Permeability)

รายการทดสอบ	Consolidation Test							Permeability Test			
	Load (kg)	Stress (ksc)	Settlement (mm)	Strain (%)	t_{90} (min)	H^2 (cm ²)	C_v (cm ² /min)	Mv (cm ² /kg)	r_w (kg/cm ³)	k (cm/min)	k (cm/s)
วัสดุดินลูกรัง	2.0	1.0	0.19	0.010	3.0	0.903	0.255	0.031	0.001	8.0E-06	1.3E-07
	4.0	2.0	0.37	0.019	4.3	0.903	0.178	0.041	0.001	7.2E-06	1.2E-07
	8.0	4.1	0.60	0.031	7.0	0.903	0.109	0.064	0.001	7.0E-06	1.2E-07
	16.0	8.1	0.96	0.051	7.6	0.903	0.101	0.068	0.001	6.9E-06	1.1E-07
	32.0	16.3	1.35	0.071	8.9	0.903	0.086	0.068	0.001	5.9E-06	9.8E-08
วัสดุดินลูกรังปรับปรุง คุณภาพด้วยแอสฟัลต์ ซีเมนต์ 3.0% และ ยางพารา 6.2%	2.0	1.0	0.13	0.007	4.3	0.903	0.178	0.038	0.001	6.7E-06	1.1E-07
	4.0	2.0	0.35	0.018	5.8	0.903	0.132	0.044	0.001	5.8E-06	9.7E-08
	8.0	4.1	0.60	0.032	9.0	0.903	0.085	0.067	0.001	5.7E-06	9.6E-08
	16.0	8.1	0.99	0.052	10.4	0.903	0.074	0.069	0.001	5.0E-06	8.4E-08
	32.0	16.3	1.38	0.073	11.9	0.903	0.064	0.069	0.001	4.4E-06	7.3E-08
วัสดุดินลูกรังปรับปรุง คุณภาพด้วยแอสฟัลต์ ซีเมนต์ 3.0% และ ยางพารา 7.0%	2.0	1.0	0.10	0.005	3.4	0.903	0.225	0.017	0.001	3.9E-06	6.4E-08
	4.0	2.0	0.20	0.011	5.3	0.903	0.144	0.022	0.001	3.2E-06	5.3E-08
	8.0	4.1	0.33	0.017	8.3	0.903	0.092	0.023	0.001	2.1E-06	3.5E-08
	16.0	8.1	0.46	0.024	13.5	0.903	0.057	0.034	0.001	1.9E-06	3.2E-08
	32.0	16.3	0.66	0.035	16.2	0.903	0.047	0.034	0.001	1.6E-06	2.7E-08



รูปที่ 4.9 ผลทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)



บทที่ 5 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ

จากผลการทดสอบวัสดุดินลูกรังจาก ทล.3209 กม.32 + 500 ซ้ายทาง มาทำการทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพ และทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมโดยปรับปรุงคุณภาพแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) 2% และ 3% โดยน้ำหนักของดินแห้งและน้ำยางพารา 0%, 5%, 10%, 15% และ 20% โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC) ซึ่งสามารถสรุปผลการทดสอบดังต่อไปนี้

5.1 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติด้านกายภาพของวัสดุดินลูกรัง

วัสดุดินลูกรังเป็นดินตะกอนมีลักษณะหยาบมีเม็ดละเอียดผสมอยู่น้อย สัดส่วนขนาดโคลงไม่สม่ำเสมอ มีสีแดง มีค่าดัชนีพลาสติกเป็นเท่ากับ 5.8% มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.73 เมื่อจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification จะอยู่ในกลุ่ม GC และจำแนกตามระบบ AASHTO จะอยู่ในกลุ่ม A-2-4

5.2 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุดินลูกรัง

วัสดุดินลูกรังมีค่าปริมาณน้ำที่ทำให้วัสดุมีความหนาแน่นสูงสุด (OMC) เท่ากับ 6.1 เปอร์เซ็นต์ มีค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด เท่ากับ 2.220 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าการแบกทาน (CBR) แบบแช่น้ำเท่ากับ 26.5 เปอร์เซ็นต์ และค่าการแบกทาน (CBR) แบบไม่แช่น้ำเท่ากับ 33.5 เปอร์เซ็นต์

5.3 สรุปผลการทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

5.3.1 ผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

ผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา พบว่าค่าการแบกทาน (CBR) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานพื้นทาง (ทล.-ม.201/2544)

กล่าวคือ ค่าการแบกทาน (CBR) มีค่ามากกว่า 80 เปอร์เซ็นต์ โดยพิจารณาจากผลทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) แบบแห้งน้ำ เนื่องจากเป็นค่าที่นำมาพิจารณาออกแบบถนน ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่นำมาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำยางพารา 6.2 เปอร์เซ็นต์

5.3.2 ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา พบว่าค่า (UCS) มีแนวโน้มสูงขึ้นตามปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (ทล.-ม.204/2533) กล่าวคือ ค่า (UCS) มีค่ามากกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ดังนั้นปริมาณแอสฟัลต์คอนกรีตและน้ำยางพาราที่นำมาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังที่เหมาะสมที่สุดคือ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณน้ำยางพารา 7.0 เปอร์เซ็นต์

5.3.3 ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test)

ผลการทดสอบการอัดตัวคายน้ำเพื่อหาค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดิน ได้ทำการทดสอบ 3 ตัวอย่าง โดยพิจารณาวัสดุดินลูกรังที่ยังไม่ปรับปรุงคุณภาพ และวัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และยางพาราที่ผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) สูงสุดคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ยางพารา 6.2 เปอร์เซ็นต์ และผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) สูงสุดคือแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ ยางพารา 7.0 เปอร์เซ็นต์ จากผลการทดสอบพบว่า วัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และยางพารา 7.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัสดุที่หิบน้ำมากที่สุด กล่าวคือ สัดส่วนของวัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และยางพารา 7.0 เปอร์เซ็นต์ เป็นวัสดุที่น้ำไหลซึมผ่านช้าที่สุด

จากผลการทดสอบวัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3.0 เปอร์เซ็นต์ และยางพารา 7.0 เปอร์เซ็นต์ ได้ค่าความสามารถในการไหลซึมผ่านได้ของน้ำในดินเท่ากับ 2.7×10^{-8} เซนติเมตรต่อวินาที เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของดินชนิดต่างๆ พบว่า วัสดุดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพอยู่ในประเภทดินเหนียวปนดินตะกอน

5.4 ข้อเสนอแนะ

5.4.1 ควรศึกษาคุณสมบัติของวัสดุชนิดอื่นโดยปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่ปริมาณเช่นเดียวกันนี้ เช่น ดินเหนียว หินผุ ทราย และผิวทางเก่า เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและทราบข้อมูลเพิ่มเติม

5.4.2 ควรศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา โดยลดปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์และเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและทราบข้อมูลเพิ่มเติม

5.4.3 ควรศึกษาคุณสมบัติของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่ปริมาณเช่นเดียวกันนี้ โดยเปลี่ยนวิธีการทดสอบ เช่น Dynamic Cone Penetrometer (DCP) และ Impact Soil Tester เป็นต้น เพื่อนำข้อมูลมาเปรียบเทียบและทราบข้อมูลเพิ่มเติม



บรรณานุกรม

กรมทางหลวง, **มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม**, มาตรฐานวัสดุงานทาง (ทล.-ม. 205/2532). ศูนย์วิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร.

กรมทางหลวง, **มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์**, มาตรฐานวัสดุงานทาง (ทล.-ม.204/2533). ศูนย์วิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร.

กรมทางหลวง, **มาตรฐานพื้นทางหินคลุก**, มาตรฐานวัสดุงานทาง (ทล.-ม.201/2544). ศูนย์วิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง กระทรวงคมนาคม, กรุงเทพมหานคร.

จิรพัฒน์ โชติไกร, **วิศวกรรมการทาง**, พิมพ์ครั้งที่ 4 สำนักพิมพ์มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, 2555. กรุงเทพมหานคร. หน้า 329 – 331.

นิโรจน์ เงินพรหม, **การศึกษาความสามารถรับกำลังของอิฐดินลูกรัง**, วิทยานิพนธ์ปริญญา วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, 2554.

มณฑิธร กังคศิเทียม, **กลศาสตร์ของด้านวิศวกรรม**, พิมพ์ครั้งที่ 7 สำนักพิมพ์สมาคมศิษย์เก่าวิศวกรรมชลประทาน ในพระบรมราชูปถัมภ์, 2539. กรุงเทพมหานคร.

ประชุม คำพุด, **การศึกษาการใช้น้ำยางธรรมชาติผสมเพิ่มในคอนกรีตมวลเบาแบบปานกลาง**, เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2, ณ โรงแรมเจริญศรีแกรนด์ รอยัล, อุดรธานี, 25-27 ตุลาคม 2549, หน้า MAT 73-MAT 81.

พลภัทร พฤชานานนท์, **อิฐมวลเบาพารากรีต**, งานแสดงนวัตกรรมยางพาราแห่งประเทศไทย, เมษายน 2548.

บรรณานุกรม (ต่อ)

ภูรี สุขแสน, คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินเหนียว ดินแกรนิตและดินลูกรังผสมเส้นใยผ้าใบ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

วัชรินทร์ กาสลัก และศิริชัย ห่วงจรัส, การศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้ยางพาราในงานก่อสร้างถนน, สัมมนางานวิจัยเพื่อการพัฒนาทางหลวงประจำปี 2548, 1-2 กันยายน 2548

ศูนย์วิจัยและจัดการคุณภาพอากาศมหาวิทยาลัยเชียงใหม่, การเผาขยะชุมชนในที่โล่งแจ้งและการจัดการ, รายงานการทบทวนวรรณกรรม, เดือนมิถุนายน 2554, หน้า 32-37

เอกรัตน์ รอดบำรุง, ผลกระทบของเส้นใยโพลีเอสเตอร์ที่มีคุณสมบัติด้านวิศวกรรมของดินเหนียว, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 2545.

Alexander and Cady. 1962. **Basic Engineering Geological Properties of Lateritic Soils from Western Delta.** [online]. Available : <http://maxwellsci.com>. [Retrieved : October 18, 2012].

Andrew, Buchanan. 1807. **Manuscripts and Special Collection.** [online]. Available : <http://www.nottingham.ac.uk>. [Retrieved : October 18, 2012].

Bujang B.K. Huat. David G. Toll and Arun Prasad. 1957. **Tropical Residual Soils Engineering.** Available : <http://www.crcpress.com>. [Retrieved : October 18, 2012].

Gaither, E.B. 1968. **Soil and Pavement Consultant.** Available : <http://www.ktc.uky.edu>. [Retrieved : October 18, 2012].

บรรณานุกรม (ต่อ)

Gidigasu, M.D. 1976. **Laterite Soil Engineering**. Available : <http://www.getcited.org>. [Retrieved : October 18, 2012].

Joachin and Kandiah. 1941. **Review of research on laterites**. Available : <http://unesco.org>. [Retrieved : October 18, 2012].

Lacroix. 1913. **The Corlat Hanbook Version 1.2** Available : <http://www.isric.org>. [Retrieved : October 18, 2012].

Morrison, H.J. 1965. **Report on research and progation for laterite soils**. Available : <http://www.repository.rmutp.ac.th>. [Retrieved : October 18, 2012].

William F. Marcuson and Arley G. Frankling. 1979. **State of art of undisturbed Sampling of Cohesionless Soils**. Available : <http://www.dtic.mil>. [Retrieved : October 18, 2012].





ภาคผนวก ก

ผลการทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุหินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์และน้ำยางพารา



ตารางผนวกที่ ก1 ผลทดสอบการหาขนาดคละ (Sieve Analysis) วัสดุดินลูกรัง

Sieve Analysis						
Sieve No.	Opening (mm.)	Wt. of Sieve (gm.)	Wt. of Soil+Sieve (gm.)	Wt. of Soil Retained (gm.)	Percent Retained	Percent Finer
1"	25.000	721.03	721.03	0.00	0.00	100.00
3/4"	19.000	713.68	713.68	0.00	0.00	100.00
1/2"	12.500	706.22	766.51	60.29	4.01	95.99
3/8"	9.500	548.16	641.22	93.06	6.20	89.79
4	4.750	583.87	796.22	212.35	14.14	75.65
10	2.000	535.79	892.50	356.71	23.75	51.90
20	0.840	399.01	645.17	246.16	16.39	35.51
40	0.420	398.71	522.44	123.73	8.24	27.27
100	0.149	367.68	515.24	147.56	9.82	17.45
200	0.075	737.31	834.43	97.12	6.47	10.98
Pan		335.37	356.60	164.90	10.98	0.00

ตารางผนวกที่ ก2 ผลทดสอบการหาค่า Liquid Limits วัสดุดินลูกรัง

Test	LIQUID LIMITS			
	N-01	P-83	N-42	N-10
Container No	N-01	P-83	N-42	N-10
Number of Blows	19	26	32	38
Wt. Containe + Wet Soil (g.)	44.42	41.63	43.83	47.61
Wt. Containe + Dry Soil (g.)	40.38	37.94	40.11	43.38
Wt. of Containe (g.)	17.62	16.74	18.26	17.70
Wt. of Water (g.)	4.04	3.69	3.72	4.23
Wt. of Dry Soil (g.)	22.76	21.20	21.85	25.68
Water Content (%)	17.75	17.41	17.03	16.47



ตารางผนวกที่ ก3 ผลทดสอบการหาค่า Plastic Limits วัสดุดินลูกรัง

Test	PLASTIC LIMITS		
	M-02	A-71	N-33
Container No	M-02	A-71	N-33
Wt. Containe + Wet Soil (g.)	20.86	21.81	23.63
Wt. Containe + Dry Soil (g.)	20.66	21.42	22.81
Wt. of Containe (g.)	18.83	18.12	15.94
Wt. of Water (g.)	0.20	0.39	0.82
Wt. of Dry Soil (g.)	1.83	3.30	6.87
Water Content (%)	10.93	11.82	11.94
PL (%)		11.56	
LL (%)		17.35	
PI = LL - PL (%)		5.79	

ตารางผนวกที่ ก4 ผลทดสอบการบดอัด (Compaction Test) วัสดุดินลูกรัง

DENSITY					
Sample	วัสดุดินลูกรัง				
Trial (Water added) %	1	3	5	7	9
Wt. Mold + Soil (gm.)	6856	6964	7058	7021	6954
Wt. Mold (gm.)	4821	4821	4821	4821	4821
Wt. Soil (gm.)	2035	2143	2237	2200	2133
Wet Density (gm./cm ³)	2.170	2.285	2.385	2.346	2.275
Dry Density (gm./cm ³)	2.119	2.188	2.242	2.177	2.065
WATER CONTENT					
Can No.	O-01	N-11	H-10	N-44	X-04
Wt. Can+Wet. Soil (gm.)	216.30	220.80	258.00	262.90	246.40
Wt. Can+dry Soil (gm.)	211.70	212.10	243.60	245.30	225.50
Wt. Water (gm.)	4.60	8.70	14.40	17.60	20.90
Wt. Can (gm.)	20.20	16.70	17.80	18.00	19.20
Wt. Dry Soil (gm.)	191.50	195.40	225.80	227.30	206.30
Water Content (%)	2.40	4.45	6.38	7.74	10.13

ตารางผนวกที่ ก5 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0%

Density	12 Blows	25 Blows	56 Blows
Mold No.	No.8	No.1	No.20
Volume of Mold cm ³	2096	2096	2096
Weight of Mold + wet soil gm	14982	14532	13795
Weight of Mold gm	10391	9857	8979
Weight of wet soil gm	4591	4675	4816
wet density gm/cm ³	2.190	2.231	2.298
dry density gm/cm ³	2.063	2.097	2.165

Water Content	12 Blows	25 Blows	56 Blows
Can No.	N-04	M-01	H-08
Weight of can + wet soil gm	175.4	264.3	242.6
Weight of can + dry soil gm	166.3	249.7	229.7
Weight of water gm	9.1	14.6	12.9
Weight of can gm	18.4	21.1	19.2
Weight dry soil gm	147.9	228.6	210.5
water content %	6.2	6.4	6.1
avg.water content %	6.2		

ตารางผนวกที่ ก6 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0% 12 blows

DATA LOAD div	DATA Disp. inch	Net Disp. (inch)	Load lb	Pressure (psi)	CBR %
0	0	0	0	0	0
20	25	0.0242	71.15	23.72	2.372
42	50	0.0483	186.22	62.07	6.207
82	75	0.0718	395.44	131.81	13.181
135	100	0.0947	672.66	224.22	22.422
195	125	0.1173	986.49	328.83	32.883
252	150	0.1401	1284.63	428.21	42.821
309	175	0.1628	1582.76	527.59	52.759
364	200	0.1857	1870.44	623.48	62.348
417	225	0.2086	2147.66	715.89	71.589
452	250	0.2322	2330.73	776.91	77.691
478	275	0.2562	2466.72	822.24	82.224
499	300	0.2804	2576.56	858.85	85.885
516	325	0.3047	2665.48	888.49	88.849
558	350	0.3280	2885.16	961.72	96.172

ตารางผนวกที่ ก7 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0% 25 blows

DATA LOAD div	DATA Disp. (inch)	Net Disp. (inch)	Load (lbs)	Pressure (psi)	CBR %
0	0	0	0	0	0
64	25	0.0225	301.29	100.43	10.04
125	50	0.0451	620.35	206.78	20.68
196	75	0.0673	991.72	330.57	33.06
272	100	0.0893	1389.24	463.08	46.31
336	125	0.1118	1723.99	574.66	57.47
408	150	0.1339	2100.58	700.19	70.02
486	175	0.1559	2508.56	836.19	83.62
561	200	0.1779	2900.85	966.95	96.70
656	225	0.1992	3397.75	1132.58	113.26
755	250	0.2203	3915.57	1305.19	130.52
843	275	0.2418	4375.85	1458.62	145.86
947	300	0.2627	4919.82	1639.94	163.99
1036	325	0.2842	5385.34	1795.11	179.51
1126	350	0.3057	5856.08	1952.03	195.20

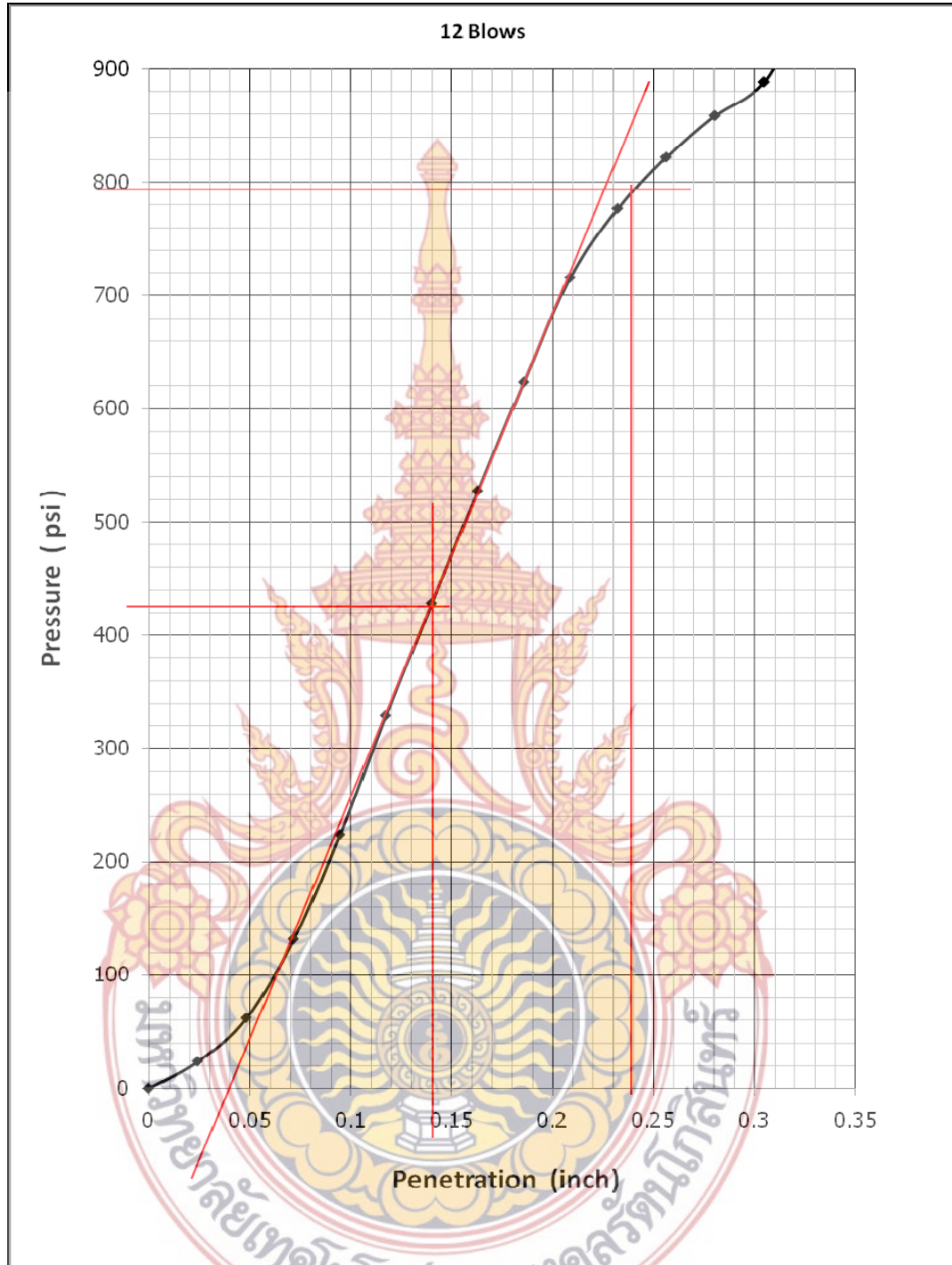
ตารางผนวกที่ ก8 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0% 56 blows

DATA LOAD div	DATA Disp. (inch)	Net Disp. (inch)	Load (lbs)	Pressure (psi)	CBR %
0	0	0	0	0	0
20	25	0.0242	71.15	23.72	2.37
52	50	0.0480	238.53	79.51	7.95
105	75	0.0709	515.74	171.91	17.19
187	100	0.0926	944.64	314.88	31.49
276	125	0.1141	1410.16	470.05	47.01
358	150	0.1359	1839.06	613.02	61.30
442	175	0.1576	2278.42	759.47	75.95
528	200	0.1792	2728.24	909.41	90.94
608	225	0.2011	3146.68	1048.89	104.89
694	250	0.2227	3596.51	1198.84	119.88
762	275	0.2450	3952.18	1317.39	131.74
828	300	0.2674	4297.39	1432.46	143.25
849	325	0.2916	4407.23	1469.08	146.91
862	350	0.3161	4475.23	1491.74	149.17

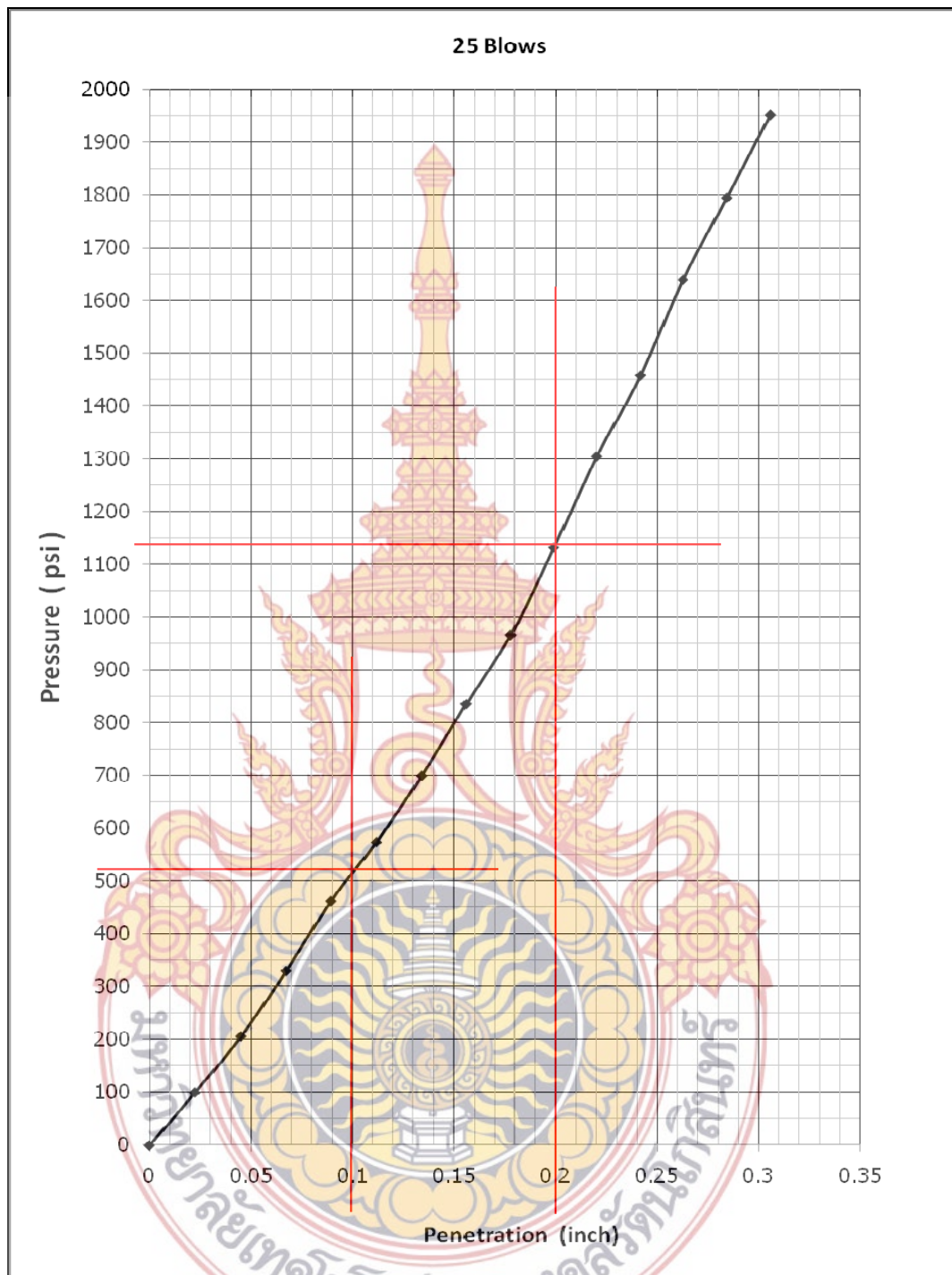
ตารางผนวกที่ ก9 สรุปผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0%

Mold No.		No.8	No.1	No.20
No. of Blows per Layer		12	25	56
Pressure at 0.1 in. Penetration	lb/in ²	425	515	680
Pressure at 0.2 in. Penetration	lb/in ²	790	1140	1310
CBR at 0.1 in. Penetration	%	42.50	51.50	68.00
CBR at 0.2 in. Penetration	%	52.67	76.00	87.33
Dry Density	t/m ³	2.063	2.097	2.165
Water Content	%	6.15	6.39	6.13
Percent Swell	%	0.53	0.46	0.38

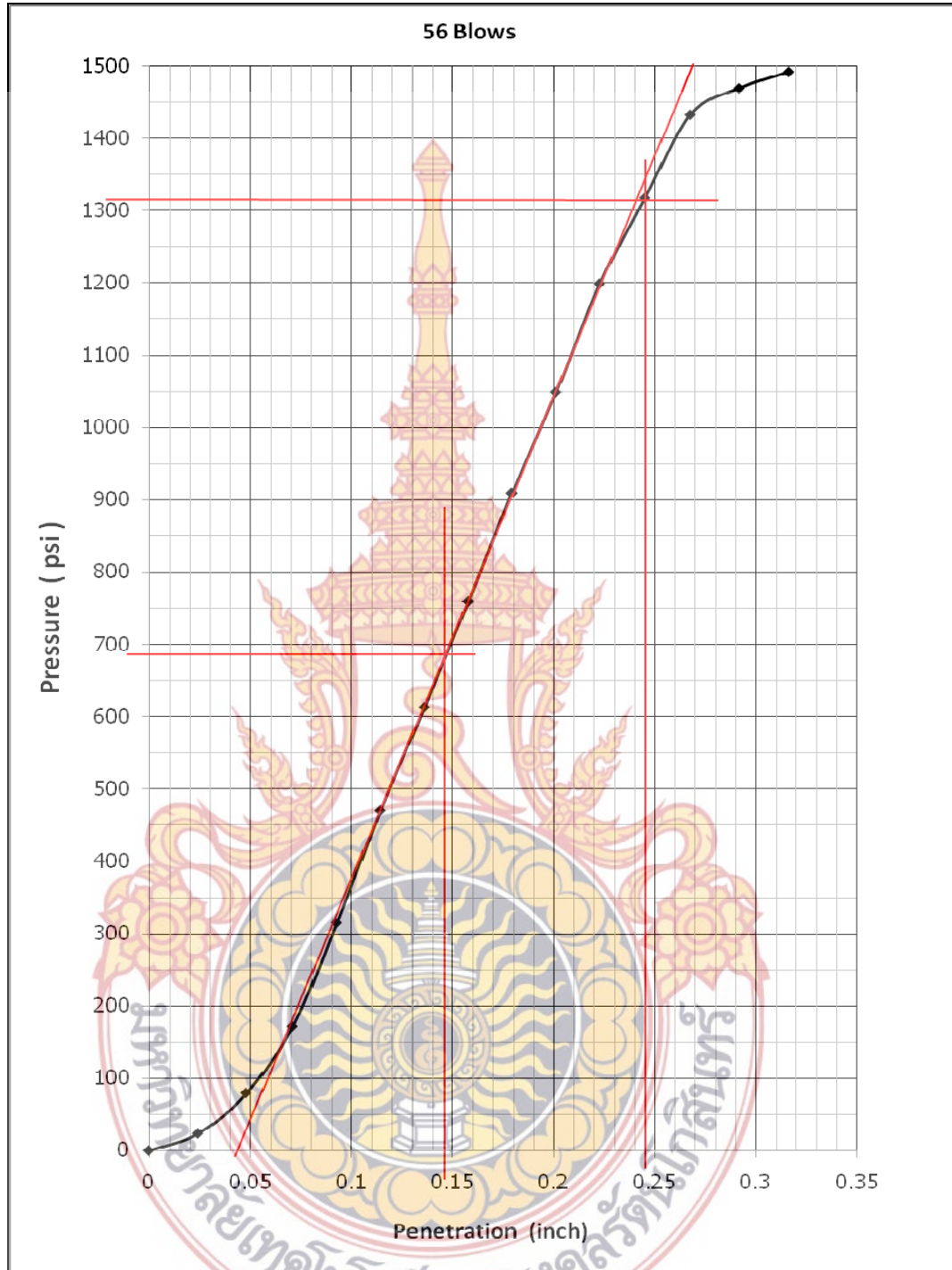




รูปผนวกที่ ก1 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0% 12 blows



รูปผนวกที่ ก2 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0% 25 blows



รูปผนวกที่ ก3 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0% 56 blows

ตารางผนวกที่ ก10 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20%

Density	12 Blows	25 Blows	56 Blows
Mold No.	No.20	No.25	No.19
Volume of Mold cm ³	2096	2096	2096
Weight of Mold + wet soil gm	13478	14324	13936
Weight of Mold gm	8887	9657	9141
Weight of wet soil gm	4591	4667	4795
wet density gm/cm ³	2.190	2.227	2.288
dry density gm/cm ³	2.062	2.099	2.157

Water Content	12 Blows	25 Blows	56 Blows
Can No.	A-3	N-10	X-12
Weight of can + wet soil gm	234.8	288.5	290.7
Weight of can + dry soil gm	222.1	273.1	275.1
Weight of water gm	12.7	15.4	15.6
Weight of can gm	17.8	19.8	18.8
Weight dry soil gm	204.3	253.3	256.3
water content %	6.2	6.1	6.1
avg.water content %	6.1		

ตารางผนวกที่ ก11 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20% 12 Blows

DATA LOAD div	DATA Disp. (inch)	Net Disp. (inch)	Load (lb)	Pressure (psi)	CBR %
0	0	0	0	0	0
24	25	0.0241	92.07	30.69	3.07
78	50	0.0469	374.52	124.84	12.48
144	75	0.0693	719.73	239.91	23.99
209	100	0.0918	1059.71	353.24	35.32
275	125	0.1142	1404.93	468.31	46.83
340	150	0.1366	1744.91	581.64	58.16
398	175	0.1593	2048.28	682.76	68.28
454	200	0.1821	2341.19	780.40	78.04
499	225	0.2054	2576.56	858.85	85.89
537	250	0.2289	2775.32	925.11	92.51
570	275	0.2526	2947.93	982.64	98.26
590	300	0.2768	3052.54	1017.51	101.75
599	325	0.3014	3099.61	1033.20	103.32
607	350	0.3261	3141.45	1047.15	104.72

ตารางผนวกที่ ก12 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20% 25 Blows

DATA LOAD div	DATA Disp. (inch)	Net Disp. (inch)	Load (lb)	Pressure (psi)	CBR %
0	0	0	0	0	0
105	25	0.0209	515.74	171.91	17.19
199	50	0.0422	1007.41	335.80	33.58
287	75	0.0637	1467.69	489.23	48.92
374	100	0.0853	1922.75	640.92	64.09
462	125	0.1068	2383.03	794.34	79.43
539	150	0.1288	2785.78	928.59	92.86
620	175	0.1506	3209.45	1069.82	106.98
696	200	0.1726	3606.97	1202.32	120.23
775	225	0.1945	4020.18	1340.06	134.01
858	250	0.2162	4454.31	1484.77	148.48
947	275	0.2377	4919.82	1639.94	163.99
1042	300	0.2590	5416.72	1805.57	180.56
1118	325	0.2810	5814.24	1938.08	193.81
1188	350	0.3032	6180.37	2060.12	206.01

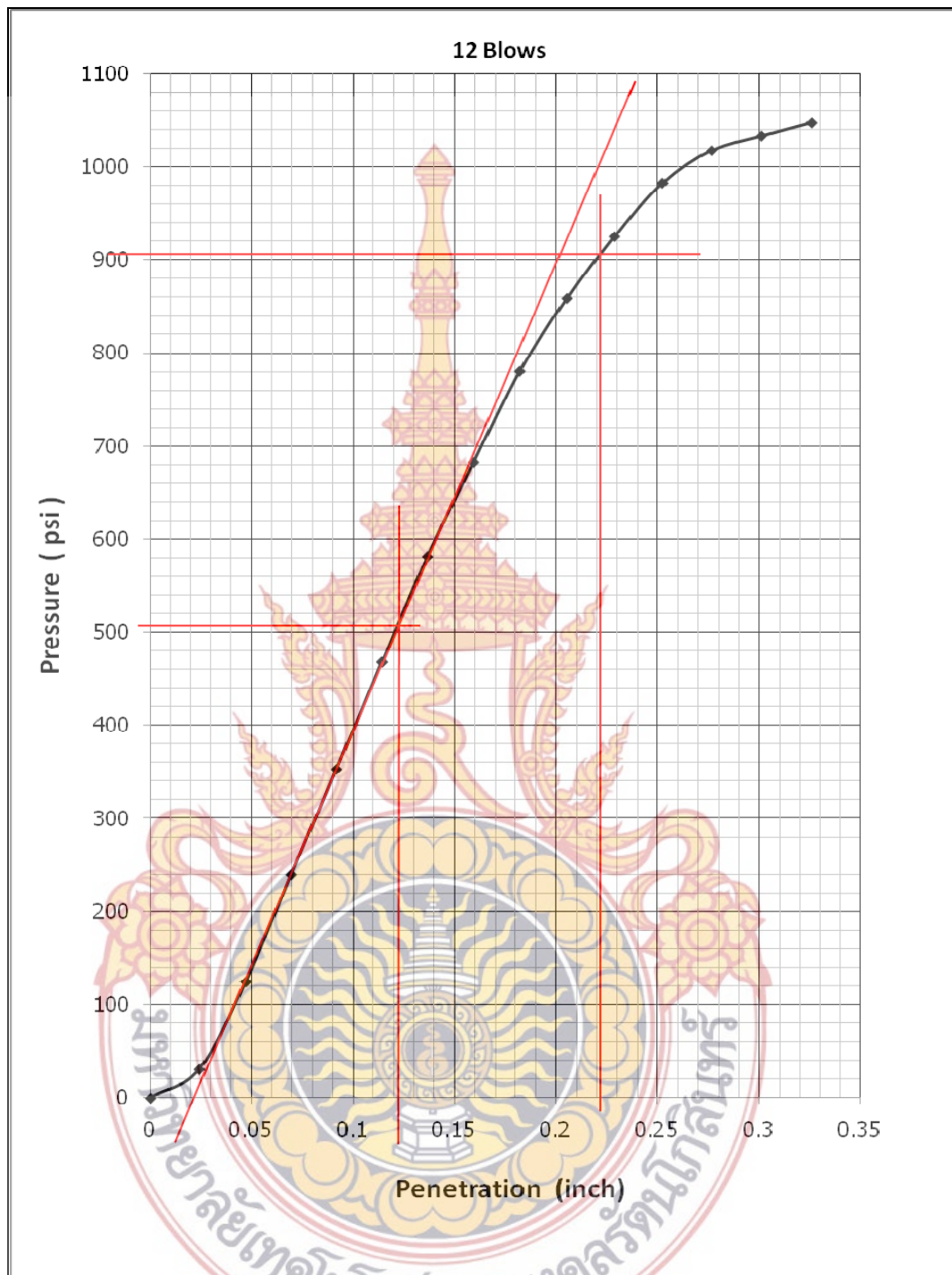
ตารางผนวกที่ ก13 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20% 56 Blows

DATA LOAD div	DATA Disp. (inch)	Net Disp. (inch)	Load (lb)	Pressure (psi)	CBR %
0	0	0	0	0	0
110	25	0.0207	541.90	180.63	18.06
228	50	0.0410	1159.09	386.36	38.64
344	75	0.0615	1765.83	588.61	58.86
464	100	0.0817	2393.49	797.83	79.78
586	125	0.1019	3031.61	1010.54	101.05
707	150	0.1222	3664.50	1221.50	122.15
832	175	0.1422	4318.32	1439.44	143.94
968	200	0.1619	5029.66	1676.55	167.66
1106	225	0.1815	5751.47	1917.16	191.72
1232	250	0.2015	6410.52	2136.84	213.68
1358	275	0.2215	7069.56	2356.52	235.65
1435	300	0.2435	7472.31	2490.77	249.08
1505	325	0.2657	7838.44	2612.81	261.28
1568	350	0.2883	8167.96	2722.65	272.27

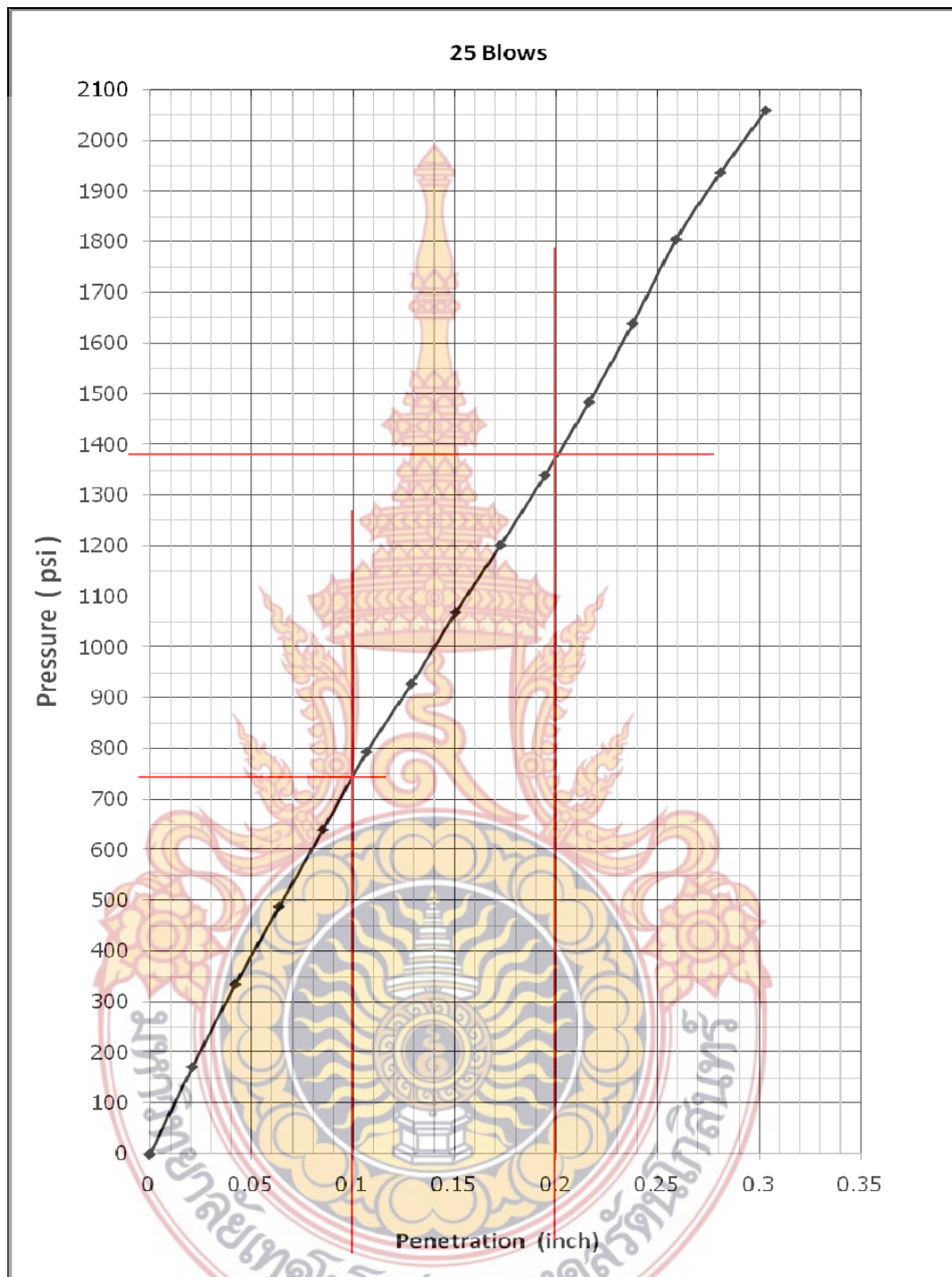
ตารางผนวกที่ ก14 สรุปผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20%

Mold No.		No.20	No.25	No.19
No. of Blows per Layer		12	25	56
Pressure at 0.1 in. Penetration	lb/in ²	520	745	990
Pressure at 0.2 in. Penetration	lb/in ²	905	1380	2120
CBR at 0.1 in. Penetration	%	52.00	74.50	99.00
CBR at 0.2 in. Penetration	%	60.33	92.00	141.33
Dry Density	t/m ³	2.062	2.099	2.157
Water Content	%	6.22	6.08	6.09
Percent Swell	%	0.39	0.40	0.38

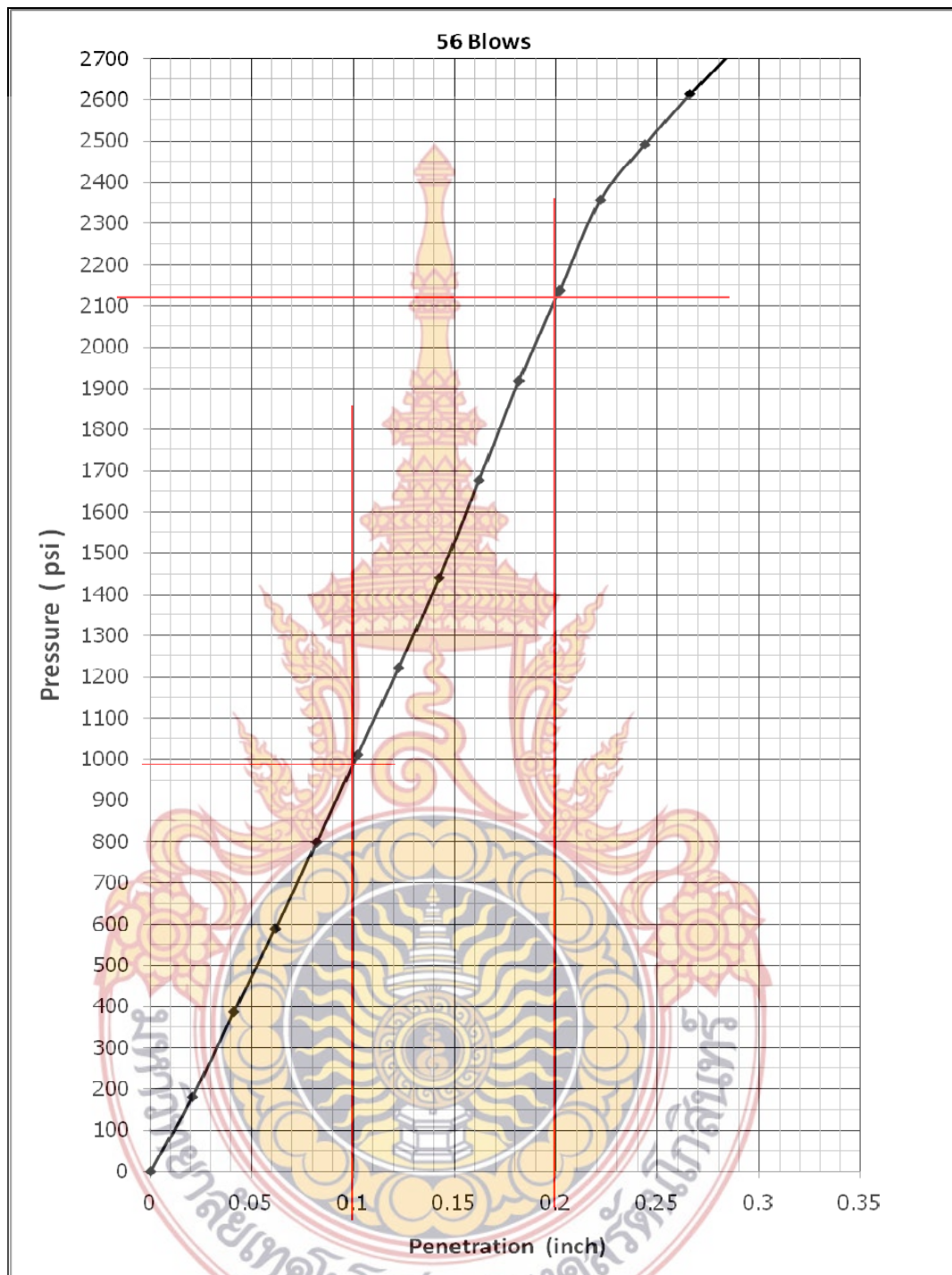




รูปผนวกที่ ก4 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20% 12 blows



รูปผนวกที่ ก5 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20% 25 blows

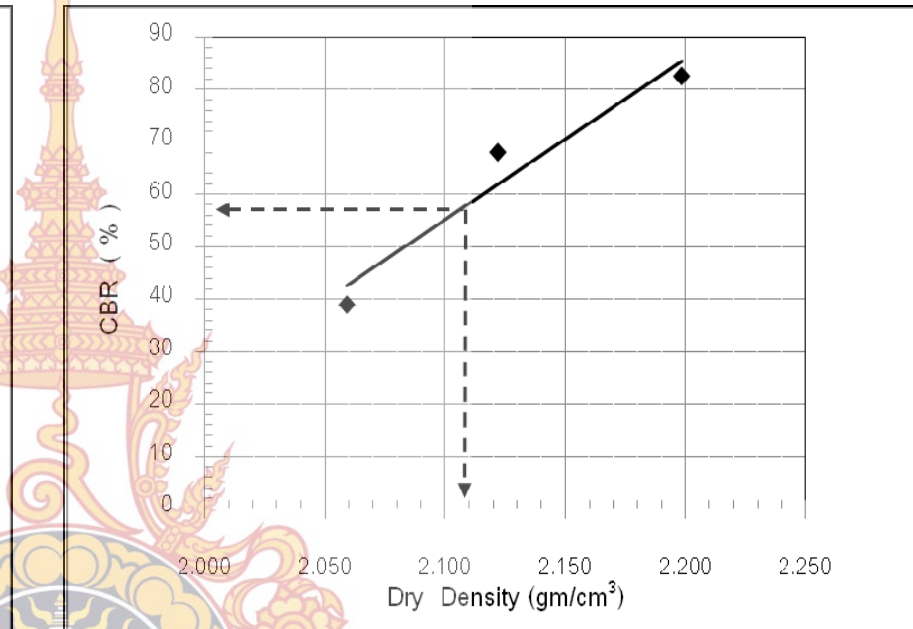
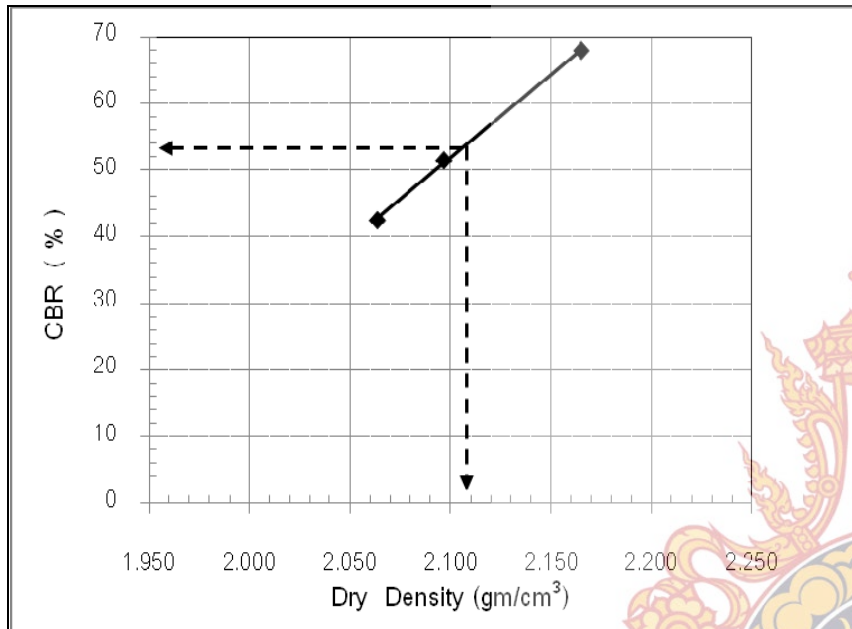


รูปผนวกที่ ก6 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์
ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20% 56 blows

ภาคผนวก ข

รูปภาพผลการทดสอบคุณสมบัติด้านวิศวกรรมวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

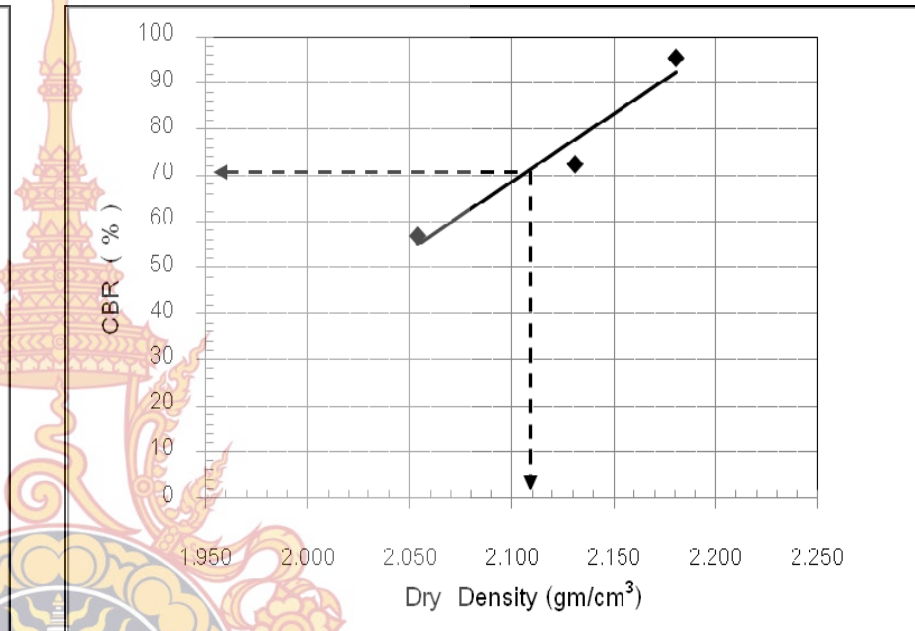
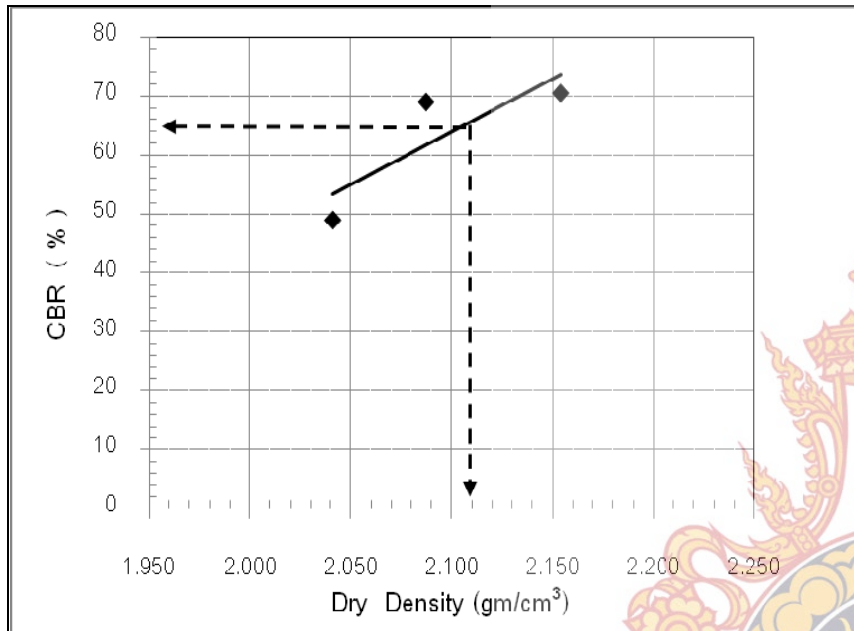




รูปผนวกที่ ข1.1 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0%

รูปผนวกที่ ข1.2 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 5%

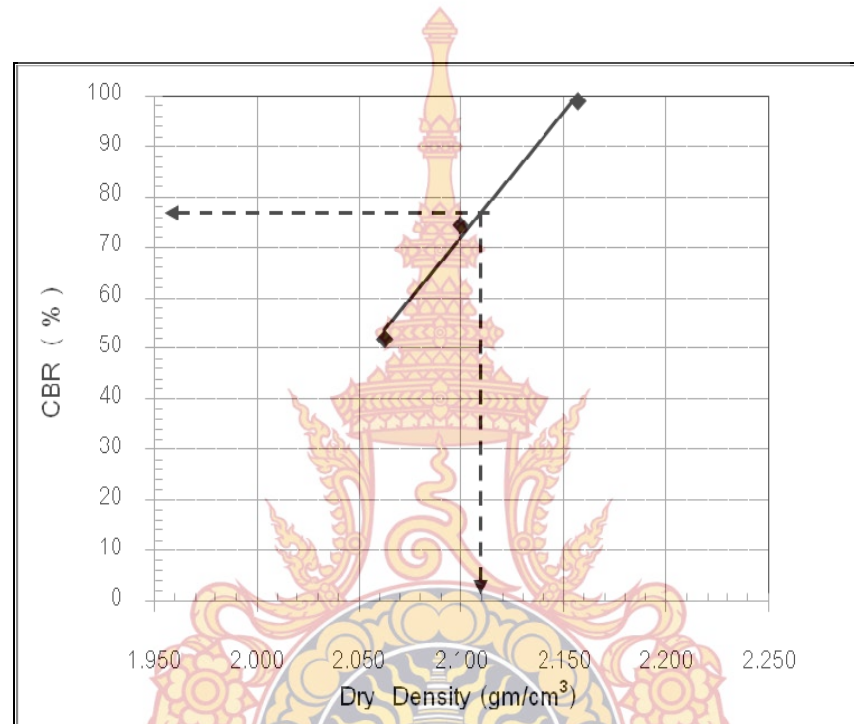
รูปผนวกที่ ข1 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา



รูปผนวกที่ ข1.3 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 10%

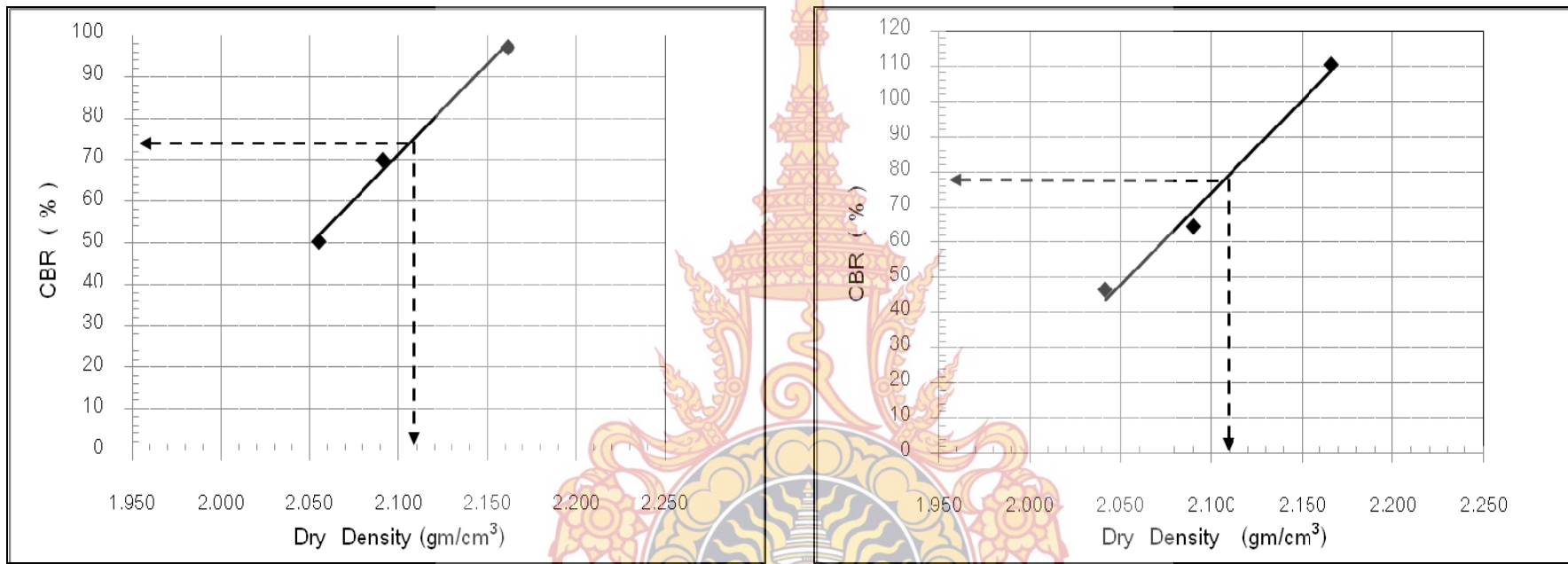
รูปผนวกที่ ข1.4 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 15%

รูปผนวกที่ ข1 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข1.5 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20%

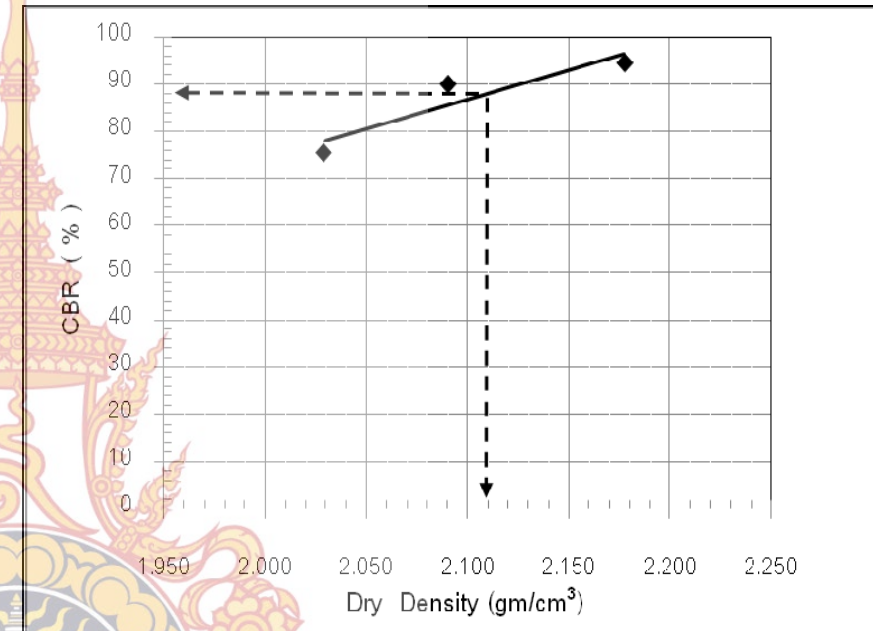
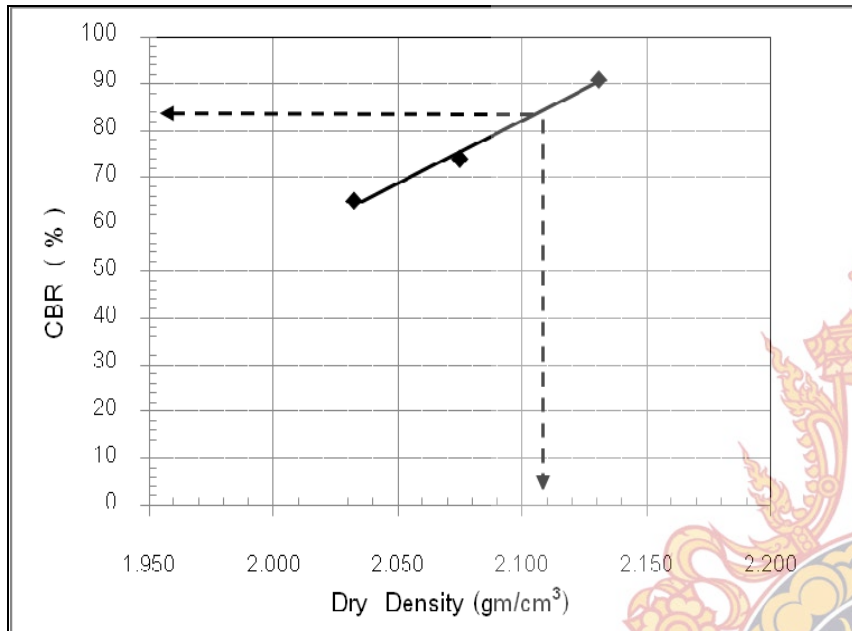
รูปผนวกที่ ข1 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข2.1 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 0%

รูปผนวกที่ ข2.2 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 5%

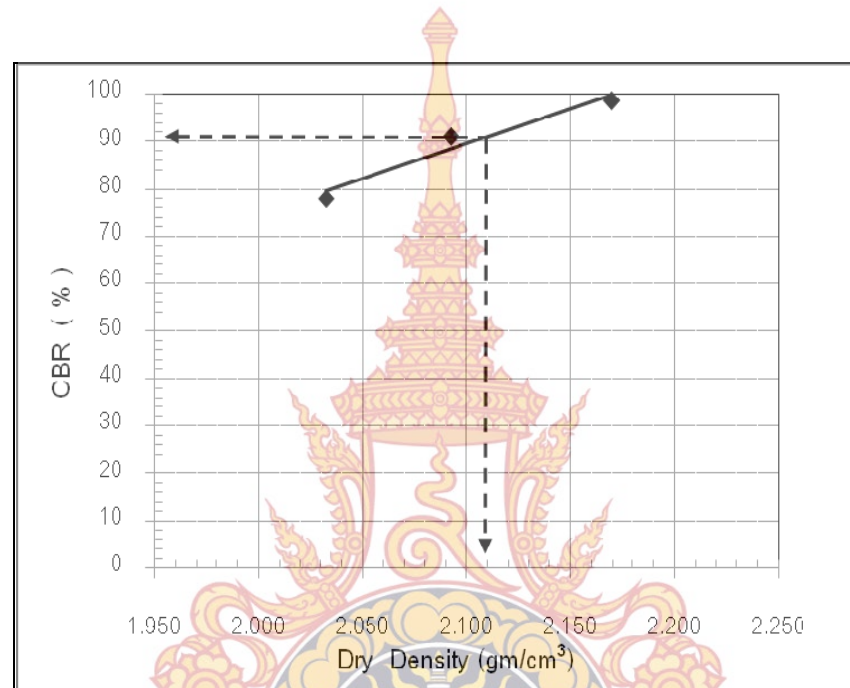
รูปผนวกที่ ข2 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา



รูปผนวกที่ ข2.3 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 10%

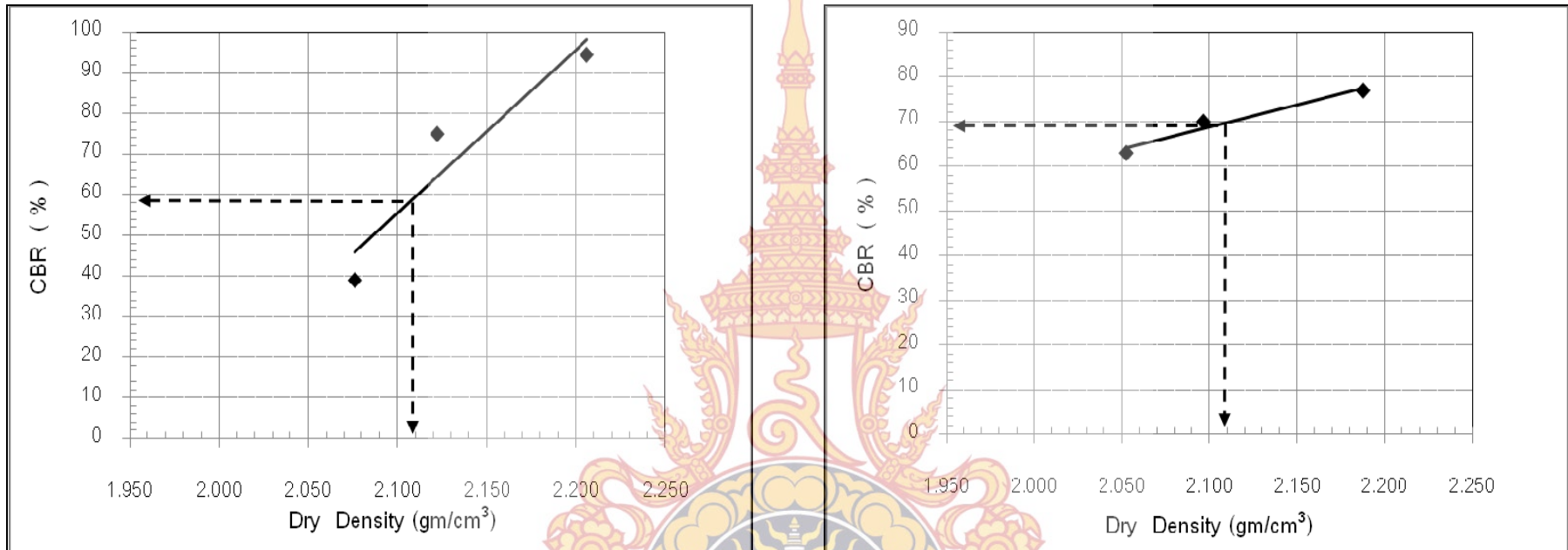
รูปผนวกที่ ข2.4 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 15%

รูปผนวกที่ ข2 ผลทดสอบค่าการแทรกาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข2.5 ผลทดสอบ CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 20%

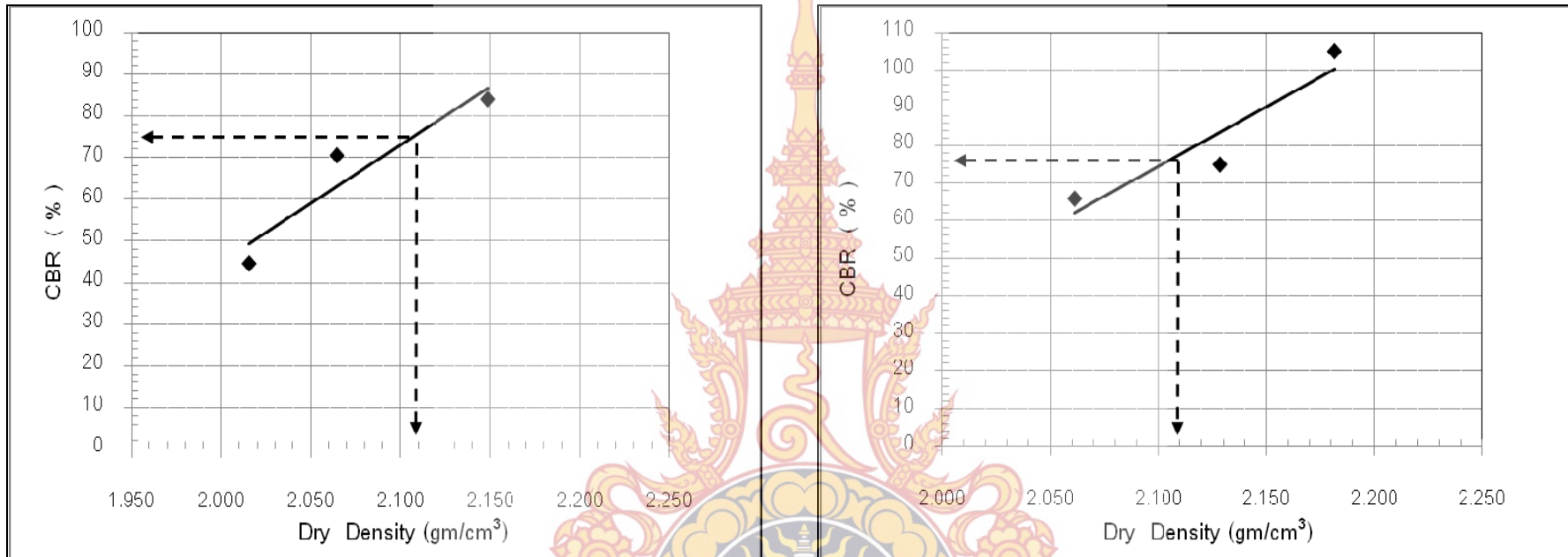
รูปผนวกที่ ข2 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบแช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข3.1 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0%

รูปผนวกที่ ข3.2 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 5%

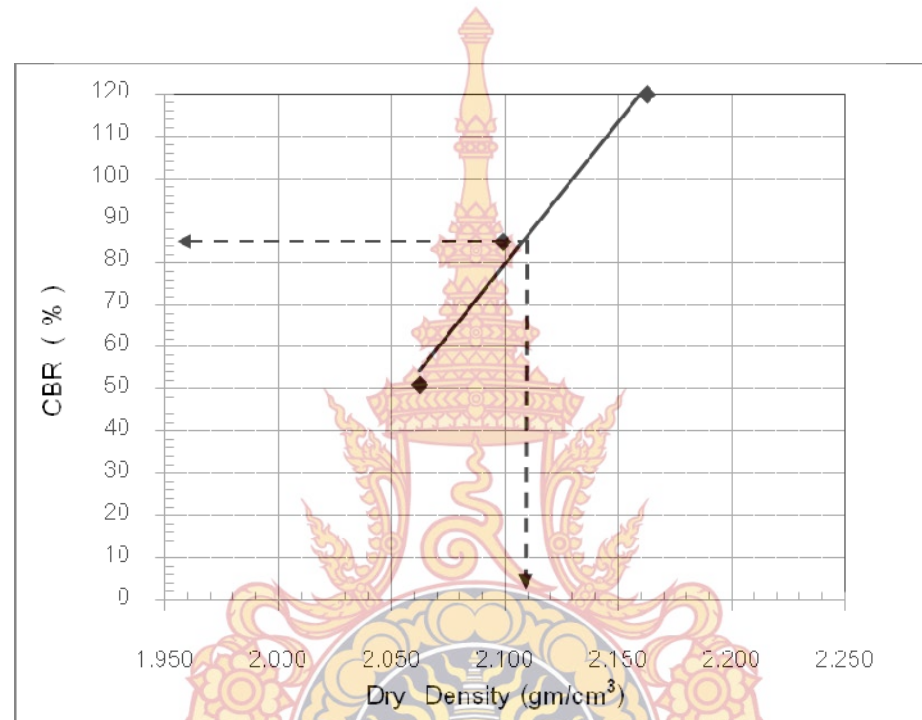
รูปผนวกที่ ข3 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา



แผนวทที่ ข3.3 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แชน้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์2% และน้ำยางพารา 10%

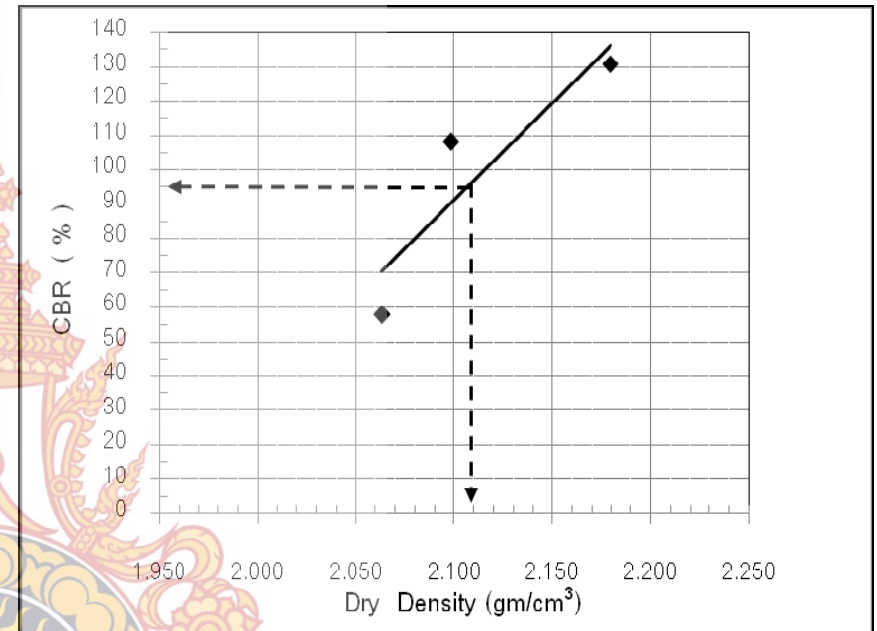
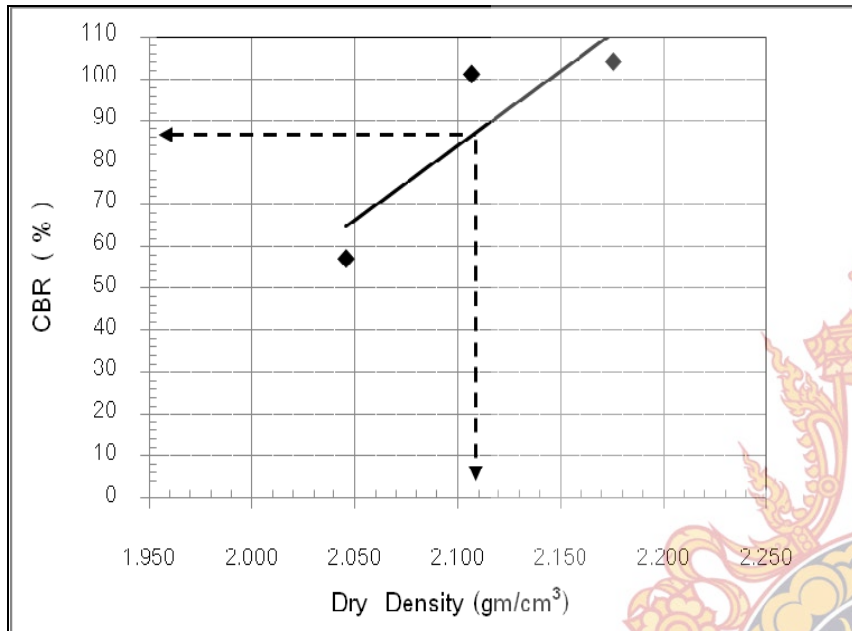
รูปแผนวทที่ ข3.4 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แชน้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ ซีเมนต์2% และน้ำยางพารา 15%

รูปแผนวทที่ ข3 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แชน้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



ผนวกที่ ข3.5 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 20%

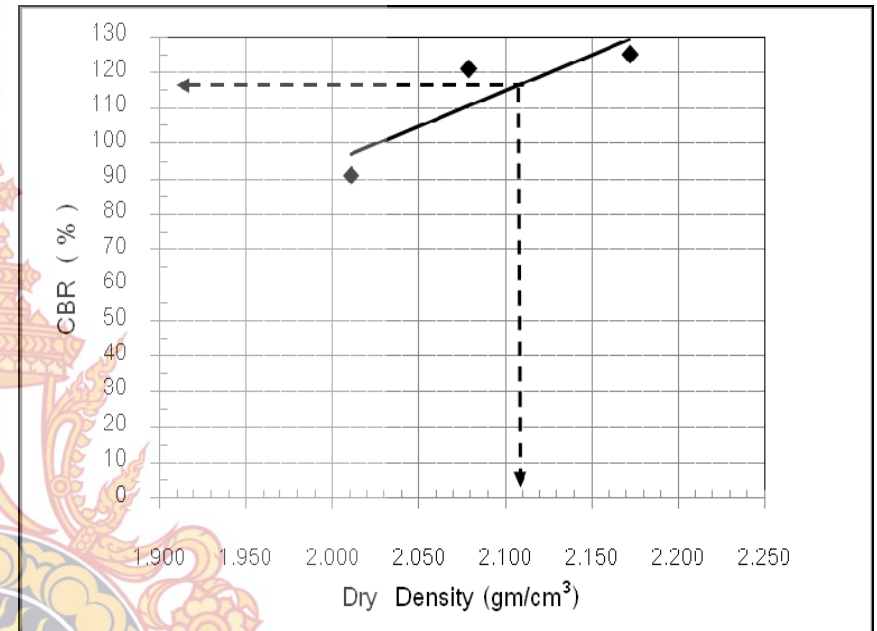
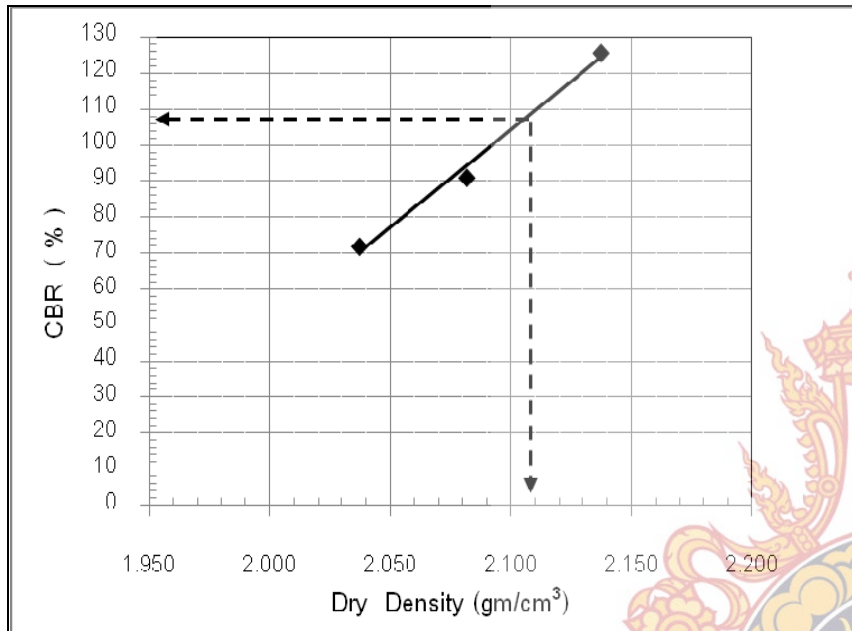
รูปผนวกที่ ข3 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข4.1 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์3% และน้ำยางพารา 0%

รูปผนวกที่ ข4.2 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ ซีเมนต์3% และน้ำยางพารา 5%

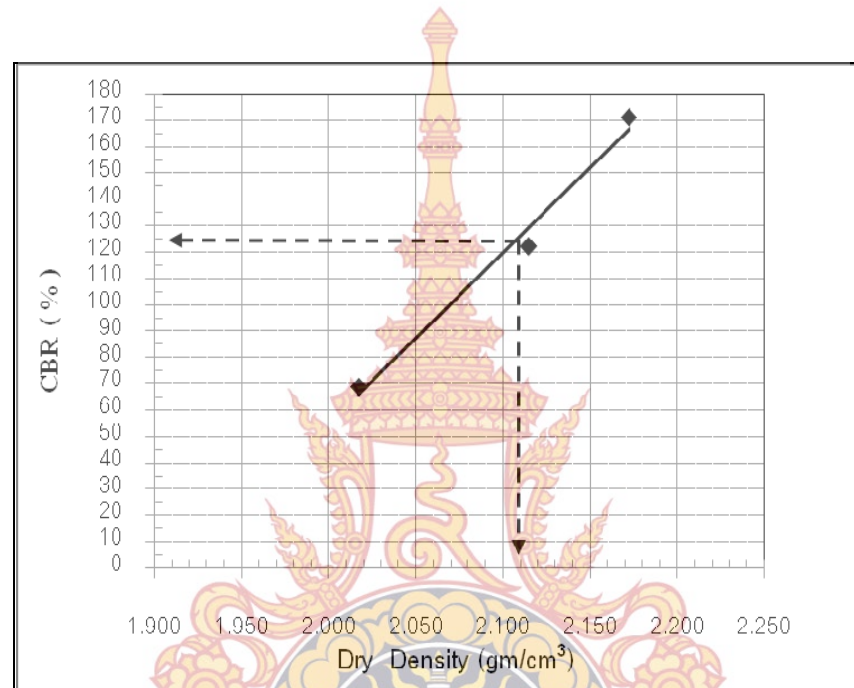
รูปผนวกที่ ข4 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา



รูปผนวกที่ ข4.3 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 10%

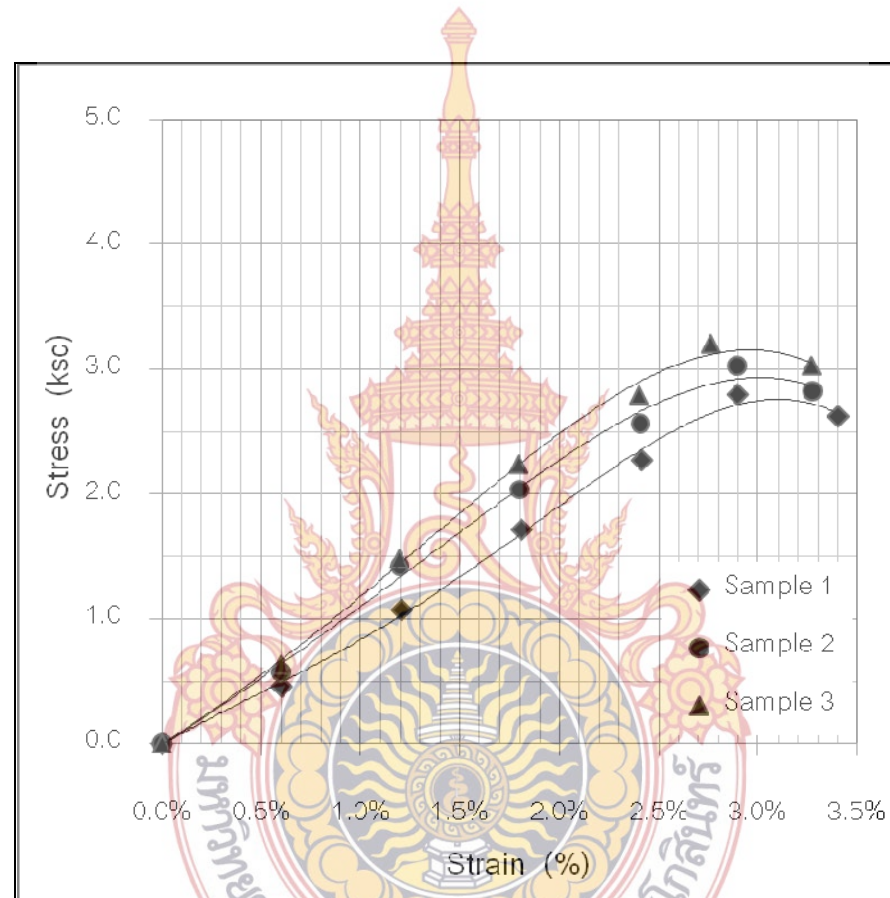
รูปผนวกที่ ข4.4 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพ
ด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 15%

รูปผนวกที่ ข4 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)

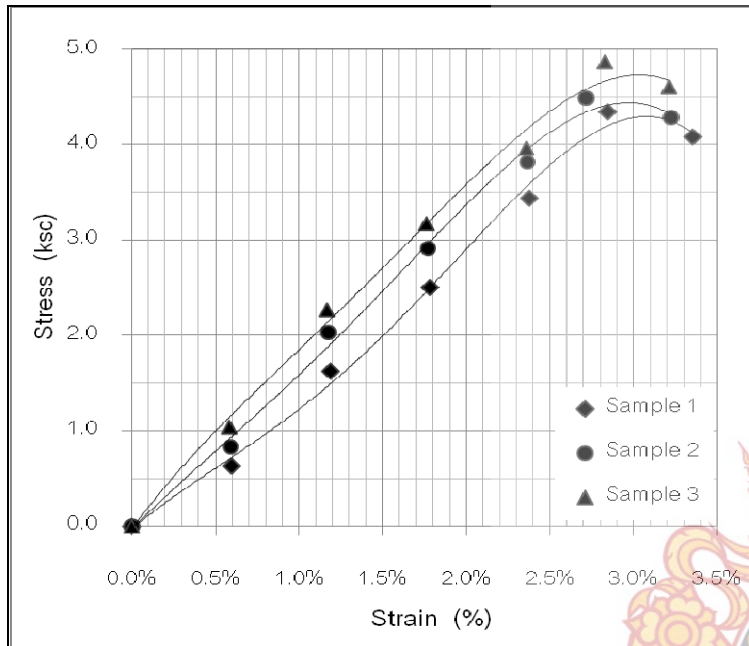


รูปผนวกที่ ข4.5 ผลทดสอบ CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 20%

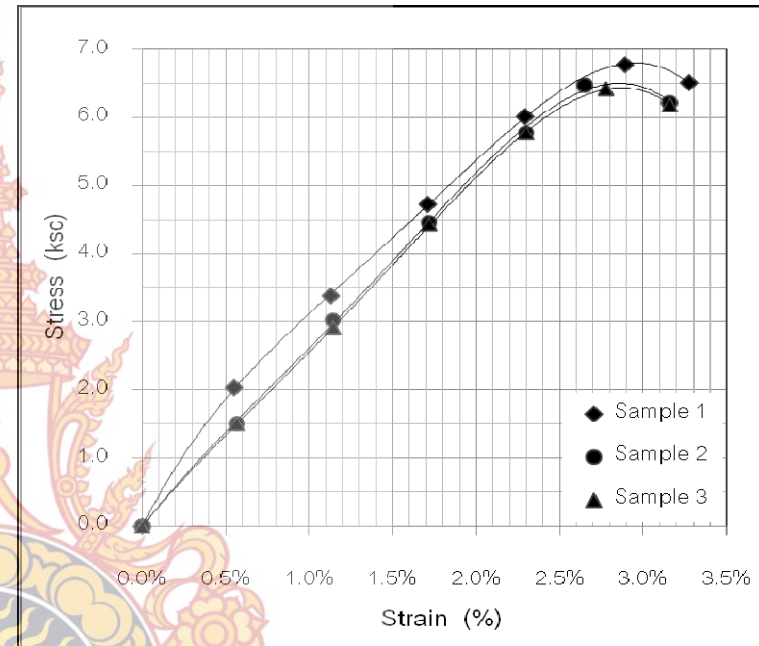
รูปผนวกที่ ข4 ผลทดสอบค่าการแบกทาน CBR แบบไม่แช่น้ำ วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข5 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรัง

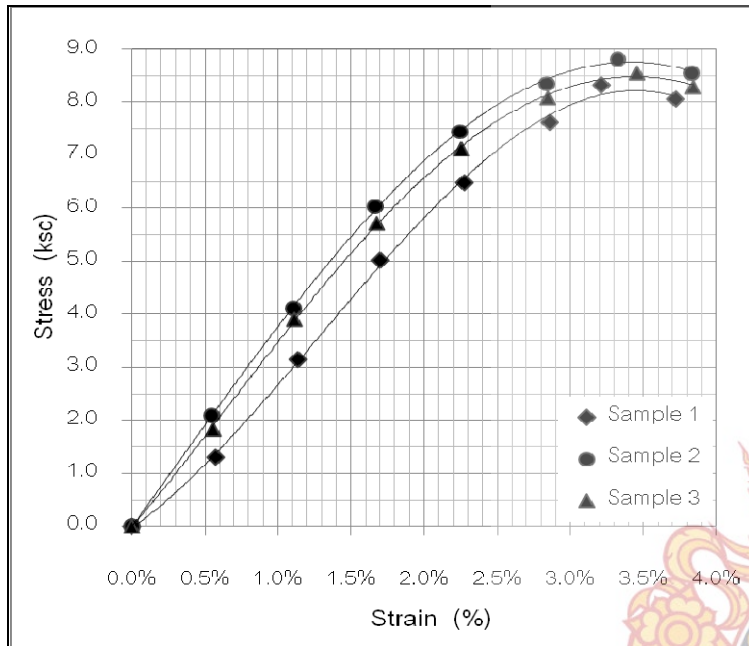


รูปผนวกที่ ข6.1 ผลทดสอบ UCS วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 0%

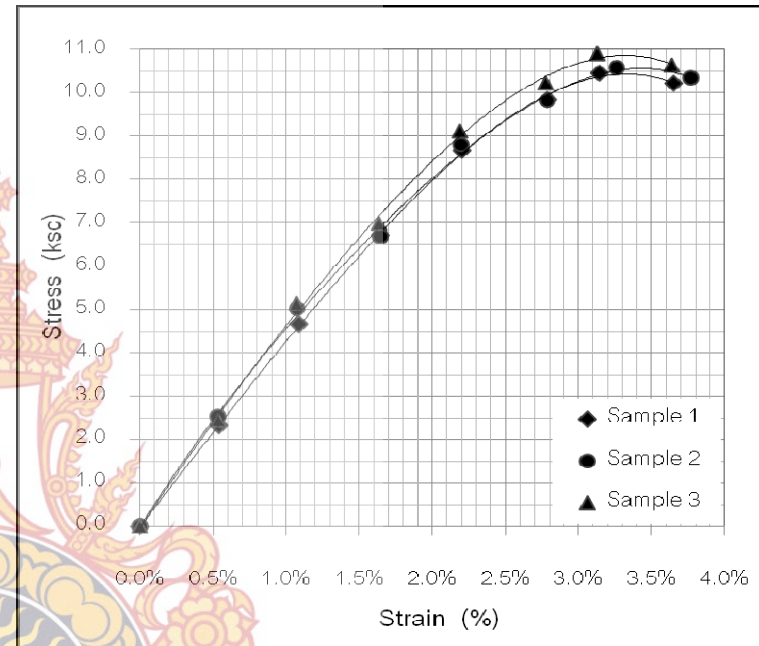


รูปผนวกที่ ข6.2 ผลทดสอบ UCS วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 5%

รูปผนวกที่ ข6 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา

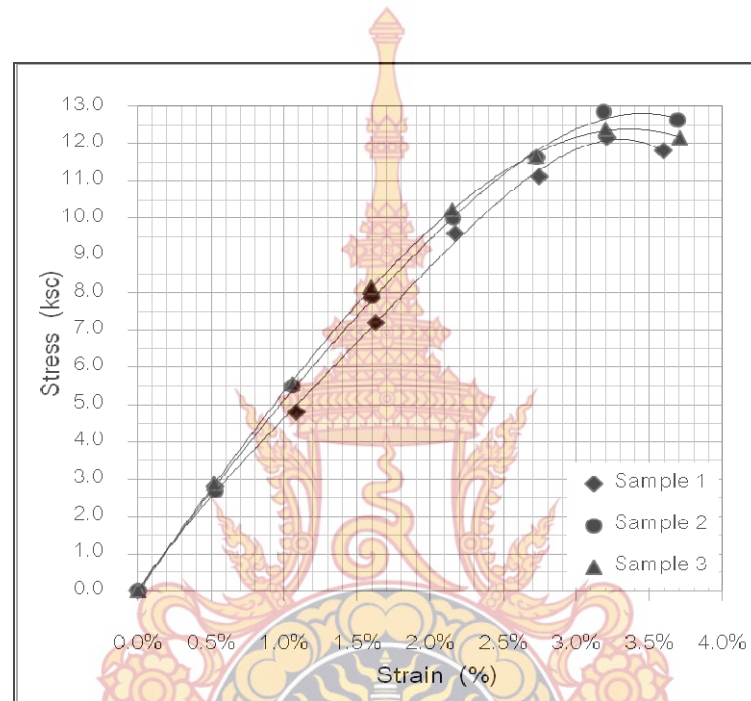


รูปผนวกที่ ข6.3 ผลทดสอบ UCS วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 10%



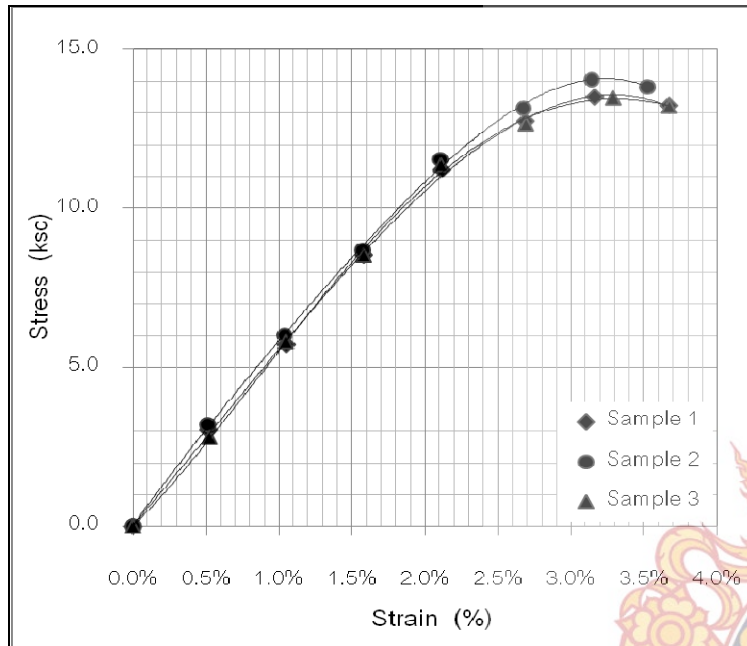
รูปผนวกที่ ข6.4 ผลทดสอบ UCS วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 15%

รูปผนวกที่ ข6 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)

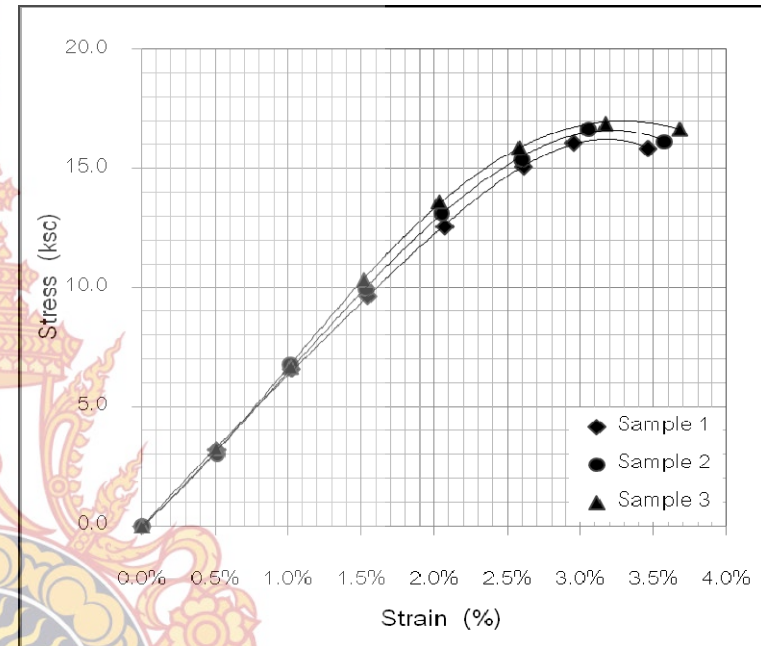


รูปผนวกที่ ข6.5 ผลทดสอบ UCS วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์ 2% และน้ำยางพารา 10%

รูปผนวกที่ ข6 ผลทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา (ต่อ)



รูปผนวกที่ ข7.1 ผลทดสอบ UCS วัสดุหินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 0%



รูปผนวกที่ ข7.2 ผลทดสอบ UCS วัสดุหินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย
แอสฟัลต์ซีเมนต์ 3% และน้ำยางพารา 5%



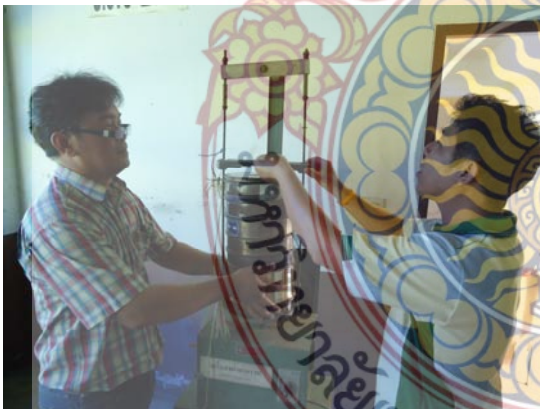
ภาคผนวก ค

รูปภาพแสดงขั้นตอนการทดสอบ

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี



รูปผนวกที่ ค1 การเตรียมตัวอย่างวัสดุดินลูกรัง



รูปผนวกที่ ค2 ทดสอบหาขนาดคละของวัสดุดินลูกรัง (Sieve Analysis)



รูปผนวกที่ ค3 ทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติก (Atterberg's Limits) ของวัสดุดินลูกรัง



รูปผนวกที่ ค4 การหาค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ของวัสดุดินลูกรัง



รูปผนวกที่ ค5 เตรียมตัวอย่างอาหารโดยผสมสารแอมโมเนียร้อยละ 5-10 โดยน้ำหนักยางพารา



รูปผนวกที่ ค6 ทดสอบการบดอัด (Compaction Test)





รูปผนวกที่ ค7 ทดสอบการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR) ของวัสดุดินลูกรัง



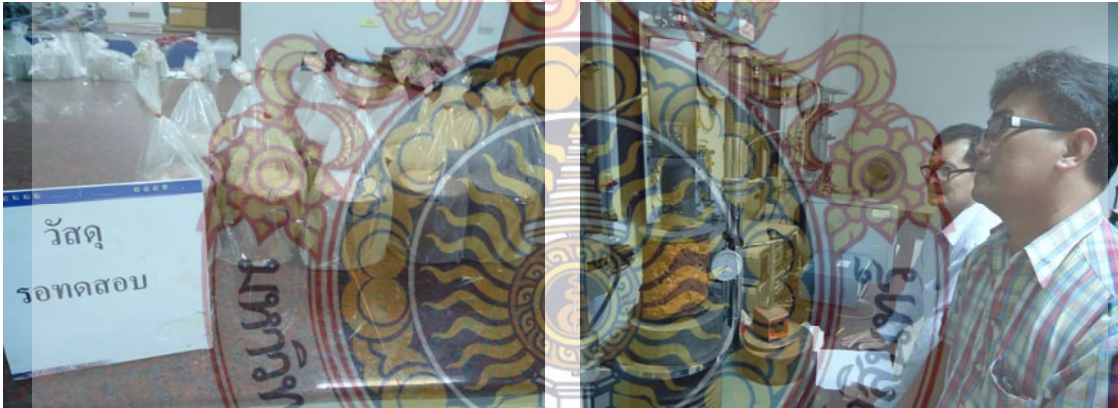
รูปผนวกที่ ค8 ทดสอบการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR) ของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ



รูปผนวกที่ ค8 ทดสอบการแบกทาน (California Bearing Ratio, CBR) ของวัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ (ต่อ)



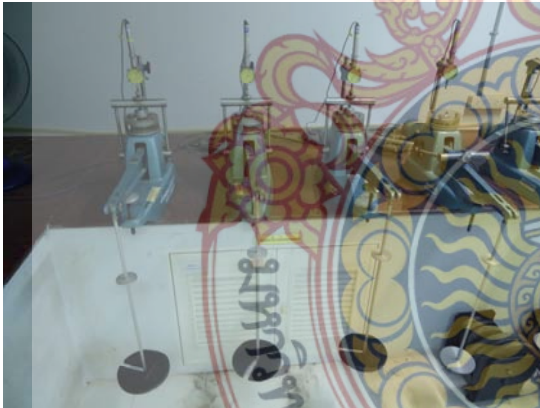
รูปผนวกที่ ค9 ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength)
วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ



รูปผนวกที่ ค9 ทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (Unconfined Compressive Strength) วัสดุ ดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพาราที่ปริมาณต่างๆ (ต่อ)



รูปผนวกที่ ค10 ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา โดยพิจารณาจากผลการทดสอบค่าการแทรกทาน (CBR) สูงสุด และค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) สูงสุด



รูปผนวกที่ ค10 ทดสอบการอัดตัวคายน้ำ (Consolidation Test) วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย แอสฟัลต์ซีเมนต์และน้ำยางพารา โดยพิจารณาจากผลการทดสอบค่าการแบกทาน (CBR) สูงสุด และค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด (UCS) สูงสุด (ต่อ)

ประวัติหัวหน้าโครงการวิจัย

1. ชื่อ - นามสกุล (ภาษาไทย) นายอรรถพล มาลัย
ชื่อ - นามสกุล (ภาษาอังกฤษ) Mr. Attapole Malai
เลขหมายประจำตัวประชาชน 3 3504 00507 76 7
2. ประวัติการศึกษา
วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
วศ.ม. (วิศวกรรมโยธา) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี
3. งานวิจัยที่ทำเสร็จแล้ว : ชื่อผลงานวิจัย ปีที่พิมพ์ การเผยแพร่
 - 3.1) อรรถพล มาลัยการศึกษาค่าดัชนีกำลังของเก้าอี้กันหินหยาบที่บดละเอียดกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1, การประชุมทางวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 4, 12-14 พฤศจิกายน, จ.ภูเก็ต.,2540
 - 3.2) อรรถพล มาลัย, สัจจะชาญ, พริตมะลิ และ ประชุม คำพุ่ม “การศึกษาคุณสมบัติของไม้มะม่วง” เอกสารบทความวิชาการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 11, ณ โรงแรมเมอร์ลิน บีช รีสอร์ท, ภูเก็ต, 20-22 เมษายน 2549, หน้า 252.
 - 3.3) อรรถพล มาลัย และ ประชุม คำพุ่ม, “ผลกระทบของอายุการบ่มที่มีต่อกำลังอัดของมอร์ต้าร์ผสมเถ้าลอยและหินฝุ่น” เอกสารประกอบการประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปี ครั้งที่ 2, ณ โรงแรมเจริญศรี แกรนด์ รอยัล, อุตรธานี, 25-27 ตุลาคม 2549, หน้า MAT 159-MAT 163.
 - 3.4) Attapole Malai and Prachoom Khamput : Development of Rubber Natural Concrete Block for Thermal Insulation and Energy Saving Purpose; The 2 rd International Symposium on Sustainable Energy and Environment, Bangkok, Thailand, 21 -23 November, 2006, pp. 1009.