

การปรับปรุงสมบัติชั้นรองพื้นทางถนนด้วยน้ำยางพารา

DEVELOPMENT PROPERTY OF ROAD SUBBASE WITH PARA RUBBER LATEX

นายทัศนัย ภาษิต

นายไกรสร หงษ์ฤทัย

นายณัฐพงษ์ สามีใจ

โครงการวิศวกรรมนี้ เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตรวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

ปีการศึกษา 2559

ลิขสิทธิ์เป็นของคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

การปรับปรุงสมบัติชั้นรองพื้นทางถนนด้วยน้ำยางพารา

ปีการศึกษา 2559

โดย

นายทัศนัย ภาชิต
นายไกรสร หงษ์ฤทัย
นายณัฐพงษ์ สาใจ

อาจารย์ที่ปรึกษา

ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุคนธ์รัตน์ เพชรรัตน์

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำดินซีเมนต์มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างอย่างแพร่หลาย เช่น การทำถนนและอื่นๆ ดินลูกรังที่สามารถหาได้ทั่วไปผสมกับปูนซีเมนต์ ทำให้คุณสมบัติการรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น แต่เมื่ออยู่ในสภาวะน้ำท่วมซึ่งจะทำให้การรับกำลังลดลง เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติด้านการซึมน้ำของดินซีเมนต์ การศึกษาครั้งนี้จึงเป็นการนำยางพารามาประยุกต์ใช้กับดินซีเมนต์ โดยทดสอบหาอัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ที่มีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง แล้วจึงทำการทดสอบการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยน้ำยางพารา โดยทดสอบกำลังรับแรงอัด ทดสอบการซึมน้ำของดินซีเมนต์และดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดที่ร้อยละ 1 2 2.5 5 7.5 และ 10 พบว่า มีค่าเท่ากับ 685 กิโลปาสคาล 1608.10 กิโลปาสคาล 1644.65 กิโลปาสคาล 1644.65 กิโลปาสคาล 2741.28 กิโลปาสคาล และ 3289.29 กิโลปาสคาลตามลำดับซึ่งเลือกใช้ดินผสมซีเมนต์ที่ร้อยละ 2 นำมาผสมกับน้ำยางพาราที่ร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 มีค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดเท่ากับ 1256.88 กิโลปาสคาล 1340.94 กิโลปาสคาล และ 1023.52 กิโลปาสคาล ตามลำดับ พบว่า ดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางพารามีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าค่ามาตรฐานและมีความยืดหยุ่นมากขึ้น การทดสอบการซึมน้ำที่เปรียบเทียบระหว่างดินเดิม ดินซีเมนต์และดินซีเมนต์ผสมยางพาราร้อยละ 2.5 5 และ 7.5 พบว่า ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่ร้อยละ 2.5 มีค่าการซึมน้ำน้อยที่สุด แต่ที่ปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5 และ 7.5 มีค่าการซึมผ่านมากกว่า ซึ่งเกิดจากที่ดินไม่เป็นเนื้อเดียวกันทำให้เกิดช่องว่างในดิน ผลทดลองพบว่า ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราทำให้กำลังลดลงแต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และพบว่า สมบัติในการซึมน้ำของดินซีเมนต์ผสมด้วยน้ำยางพาราดีขึ้น

คำสำคัญ: ดินซีเมนต์ ดินซีเมนต์ผสมยางพารา กำลังรับแรงอัด การซึมน้ำ

**DEVELOPMENT PROPERTY OF ROAD SUBBASE
WITH PARA RUBBER LATEX
Academic Year 2016**

By

Mr. Thasdnai Pasit
Mr. Kraisorn Hongruthai
Mr. Natthapong Sajai

Advisor

Sudniran Phetcharat, Ph.D

Abstract

Nowadays, Thailand has used soil-cement to apply in construction popularly, such as roads, etc. Laterite that can be found in general mixed with soil-cement, it makes the receiving compressive property is increased but, when in flood conditions, the receiving compressive strength property is reduced. To improve the property of soil-cement water permeability, so this study is to use rubber to apply with soil-cement. By testing the rate of soil-cement admixture that their receiving compressive strength property passed the standard of the Department of Highways. Then tested the improve property with rubber latex by testing the receiving compressive strength, testing water permeability test of soil cement and soil-cement with rubber latex. The results of testing unconfined compressive strength at 1% 2% 2.5% 5% 7.5% and 10% were found to be 685 kPa, 1608.10 kPa, 1644.65 kPa, 1644.65 kPa, 2741.28 kPa, and 3289.29 kPa respectively. So used 2% of cement mixed with rubber latex at 2.5%, 5% and 7.5%, has an unconfined compressive strength of 1256.88 kPa, 1340.94 kPa, and 1023.52 kPa, respectively. It was found that soil-cement with rubber latex had higher compressive strength than standard and more flexibility. The testing of water permeability compare between the original soil, soil-cement and soil-cement mixed with rubber latex 2.5%, 5% and 7.5%, it was found that 2.5% of soil-cement mixed with rubber latex had the lowest permeability. However, amount of rubber latex at 5% and 7.5% has more permeability.

This is caused by not homogeneous of soil, causing gaps in the soil. The results showed that the cement mixed with rubber latex made the rate reduced, but still be in the standard and it was found that the properties of water permeability of soil-cement mixed with rubber latex had improved.

Keywords: Soil-Cement, Soil Cement with Rubber Latex, Compressive Strength, Permeability

กิตติกรรมประกาศ

โครงการวิศวกรรมนี้ สำเร็จลุล่วงได้ด้วยความช่วยเหลือจากผู้มีพระคุณหลายท่าน คณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. สุนทรินทร์ เพชรรัตน์ อาจารย์ที่ปรึกษาโครงการที่ได้กรุณาเสียสละเวลาอันมีค่าเพื่อให้คำปรึกษา คำแนะนำ ตรวจสอบแก้ไขความเรียบร้อย ตลอดจนการชี้แนะในการหาคำตอบในปัญหาต่าง ๆ ระหว่างจัดทำโครงการนี้ ด้วยความเอาใจใส่อย่างยิ่ง

ขอขอบพระคุณ คุณรุ่งโรจน์ ฤกษ์หรรษา ที่ให้ความช่วยเหลือด้านการใช้เครื่องมือการทดสอบ และให้ความสะดวกในการทำงานครั้งนี้ในทุกด้าน ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณในความช่วยเหลือนี้เป็นอย่างสูง

ท้ายที่สุดนี้ ทางคณะผู้จัดทำโครงการขอขอบพระคุณทุกคนในครอบครัวที่ให้การสนับสนุนให้กำลังใจในการศึกษาตลอดมา และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าโครงการวิศวกรรมนี้ จะเป็นประโยชน์ต่อผู้ที่สนใจนำไปศึกษาไม่มากนักน้อยต่อไป ความดีและประโยชน์ใด ๆ จากโครงการวิศวกรรมนี้ ขอมอบให้กับผู้มีพระคุณทุกท่านที่ได้กล่าวมาทั้งหมด

คณะผู้จัดทำโครงการ

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ข
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
สารบัญตาราง	ช
สารบัญรูป	ซ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตของโครงการ	2
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	2
บทที่ 2 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง	3
2.1 ประวัติความเป็นมาของถนนซีเมนต์	3
2.2 โครงสร้างชั้นทาง	4
2.3 ประเภทของดินซีเมนต์	6
2.4 กลไกของการปรับปรุงคุณสมบัติของดินซีเมนต์	6
2.5 โครงสร้างของดินซีเมนต์	8
2.6 ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อกำลังของดินซีเมนต์ปริมาณของซีเมนต์	9
2.7 ชนิดของดิน	10
2.8 น้ำยางพาราชั้น	13
2.8.1 ความเป็นมาของน้ำยางพารา	13
2.8.2 อุตสาหกรรมแปรรูปยาง	14
2.8.3 วิธีการผลิตยางน้ำชั้นของไทย	15
2.8.4 อุปสงค์ อุปทาน และราคาน้ำยางชั้นของประเทศไทย	18
บทที่ 3 วิธีการดำเนินงาน	19
3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการ	20

สารบัญ(ต่อ)

	หน้า
3.3 การออกแบบส่วนผสม	21
3.3.1 อัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อดินลูกรังต่อน้ำ	21
3.3.2 การเตรียมส่วนผสมดินซีเมนต์ผสมน้ำยาง	21
3.4 การผสมตัวอย่าง	22
3.5 การทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ	25
3.2.1 การทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรัง	25
3.2.2 การทดสอบคุณสมบัติของยางพารา	26
3.2.3 การทดสอบเพิ่มปริมาณน้ำยางพารา	26
บทที่ 4 ผลการดำเนินงาน	27
4.1 การทดสอบคุณสมบัติของดิน	27
4.1.1 การทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit) และดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ของดิน	27
4.1.2 การทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Test)	29
4.1.3 การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)	30
4.1.4 ทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (California Bearing Ratio: CBR)	32
4.2 การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง และการซึมน้ำ	33
4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)	33
4.2.2 การทดสอบค่าการซึมน้ำ	44
บทที่ 5 สรุปผลและข้อเสนอแนะ	48
5.1 สรุปผลการศึกษา	48
5.2 ข้อเสนอแนะ	49
เอกสารอ้างอิง	50
ภาคผนวก ก	54
ภาคผนวก ข	72
ประวัติย่อผู้ทำโครงการ	88

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
3.1 อัตราส่วนผสมของดินต่อซีเมนต์	21
3.2 อัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา	21
3.3 ตารางการดำเนินงาน	26
4.1 ปริมาณน้ำในดินจากการทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit) ของดินลูกรัง	27
4.2 ปริมาณน้ำในดินจากการทดสอบพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ของดินลูกรัง	28
4.3 แสดงน้ำหนักดินที่ค้ำตะแกรงแต่ละเบอร์	29
4.4 ขนาดคละของร่อนพื้นทางวัสดุรวม	29
4.5 แสดงปริมาณน้ำในดินและความหนาแน่นแห้งของดินลูกรัง	31
4.6 แสดงปริมาณน้ำในดินและความหนาแน่นแห้งดินซีเมนต์	32
4.7 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 1%	34
4.8 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 2%	35
4.9 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 2.5%	36
4.10 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 5%	37
4.11 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 7.5%	38
4.12 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 10%	39
4.13 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ 2.5%	40
4.14 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ 5%	41
4.15 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ 7.5%	42
4.16 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น	44
4.17 ข้อมูลการซึมน้ำของดินลูกรัง	45
4.18 ข้อมูลการซึมน้ำของดินผสมซีเมนต์ที่ 2%	45
4.19 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 2.5%	45
4.20 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 5%	45
4.21 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 7.5%	46
4.22 ตารางสรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (k) ในแต่ละตัวอย่าง	46

สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนัก	5
2.2 โครงสร้างของดินซีเมนต์	8
2.3 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพลาสติกกับเวลา	10
2.4 ค่าพิกัดอัตราเบร็กของดินไอลัว	11
2.5 อิทธิพลที่มีต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ 8%	12
2.6 อิทธิพลที่มีต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ 12%	12
2.7 อิทธิพลที่มีต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ 16%	13
2.8 การผลิตน้ำยางข้นและน้ำยางแห้ง	14
2.9 แสดงการแปรรูปน้ำยางพาราชนิดต่าง ๆ ภายในประเทศและต่างประเทศ	15
2.10 แสดงกระบวนการการผลิตน้ำยางพาราชั้น	17
2.11 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา	17
2.12 อุปสงค์ อุปทาน และราคาน้ำยางข้นของประเทศไทย	18
3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน	19
3.2 ดินลูกรังผสมซีเมนต์	21
3.3 ดินลูกรังผสมซีเมนต์และน้ำ	22
3.4 ตัวอย่างดินซีเมนต์บ่ม 7 วัน	22
3.5 ตัวอย่างดินซีเมนต์แช่น้ำก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด	23
3.6 ดินลูกรังผสมซีเมนต์และน้ำยางพารา	24
3.7 ตัวอย่างดินซีเมนต์ผสมยางพารา	24
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับจำนวนการเคาะ และค่า Liquid Limit ของดินลูกรัง	28
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงกับเบอร์ตะแกรง	30
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณน้ำในดินของ ดินลูกรัง	31
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณน้ำในดินของ ดินซีเมนต์	32

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจมของดินลูกรัง	33
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 1%	34
4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 2%	35
4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 2.5%	36
4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 5%	37
4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 7.5%	38
4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 10%	39
4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินซีเมนต์ผสม น้ำยางพาราที่ 2.5%	40
4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินซีเมนต์ผสม น้ำยางพาราที่ 5%	41
4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินซีเมนต์ผสม น้ำยางพาราที่ 7.5%	42
4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างดินที่ทดสอบ รวมทุกตัวอย่าง	43
4.16 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การซึมน้ำในแต่ละตัวอย่าง	46
4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (k) ต่อเปอร์เซ็นต์ความเข้มข้น ของน้ำยางพารา	47

บทที่1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญ

โครงสร้างชั้นทางมีองค์ประกอบต่าง ๆ ได้แก่ ผิวทาง (Surface) มีหลายแบบ เช่น ผิวทางแบบแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) หรือ ผิวทางแบบเซอร์เฟซทรีตเมนต์ (Surface Treatment) พื้นทาง (Base Course) ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากผิวทางแล้วถ่ายน้ำหนักสู่ชั้นรองพื้นทางและชั้นคันทางรองพื้นทาง (Subbase Course) ใช้ในบริเวณก่อสร้างที่ดินคันทางมีคุณภาพไม่ดี เช่น ดินเหนียวหรือในบริเวณที่มีแหล่งวัสดุรองพื้นทางหาได้ง่ายและมีราคาถูก วัสดุที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างชั้นนี้ เช่น ดินลูกรัง หินกรวด ซึ่งสามารถป้องกันความชื้นใต้ผิวทางได้และในขณะเดียวกันก็สามารถระบายน้ำออกไปโดยมิให้ทำลายความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทาง ดินคันทาง (Subgrade) คือชั้นดินเดิมในบริเวณที่ถนนวางพาดผ่าน

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการนำดินซีเมนต์มาประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างต่าง ๆ เช่น การทำถนน ทำอิฐทำกระเบื้องและอื่น ๆ ดินซีเมนต์ประกอบด้วยปูนซีเมนต์ ดิน และน้ำ ดินลูกรังที่สามารถหาได้ทั่วไปในแต่ละจังหวัดมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ ใช้ต้นทุนที่ไม่สูงมากและการทำที่ง่าย คุณสมบัติของดินคือ สามารถบดอัดได้ ทำให้คุณสมบัติการรับแรงอัดเพิ่มมากขึ้น มนุษย์เลยใช้คุณสมบัติประเภทนี้มาใช้ประโยชน์ในการก่อสร้างการทางถนน เพื่อปูพื้นถนนให้แข็งแรงก่อนที่จะเทคอนกรีตเพื่อช่วยในการรับแรงอัดที่รถบนถนนต้องวิ่งไป มาชะลอการแตกร้าวของคอนกรีต และความสามารถของดินซีเมนต์ยังไม่หมดแค่นี้ ดินซีเมนต์ยังปรับหน้าดินหรือพื้นถนนให้สูงขึ้นหรือเปลี่ยนหน้าดินที่ขรุขระให้มีความเรียบมากขึ้น เพราะดินซีเมนต์เป็นวัสดุที่หาได้ง่ายและสามารถใช้งานได้โดยระยะเวลาสั้น ๆ จากประสบการณ์ที่กรมทางหลวงได้ดำเนินการก่อสร้างและได้ทำการศึกษาวิจัยค้นคว้าเกี่ยวกับถนนดินซีเมนต์มาโดยตลอด

วิวัฒนาการถนนดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงประเทศไทย เริ่มมีแผนพัฒนาเศรษฐกิจและสังคมแห่งชาติ ซึ่งได้กำหนดให้มีการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน รัฐบาลได้เร่งรัดการก่อสร้าง ทำให้งานกรมทางหลวงเพิ่มมากขึ้น ค่าก่อสร้างทางแพงมากขึ้นและอุปสรรคเกี่ยวกับวัสดุก่อสร้างทางและควบคุมคุณภาพถนนดินซีเมนต์ได้ดียิ่งขึ้น วิวัฒนาการของถนนดินซีเมนต์ในประเทศไทยสามารถแบ่งออกเป็น 3 ช่วงเวลา ช่วงก่อสร้างดินซีเมนต์ช่วงต้นเกิดระหว่างปี พ.ศ. 2510 - พ.ศ. 2515 ได้เกิดปัญหาทางด้านเทคนิคขึ้นในการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ กล่าวคือ ถนนดินซีเมนต์บางสายเกิดรอยแตกปรากฏบนผิวหน้าของผิวทาง ช่วงกลางของถนนดินซีเมนต์จะอยู่ระหว่าง พ.ศ. 2516 - พ.ศ. 2528 โดยในช่วงเวลาดังกล่าวนี้กรมทางหลวงได้ทำการศึกษา เพื่อศึกษาพฤติกรรมโดยละเอียด ช่วงปัจจุบันเริ่มประมาณปี พ.ศ. 2529 โดยช่วงเวลาดังกล่าวนี้กรมทางหลวงได้ทำการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์มากขึ้นในลักษณะของโครงการจ้างเหมา โดยในปัจจุบันกรมทางหลวงได้วางแผนจะสร้าง ถนนดินซีเมนต์ให้รับปริมาณจราจรที่สูงขึ้นกว่าเดิม

คั่นทางในสภาวะน้ำท่วมซึ่งเป็นเวลานานอาจส่งผลเสียต่อวัสดุชั้นทาง จากข้อมูลพบว่าค่า CBR ของรองพื้นทางดินลูกรังในสภาวะแช่น้ำลดลงเฉลี่ยประมาณ 0.5-0.7 เท่าของค่า CBR ของรองพื้นทางดินลูกรังในสภาวะปกติ แนวคิดในการวิจัยนี้เป็นการประยุกต์ใช้น้ำยางมาผสมในส่วนผสมของดินซีเมนต์ทำให้เกิดเป็นดินซีเมนต์ผสมยางพารา โดยที่เราเข้าใจกันว่าน้ำยางพารามีความยืดหยุ่นเมื่อแห้ง ผู้วิจัยเชื่อว่าน้ำยางพาราสามารถที่จะทำให้ส่วนผสมของดินซีเมนต์มีคุณสมบัติที่ดียิ่งขึ้น อาทิเช่น แรงอัด และการดูดซึมน้ำที่น้อยลง และเมื่อได้ผลการทดลองทั้งหมดมาแล้ว ยังสามารถนำงานวิจัยดังกล่าวเพื่อนำไปต่อยอดและประยุกต์ใช้ในงานวิจัยอื่น ๆ ได้อีก จากหลายงานวิจัยได้นำดินลูกรังและปูนซีเมนต์มาช่วยในการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุชั้นรองพื้นทางและความสามารถป้องกันการซึมผ่านของน้ำผ่านชั้นดินได้ดี ดังนั้นจึงเล็งเห็นว่าการประยุกต์ใช้น้ำยางธรรมชาติผสมดินซีเมนต์ (Soil Cement) เนื่องจากน้ำยางพาราจะทำหน้าที่เป็นเสมือนตัวประสานและสามารถป้องกันการรั่วซึมของน้ำได้ดี

1.2 วัตถุประสงค์

- 1.2.1 เพื่อศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุชั้นรองพื้นทางที่ปรับปรุงดินซีเมนต์และน้ำยางพารา
- 1.2.2 ศึกษาถึงความเป็นไปได้ที่จะนำผลการทดลองไปใช้ประโยชน์ในการปรับปรุงคุณภาพของชั้นรองพื้นทาง

1.3 ขอบเขตของการศึกษา

- 1.3.1 การศึกษาวิจัยครั้งนี้จะใช้ดินลูกรังตัวอย่างจาก จังหวัดนครราชสีมา
- 1.3.2 ศึกษาถึงการนำยางพารามาปรับปรุงคุณภาพของดินชั้นรองพื้นทางภายใต้ห้องปฏิบัติการ คณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา
- 1.3.3 ศึกษาการพัฒนาต้านกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมยางพารา
- 1.3.4 ศึกษาคุณสมบัติด้านการซึมน้ำของดินชั้นรองพื้นทาง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

- 1.4.1 ทราบคุณสมบัติพื้นฐานของดินซีเมนต์กับน้ำยางพารา
- 1.4.2 ทราบศักยภาพในการทำงานของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา
- 1.4.3 สามารถนำความรู้ที่ได้จากการศึกษาไปเป็นแนวทางในการสร้างชั้นรองพื้นทางที่แข็งแรงและเหมาะสมมากขึ้น

บทที่ 2

ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1 ประวัติความเป็นมาของถนนซีเมนต์

กล่าวกันว่าความคิดเรื่องการปรับปรุงคุณภาพของดิน ด้วยการใส่สารผสมเพิ่มมีมายาวนานกว่า 5000 ปีแล้ว โดยการผสมดินกับปูนขาว ซึ่งเป็นการปรับปรุงคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินให้ดีขึ้น

Mills (1935: 751-753; 1936: 322-347) ได้รายงานผลการค้นคว้าของ South Carolina State Highway Department ในปี ค.ศ.1932 โดย Dr. C.H. Moorefield ได้ทำการศึกษาส่วนผสมของดินกับซีเมนต์ที่ใช้ก่อสร้างถนนหลายสายในปี ค.ศ.1933 และปี ค.ศ. 1934 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ดินผสมซีเมนต์เป็นวัสดุที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุพื้นทางของถนนที่มีราคาถูก

Davidson (1961) กล่าวถึงวิวัฒนาการของดินซีเมนต์ไว้ในคำนำ ใน Highway Research Bulletin ว่า เริ่มต้นในปี ค.ศ. 1915 เมื่อการก่อสร้างถนน Oak ในเมือง Sarasota รัฐ Florida ประสบปัญหาเครื่องผสมคอนกรีตเสียหายไม่สามารถใช้งานได้ ถนน Oak จึงถูกสร้างโดยการขุดดิน Shell จากอ่าวขึ้นมาสวมกับทรายและซีเมนต์แล้วทำการบดอัดด้วยรถบดไอน้ำ แทนการทำถนนคอนกรีตราว ๆ ปี ค.ศ. 1920 หน่วยงานที่เกี่ยวข้องกับถนน ในประเทศรัฐ Iowa South Dakota Ohio California และ Texas ได้เริ่มทดลองก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ แต่ผลการทดลองที่ได้มีความผันแปร อย่างมากจนไม่สามารถคาดการณ์ผลลัพธ์ได้เนื่องจากความรู้ความเข้าใจเรื่องคุณสมบัติของดินนั้นยังน้อยมาก

Davidson (1961) ได้บันทึกว่าในปีค.ศ.1935 South Carolina State Highway Department Bureau of Public Roads และ Portland Cement Association ได้ร่วมกันก่อสร้างถนนซีเมนต์ยาว 1.5 ไมล์ใกล้ ๆ กับเมือง Johnsonville เพื่อเป็นการยืนยันผลการวิจัย South Carolina State Highway Department ต่อมาถนนซีเมนต์สายนี้เป็นที่รู้จักกันว่าเป็นโครงการแรกที่เกี่ยวข้องกับวิศวกรรมถนนดินซีเมนต์ และจากความสำเร็จของโครงการนี้ทำให้เกิดการทดลองขึ้นในอีกหลายรัฐของสหรัฐอเมริกาที่ Portland Cement Association เป็นผู้ทดลองสร้าง

Davidson (1961: 45-151) รายงานว่าในปี ค.ศ. 1941-1944 ระหว่างสงครามโลกครั้งที่ 2 ถนนดินซีเมนต์ได้ถูกนำมาใช้ในการก่อสร้างสนามบินมากถึง 22 ล้านตารางหลา แต่ในขณะเดียวกันการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ก็มีเพิ่มมากขึ้น นอกจากดินซีเมนต์จะถูกใช้ทำถนนแล้ว ยังใช้ดินซีเมนต์เป็นชั้นรองพื้นทางของถนนคอนกรีต และวัสดุรองพื้นอ่างเก็บน้ำอีกด้วย

The Siam Cement Ltd (1965: 25-26) ได้ทำการนำดินซีเมนต์มาใช้เป็นพื้นทางของถนนสายวารินชำราบ-เดชอุดม จ.อุบลราชธานี เป็นสายแรกในประเทศไทยซึ่งมีความยาว 5 กิโลเมตร โดยดินลูกรังที่กำหนดค่า CBR ของดินซีเมนต์ไว้ไม่น้อยกว่า 120 สำหรับถนนที่มีปริมาณการจราจรต่ำและกำหนดค่ากำลังอัดไว้ไม่น้อยกว่า 852 กิโลปาสคาล สำหรับถนนประเภทต่ำกว่ามาตรฐาน

ธีรชาติ รื่นไกรฤกษ์ และ สมบัติกระแส จรัสกร (2544) ได้ทำการวิจัยโดยนำดินลูกรังและดินทรายปนดินตะกอนมาผสมซีเมนต์ สรุปผลได้ว่าพลังงานในการบดอัดมีผลอย่างมากต่อกำลังของดินซีเมนต์โดยมีความสัมพันธ์แบบลอการิทึม โดยที่ค่าแรงอัดแกนเดียวที่เพิ่มอย่างรวดเร็วในช่วงพลังงานบดอัดต่ำ และจะช้าลงเมื่อพลังงานบดอัดสูงขึ้น

2.2 โครงสร้างชั้นทาง

โครงสร้างชั้นทางนั้นสามารถแบ่งออกได้เป็น 2 ประเภทได้แก่

1. โครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) คือ ทางลาดยางแอสฟัลต์จะประกอบด้วยชั้นต่าง ๆ

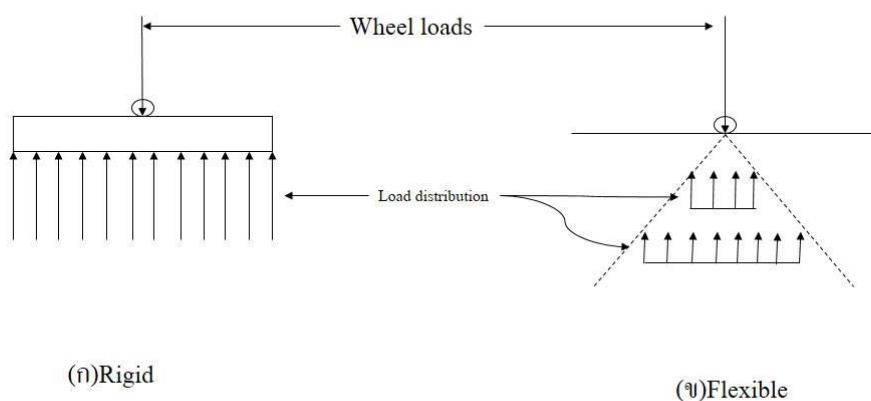
ผิวทาง (Surface) มีหลายแบบ คือ ผิวทางแบบเซอร์เฟซทรีตเมนต์ (Surface Treatment) อาจสร้างเป็นชั้นเดียว (Single Surface Treatment) หรือสองชั้น (Double Surface Treatment) ผิวทางแบบเพนเนตรชันแมคคาדם (Penetration Macadam) ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) งานวัสดุมวลรวมเย็นด้วยยางแอสฟัลต์อิมัลชัน (Cold Mixed Asphalt) งานฉาบผิวทางแบบสลูรีซีล (Slurry Seal) และผิวทางแบบเคปซีล (Cape Seal)

พื้นทาง (Base Course) ทำหน้าที่รับน้ำหนักจากผิวทางแล้วถ่ายสู่รองพื้นทาง วัสดุที่ใช้ในชั้นนี้ต้องมีความแข็งแรงทนทานรับน้ำหนักสูงได้ดี เช่น หิน กรวด หรือดินปรับปรุงคุณภาพ (Stabilized Soil) มีค่า CBR >80% การก่อสร้างต้องบดอัดเป็นชั้น ๆ แต่ละชั้นหนาประมาณ 15 เซนติเมตร หลังจากบดอัดแล้วต้องทดสอบความแน่นตามที่กำหนดไว้

รองพื้นทาง (Subbase Course) ใช้ในบริเวณก่อสร้างที่ดินคันทางมีคุณภาพไม่ดี เช่น ดินเหนียวหรือในบริเวณที่มีแหล่งวัสดุสำหรับรองพื้นทางหาได้ง่ายและมีราคาถูก การออกแบบจึงลดความหนาของชั้นพื้นทางแล้วใช้วัสดุทดแทนที่มีคุณภาพด้อยกว่าแต่ราคาถูกกว่า วัสดุที่เหมาะสมสำหรับโครงสร้างชั้นนี้ เช่น ดินลูกรัง ทราย มีค่า CBR >30% และช่วยป้องกันความชื้นภายใต้ผิวทางอันเนื่องมาจาก Capillary Rise ขณะเดียวกันก็สามารถระบายน้ำที่ซึมผ่านผิวทางออกไปโดยมิให้ทำลายความแข็งแรงของชั้นโครงสร้างทางชั้นอื่น ๆ ด้วย

ดินคันทาง (Subgrade) คือ ชั้นดินเดิมในบริเวณที่ถนนวางพาดผ่านไป ทำหน้าที่รับน้ำหนักที่ถ่ายจากรองพื้นทาง ความหนาของโครงสร้างถนนทั้งหมดจะขึ้นกับคุณสมบัติของดินคันทางนี้

2. โครงสร้างชั้นทางแบบเกร็งตัว (Rigid Pavement) คือ ทางคอนกรีตเสริมเหล็กหรือไม่เสริมเหล็กก็ได้ ความหนาของแผ่นคอนกรีตขึ้นอยู่กับน้ำหนักล้อของยานพาหนะเป็นส่วนใหญ่ ชั้นพื้นทางและรองพื้นทางอาจมีหรือไม่ก็ได้ ถ้าหากชั้นดินคันทางมีคุณภาพและไม่มีปัญหาเรื่องระดับน้ำท่วมถนนในหน้าฝน หรือถ้ามีพื้นทางและรองพื้นทางก็จะมีข้อดีคือ ช่วยป้องกันไม่ให้เกิดการอัดทะลัก (Pumping Action) ช่วยป้องกันความเสียหายจากน้ำรวมตัวเป็นก้อนแข็งใต้ผิวทาง (Frost Action) ในบริเวณที่อุณหภูมิหนาวจัดมาก ๆ ช่วยในการระบายน้ำใต้ดิน ช่วยป้องกันความเสียหายจากการบวมตัวและหดตัวของดินคันทาง ช่วยเพิ่มความแข็งแรงของดินคันทางและช่วยการก่อสร้างให้ง่ายและสะดวกมากขึ้น ข้อแตกต่างระหว่างทางคอนกรีตกับทางลาดยาง คือ คอนกรีตจะมีความแข็งแรง (Rigidity) สูง มีโมดูลัสความยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity) สูง มีความแข็ง (Stiff) ในตัว ดังนั้นการกระจายน้ำหนักจากล้อรถสู่ดินคันทางจึงเป็นเนื้อที่กว้างมีผลให้หน่วยแรงมาเกิดในดินคันทางต่ำ ส่วนทางลาดยางการถ่ายน้ำหนักจากล้อรถสู่คันทางจากผิวทางมีเนื้อที่เล็ก ๆ กระจายออกในลักษณะ 45° ซึ่งลักษณะเช่นนี้จะเกิดความเข้มของหน่วยแรงสูง (Stress Concentration) เพราะมีพื้นที่รับน้ำหนักน้อย ถ้าพิจารณาจะเห็นได้ว่าโครงสร้างของถนนลาดยางจะมีลักษณะเป็นชั้น ๆ (Layers) วัสดุที่ใช้ผิวบนจะต้องมีคุณสมบัติทางวิศวกรรมสูง แข็งแรง ทนทาน และ รับแรงได้ดี เช่น หิน และต่ำลงมาก็ต้องเลือกวัสดุที่มีคุณภาพรองลงไปให้เหมาะสมกับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นในแต่ละชั้น ซึ่งหน่วยแรงที่เกิดขึ้นนั้นต้องไม่เกินความสามารถของดินคันทางที่รับได้



รูปที่ 2.1 การเปรียบเทียบพฤติกรรมการรับน้ำหนักระหว่างโครงสร้างชั้นทาง

แบบเกร็งตัว (Rigid) กับแบบหยุ่นตัว (Flexible)

ที่มา: หนังสือวิศวกรรมทาง (ผศ.นิรชร นกแก้ว)

2.3 ประเภทของดินซีเมนต์

Highway Research Board's Committee on Soil – Portland Cement Stabilization (1959: 28-29) ได้ให้คำจำกัดความของ Cement-Treated Soil ว่าเป็นการนำเอาดินและซีเมนต์ในปริมาณที่ต้องการมาผสมกับน้ำให้เข้ากันแล้วบดอัดให้ได้ความหนาแน่นสูงสุด และป้องกันความชื้นไม่ให้สูญเสียไปในระหว่างการบ่มดินซีเมนต์แยกเป็นประเภทต่าง ๆ ได้ดังต่อไปนี้

1. ดินซีเมนต์ (Soil-Cement) เป็นการนำดินและซีเมนต์มาผสมกับน้ำ แล้วบดอัดโดยวิธีการทางกลศาสตร์แล้วทำการบ่มให้แข็งตัว ความแข็งแรงจะพิจารณาจากค่าความคงทน (Durability) และค่ารับแรงอัด (Compressive Strength) ของดินซีเมนต์

2. ดินทรายที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ (Cement-Modified Granular Soil Mixture) มีดินจำพวกทรายและกรวด (Granular Soil) หลายชนิดที่มีคุณสมบัติต่างกว่ามาตรฐานเล็กน้อยในการใช้งานเป็นต้นว่ามีส่วนละเอียดมากเกินไป มีค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity) สูงเกินไปหรือทั้งสองอย่าง จึงจำเป็นต้องปรับปรุงคุณสมบัติโดยการผสมซีเมนต์เข้าไปเพื่อลดค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity) ให้ต่ำลง ดินซีเมนต์ประเภทนี้จึงใช้ทำเป็นวัสดุชั้นรองพื้นทาง และใช้ชั้นทางของถนนประเภทโครงสร้างชั้นทางแบบเกร็งตัว (Rigid Pavement) และโครงสร้างชั้นทางแบบหยุ่นตัว (Flexible Pavement) ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ประมาณร้อยละ 1 ขึ้นไปของน้ำหนักดินแห้ง แต่น้อยกว่าปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ทำดินซีเมนต์

3. ดินตะกอนที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ (Cement-Modified Silt-Clay Soil) ดินชนิดตะกอนดิน (Silt-Clay) จะเป็นดินที่อ่อนมากหรือเป็นพื้นที่ที่ดินเปียกน้ำ ซีเมนต์ที่ใช้ในการผสมเพื่อที่จะไปปรับปรุงคุณสมบัติการบวมตัวและหดตัวของดิน ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้นั้นจะน้อยกว่าดินซีเมนต์

4. ดินซีเมนต์สภาวะพลาสติก (Plastic Soil-Cement) เป็นการนำดินซีเมนต์และน้ำมาผสมเข้าด้วยกัน โดยผสมให้มีความเหลวข้นคล้ายกับคอนกรีตแล้วนำไปเทหรือปูพื้นในสภาพที่เหลวข้นอยู่ แล้วปล่อยให้แข็งตัวโดยวิธีการบ่ม ความสามารถรับน้ำหนักและความคงทน มีคุณสมบัติเหมือนกับดินซีเมนต์

5. Cement-Treated Soil Slurries และ Grouts Cement-Treated Soil ประเภทนี้จะใช้ในงานบำรุงรักษาถนน เช่นทำ Mudjacking กับพื้นถนนที่เกิดการทรุดตัวของคันทาง (Exbankment) หรือ Subgrade

2.4 กลไกของการปรับปรุงคุณสมบัติของดินซีเมนต์

Lambe et al. (1959: 67-103) อธิบายว่าซีเมนต์เป็นวัสดุที่ประกอบขึ้นจากผลึกของ Tricalcium Silicate (C3S) Dicalcium Silicate (C2S) Tricalcium Aluminate (C3A) Tetraaluminate Ferrite (C4AF) เมื่อผสมกับน้ำ และดินจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้ได้สารประกอบ Calcium Silicate Hydrate (CSH) Calcium Aluminate Hydrate (CAH) และ Hydrate Lime ที่แยกตัวออกมาขณะเกิดปฏิกิริยา สารประกอบ CSH และ CAH จะมีคุณสมบัติเป็นตัวเชื่อมประสานเมื่อน้ำ

ระเหยออกไป นอกจากนั้น Released Hydrate Lime ที่เกิดขึ้นในขบวนการดังกล่าวยังทำให้ความเป็นด่างเพิ่มขึ้นทำให้ Colloid Gel หรือ Cement Gel ที่ประกอบไปด้วย CSH และ CAH เกิดการรวมตัวแล้วยึดเกาะกัน เป็นมวลที่มีกำลังรับแรงอัดสูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่ม ในดินเม็ดหยาบ เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน การยึดเกาะกันของเม็ดจะคล้ายกับในคอนกรีตแต่ว่า Cement Paste จะไม่อุดเต็มช่องว่างอนุภาคของเม็ดดิน แรงเชื่อมยึดติดจะเกิดแรงยึดเหนี่ยวทางด้าน Mechanical Interlock ของอนุภาคเม็ดดินที่มี CSH และ CAH เกาะอยู่ ที่ผิวอนุภาคของเม็ดดิน

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

Davidson (1961) กล่าวว่า หลังการผสมซีเมนต์กับดินเหนียวขึ้น จะทำให้ค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity) ลดลง เหตุผลน่าจะมาจากการแยกตัวของ Calcium Ion ในระหว่างที่เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน กลไกที่เกิดขึ้นถ้าไม่มาจากการแลกเปลี่ยน Cation Exchange ก็น่าจะมาจากการจับกลุ่มเพิ่มขึ้นของ Cation ในดินเหนียวกระบวนการทั้งสองทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงของประจุไฟฟ้าที่มีอยู่อย่างหนาแน่นบริเวณอนุภาคดินเหนียวส่งผลให้อนุภาคของดินเหนียวรวมตัวกัน และตกตะกอนเป็นวัสดุที่มีขนาดใหญ่ขึ้น ขนาดของอนุภาคที่ใหญ่ขึ้นนี้ทำให้ดินเหนียวมีคุณสมบัติคล้ายดินตะกอนคือมีค่าดัชนีพลาสติก (Plasticity) ต่ำ

Herzog (1963: 146-171) กล่าวถึงการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน เป็นการเกิดสารประกอบ CSH และ CAH ซึ่งเป็นปฏิกิริยาในช่วงแรก ส่วนปฏิกิริยาช่วงที่สองซึ่งต้องใช้เวลาเป็นปฏิกิริยาระหว่าง Calcium Ion ที่เกิดจาก Released Hydrated Lime ของปฏิกิริยาไฮเดรชันกับ Silica และ Alumina ที่มีอยู่ในเม็ดดิน มีผลทำให้กำลังอัดของดินซีเมนต์สูงขึ้นตามระยะเวลาการบ่มที่นานขึ้นซึ่งปฏิกิริยาดังกล่าวรู้จักกันดีกันว่า ปฏิกิริยาพอสโซลานิก

Moh (1965: 39-61) ได้ศึกษาเรื่องปฏิกิริยาของแร่ประกอบดินเหนียว กับซีเมนต์และสารเคมีผสมเพิ่มจำพวกโซเดียม และได้เขียนปฏิกิริยาของดินซีเมนต์เป็นสมการทางเคมี ดังต่อไปนี้



Pendola et al. (1969) สรุปว่าการปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์นั้น เป็นกระบวนการร่วมกันของปฏิกิริยาทางกายภาพและเคมีระหว่างซีเมนต์ น้ำและดินซึ่งประกอบด้วยกลไก 4 ชนิด คือ Hydration of Cement คือกระบวนการที่สำคัญ โดยขณะที่ซีเมนต์รวมตัวกับน้ำจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ทำให้เกิดการเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน และก่อรูปร่างเป็นโครงข่ายที่แข็งแรงต่อเนื่องมากบ้าง

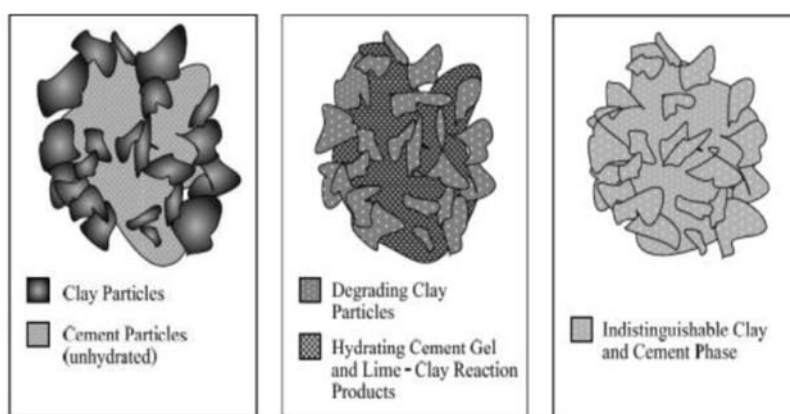
น้อยบ้างตามการคละขนาดของเม็ดดินทำให้เม็ดดินที่ไม่ได้ทำปฏิกิริยาเข้ามาใกล้ชิดกัน โครงข่ายที่กล่าวมาข้างต้น นอกจากจะเพิ่มความแข็งแรงให้กับวัสดุที่ถูกปรับปรุงแล้ว ยังแทรกตัวอยู่ระหว่างช่องว่างของเม็ดดินทำให้ลดการซึมผ่านและการบวมตัวของมวลดินรวมทั้งเพิ่มความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ เนื่องจากสภาวะการเปลี่ยนแปลงความชื้นรอบ ๆ อีกด้วย

2.5 โครงสร้างของดินซีเมนต์

Czernin (1962: 36-50) กล่าวว่าหลังจากที่ผสมซีเมนต์กับน้ำจะเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชันทำให้เกิดสารประกอบ CSH ในรูปของเจลขึ้นในส่วนผสมของซีเมนต์และน้ำดังนั้น จึงสามารถที่จะเข้าใจได้ว่า ภายใต้การบดอัดอนุภาคของปูนซีเมนต์มิได้ผสมกับดินเพียงอย่างเดียว แต่จะเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชันด้วย

Mitchell and El Jack (1966: 297-305) ได้อธิบายถึงการเปลี่ยนแปลงของส่วนประกอบและโครงสร้างของดินซีเมนต์ ดังรูปที่ 2.2 โดยแบ่งเป็น 3 ระยะดังนี้ ภายใต้การบดอัด ช่วงนี้เป็นช่วงที่อนุภาคของปูนซีเมนต์ยังไม่เกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชัน แต่อนุภาคของปูนซีเมนต์จะเข้าผสมกับอนุภาคของดิน ดูรูปที่ 2.2 (ก) ภายใต้การบ่มในระยะเวลาสั้น อนุภาคของปูนซีเมนต์จะเริ่มเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชันทำให้เกิดซีเมนต์เจลแทรกไปตามช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และปล่อย Lime ออกมาทำปฏิกิริยา Soil Silica และ Soil Alumina ที่มีอยู่ในดินทำให้เกิดการแยกตัวของสารทั้งสอง จากนั้นซีเมนต์เจลและสารประกอบที่ได้จากปฏิกิริยาจะแทรกซึมไปตามอนุภาคของดิน ดูรูปที่ 2.2 (ข)

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของดินซีเมนต์ ภายใต้การบ่มในระยะยาว จะเกิดปฏิกิริยาซีเมนต์ไฮเดรชันสมบูรณ์ อันมีผลทำให้ซีเมนต์เจล และขอบเขตของการแทรกซึมกระจายไปทั่วก่อนดินซีเมนต์ทำให้กำลังอัดของดินซีเมนต์เพิ่มมากขึ้นตามระยะเวลา ในการบ่มดูรูปที่ 2.2 (ค)



(ก) หลังบดอัดเสร็จ (ข) หลังระยะบ่มสั้นๆ (ค) หลังระยะบ่มนาน ๆ

รูปที่ 2.2 โครงสร้างของดินซีเมนต์

ที่มา: http://eng.sut.ac.th/ce/ce_course/download/struc/17MONGKOL/MONGKOL.pdf

2.6 ปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อกำลังของดินซีเมนต์ปริมาณของซีเมนต์

Felt (1955: 138-163) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณซีเมนต์โดยนำดินสามชนิดคือ Loamy Sand Medium Clay และ Silty Clay Loam มาทดสอบผสมซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 6 – 30 โดยปริมาตร ที่ระยะเวลาการบ่มตั้งแต่ 2 วัน จนถึง 1 ปี และผ่านสภาพภูมิอากาศ 2 แบบ คือ Wet-Dry และ Freeze - Thaw ตั้งแต่ 12 รอบ ถึง 96 รอบ ผลการศึกษาสรุปได้ว่า กำลังอัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ ดินที่มีขนาดเม็ดใหญ่จะมีกำลังรับแรงอัดสูงกว่าดินที่มีขนาดเม็ดเล็ก ดินที่มีปริมาณดินเหนียวผสมอยู่สูงจะมีกำลังอัดน้อยกว่าดินที่มีปริมาณดินเหนียวต่ำและค่าความคงทนของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ นอกจากนั้น Felt (1955) ศึกษาอิทธิพลของประเภทซีเมนต์โดยนำดินสองชนิดคือ Silty Clay Loam และ Sandy Loam มาผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3 พบว่า ดินที่ผสมด้วยซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะให้กำลังที่สูงกว่าดินที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 แต่ซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะไม่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของดินทุกชนิด เช่น ดิน Sandy Loam ผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะใช้กำลังอัดเป็นสองเท่าของดินที่ผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 ที่ระยะเวลาการบ่ม 7 วันและเป็น 1.4 เท่า ที่ระยะเวลาการบ่ม 28 วัน แต่สำหรับดิน Silty Clay Loam เมื่อผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะให้กำลังสูงกว่า ดินที่ผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 เพียงเล็กน้อยเท่านั้น

Ruenkairergsa (1982: 17-27) อธิบายว่า ปริมาณซีเมนต์เป็นปัจจัยหลักที่มีอิทธิพลต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ อัตราการเพิ่มกำลังอัดของดินซีเมนต์ ขึ้นอยู่กับชนิดของดิน พันธะเชื่อมประสานในดิน เม็ดหยาบจะแข็งแรงกว่าในดินเม็ดละเอียด ดินที่มีดินเหนียวมากจะให้กำลังอัดต่ำ ดังนั้น ปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจึงควรหาจากการทดลองในห้องทดลอง

Clare and Pollard (1951: 57-64) ศึกษาอิทธิพลของประเภทซีเมนต์โดยนำดิน 3 ชนิดในประเทศอังกฤษมาผสมกับ ซีเมนต์พบว่า มีระยะเวลาบ่ม 24 ชั่วโมง ดินซีเมนต์จะมีกำลังอัดสูงมากเมื่อผสมดินกับซีเมนต์ประเภท High Alumina ขณะที่ซีเมนต์ประเภทอื่นต้องมีระยะเวลาการบ่ม 5 วันและถ้าใช้ซีเมนต์ประเภท British Rapid Hardening ซึ่งเทียบได้กับซีเมนต์ประเภทที่ 3 พบว่าที่ระยะเวลาการบ่มเท่ากัน ค่ากำลังคราก (Yield Strength) ที่ได้จะมีค่าสูงกว่า ดินที่ผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 1 มาก Massachusetts Institute of Technology (1954) ได้นำดินตะกอนปนทราย และดินเหนียว (Clayey Sandy Silt) ในรัฐไอโอวา มาผสมกับซีเมนต์และพบว่า ดินที่ผสมกับซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะมีกำลังอัดสูงกว่า ดินที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 1.5 เท่า และ 1.3 เท่า ที่ระยะบ่ม 7 วันและ 28 วันตามลำดับ

Davidson and Bruns (1960: 28-45) ได้รายงานผลเกี่ยวกับกำลังอัดโดยวิธีทดสอบ Freeze Thaw ของดินทราย ดินตะกอน และดินเหนียว บริเวณรัฐไอโอวา ประเทศสหรัฐอเมริกา และสรุปว่าการใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 3 ในการก่อสร้างถนนจะประหยัดกว่าใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 เพราะว่าการใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 1 ต้องใช้เวลาในการบ่มอย่างน้อย 7 วัน แต่ว่าการใช้ซีเมนต์ประเภทที่ 3 จะใช้เวลาในการบ่มน้อยกว่า ทำให้ได้เปรียบเรื่องระยะเวลาในการก่อสร้าง

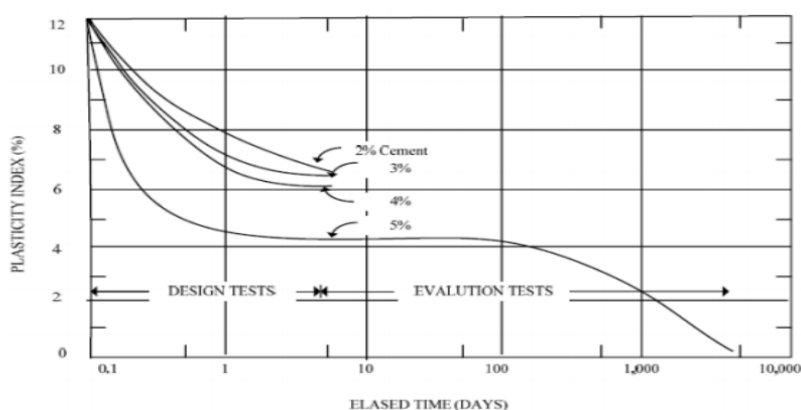
Horpibulsuk (2001), Miura et al. (2001) แสดงให้เห็นว่า ปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์สามารถรวมไว้ในตัวแปรตัวเดียวได้ ตัวแปรนี้เรียกว่า Clay – water/Cement Ratio (W_c/C) และถูกนิยามว่าเป็นอัตราส่วนระหว่างปริมาณความชื้นในดินต่อปริมาณซีเมนต์โดยน้ำหนักผึ่งแห้งและ Horpibulsuk (2001) ยังได้สร้างสมการที่สามารถทำนายกำลังของดินซีเมนต์ที่ปริมาณซีเมนต์ปริมาณความชื้น ระยะเวลาบ่มต่าง ๆ โดยอาศัยผลการทดสอบเพียงค่าเดียว

ทรงพล บุญมาตี (2529) ได้ทำการทดสอบกำลังอัดของดินลูกรังผสมซีเมนต์และสรุปว่ากำลังอัดของดินจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์และระยะเวลาการบ่มที่เพิ่มขึ้น โดยที่จะเพิ่มขึ้นอย่างรวดเร็วในช่วง 7 วันแรกหลังจากนั้นอัตราการเพิ่มของกำลังอัดจะลดลง

จากงานวิจัยเหล่านี้สรุปว่าปัจจัยหลักที่มีผลต่อกำลังของดินซีเมนต์คือ ปริมาณน้ำและปริมาณซีเมนต์ คุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติเชิงวิศวกรรมของดินซีเมนต์ถูกศึกษาอย่างจริงจังและมีการศึกษาด้านนั้นมากขึ้นเรื่อย ๆ เพื่อที่จะได้ข้อมูลผลวิจัยนำไปคิดค้นพัฒนาคุณสมบัติของดินซีเมนต์ให้มีประสิทธิภาพการใช้งานมากยิ่งขึ้นและให้เหมาะสมสำหรับการเลือกใช้งานดินซีเมนต์ที่ต้องการคุณสมบัติเฉพาะงานด้วย

2.7 ชนิดของดิน

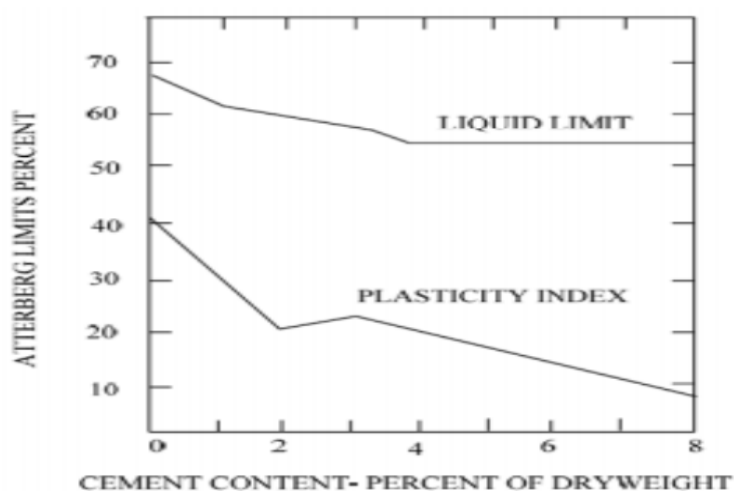
Winterkorn and Chandrasekhar (1951: 10-29) รายงานผลการทดสอบดินลูกรังผสมซีเมนต์ว่าจะได้ผลดีหรือไม่ขึ้น ขึ้นอยู่กับปริมาณสารอินทรีย์ที่ผสมอยู่ในดิน และ Degree of Lateralization ของดินลูกรัง ได้นำทรายมาผสมกับดินเหนียว โดยทำการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินเหนียวที่ใช้ผสมตั้งแต่ 0-100 เปอร์เซ็นต์ แล้วทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างโมดูลัสยืดหยุ่น ที่ได้จากการทดสอบกำลังอัดกับปริมาณดินเหนียว พบว่าเมื่อปริมาณดินเหนียวเพิ่มขึ้นกำลังอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นจะมีค่าลดลง



รูปที่ 2.3 ความสัมพันธ์ของค่าดัชนีพลาสติกกับเวลา (Redus, 1958)

ที่มา: http://www.research-system.siam.edu/images/AD.Siam/civil/4153_56_002/2.pdf

Redus (1958: 13-19) ได้นำดินซีเมนต์ชั้นพื้นทาง (Base Course) ของสนามบินต่าง ๆ ซึ่งมีอายุการใช้งานนานหลายปี มาทำการทดสอบหาค่าพิกัดอัตรเตอร์เบิร์ก (Atterberg's Limit) พบว่าปริมาณซีเมนต์มีความสัมพันธ์ต่อการลดลงของดัชนีพลาสติก กล่าวคือถ้าปริมาณซีเมนต์ที่ผสมมากดัชนีพลาสติกจะลดลงอย่างรวดเร็ว และถ้าปริมาณซีเมนต์ที่ผสมน้อย ดัชนีพลาสติกจะลดลงอย่างช้า ๆ นอกจากนี้ระยะเวลาที่ทำให้เกิดปฏิกิริยา ไฮเดรชันก็มีผลต่อการลดลงของค่าดัชนีพลาสติก ผลการศึกษานี้ตรงกับผลการวิจัยของ Spangler and Patel (1949) ซึ่งพบความสัมพันธ์ระหว่างค่าดัชนีพลาสติกกับระยะเวลาการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ใน 1 ชั่วโมง ดังรูปที่ 2.4

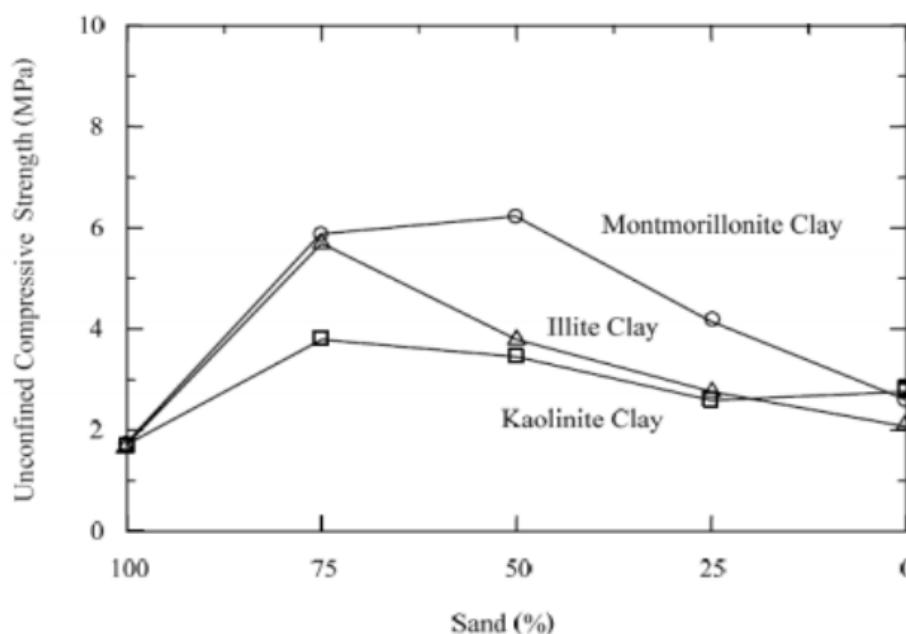


รูปที่ 2.4 ค่าพิกัดอัตรเตอร์เบิร์กของดินไอโอวา (Iowa) หลังเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน 1 ชั่วโมง
(Spanler et al., 1949)

ที่มา: http://www.research-system.siam.edu/images/AD.Siam/civil/4153_56_002/2.pdf

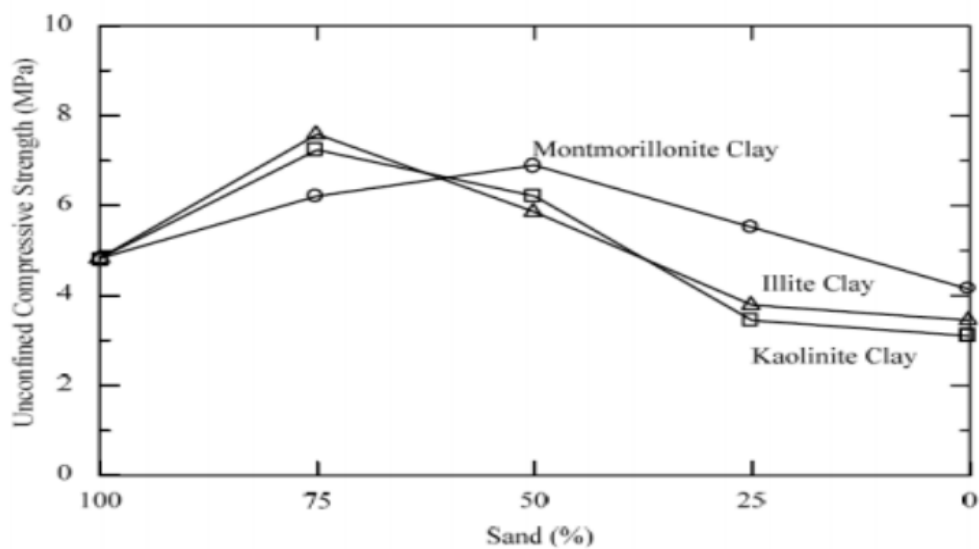
Norling and Peckard (1958: 20-31) ศึกษาอิทธิพลของปริมาณมวลรวมหยาบที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 โดยใช้ดินหลายชนิด คือ ทรายหยาบ ทรายละเอียด และทรายดินเหนียวผสมซีเมนต์ในปริมาณที่เท่ากัน แต่แปรผันมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 แล้วทำการทดสอบหาค่าพิกัดอัตรเตอร์เบิร์ก 7 วัน และพบว่า Loamy Sand และ Fine Sand Loam จะมีกำลังอัดลดลง เมื่อปริมาณมวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงเบอร์ 4 เพิ่มขึ้นเกินกว่า 50 เปอร์เซ็นต์ของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด

Davidson et al. (1962: 42-63) ทำการทดลองโดยใช้ทรายผสมกับดินเหนียวในอัตราส่วนทรายต่อดินเหนียว 100:0 75:25 50:50 25:75 และ 0:100 ดินเหนียวที่ใช้เป็นดินเหนียวจำพวกคาโอลิไนท์ (Kaolinite) อิลไลต์ (Illite) และมอนโมริลโลไนท์ (Montmorillonite) ผลการทดสอบแสดงดังรูปที่ 2.5 รูปที่ 2.6 และรูปที่ 2.7 สรุปว่า เมื่อปริมาณดินเหนียวมากไป (เกินกว่า 25 เปอร์เซ็นต์) จะทำให้กำลังอัดของดินซีเมนต์ลดลงอย่างเด่นชัด โดยที่ดินเหนียวจำพวกมอนโมริลโลไนท์ มีแนวโน้มว่าจะมีกำลังสูงกว่าดินเหนียวจำพวกคาโอลิไนท์และจำพวกอิลไลต์



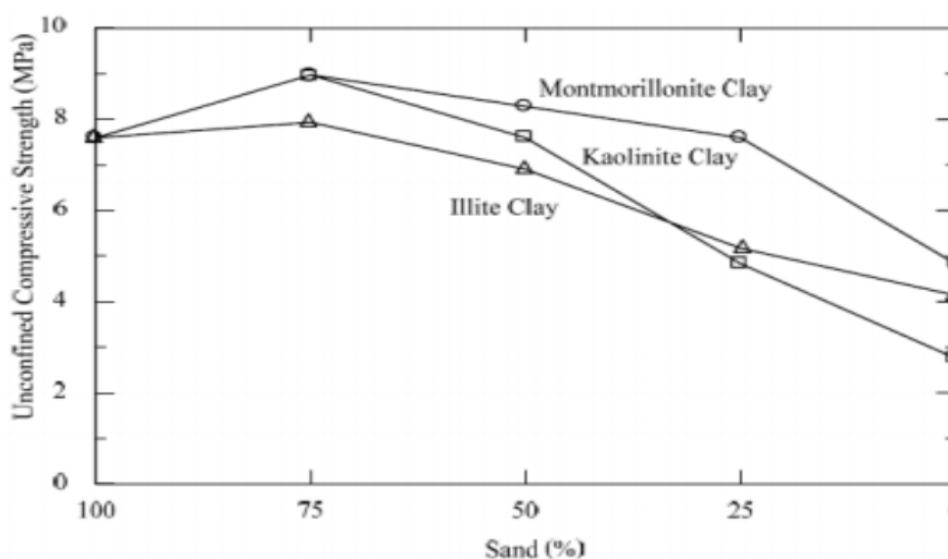
รูปที่ 2.5 อิทธิพลของแร่ดินเหนียวที่มีต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ 8%
(Davidson et al. 1962)

ที่มา: http://eng.sut.ac.th/ce/ce_course/download/struc/17MONGKOL/MONGKOL.pdf



รูปที่ 2.6 อิทธิพลของแร่ดินเหนียวที่มีต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ 12%
(Davidson et al. 1962)

ที่มา: http://eng.sut.ac.th/ce/ce_course/download/struc/17MONGKOL/MONGKOL.pdf



รูปที่ 2.7 อิทธิพลของแร่ดินเหนียวที่มีต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินซีเมนต์ ปริมาณซีเมนต์ 16%

(Davidson et al. 1962)

ที่มา: http://eng.sut.ac.th/ce/ce_course/download/struc/17MONGKOL/MONGKOL.pdf

Moh et al. (1967: 42-46) รายงานว่า ดินลูกรังในประเทศไทย ที่มีค่า PI ประมาณ 11 ถึง 19 เมื่อนำมาผสมกับซีเมนต์ร้อยละ 4 ถึง 7 จะให้ค่ากำลังอัดมากกว่า 852 กิโลปาสกาล ซึ่งเป็นข้อกำหนดของ British Road Research Laboratory ที่มีประสบการณ์ในการทดลองใช้ในแอฟริกาและยังเน้นให้เห็นถึงความสำคัญของการบดอัดว่า ถ้าค่าร้อยละของการบดอัดลดลงเพียงเล็กน้อยจะมีผลทำให้กำลังอัดลดลงอย่างเห็นเด่นชัด

Bell (1976: 267-278) พบว่าแร่ดินเหนียว Montmorillonite เมื่อทำปฏิกิริยากับปูนขาว จะทำให้ Aqueous phase ลดลง ทำให้สาร cementitious ซึ่งทำหน้าที่ยึดเกาะอยู่ในปูนขาวไม่เพียงพอต่อการแข็งตัวการแก้ไขคือ การเพิ่มปริมาณซีเมนต์ลงไปเพื่อเพิ่ม Free Lime ให้มากขึ้นโดยปกติการเพิ่มซีเมนต์มากกว่าร้อยละ 15 จะทำให้ดินจำพวก Montmorillonite มีคุณภาพดีสามารถนำมาใช้งานได้

2.8 น้ำยางพาราชั้น

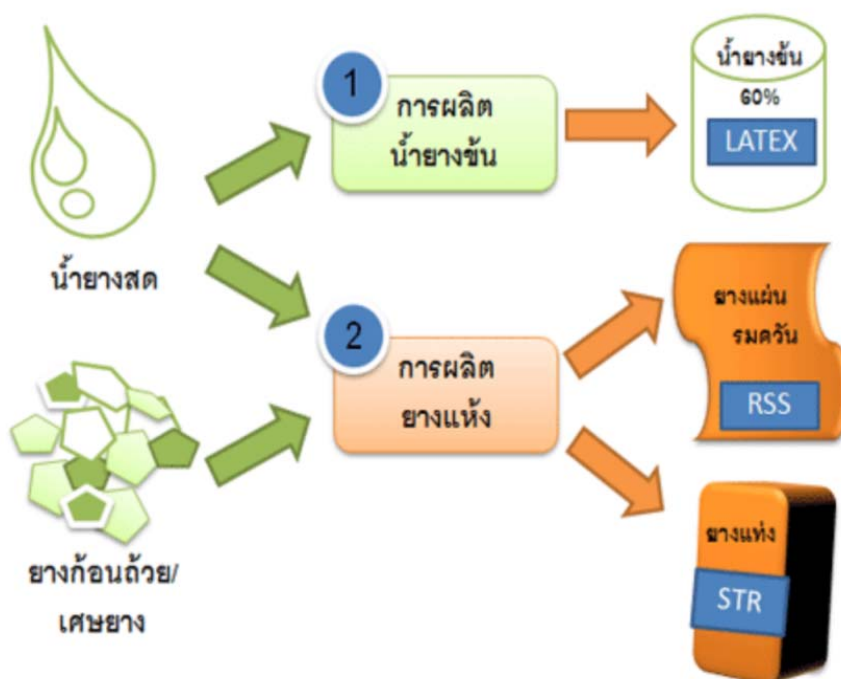
2.8.1 ความเป็นมาของน้ำยางพารา

สำหรับยางพารา ต้นยางพาราโดยทั่วไปเปิดกรีดได้เมื่ออายุประมาณ 6 ปี หรือมีเส้นรอบวงมากกว่า 50 ซม. หลังจากได้น้ำยางพาราแล้ว น้ำยางพาราจะถูกนำมาผลิตเป็นน้ำยางดิบ ใช้ในอุตสาหกรรมผลิตภัณฑ์ยาง 2 ประเภทหลักคือ น้ำยางข้น (Concentrated Latex) และยางแห้ง (Dry Rubber) เช่น ยางแผ่นรมควัน (Ribbed Smoked Sheet) และยางเครพสีขาว (White Crepe) หากต้องการทำน้ำยางข้นต้องเติมแอมโมเนีย เตตราเมทิลไทแรมไดซัลไฟด์ และซิงค์ออกไซด์ รักษาสภาพน้ำ

ยาง จากนั้นจึงเติมไดแอมโมเนียมไฮโดรเจนฟอสเฟต ทำให้แมกนีเซียมตกลงกันถึง นำเข้าเครื่องปั่น แยก น้ำยางชั้น 60 เปอร์เซนต์ออกมา รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียความเข้มข้น 0.7 เปอร์เซนต์ หรือ 0.2 เปอร์เซนต์ ร่วมกับสารช่วยเตตราเมทิลไทแรมไดซัลไฟด์ และซิงค์ออกไซด์ และน้ำยางชั้นจะถูกนำไปใช้ในหลายอุตสาหกรรมมากมาย โดยหลัก ๆ เช่น ผลิตภัณฑ์ยางจุ่มขึ้นรูป ถังมืออเนกประสงค์ต่าง ๆ ถังมือแพทย์ชนิดต่าง ๆ ถังยางอนามัย และ ลูกโป่ง ยังรวมไปถึงผลิตภัณฑ์โฟมต่าง ๆ ด้วยเช่น ที่นอน เบาะรองกันกระแทกและพรม ผลิตภัณฑ์ประเภทอื่น ๆ อีกเช่น เส้นด้ายยางยืด และยังสามารถใช้เป็นตัวยึดติดในผลิตภัณฑ์ใยมะพร้าวและเครื่องหนัง ในการแพร่กระจายของโรคเอดส์ เป็นผลทำให้ความต้องการน้ำยางชั้นเพื่อนำไปผลิตถังยางอนามัยเพิ่มขึ้นกว่า 60% มากกว่า 90% ของน้ำยางชั้นถูกผลิตจากกระบวนการปั่น (Centrifuged) กระบวนการอื่น ๆ ก็มี Creaming Evaporation และ Electro Decantation ในประเทศไทย น้ำยางชั้นจะมีอยู่ 3 ชนิดด้วยกันคือ HA MA และ LA-TZ

2.8.2 อุตสาหกรรมแปรรูปยาง

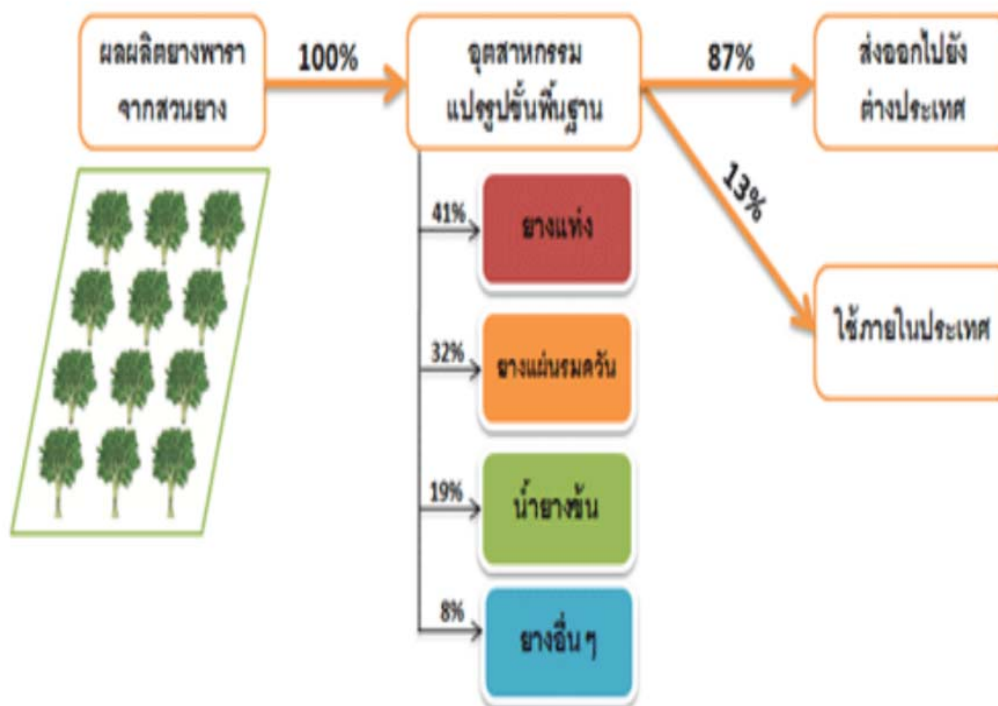
อุตสาหกรรมแปรรูปยางเพื่อผลิตเป็นวัตถุดิบของอุตสาหกรรม แยกได้เป็น 2 ประเภทหลัก คือ การผลิตน้ำยางชั้น และการผลิตยางแท่ง



รูปที่ 2.8 การผลิตน้ำยางชั้นและน้ำยางแท่ง

ที่มา: http://www.southernrubbercenter.com/pr?art_id=221

ผลผลิตยางพาราจะถูกนำไปแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ขั้นพื้นฐานหลัก ๆ ที่สำคัญ ได้แก่ น้ำยางชั้น ยางแผ่นรมควัน ยางแท่ง และยางอื่น ๆ ก่อนส่งออกไปยังตลาดต่างประเทศ หรือส่งต่อไปใช้ในอุตสาหกรรมต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้องภายในประเทศ



รูปที่ 2.9 แสดงการแปรรูปน้ำยางพารา ชนิดต่าง ๆ ภายในประเทศและต่างประเทศ

ที่มา: http://www.aftc.or.th/itc/products_analyze.php?id=137&fgrp_id=1&fmnu_id=3

2.8.3 วิธีการผลิตยางน้ำชั้นของไทย

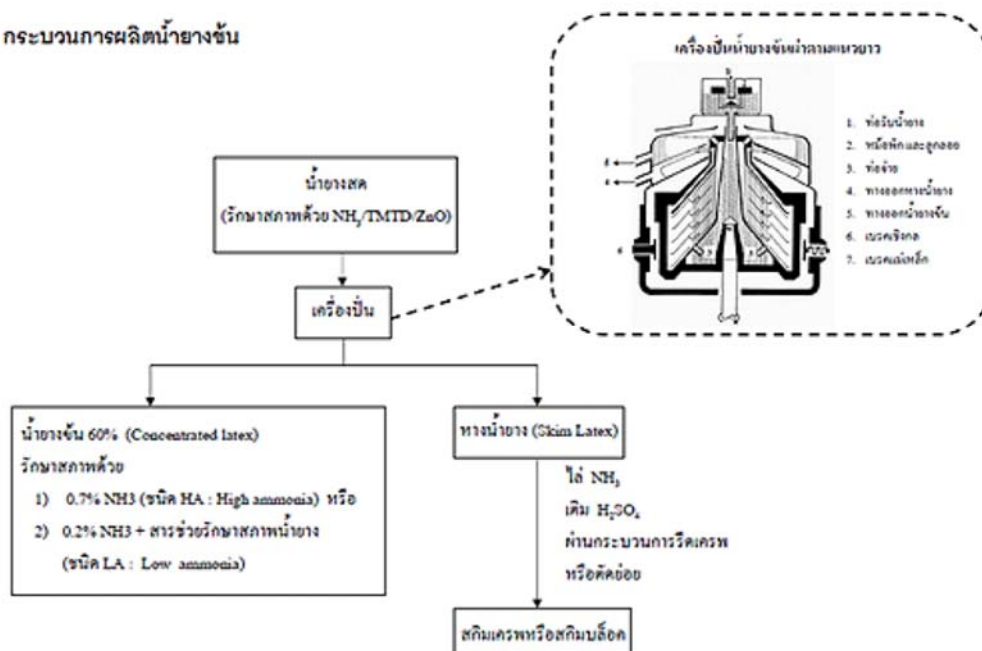
วิธีการผลิตน้ำยางชั้น มี 4 วิธี คือ 1. วิธีระเหยน้ำ 2. วิธีทำให้เกิดครีม 3. วิธีปั่น และ 4. วิธีแยกด้วยไฟฟ้า ทั้งนี้การผลิตน้ำยางชั้นของไทยใช้วิธีการปั่นแยกด้วยเครื่องปั่นความเร็วสูงเพื่อแยกน้ำออก ส่วนที่เป็นยางนี้มีอยู่ในปริมาณไม่แน่นอน มีตั้งแต่ 22% จนถึง 48% ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับพันธุ์ อายุ ระบบกรีต และฤดูกาล ดังนั้นในการซื้อจากน้ำหนักหรือปริมาณของน้ำยางโดยตรงได้ จะต้องใช้น้ำหนักของส่วนที่เป็นยางเรียกว่า DRC หรือ Dry Rubber Content แต่เพียงอย่างเดียว แต่โดยทั่วไปแล้วน้ำยางสดจะมีส่วนเป็นยาง หรือ DRC เฉลี่ยประมาณ 35% น้ำยางสด (Latex) ที่ได้จากการกรีต (Tapping) ต้นยางออกมาใหม่ ๆ จะอยู่ในสภาพที่เรียกว่า Colloids ซึ่งประกอบด้วยส่วนที่สำคัญดังนี้

ส่วนที่เป็นน้ำ (Watery) ส่วนนี้ทำหน้าที่เป็นตัวกลาง (Medium) ของ (Colloids) มีอยู่ประมาณ 60% ของน้ำยางบริสุทธิ์ มีความถ่วงจำเพาะ (S.gr) 1

ส่วนที่เป็นของแข็งแต่ไม่ใช่ยาง (Non-rubber solid) ประกอบด้วย Protein Lipids Carbohydrate และ Inorganic Salts มีอยู่ทั้งสิ้นประมาณ 5% โดยน้ำหนักของน้ำยาง มีทั้งที่อยู่ในรูปสารละลายและสารแขวนลอยองค์ประกอบเหล่านี้ทำให้ส่วนที่เป็นน้ำกลายเป็นน้ำที่ไม่บริสุทธิ์น้ำยางที่รวมเอาส่วนนี้เข้าไปด้วยเรียกว่า Serum มีความถ่วงจำเพาะประมาณ 1.02

ส่วนที่เป็นยาง (Rubber Hydrocarbon) เป็นส่วนที่มนุษย์เรานำไปใช้ประโยชน์ พวกยางแผ่น ยางแท่ง หรือยางทุกรูปแบบที่ซื้อขายกันอยู่ในตลาดได้ไปจากส่วนนี้ทั้งสิ้น น้ำยางที่ยังสดอยู่ส่วนนี้จะอยู่กันเป็นเม็ด ๆ เรียกว่า อนุภาคยาง (Rubber Particles) ซึ่งแขวนลอย (Suspended) อยู่ในส่วนของเหลว (Serum) และมีประจุไฟฟ้าเป็นลบ (Negative Charges) อนุภาคยางมีความถ่วงจำเพาะ 0.92 ซึ่งเบากว่าส่วนที่เป็นตัวกลางซึ่งมี ถ.พ. 1.02 แต่ที่อนุภาคยางไม่ลอยฟุ้งอยู่บนผิวของตัวกลางก็เพราะว่าแรงผลักดันซึ่งกันและกันอันเนื่องมาจากการมีประจุไฟฟ้าที่เหมือนกันทำให้อนุภาคยางเคลื่อนที่ไปมาแบบไร้ทิศทาง (Brownian Movement) อยู่เสมอ อนุภาคยางจะหยุดการเคลื่อนที่เมื่อประจุไฟฟ้ารวมของน้ำยางเป็นศูนย์ (Isoelectric Point) จากนั้นก็จะจับตัวกันเป็นก้อนลอยฟุ้งบนผิวของ Serum การทำยางแผ่น ยางแท่ง หรือยางเครพ ที่เราเติมกรดลงไปก็เพื่อวัตถุประสงค์ดังกล่าวนี้ ในทางตรงกันข้ามเวลาถนอมน้ำยาง เราจะเติม Ammonia ลงไปก็เพื่อให้ประจุลบที่เกิดจาก (OH) ไปครอบอนุภาคยางเอาไว้ เพื่อทำหน้าที่เป็นด่านป้องกันประจุบวก (Positive Charges) ใด ๆ ที่จะเข้าไปทำให้ประจุลบบนอนุภาคยางเป็นศูนย์นั่นเอง

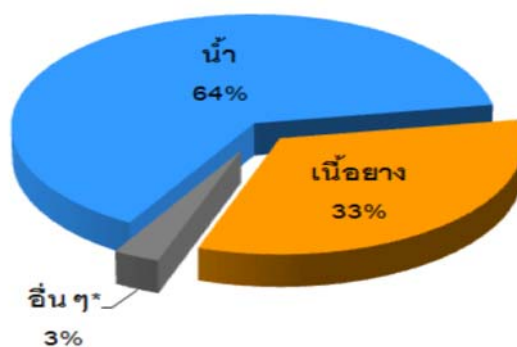
กระบวนการผลิตน้ำยางข้น



รูปที่ 2.10 กระบวนการการผลิตน้ำยางพาราข้น

ที่มา: http://www.aftc.or.th/itc/products_analyze.php?id=137&fgrp_id=1&fmnu_id=3

ส่วนประกอบของน้ำยางสด

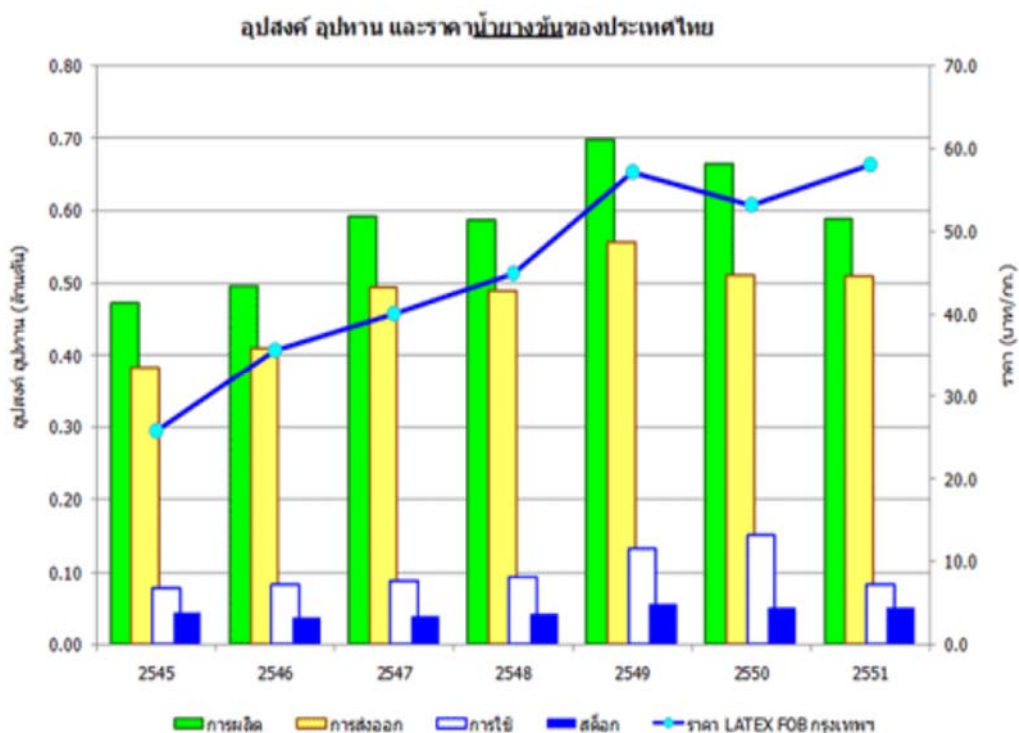


รูปที่ 2.11 ส่วนประกอบของน้ำยางพารา

ที่มา: http://www.aftc.or.th/itc/products_analyze.php?id=137&fgrp_id=1&fmnu_id=3

ในรูปที่ 2.10 และรูปที่ 2.11 แสดงกระบวนการผลิตน้ำยางข้นและส่วนประกอบของน้ำยางสด น้ำยางสดจากสวนยางจะมีปริมาณเนื้อยางเฉลี่ยประมาณร้อยละ 33 ทำให้การขนส่งและการซื้อขายไม่สะดวกนอกจากนั้นยังไม่เหมาะสมจะนำไปเข้ากระบวนการผลิตเพื่อทำการผลิตภัณฑ์ให้มีคุณภาพสม่ำเสมอได้ ดังนั้นจึงต้องทำให้อยู่ในรูปของน้ำยางข้นที่มีเนื้อยางอย่างน้อยร้อยละ 60

2.8.4 อุปสงค์ อุปทาน และราคาน้ำยางข้นของประเทศไทย



รูปที่ 2.12 อุปสงค์ อุปทาน และราคาน้ำยางข้นของประเทศไทย

ที่มา: http://www.aftc.or.th/itc/products_analyze.php?id=137&fgrp_id=1&fmnu_id=3

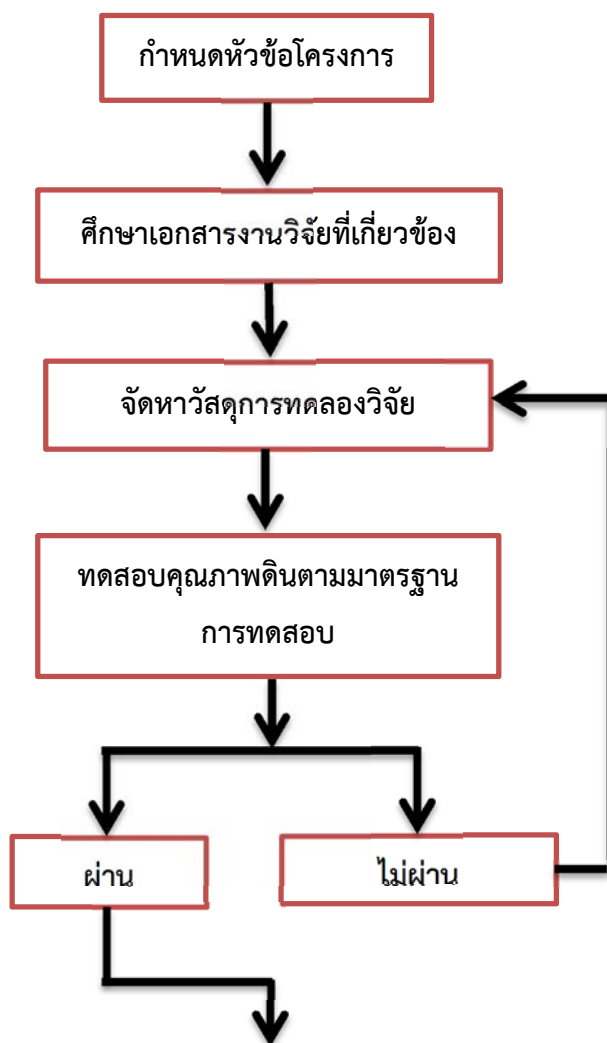
ในประเทศไทยมีการผลิตน้ำยางพาราใช้ทั้งในและนำส่งออกนอกประเทศเป็นธุรกิจขนาดใหญ่ของประเทศ จากกราฟจะเห็นได้ว่าในเกือบทุก ๆ ปี อุปสงค์ในการซื้อน้ำยางข้นที่ส่งขายนอกประเทศมีสัดส่วนที่มากกว่าซื้อใช้ภายในประเทศ ทำให้อุปทานของผู้ผลิตที่ต้องการขายเพิ่มมากขึ้นตามความต้องการของผู้ซื้อ จึงส่งผลทำให้ราคาของน้ำยางข้นมีแนวโน้มสูงเพิ่มมากขึ้นเมื่อดูจากเส้นกราฟที่แสดงในรูปที่ 2.12

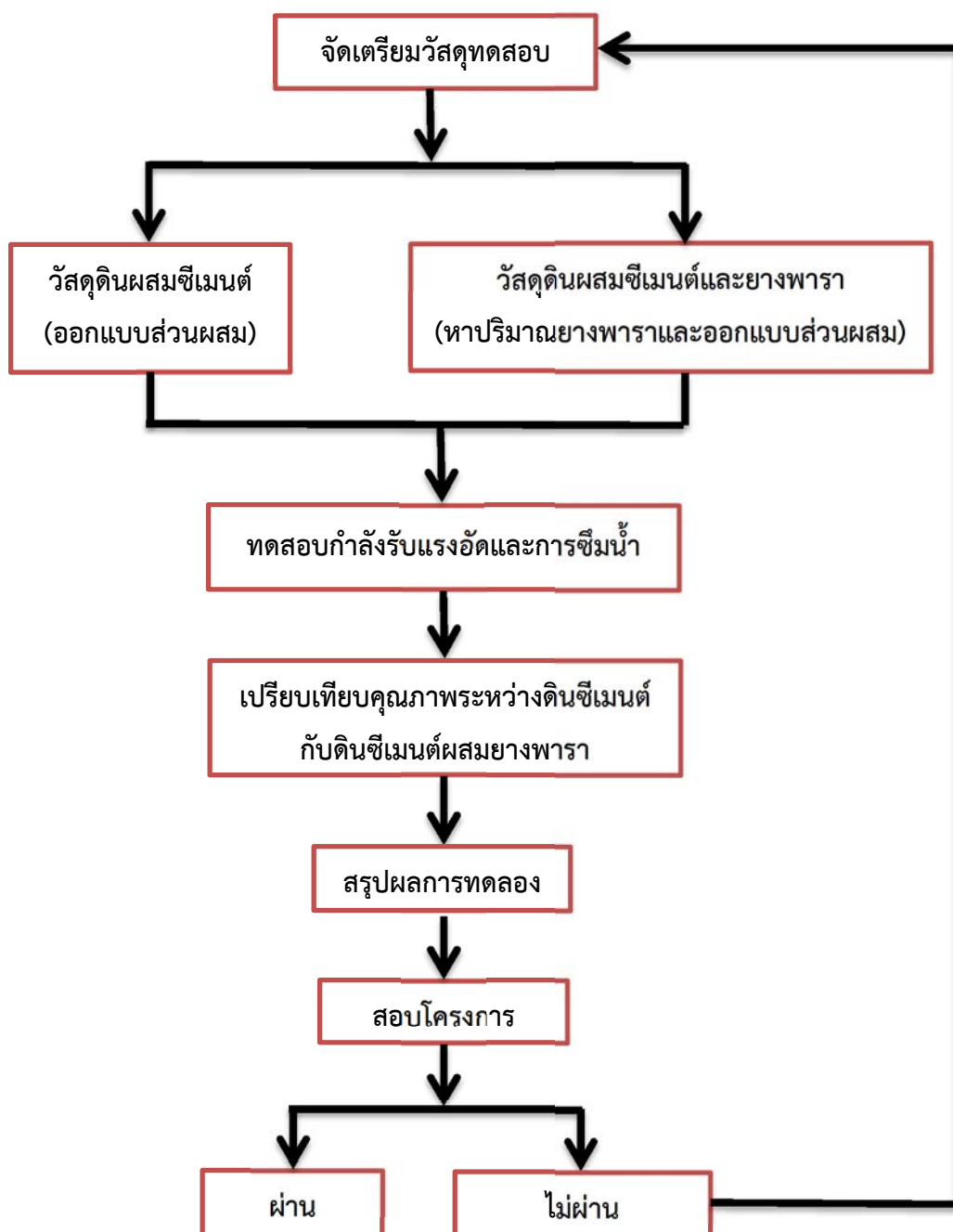
บทที่ 3

วิธีการดำเนินงาน

การประยุกต์ใช้น้ำยางพาราผสมดินซีเมนต์พัฒนาความสามารถในการรับน้ำหนักและป้องกันการซึมน้ำของดิน การทดสอบระดับห้องปฏิบัติการมีความสำคัญอย่างยิ่งซึ่งในการวิจัยครั้งนี้ทำการทดสอบที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒซึ่งประกอบไปด้วยห้องปฏิบัติการปฐพีกลศาสตร์ และห้องปฏิบัติการคอนกรีตเทคโนโลยี

3.1 ขั้นตอนการดำเนินงาน





รูปที่ 3.1 แผนผังขั้นตอนการดำเนินงาน

3.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบในห้องปฏิบัติการ

1. ดินลูกรังบดละเอียด
2. น้ำยางพาราชั้น 55%
3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
4. น้ำ

3.3 การออกแบบส่วนผสม

3.3.1 อัตราส่วนระหว่างดินลูกรังต่อปูนซีเมนต์ต่อน้ำ

ในงานวิจัยนี้ใช้ดินลูกรังน้ำหนัก 6,000 กรัม อัตราส่วนปูนซีเมนต์(น้ำหนัก) 1%(60 กรัม) 2%(120 กรัม) 2.5%(150 กรัม) 5%(300 กรัม) 7.5%(450 กรัม) และ 10%(600 กรัม) โดยใช้ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 เนื่องจากเป็นปูนซีเมนต์ที่มีคุณสมบัติรับแรงอัดได้ดี ปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินซีเมนต์อัตราส่วน 9.1% มีน้ำหนักเท่ากับ 546 กรัม

3.3.2 การเตรียมส่วนผสมดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราเจือจาง

จากงานวิจัยพีรวัฒน์ (2557) ได้แนะนำปริมาณน้ำยางพาราชั้นที่ผสมปูนซีเมนต์อยู่ระหว่าง 10-15% ของปริมาณน้ำที่ใช้ผสม ถ้าผสมน้ำยางในอัตราส่วนที่มากกว่า 15% จะทำให้ดินซีเมนต์เมื่อผสมน้ำยางแล้วจับตัวเป็นก้อน ซึ่งงานวิจัยนี้จึงกำหนดปริมาณน้ำยางชั้น 2.5% 5% และ 7.5% ของน้ำที่ใช้ผสมดินซีเมนต์ (รายการคำนวณแสดงในภาคผนวก ข)

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของดินต่อซีเมนต์

เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ (g)	ดินลูกรัง (g)	น้ำ (g)
1%	60	6,000	546
2%	120	6,000	546
2.5%	150	6,000	546
5%	300	6,000	546
7.5%	450	6,000	546
10%	600	6,000	546

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นกับปริมาณน้ำ

เปอร์เซ็นต์น้ำยางพาราชั้นในน้ำ ยางพาราเจือจาง	ปริมาณน้ำที่ใช้ (g)	ปริมาณน้ำยางพาราชั้นที่ใช้ (g)
0%	546.00	0.00
2.5%	521.18	24.82
5%	496.36	49.64
7.5%	471.55	74.45

3.4 การผสมตัวอย่าง

3.4.1 ดินซีเมนต์



รูปที่ 3.2 ดินลูกรังผสมซีเมนต์

นำดินลูกรังปริมาณ 6,000 กรัม ที่ได้จากการเตรียมตัวอย่างผสมเข้ากับซีเมนต์ที่ 1% 2% 2.5% 5% 7.5% และ 10% ทำการคลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน



รูปที่ 3.3 ดินลูกรังผสมซีเมนต์และน้ำ

ดินลูกรังผสมซีเมนต์และน้ำ โดยผสมน้ำตาม Optimum Water Content 9.1 % เท่ากับ 546 กรัม เข้ากับดินลูกรังผสมซีเมนต์ที่เตรียมไว้ก่อนหน้านี้แล้ว คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน



รูปที่ 3.4 ตัวอย่างดินซีเมนต์บ่ม 7 วัน

เมื่อได้ตัวอย่างที่บดอัดตามวิธีการบดอัดดิน (Compaction) แล้วทำการบ่มตัวอย่างโดยการนำถุงพลาสติกมาห่อเป็นเวลา 7 วัน



รูปที่ 3.5 ตัวอย่างดินซีเมนต์แช่น้ำก่อนทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด

นำตัวอย่างที่ต้องการไปทดสอบหาล้างด้วยวิธีทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test) ต้องนำตัวอย่างที่แช่น้ำให้อยู่ในสภาวะอิ่มตัว ประมาณ 1 ชั่วโมง

3.4.2 ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา

ในขั้นตอนของส่วนผสมดินซีเมนต์ผสมยางพารา ก่อนที่จะผสมยางพาราลงไปจะต้องทำการเลือกดินซีเมนต์ที่จะใช้เป็นหลักในการผสม นั่นคือจะต้องทดสอบเปอร์เซ็นต์ซีเมนต์ต่อดินลูกรังที่มีค่าการรับแรงอัดที่ผ่านมาตรฐานก่อนซึ่งจากการทดสอบแล้วได้เลือกใช้สัดส่วนดินซีเมนต์ที่ 2% เป็นสัดส่วนหลักในการผสมยางพาราที่สัดส่วนต่าง ๆ สัดส่วนยางพาราที่เลือกใช้ในการทดสอบคือ ยางพารา 2.5% 5% และ 7.5%



รูปที่ 3.6 ดินลูกรังผสมซีเมนต์และน้ำยางพารา

ดินลูกรังผสมซีเมนต์และน้ำยางพารา โดยผสมน้ำยางพาราตาม Optimum Water Content 9.1 % แต่จะต้องทำให้น้ำยางพารามีความเข้มข้นต่อน้ำที่ 2.5% 5% และ 7.5% เสียก่อน



รูปที่ 3.7 ตัวอย่างดินซีเมนต์ผสมยางพารา

นำตัวอย่างการทดลองที่ผ่านการแช่น้ำจนอิ่มตัวแล้วมาถอดออกจากโมล และจัดเรียงเพื่อรอทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)

3.5 การทดสอบระดับห้องปฏิบัติการ

การวิจัยดินซีเมนต์ผสมน้ำยางนั้น การทดสอบในห้องปฏิบัติการมีความสำคัญอย่างยิ่ง การทดสอบนั้นยึดหลักมาตรฐานของกรมทางหลวง (กรมทางหลวง. 2517)

3.5.1 การทดสอบคุณสมบัติขั้นพื้นฐานและคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังประกอบไปด้วย

3.5.1.1 ทดสอบหาพิกัดเหลว (Liquid Limit) ของดิน

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก ASTM D 423-66, Test Method No. Calif. 204-13 อธิบายการหาค่า Liquid Limit ของดินโดยวิธี Mechanical Method

3.5.1.2 ทดสอบหาพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) เพื่อหาค่า Plastic Index ของดิน

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

3.5.1.3 ทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Test)

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 27-70 และ T 37-70 เพื่อหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจาก

ขนาดใหญ่ถึงขนาดเล็ก มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆกับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง

3.5.1.4 ทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

การทดลอง Compaction วิธีเป็นการทดลอง เพื่อหาความสัมพันธ์ระหว่างความแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด เมื่อทำการบดอัดแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

3.5.1.5 ทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)

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

3.5.1.6 ทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรวี (California Bearing Ratio: CBR)

3.5.1.7 ทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ (Permeability Test)

3.5.2 การทดสอบคุณสมบัติของยางพาราทำได้โดยการหาค่าเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้งในน้ำยาง ซึ่งจะนำตัวอย่างน้ำยางพาราไปอบเพื่อให้ได้เนื้อยางแห้งโดยที่เนื้อยางไม่เสียสภาพ แล้วจึงนำเนื้อยางมาชั่งเพื่อคำนวณหาเปอร์เซ็นต์เนื้อยางแห้ง

3.5.3 การทดสอบเพิ่มปริมาณน้ำยางพาราเพื่อได้ค่าที่ถูกต้อง

ตารางที่ 3.3 ตารางการดำเนินงาน

คุณสมบัติทางวิศวกรรม	ดินไม่ปรับคุณภาพ	ดิน+ซีเมนต์(1% 2% 2.5% 5% 7.5% ซีเมนต์)	ดิน +ซีเมนต์ +น้ำ ยางพาราเลือกดิน ซีเมนต์ที่ดีที่สุดมา ผสมกับน้ำยางพารา (2.5% 5% 7.5%)
ค่ากำลังรับแรงอัด	-	✓	✓
ค่าโมดูลัสในการยืดหยุ่น	-	✓	✓
ค่าความหนาแน่นแห้งของการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	✓	✓	✓
ค่าความชื้นในการบดอัด	✓	✓	✓
ค่า %CBR	✓	✓	✓
ขนาดความคละ	✓	-	-

บทที่ 4

ผลการดำเนินงาน

การทดสอบในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 2 ช่วงการทดสอบประกอบไปด้วย

1. การทดสอบคุณสมบัติของดิน
2. การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง และการซึมน้ำ

4.1 การทดสอบคุณสมบัติของดิน

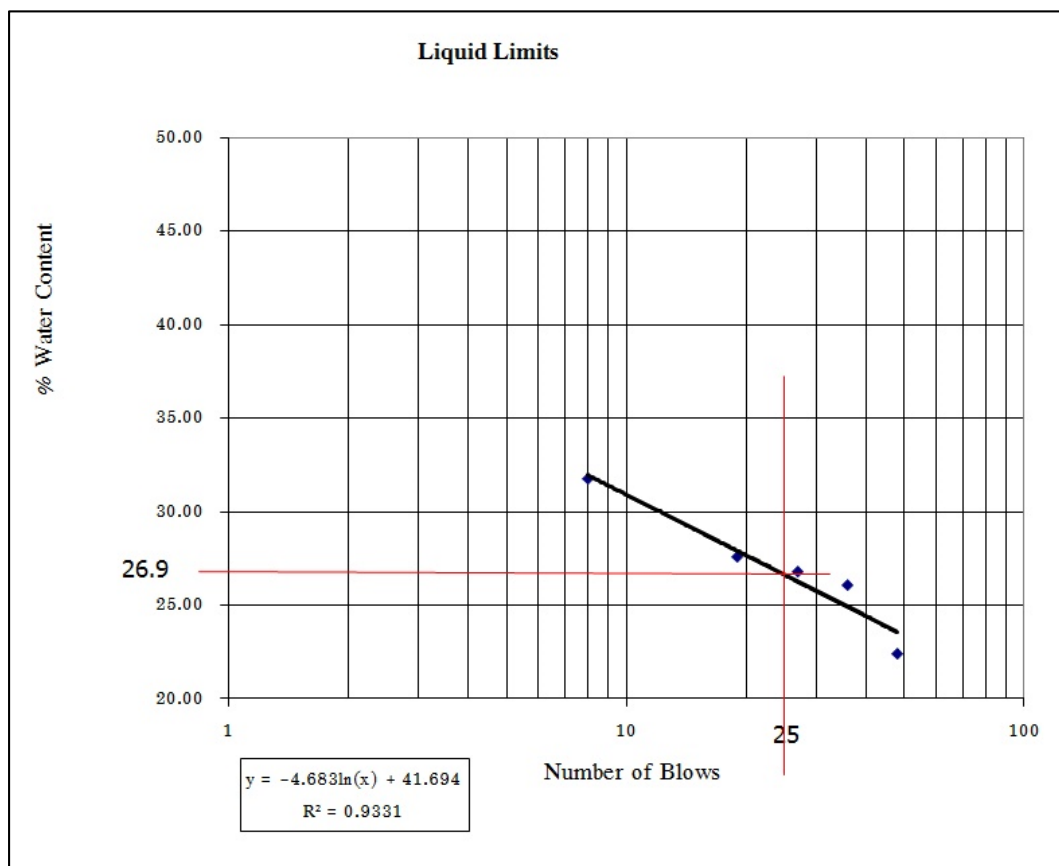
4.1.1 การทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit) และดัชนีพลาสติก (Plasticity Index) ของดิน

ตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515 ค่า Liquid Limit (LL) ของดินต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 35 จากผลการทดสอบ Liquid Limit (LL) มีค่าร้อยละ 26.9 จากรูปที่ 4.2

ตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515 ค่า Plasticity Index (PI) ของดินต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 11 จากผลการทดสอบ Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) มีค่าร้อยละ 8.2 ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.1 ปริมาณน้ำในดินจากการทดสอบพิกัดเหลว (Liquid Limit) ของดินลูกรัง

Liquid Limit Test Data					
Can No.	1	2	3	4	5
No. of Blow	8	19	27	36	48
Weight of Can (g)	25.13	24.70	25.16	25.18	25.07
Wet soil + Can (g)	30.90	28.72	30.68	31.94	33.65
Dry soil + Can (g)	29.51	27.85	29.51	30.54	32.08
Weight of Water (g)	1.39	0.87	1.17	1.40	1.57
Weight of Dry Soil (g)	4.38	3.15	4.35	5.37	7.01
%Water Content	31.79	27.55	26.78	26.05	22.43



รูปที่ 4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำในดินกับจำนวนการเคาะ
และค่า Liquid Limit ของดินลูกรัง

ตารางที่ 4.2 ปริมาณน้ำในดินจากการทดสอบพิกัดพลาสติก (Plastic Limit) ของดินลูกรัง

	1	2	3	Average
Weight of Can (g)	19.22	19.43	19.31	19.32
Wet soil + Can (g)	21.45	21.28	21.32	21.35
Dry soil + Can (g)	21.01	21.05	21.03	21.03
Weight of Water (g)	0.44	0.23	0.29	0.32
Weight of Dry Soil (g)	1.79	1.62	1.72	1.71
%Water Content of Plastic Limit	24.6	14.2	16.7	18.5
Plasticity Index (PI) = LL - PL	26.9 - 18.5			8.4

4.1.2 การทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Test)

จากตารางที่ 4.3 ปริมาณดินที่ผ่านตะแกรงในแต่ละเบอร์ที่ได้จากการทดสอบ พบว่ามีขนาดละเอียดตามการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 ดังแสดงในตารางที่ 4.4 ซึ่งพบว่าดินที่นำมาทดสอบอยู่ในกลุ่ม C และมีลักษณะของกราฟดังรูปที่ 4.2

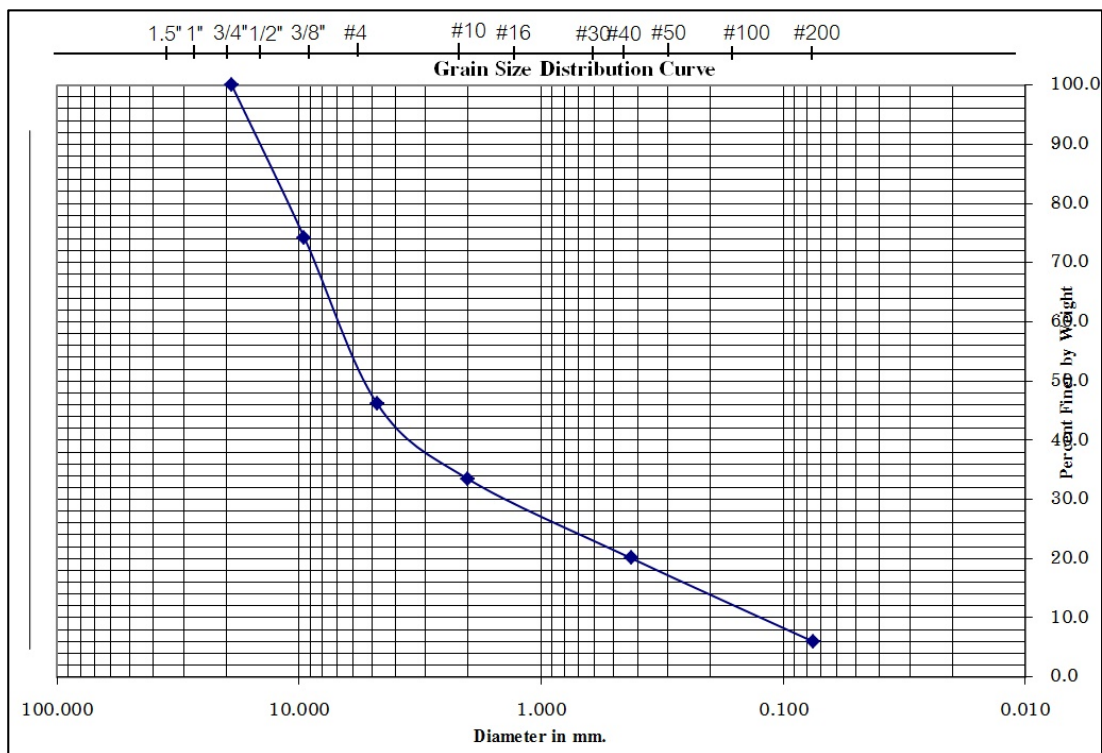
ตารางที่ 4.3 แสดงน้ำหนักดินที่ค้างตะแกรงแต่ละเบอร์

ตะแกรงเบอร์	น้ำหนักดิน	เปอร์เซ็นต์สะสม	Percent Finer (%)
1"	0.0	0.00	100.00
3/8"	386.2	25.75	74.25
4"	422.0	53.88	46.12
10	190.3	66.57	33.43
40	200.2	79.91	20.09
200	211.7	94.03	5.97
Pan	89.6	100.00	0.00

ตารางที่ 4.4 ขนาดละเอียดของร่อนพื้นทางวัสดุมวลรวม

ตะแกรงเบอร์	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
	A	B	C	D	E
1"	-	-	100	100	100
3/8"	30-65	40-75	50-85	60-100	-
10	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
40	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
200	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

ที่มา: กรมทางหลวง. (2532). มาตรฐานร่อนพื้นทางวัสดุมวลรวม. หน้า 2



รูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงกับเบอร์ตะแกรง

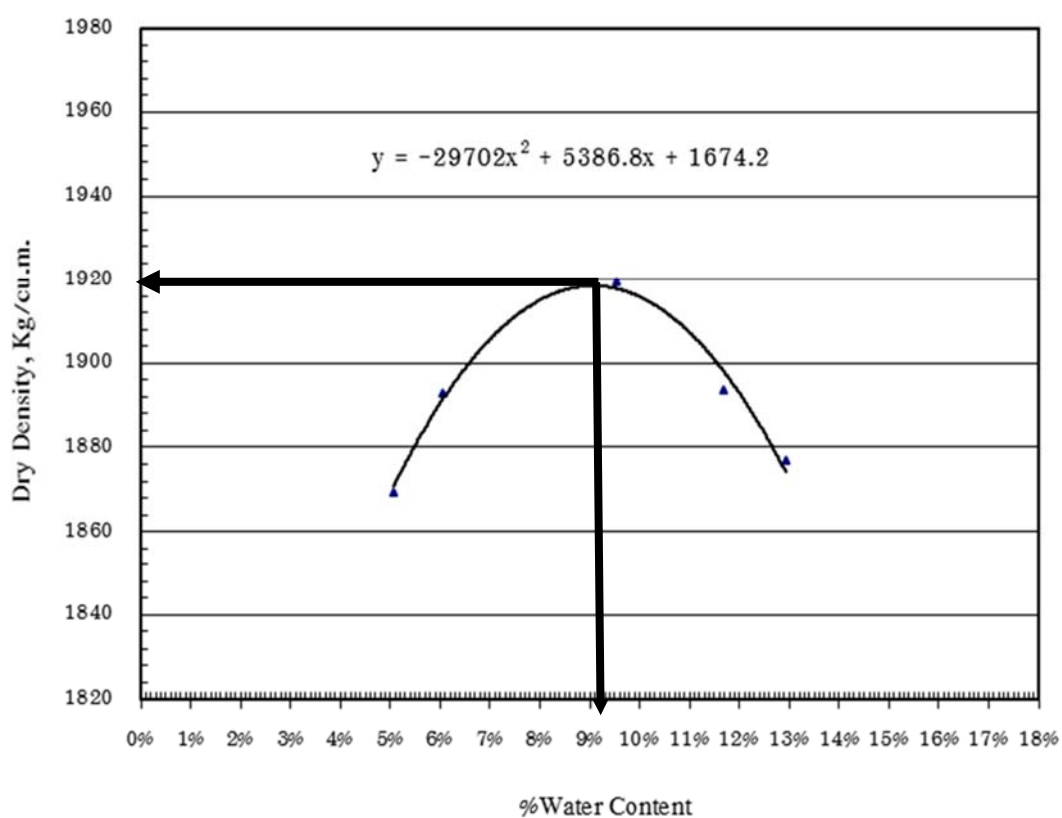
จากรูปที่ 4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงกับเบอร์ตะแกรง สามารถที่จะนำข้อมูลไปคำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C_u) และค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (C_c) ได้เท่ากับ 50.00 และ 2.30 ตามลำดับ โดยที่ค่า C_u มีค่ามากกว่า 4 และค่า C_c อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 แสดงว่าดินมีขนาดคละกัันดี (Well-Graded Soil) สรุปผลได้ว่าดินลูกรังตัวอย่างที่นำมาทำการทดสอบมีลักษณะเป็นดินที่มีการคละกัันของขนาดเม็ดดินที่ดีและอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง

4.1.3 การทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

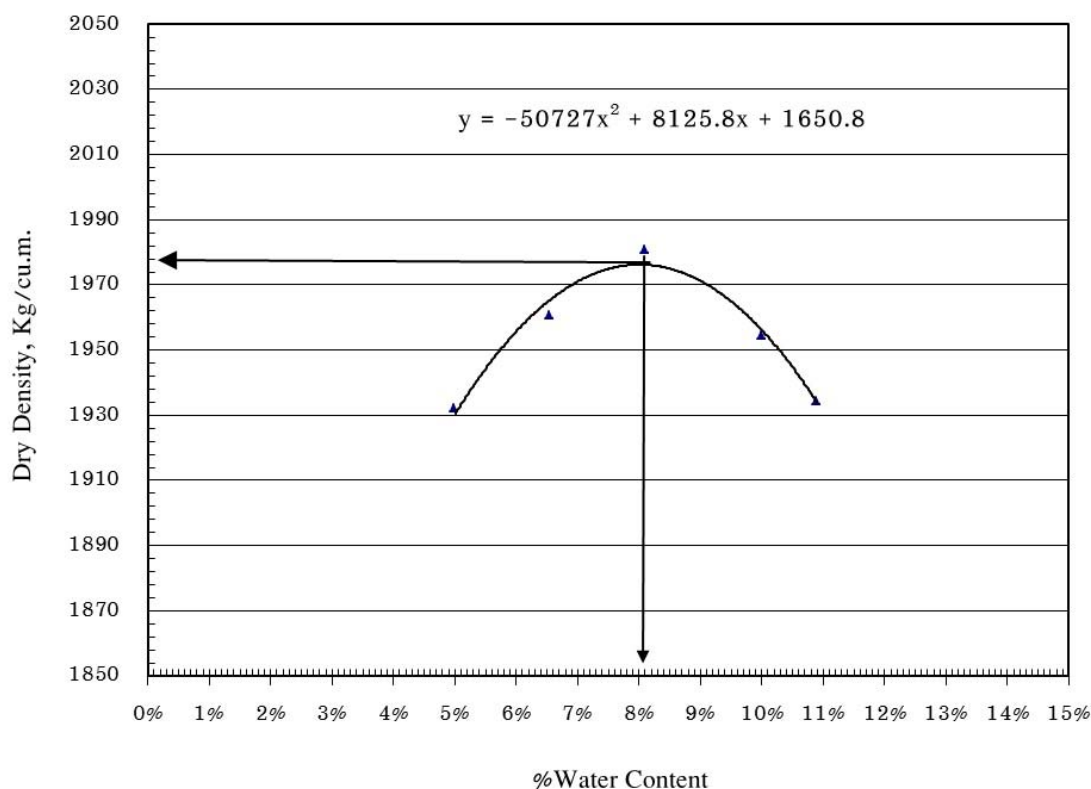
ในการทดสอบนี้เป็นการทดสอบความอัดแน่นของดินโดยที่มีปริมาณน้ำเข้ามาเกี่ยวข้องเพื่อที่จะหาปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินต่อไป จากรูปที่ 4.3 มีการทดสอบทั้งหมด 5 ครั้ง ของดินเดิมและดินซีเมนต์ เส้นกราฟที่แสดงนี้พบว่า ปริมาณความชื้นของดินเดิมนั้นคือปริมาณความชื้นสูงสุดที่ 9.1% และมีค่า Maximum Dry Density มีค่าเท่ากับ 1,920 กก./ม.³ ส่วนของดินซีเมนต์มีปริมาณความชื้นสูงสุดที่ 8.1% ซึ่งไม่ต่างจากดินเดิมมากนักจึงเลือกใช้ปริมาณความชื้นของดินเดิมในการผสม

ตารางที่ 4.5 แสดง Water Content และ Dry Density ของดินลูกรัง

	1	2	3	4	5
Water content (%)	5.07	6.04	9.52	11.69	12.92
Dry density (Kg/m ³)	1,869.3	1,892.9	1,919.4	1,893.7	1,877.0



รูปที่ 4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณน้ำในดินของดินลูกรัง



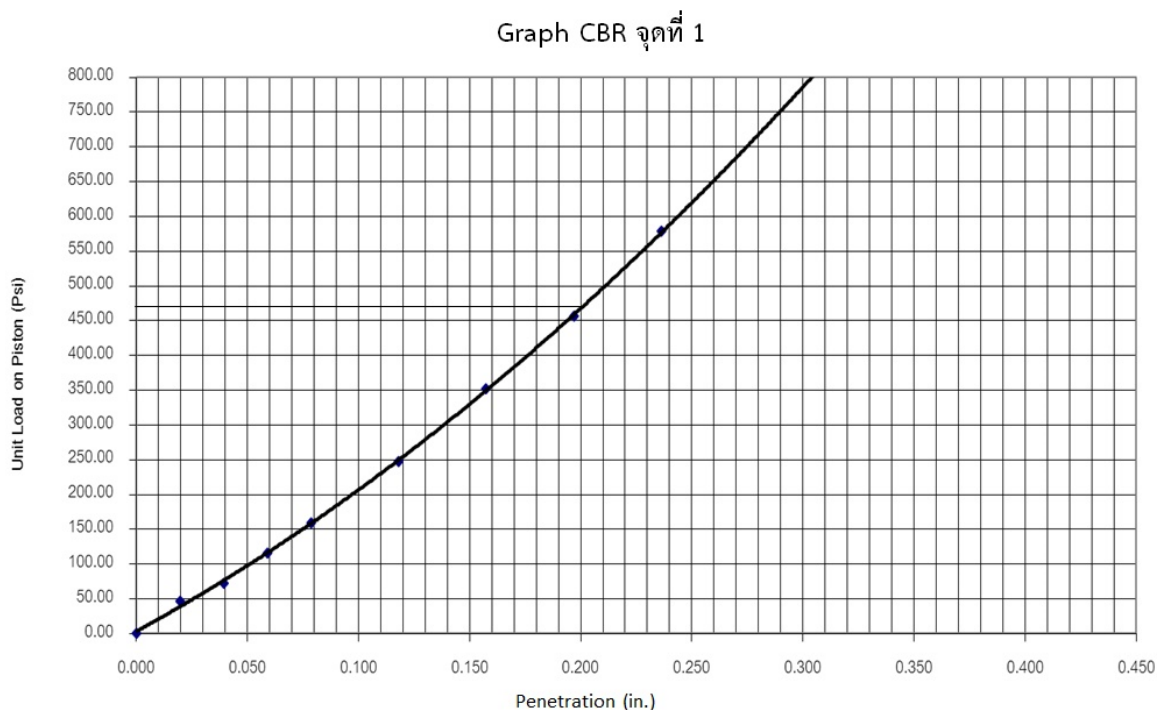
รูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นแห้งกับปริมาณน้ำในดินของดินซีเมนต์

ตารางที่ 4.6 แสดง Water Content และ Dry Density ของดินซีเมนต์

	1	2	3	4	5
Water content (%)	5.01	6.54	8.10	10.01	10.89
Dry density (Kg/m ³)	1,932.0	1,960.9	1,980.6	1,954.0	1,934.7

4.1.4 ทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio: CBR)

ในการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินบดอัด ได้เลือกวิธีทดลองแบบไม่แช่น้ำ จากรูปที่ 4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจม เส้นกราฟที่ระยะจม 0.20 นิ้ว (หน่วยแรงกดมาตรฐาน 1,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว) ได้ค่าหน่วยแรงกดจากการทดลองเท่ากับ 465 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จากการคำนวณ ร้อยละของหน่วยแรงกดจากการทดลองต่อหน่วยแรงกดมาตรฐาน ได้ค่าร้อยละของกำลังรับน้ำหนักของดินบดอัดเท่ากับร้อยละ 31 ซึ่งค่าที่ได้เกินมาตรฐานดินชั้นรองพื้นทางที่กรมทางหลวงกำหนดอยู่ที่ไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 จึงใช้ดินตัวอย่างนี้ในการทดสอบการปรับปรุงคุณสมบัติของดิน



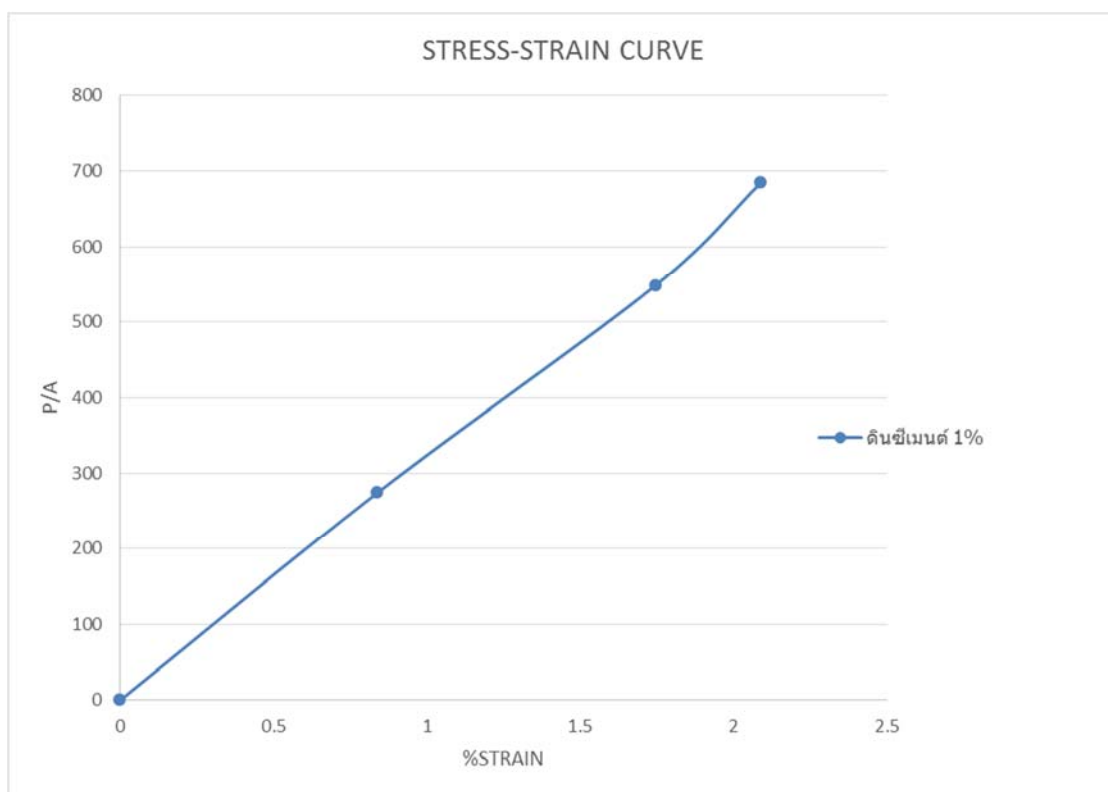
รูปที่ 4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยแรงกดและระยะจมของดินลูกรัง

4.2 การทดสอบคุณสมบัติด้านกำลัง และการซึมน้ำ

4.2.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)

จากผลการทดลองพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราให้ค่าที่ต่ำกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์แบบธรรมดา แต่มาตรฐานที่ ทล.-ม.206/2532 มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ได้กำหนดไว้ว่า ภายหลังการบ่มด้วยถุงพลาสติกเพื่อมิให้ความชื้นเปลี่ยนแปลงนาน 7 วันแล้วนำไปแช่น้ำนาน 2 ชั่วโมง จะต้องมามีค่าเท่ากับ 689 กิโลปาสกาล ซึ่งเราจะนำค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ใกล้เคียงมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ไปใช้ผสมดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราต่อไป

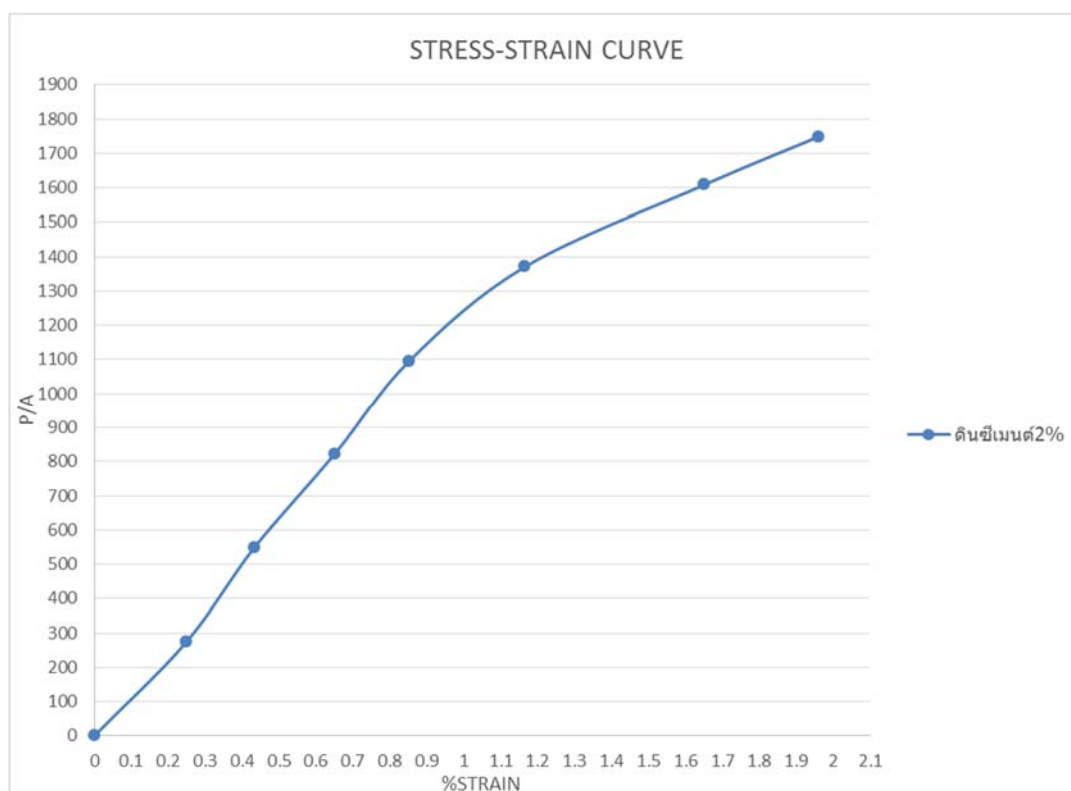
4.2.1.1 ดินซีเมนต์



รูปที่ 4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 1%

ตารางที่ 4.7 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 1%

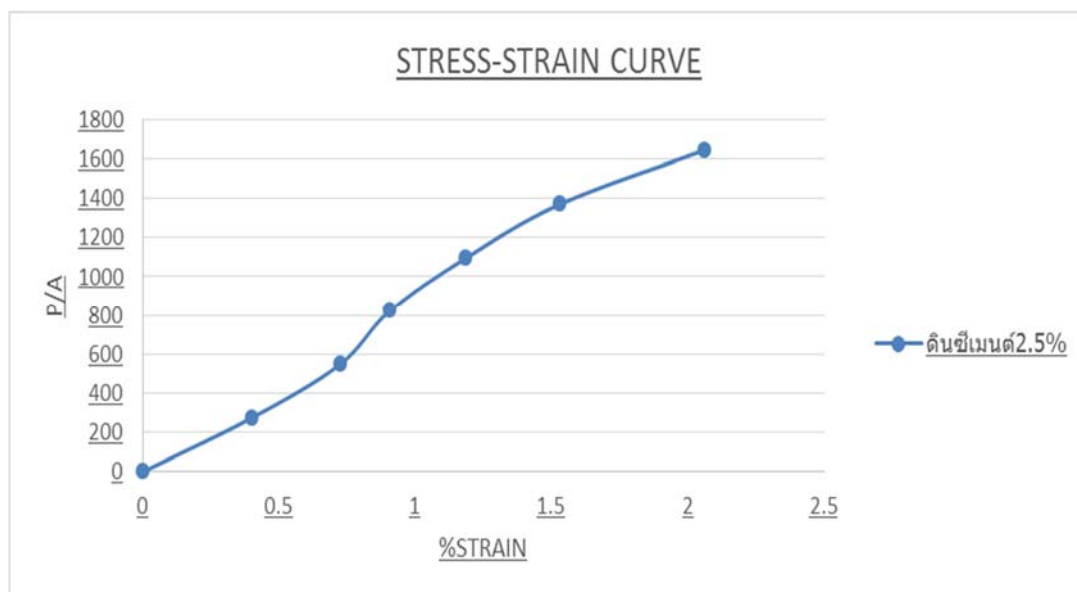
การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
106.33	0.84	274.11
221.67	1.75	548.22
265.50	2.09	685.27



รูปที่ 4.7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 2%

ตารางที่ 4.8 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 2%

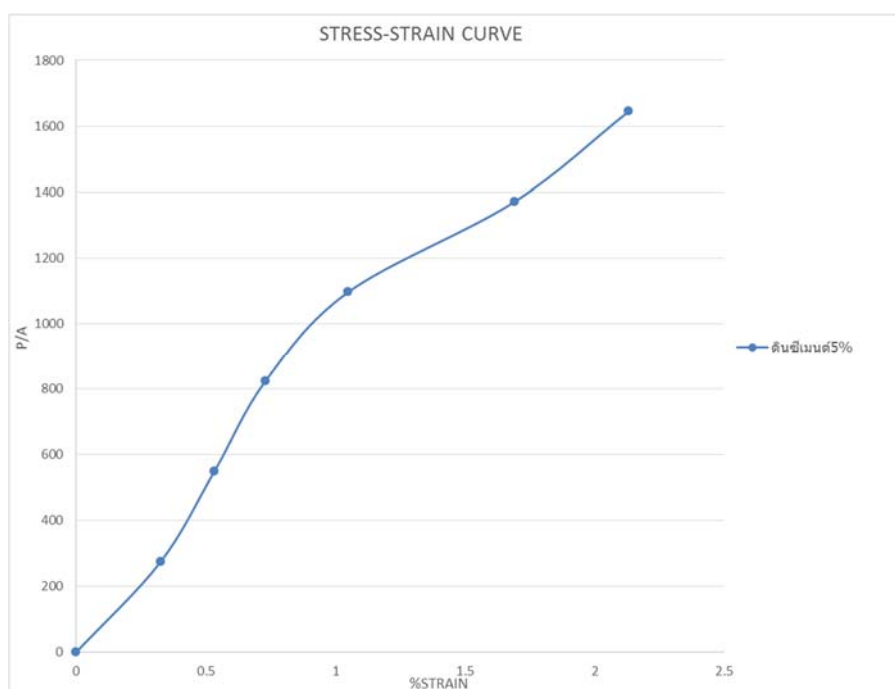
การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0	0	0
31.67	0.25	274.11
55.00	0.43	548.22
82.67	0.65	822.32
108.33	0.85	1,096.43
148.00	1.17	1,370.54
209.67	1.65	1,608.10
249.00	1.96	1,748.53



รูปที่ 4.8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 2.5%

ตารางที่ 4.9 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 2.5%

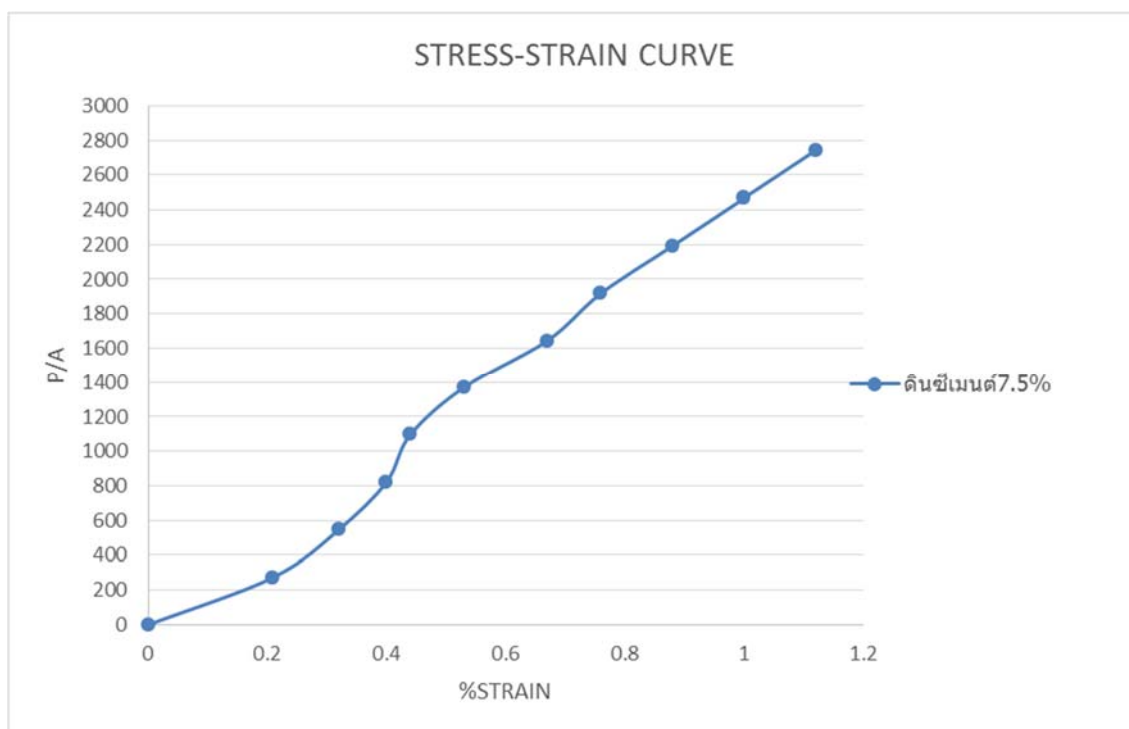
การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0.00	0.00	0.00
50.83	0.40	274.11
92.00	0.72	548.22
115.00	0.91	822.32
150.67	1.19	1,096.43
194.33	1.53	1,370.54
261.67	2.06	1,644.65



รูปที่ 4.9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 5%

ตารางที่ 4.10 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 5%

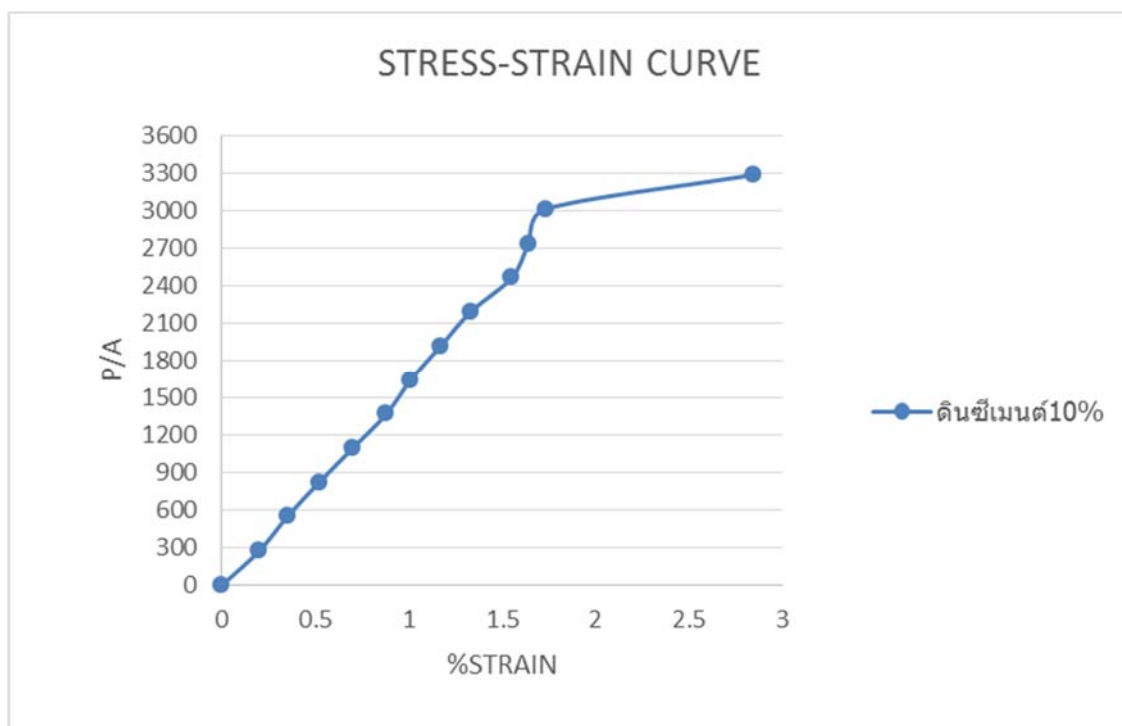
การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0.00	0.00	0.00
41.33	0.33	274.11
67.67	0.53	548.22
92.67	0.73	822.32
133.33	1.05	1,096.43
214.67	1.69	1,370.54



รูปที่ 4.10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 7.5%

ตารางที่ 4.11 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 7.5%

การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0.00	0.00	0.00
51.67	0.21	274.11
66.67	0.32	548.22
76.33	0.40	822.32
82.00	0.44	1,096.43
92.67	0.53	1,370.54
110.33	0.67	1,644.65
122.00	0.76	1,918.75
133.67	0.88	2,192.86
152.33	1.00	2,466.97



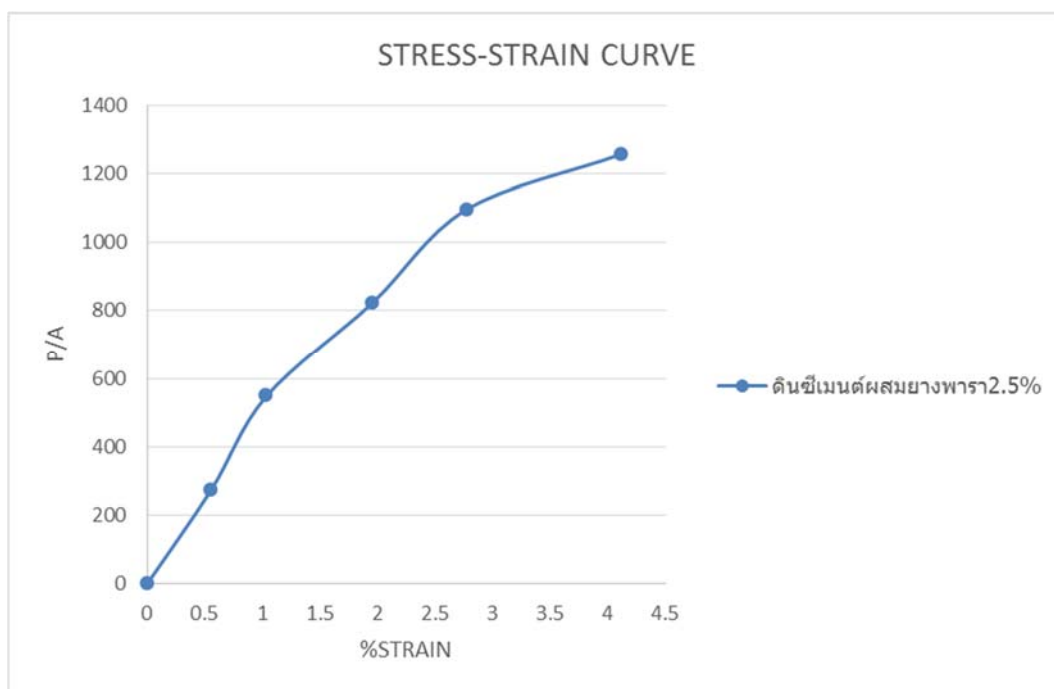
รูปที่ 4.11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของดินที่ผสมซีเมนต์ 10%

ตารางที่ 4.12 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 10%

การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0.00	0.00	0.00
50.33	0.20	274.11
68.00	0.35	548.22
79.00	0.52	822.32
102.00	0.70	1,096.43
125.00	0.88	1,370.54
140.67	1.01	1,644.65
161.00	1.17	1,918.75
182.00	1.33	2,192.86
209.67	1.55	2,466.97
221.00	1.64	2,741.08
233.00	1.73	3,015.19
373.33	2.84	3,289.29

4.2.1.2 ดินซีเมนต์ผสมยางพารา

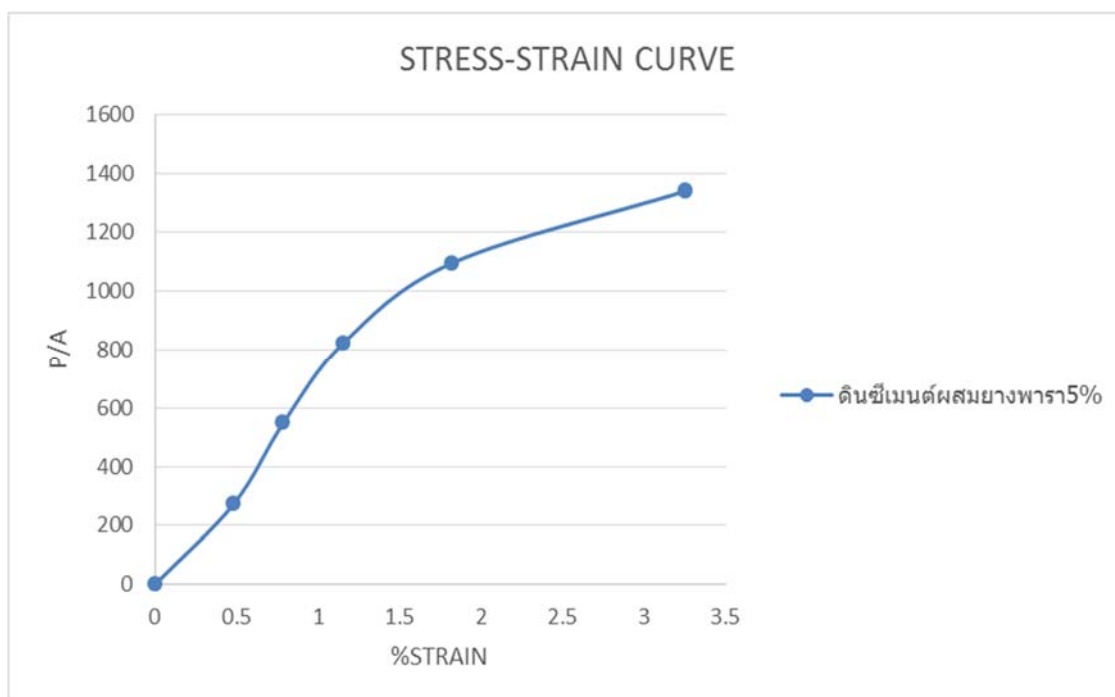
การผสมดินกับซีเมนต์ได้ผลเกินมาตรฐานเกือบทั้งหมด ยกเว้นที่ผสมซีเมนต์ 1% ได้ผลต่ำกว่ามาตรฐาน เราจึงนำดินที่ผสมซีเมนต์ 2% มาเป็นการทดลองผสมกับยางพาราต่อไป ที่เลือกใช้ 2% เพราะว่าเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานและคำนึงถึงเรื่องงบประมาณในการนำเอาไปใช้งาน แต่การนำดินซีเมนต์มาผสมกับยางพาราทำให้ค่ากำลังตกจากดินซีเมนต์ แต่ก็ยังอยู่ในมาตรฐานชั้นรองพื้นทาง ยกเว้นที่ผสมยางพาราที่ 7.5 % จะเห็นได้ชัดว่าถ้าใส่ยางพารามากก็จะมีทำให้ค่ารับแรงอัดลดลงเป็นเพราะน้ำยางพารามาทำให้ดินซีเมนต์จับตัวกันเป็นก้อนถ้าใส่ในจำนวนที่เยอะเกินไป



รูปที่ 4.12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ
ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่ 2.5%

ตารางที่ 4.13 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ 2.5%

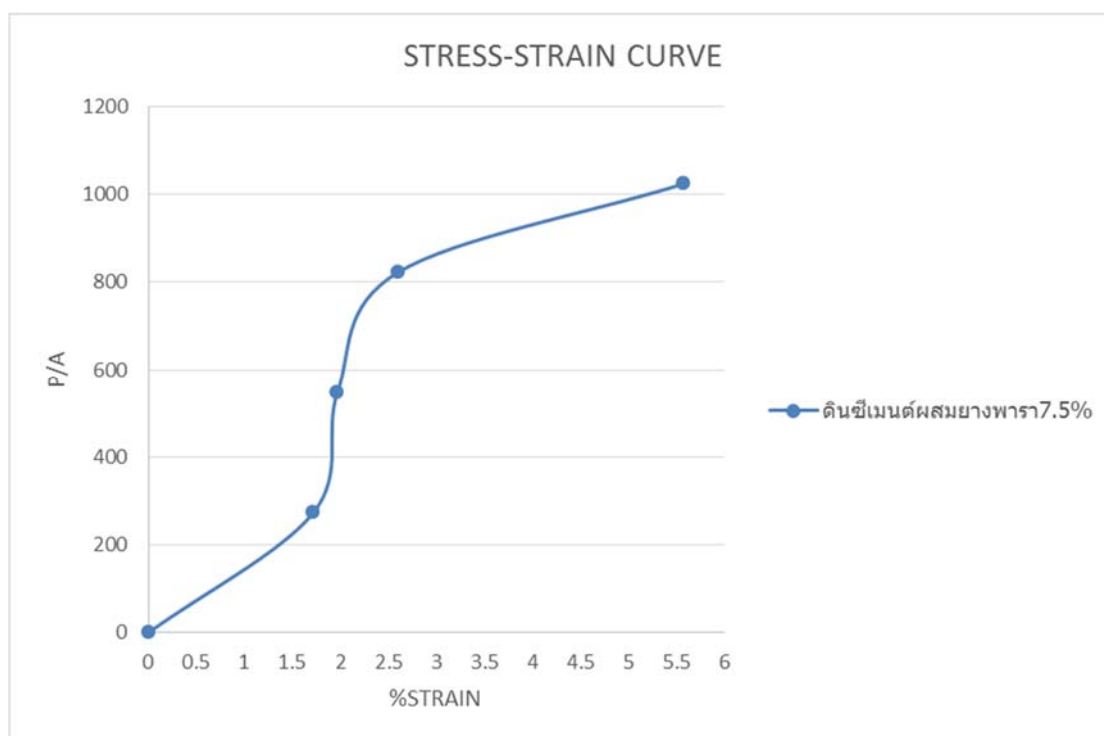
การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0.00	0.00	0.00
70.67	0.56	274.11
131.67	1.04	548.22
248.33	1.96	822.32
352.67	2.78	1,096.43



รูปที่ 4.13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ
ดินซีเมนต์ผสมน้ำยาราดที่ 5%

ตารางที่ 4.14 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินซีเมนต์ผสมยาราดที่ 5%

การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0	0	0
61.67	0.49	274.11
100.00	0.79	548.22
146.67	1.15	822.32
231.67	1.82	1,096.43
413.33	3.25	1,340.94

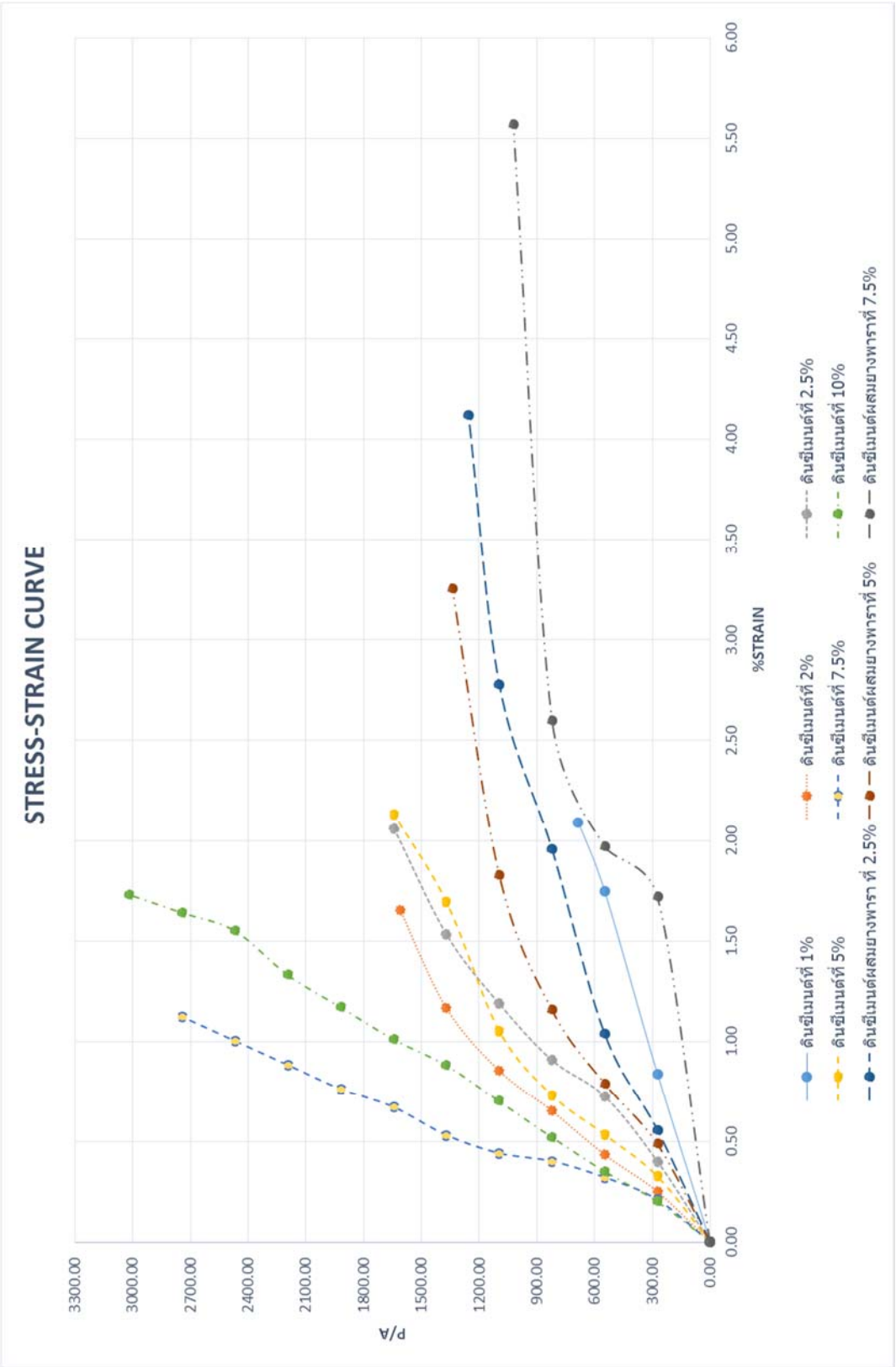


รูปที่ 4.14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของ
ดินซีเมนต์ผสมน้ำยาราคาที่ 7.5%

ตารางที่ 4.15 การรับกำลังอัดไม่จำกัดของดินซีเมนต์ผสมยาราคาที่ 7.5%

การทรุดตัว 0.01 mm	%STRAIN	P/A กิโลนิวตันต่อตารางเมตร
0.00	0.00	0.00
231.67	1.72	274.11
237.00	1.97	548.22
330.00	2.60	822.32

สรุปได้ว่าการนำดินมาผสมกับซีเมนต์จะได้ค่าแรงอัดประลัยที่มีค่ามากกว่าการนำดินซีเมนต์ผสม
ยาราคา อาจเป็นเพราะ ถ้าใส่ไอน้ำยาราคามากเกินไปจะทำให้ดินซีเมนต์จับตัวกันเป็นก้อนแล้วทำให้ความ
แน่นของตัวอย่างดินมีค่าที่น้อยลง



รูปที่ 4.15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียดของตัวอย่างดินที่ทดสอบรวมทุกตัวอย่าง

ตารางที่ 4.16 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น

ประเภท	E
ดินซีเมนต์ 1%	322.48
ดินซีเมนต์ 2%	841.58
ดินซีเมนต์ 2.5%	847.22
ดินซีเมนต์ 5%	1,112.50
ดินซีเมนต์ 7.5%	2,727.27
ดินซีเมนต์ 10%	1,325.35
ดินซีเมนต์ผสมยางพารา 2.5%	290.78
ดินซีเมนต์ผสมยางพารา 5%	406.25
ดินซีเมนต์ผสมยางพารา 7.5%	172.52

จากการทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราโดยตัวอย่างที่นำมาทดสอบนั้นได้มีการเปรียบเทียบวัสดุที่ใช้ผสมมีสัดส่วนและวัสดุที่ต่างกันั้นคือ ดินที่ผสมกับซีเมนต์โดยมีสัดส่วนของซีเมนต์แตกต่างกันกับดินที่ผสมซีเมนต์และยางพาราโดยมีสัดส่วนของดินซีเมนต์เท่ากันแต่สัดส่วนของยางพาราที่ใช้ผสมเพิ่มแตกต่างกัน ผลที่ได้พบว่า ดินซีเมนต์ที่ไม่ผสมยางพาราสามารถรับแรงอัดได้ค่าที่สูงซึ่งอยู่ในค่าของความเค้นแต่มีความยืดหยุ่นที่อยู่ในค่าความเครียดนั้นจะมีค่าน้อย ส่วนดินซีเมนต์ที่ผสมยางพาราจะเห็นได้ว่าเป็นความแตกต่างกับชนิดแรกคือรับแรงอัดได้ไม่เยอะเท่าดินซีเมนต์แต่มีความยืดหยุ่นสูงกว่า ซึ่งจากกราฟที่แสดงนี้ดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ 5% จะมีความยืดหยุ่นสูงที่สุดเมื่อเทียบกับสัดส่วนยางพาราของตัวอย่างอื่น

4.2.2 การทดสอบค่าการซึมน้ำ

การทดสอบหาค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (k) เพื่อหาอัตราการไหลของน้ำต่อมวลดิน ในการทดสอบนี้ใช้การทดสอบแบบความดันคงที่ จากการทดสอบถ้ามวลดินที่น้ำซึมผ่านได้ยาก ค่า k จะมีค่าสูงเรียกว่า Pervious Soil ถ้าน้ำซึมผ่านได้มาก ค่า k ค่าที่ได้ก็จะต่ำ เรียกว่า Impervious Soil ค่าความซึม น้ำของดินเป็นคุณสมบัติทางฟิสิกส์ที่สำคัญซึ่งเกี่ยวข้องกับพฤติกรรมของดินหลายอย่างรวมถึงอัตราการทรุดตัวของโครงสร้างของถนน

ตารางที่ 4.17 ข้อมูลการซึมน้ำของดินลูกรัง

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	1,560	29	10	5.38773×10 ⁻⁶
2	1,620	29	10	
3	1,800	29	10	
Average	1,660	29	10	

ตารางที่ 4.18 ข้อมูลการซึมน้ำของดินผสมซีเมนต์ที่ 2%

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	120	32	10	7.09813×10 ⁻⁵
2	128	32	10	
3	130	32	10	
Average	126	32	10	

ตารางที่ 4.19 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 2.5%

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	1,980	31	10	3.75783×10 ⁻⁵
2	2,520	31	10	
3	2,640	31	10	
Average	2,380	31	10	

ตารางที่ 4.20 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 5%

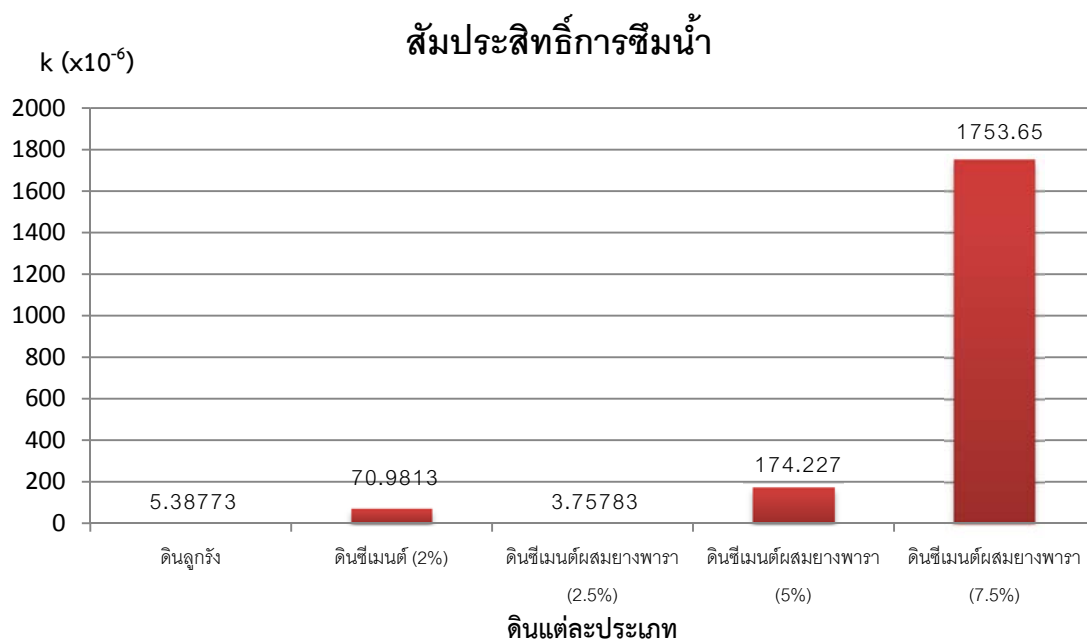
Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	40.00	31	10	1.74227×10 ⁻⁴
2	53.00	31	10	
3	61.00	31	10	
Average	51.33	31	10	

ตารางที่ 4.21 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 7.5%

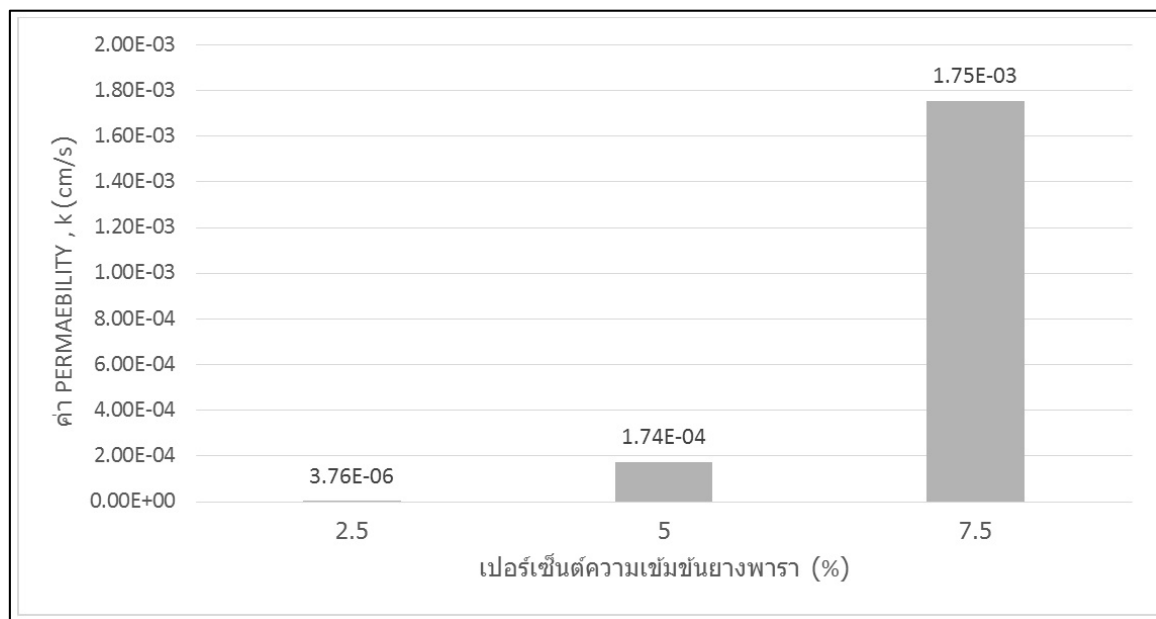
Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	5.55	33	10	1.75365×10^{-3}
2	5.21	33	10	
3	4.54	33	10	
Average	5.1	33	10	

ตารางที่ 4.22 ตารางสรุปค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (k) ในแต่ละตัวอย่าง

Type of sample	Q (ml)	Time (sec)	k (cm/s)
ดินลูกรัง	10	1,660.00	5.38773×10^{-6}
ดินซีเมนต์ (2%)	10	126.00	7.09813×10^{-5}
ดินซีเมนต์ผสมยางพารา (2.5%)	10	2,380.00	3.75783×10^{-6}
ดินซีเมนต์ผสมยางพารา (5%)	10	51.33	1.74227×10^{-4}
ดินซีเมนต์ผสมยางพารา (7.5%)	10	51.00	1.75365×10^{-3}



รูปที่ 4.16 กราฟแสดงสัมประสิทธิ์การซึมน้ำในแต่ละตัวอย่าง



รูปที่ 4.17 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (k) ต่อเปอร์เซ็นต์ความชื้นของน้ำยางพารา

จากข้อมูลสรุปผลค่าสัมประสิทธิ์การซึมน้ำ (k) ของดินตัวอย่างประกอบด้วย ดินลูกรัง ดินผสมซีเมนต์ 2% ดินซีเมนต์ผสมยางพารา 2.5% ดินซีเมนต์ผสมยางพารา 5% และดินซีเมนต์ผสมยางพารา 7.5% พบว่าดินตัวอย่างที่เป็นดินลูกรังนั้นมีค่าการซึมน้ำที่น้อยกว่าดินซีเมนต์ถึงประมาณ 10 เท่า ส่วนการปรับปรุงคุณสมบัติการซึมน้ำของดินซีเมนต์ด้วยยางพารานั้น พบว่ามีค่าการซึมน้ำของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ดีกว่าดินลูกรังและดินซีเมนต์ ในเปอร์เซ็นต์การผสมความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่เหมาะสมในการทดลองได้ทำการผสมความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่ 2.5% 5% และ 7.5% ซึ่งในความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่ 2.5% นั้นจะได้ค่าการซึมน้ำที่ดีกว่าดินลูกรังและดินซีเมนต์ แต่ในส่วนความเข้มข้นของน้ำยางพาราที่ 5% และ 7.5% จะมีค่าการซึมน้ำที่สูงกว่า 2.5% ถึงประมาณ 100 เท่า และ 1,000 เท่าตามลำดับ เป็นผลมาจากการที่ความเข้มข้นของน้ำยางพาราสูงเกินไปทำให้การผสมด้วยอย่างนั้นเข้ากันไม่ดีพอ ทำให้เกิดช่องว่างในตัวอย่างมาก ซึ่งเป็นผลทำให้เกิดความซึมน้ำที่สูง ในการใช้งานจริงควรพิจารณาใช้อัตราส่วนผสมของน้ำยางพาราที่เหมาะสมซึ่งจะทำให้ได้ค่าการซึมน้ำที่ต่ำลง

บทที่ 5

สรุปผล และข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์คือ ศึกษาคุณสมบัติทางกลของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราและหาสัดส่วนที่เหมาะสมของน้ำยางพาราที่ทำให้ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารามีคุณสมบัติที่ดีขึ้น เพื่อเป็นเอกสารอ้างอิงในการผลิตดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นรองพื้นทางซึ่งสามารถช่วยในการลดการซึมน้ำเข้าไปยังชั้นโครงสร้างชั้นรองพื้นทางไม่ให้เกิดการเสียหายแก่โครงสร้างทาง ดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารามีคุณสมบัติดูดซึมน้ำได้น้อย สำหรับสูตรชั้นต่อไป อาจจะใช้ น้ำยางพาราที่ผสมรูปแบบใหม่ ๆ หรือมีสารประกอบต่าง ๆ เพิ่มขึ้นเพื่อเปลี่ยนแปลงคุณสมบัติของดินซีเมนต์ให้ดีขึ้นต่อไป

5.1 สรุปผลการศึกษา

ในการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินชั้นรองพื้นทาง ตามมาตรฐานการทดสอบโดยค่า Liquid Limit ต้องไม่เกินร้อยละ 35 จากผลการทดสอบมีค่า Liquid Limit อยู่ที่ย้อยละ 26.9 และค่า Plasticity Index ต้องไม่เกินร้อยละ 11 ผลการทดสอบอยู่ที่ย้อยละ 8.2 ส่วนค่าการทดสอบการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Test) ของดินลูกรังพบว่ามีความละเอียดอยู่ในกลุ่ม C ตามการทดลองที่ ทล.-ท.205/2517 ค่าการทดสอบกำลังรับน้ำหนักของดินบดอัด (California Bearing Ratio: CBR) มีค่าร้อยละ 31 ปริมาณความชื้นที่ใช้ผสมกับดินเพื่อให้ได้ความอัดแน่นสูงสุดและเหมาะสมที่สุดคือร้อยละ 9.1 โดยค่าปริมาณความชื้นนี้ได้มาจากการหาความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์น้ำและความหนาแน่นแห้ง ผลที่ได้คือค่า CBR ที่เกิดขึ้นเกินค่ามาตรฐานที่ต้องไม่ต่ำกว่าร้อยละ 25 แสดงว่าดินตัวอย่างที่นำมาใช้เป็นดินที่ผ่านมาตรฐานชั้นรองพื้นทาง

ในการทดสอบคุณสมบัติด้านการรับกำลังโดยการนำดินลูกรังผสมซีเมนต์ จากการลองกำหนดค่า 6 ค่า (1% 2% 2.5% 5% 7.5% และ 10%) โดยค่ามาตรฐานชั้นรองพื้นทางกำหนดไว้ว่าดินซีเมนต์จะต้องมีกำลังการรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 689 กิโลปาสคาล จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดที่ 1% 2% 2.5% 5% 7.5% และ 10% พบว่ามีค่าเท่ากับ 685 กิโลปาสคาล 1608.10 กิโลปาสคาล 1644.65 กิโลปาสคาล 1644.65 กิโลปาสคาล 2741.28 กิโลปาสคาล และ 3289.29 กิโลปาสคาลตามลำดับ จึงเลือกใช้ปริมาณดินซีเมนต์ที่ 2% เนื่องจากเป็นการประหยัดและได้กำลังตามมาตรฐาน และเมื่อนำมาผสมกับน้ำยางพาราในปริมาณที่กำหนด (2.5% 5% และ 7.5%) พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดเท่ากับ 1256.88 กิโลปาสคาล 1340.94 กิโลปาสคาล และ 1023.52 กิโลปาสคาล พบว่าดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำยางพารามีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าค่ามาตรฐาน มีความเหนียวมากขึ้นแต่การรับกำลังมีค่าน้อยกว่าดินที่ผสมซีเมนต์เนื่องจากในทางปฏิบัติการผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่มากขึ้นทำให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งจะเห็นได้จากการทดสอบการซึมน้ำที่เปรียบเทียบกับดินเดิม ดินซีเมนต์

และดินซีเมนต์ผสมยางพารา (2.5% 5% และ 7.5%) พบว่าดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่ 2.5% มีค่าการซึมน้ำน้อยที่สุดแสดงว่าการซึมผ่านยากที่สุด แต่ที่ปริมาณน้ำยางพารา 5% และ 7.5% มีค่าการซึมผ่านมากกว่าเพราะเกิดจากที่ดินไม่เป็นเนื้อเดียวกันแล้วทำให้เกิดช่องว่างในเนื้อดินจึงทำให้มีการซึมน้ำมากขึ้น แล้วจึงส่งผลให้มีเงื่อนไขในการเลือกปริมาณน้ำยางพาราที่มีค่าการซึมน้ำน้อยที่สุดคือ 2.5% ที่ใช้น้ำยางพาราในปริมาณที่น้อยที่สุดเพราะว่าทำให้เกิดประโยชน์ในเรื่องงบประมาณและค่าการซึมน้ำที่ดีขึ้น

จากการทำการทดลองเรื่องกำลังของดินซีเมนต์และดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารานี้พบว่าในเรื่องของการปรับปรุงดินซีเมนต์ด้วยน้ำยางพาราทำให้กำลังตกแต่ก็ยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้จึงนำมาใช้เป็นวัสดุถนนชั้นรองพื้นทางได้ แต่พบว่าในเรื่องการซึมน้ำของดินซีเมนต์ผสมด้วยน้ำยางพารากับส่งผลให้การซึมน้ำที่ดีขึ้น ทำให้เป็นผลดีกับโครงสร้างถนนในเรื่องการซึมน้ำแล้วถนนมีการรับกำลังที่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

1. ถ้ามีการศึกษาปริมาณน้ำยางพาราในระยะเวลาที่ยาวนานกว่านี้ อาจมีโอกาที่จะเลือกน้ำยางพาราที่ผสมเข้ากับดินซีเมนต์มากที่สุด
2. นำดินที่ต่ำกว่ามาตรฐานมาปรับปรุงคุณภาพ ด้วยซีเมนต์และยางพาราเพื่อทำให้ดินมีค่าที่ตรงตามมาตรฐานและเป็นการเพิ่มมูลค่าของดินไปในตัวด้วย
3. ควรมีการศึกษาของความเหมาะสมของงบประมาณในการนำไปใช้ในงานถนนในแบบงานจริง

เอกสารอ้างอิง

กรมทางหลวง. (2517). *วิธีการทดสอบหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน*.

สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก

<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht102-15.pdf>

กรมทางหลวง. (2517). *วิธีการทดสอบหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน*.

สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก

<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht103-15.pdf>

กรมทางหลวง. (2517). *วิธีการทดสอบหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน*. สืบค้น

เมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก

<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht105-15.pdf>

กรมทางหลวง. (2517). *วิธีการทดสอบ Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน*. สืบค้นเมื่อ 20

ตุลาคม 2559, จาก

<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht108-17.pdf>

กรมทางหลวง. (2517). *วิธีการทดสอบเพื่อหาค่า CBR*. สืบค้นเมื่อ 20 ตุลาคม 2559, จาก

<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht109-17.pdf>

กรมทางหลวง. (2517). *วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง*. สืบค้นเมื่อ 20

ตุลาคม 2559, จาก

<http://www.doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/02/dht204-16.pdf>

วรารกร ไม่เรียง; จิรพัฒน์ โชติกไกร; และ ประทีป ดวงเดือน. (2525). *ปฐพีกลศาสตร์*. พิมพ์ครั้งที่ 2.

กรุงเทพฯ:

ทรงพล บุญมาดี (2529). *ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Unsoaked*

CBR ของดินลูกรังผสมซีเมนต์. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ:

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ธิติพงศ์ หล่อพิศาลชัย; อาทิตย์ ปิณณราช; และ ญัฐพร เอ็มเจริญ. (2557). *การศึกษาคุณสมบัติทางด้าน*

กำลังของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา. วิทยานิพนธ์ วศ.บ. (วิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ: คณะ

วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสยาม. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2559. จาก ฐานข้อมูลวิทยานิพนธ์

มหาวิทยาลัยสยาม

ธีรชาติ รื่นไกรฤกษ์; และ สมบัติกระแส จรัสกร (2544). *กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่มีความหนาแน่น*

แตกต่างกัน. รายงานวิจัยฉบับที่ ว.พ. 188: ศูนย์วิจัยและพัฒนางานทางกรมทางหลวงกระทรวง

คมนาคม

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- นิรชร นกแก้ว. (2557). *วิศวกรรมการทาง*. พิมพ์ครั้งที่ 4. ปทุมธานี: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะ
วิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี.
- พิรวัฒน์ ปลาเงิน. (2557). *การประยุกต์ใช้น้ำยางพาราและดินซีเมนต์พัฒนาถนนด้านภัยแล้ง*. สืบค้น
เมื่อ 5 กันยายน 2559, จาก
<https://programming.cpe.ku.ac.th/AgrilInformatics/viewProject.php?itemID=5989>
- มงคล ดัชนี. (2553). *กำลังอัดของถนนที่ซ่อมแซมโดยเทคนิคการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้
ใหม่*. สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2559, จาก
http://eng.sut.ac.th/ce/ce_course/download/struc/17MONGKOL/MONGKOL.pdf
- โครงสร้างตลาดยางพาราของไทย. (2559). สืบค้นเมื่อ 5 กันยายน 2559, จาก
http://www.aftc.or.th/itc/products_analyze.php?id=137&fgrp_id=1&fmnu_id=3
- Bell, F. G. (1976). *The Influence of The Mineral Content of Clay on Their Stabilization
With Cement*. Association of Engineering Geologists.
- Clare, K. E. & Pollard, A. E. (1951). *The Relationship Between Compressive Strength and
Age for Soil Stabilized with Four Type of Cement*. Magazine of Concrete Research.
3(8): 57-64.
- Czernin, W. (1962). *Cement Chemistry and Physics for Civil Engineers*. New York
Chemical Publishing: 36-50.
- Davidson, D. T. (1961). *Soil Stabilization with Portland Cement*. Highway Research
Board Bulletin 292: 45-151.
- Davidson, D. T.; & Bruns, B. W. (1960). *Comparison of Type I and Type III Portland
Cement for Soil Stabilization*. Highway Research Board Bulletin 267: 28-45.
- Davidson D. T.; et al. (1962). *Moisture-Density, Moisture-Strength and Compaction
Characteristics of Cement Treated Soil Mixtures*.
- Felt, E. J. (1955). *Factor Influencing Physical Properties of Soil-Cement Mixtures*.
Highway Research Board Bulletin 108: 138-163.
- Highway Research Board's Committee on Soil-Cement Stabilization. (1959). *Definition of
Term Relating to Soil-Portland Cement Stabilization*. Highway Research Abstracts,
29(6): 28-29.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

- Horpibulsuk, S.; & Miura, N. (2001). *A New Approach for Studying Behavior of Cement Stabilized Clays Proceeding of 15th International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering.*
- Herzog, A.; & Mitchell, J.K. (1963). *Reaction Accompanying the Stabilization of Clay with Cement.* Highway Research Record 36: 146-171.
- Lambe, T. W.; Michaels, A. S.; & Moh, Z. C. (1959). *Improvement of Soil Cement with Alkali Metal Compounds.* Highway Research Board Bulletin 241: 67-103.
- Mills, W.H., Jr. (1935). *Road Base Stabilization with Portland cement.* American: Engineering New-Record.
- Mills, W.H., Jr. (1936). *Stabilizing soils with Portland cement.* South Carolina: South Carolina Highway Department.
- Mitchell, J. K.; & El Jack, S. A. (1966). *The Fabric of Soil-Cement and Its Formation Proceedings of 14th National Conference Clay and Clay Minerals.:* 297-305.
- Moh, Z. C. (1965). *Reaction of Soil Minerals with Cement and Chemicals.* Highway Research Record. 86: 39-61.
- Moh, Z. C.; Chin, Y. P.; & Ng, S. C. (1967). *Cement Stabilization of Lateritic Soil.* Proceeding 3rd Asian Regional Conference on Soil Mechanics and Foundation Engineering.: 42-46.
- Norling, L. T.; & Packard, R. G. (1958). *Expanded Short-Cut Test Method for Determining Cement Factors for Sandy Soil.* Highway Research Board Bulletin 198: 20-31.
- Pendola, H. J.; Kennady, T. W.; & Hutson, W. R. (1969). *Evaluation of Factors Affecting The Tensile Properties of Cement-Treated Materials.* University of Texas at Austin Research Report. 98(3)
- Redus, J. F. (1958). *Study of Soil-Cement Base Courses on Military Airfields.* Highway Research Board Bulletin. 198: 13-19.
- Ruenkairergsa, T. (1982). *Principle of Soil Stabilization.* Bangkok. Group Training in Road Construction.: 17-26.
- Ruenkairergsa, T. (1982). *Principle of Soil Stabilization.* Bangkok. Highways Department.

เอกสารอ้างอิง(ต่อ)

The Siam Cement Company Ltd. (1965). *Demonstration Road Using Local Soil With Cement Stabilization*. Bangkok. Thailand Siam Cement.: 25-26.

Winterkorn, H. F.; & Chandrasekharn, E. C. (1951). *Lateritic Soil and Their Stabilization*. Highway Research Board Bulletin 44: 10-29.

ภาคผนวก ก
(วิธีการทดสอบคุณสมบัติของดิน)

1. วิธีการหาค่า Liquid Limit (LL) ของดิน (เทียบเท่า AASHTO T 89)

1.1 ขอบข่าย

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก ASTM D 423-66, Test Method No. Calif. 204-13 อธิบายการหาค่า Liquid Limit ของดินโดยวิธี Mechanical Method

1.2 วิธีทำ

1.2.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

1.2.1.1 เครื่องแบ่งตัวอย่างดิน (Sample Splitter)

1.2.1.2 ตะแกรงเบอร์ 4 (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 ถ้ามีตัวอย่างจับเกาะกันก่อน ให้ใช้เครื่องบดหรือค้อนอย่างค่อย ๆ บด หรือ ทบ ให้ก้อนดินแตกตัว แต่ต้องไม่ให้ส่วนที่เป็นเม็ดแข็งแตก

1.2.2.3 นำดินมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ซ้อนข้างบนอีกชั้นหนึ่ง เพื่อป้องกันก้อนโตค้างตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) ใช้เวลาร่อนไม่น้อยกว่า 5 นาที

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

1.2.3 การทดลอง

1.2.3.1 ให้ตรวจสอบเครื่องมือทดลอง Liquid Limit ดังนี้

- (1) เครื่องมือทดลองต้องอยู่ในสภาวะดีและมีขนาดถูกต้อง
- (2) สลักยึดด้วยกระแทงต้องไม่สึกหรองจนด้วยกระแทงเอียง
- (3) สกรูยึดด้วยกระแทงจะต้องแน่น
- (4) แนวปาดดินในด้วยกระแทงจะต้องไม่สึกเป็นร่อง
- (5) ให้ตรวจสอบเครื่องมือปาดร่องดินบ่อย ๆ เพื่อให้แน่ใจว่าความกว้างของเครื่องมือนี้ถูกต้องตามมาตรฐาน

(6) ให้ตรวจสอบความสูงของด้วยกระแทงที่จะยกขึ้น โดยใช้ด้ามของเครื่องมือปาดร่องดิน ซึ่งมีลักษณะหน้าตัดเป็นรูปสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 10 มิลลิเมตร วัดระยะตกของด้วยกระแทงให้ได้ 10 มิลลิเมตร ถ้าไม่ถูกต้องให้ปรับโดยคลายสกรูยึดด้วยกระแทงให้หลวมเสียก่อน ปลดปล่อยให้ด้วยกระแทงวางลงบนที่วัดแล้วจึงขึ้นสกรูให้แน่นดังเดิม หมุนที่หมุนด้วยกระแทงเร็ว ๆ หลาย ๆ ครั้ง ถ้าได้ยินเสียง “แก๊ก” เบา ๆ แสดงว่าการตั้งถูกต้องแล้ว แต่ถ้าด้วยกระแทงยังคงสูงขึ้นไปอีกหรือไม่ได้ยินเสียง “แก๊ก” เลยจะต้องปรับเครื่องใหม่

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

1.2.3.3 นำตัวอย่างที่แบ่งมานี้มาผสมกับน้ำในด้วยกระเบื้องเคลือบ หรือบนแผ่นกระจก เติมน้ำลงไปประมาณ 15-20 มิลลิลิตร ใช้ Spatula ผสมไปมา แล้วบัจจกันทั้งดินและน้ำผสมทั่วกัน แล้วเติมน้ำอีกครั้งละประมาณ 1-3 มิลลิลิตร ผสมให้เข้ากันจนทั่ว ใช้เวลาผสมให้เข้ากันทั้งหมด 5-10 นาที

1.2.3.4 เมื่อผสมน้ำแล้วคลุกจนทั่วแล้ว กะให้เคาะได้ประปราย 40 ครั้ง นำตัวอย่างใส่ในด้วยกระเบื้องเคลือบ ใช้แผ่นกระจกปิดข้างบน ตั้งทิ้งไว้ไม่น้อยกว่า 50 นาที และ ไม่เกิน 1 ชั่วโมง เพื่อให้ส่วนที่เป็นดินเหนียว ดูดซึมน้ำจนทั่ว

1.2.3.5 นำตัวอย่างใส่ลงตรงกลางด้วยกระแทง ใช้ Spatula กดและปาดดินโดยพยายามปาดให้น้อยครั้งที่สุดและป้องกันไม่ให้มีฟองอากาศอยู่ข้างใน ให้ดินตรงกลางด้วยกระแทงหนา 10 มิลลิเมตร แล้วนำตัวอย่างที่เหลือเก็บไว้ในด้วยกระเบื้องเคลือบอย่างเดิม

1.2.3.6 จับยึดถ้วยกระทะให้แน่นใช้เครื่องมือปาตรองดินปาดตัวอย่างให้เป็นร่องตรงกลางให้เป็นร่องที่สะอาดและเรียบร้อย

ในกรณีที่ตัวอย่างค่อนข้างแข็ง หรือมี Plasticity Index (PI) ต่ำ การกดเครื่องมือปาตรองลงไปอาจทำให้ตัวอย่างทางด้านปลายฉีกหลุดหรือดินเคลื่อนออกจากกัน ดังนั้นให้ค่อย ๆ ปาดจากหน้าไปหลังและจากหลังไปหน้า กลับไปกลับมาหลาย ๆ ครั้ง แต่ต้องไม่เกิน 6 ครั้ง แล้วค่อย ๆ ปาดเป็นร่องลึกลงไปเรื่อย ๆ จนครั้งสุดท้ายตะกอนถ้วยพอดี และได้ร่องดินที่สะอาดเรียบร้อย

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

1.2.3.8 ถ้าไม่แน่ใจว่าการทดลองในข้อ 1.2.3.7 ถูกต้อง ให้ทำการตรวจสอบ โดยรับนำตัวอย่างมาผสมใหม่โดยเร็ว แล้วนำกับไปทดสอบใหม่ ถ้าการเคาะในครั้งนี้นับจำนวนครั้งได้เท่าเดิมหรือต่างกัน 1 ครั้ง ถือว่าการทดลองถูกต้อง แต่ถ้าผิดกันมากกว่านั้น จะต้องนำเอาตัวอย่างมาผสมกันใหม่เพื่อให้ส่วนผสมกับตัวอย่างจนทั่ว แล้วนำมาทดลองอีกครั้ง การตรวจสอบนี้จะมีความสำคัญมากในช่วงที่ใส่น้ำลงไปมาก ๆ และตัวอย่างมี PI สูงเพราะตัวอย่างดูดซึมน้ำยังไม่เต็มที่ขณะทำการทดลองและยังดูดซึมน้ำตลอดเวลา จึงทำให้ค่าทดลองมีค่าแตกต่างกัน

1.2.3.9 ทันทีก่อนที่จะเคลื่อนตัวอย่างที่มาสัมผัสกัน 12.7 มิลลิเมตร (0.5 นิ้ว) ให้ใช้ข้อดักตัวอย่างตรงที่ตัวอย่างเคลื่อนที่มาสัมผัสกันตลอดแนวความกว้างของตัวอย่างที่ตั้งฉากกับร่องตัวอย่างเอาตัวอย่างใส่กระป๋องปิดฝาให้แน่น 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 แล้วต้องการให้ตัวอย่างแห้งขึ้น ให้เกลี่ยตัวอย่างบาง ๆ บนแผ่นกระจกหรือในถ้วยกระเบื้องเคลือบ ผึ่งลมไว้ชั่วคราว แล้วทำการคลุกผสมกันใหม่ทำเช่นนี้หลาย ๆ ครั้ง จนกว่าตัวอย่างจะแห้งตามที่ต้องการ แต่อย่าผึ่งตัวอย่างไว้จนผิวหน้าแข็งเป็นคราบชั้นที่ผิวหน้า ห้ามใช้วิธีเอาตัวอย่างใหม่ผสมเพิ่มลงไปเพื่อให้ตัวอย่างแข็งขึ้น

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

2. วิธีการหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) ของดิน (เทียบเท่า AASHTO 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 ใช้เครื่องมือชุดเดียวกับที่ทดลองหา Liquid Limit ตามการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515

2.2.1.2 แผ่นกระจกขนาดประมาณ 150 มิลลิเมตร x 150 มิลลิเมตร x 10 มิลลิเมตร

2.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ดำเนินการตามวิธีการเตรียมตัวอย่างของวิธีการทดลองหาค่า Liquid Limit ของดินตามการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515

2.2.3 การทดลอง

2.2.3.1 นำตัวอย่างประมาณ 8 กรัม มาคลุกขี้ยาให้เข้ากันจนทั่ว แล้วทำเป็นรูปยาวรี (Ellipsoidal Shape)

2.2.3.2 ใช้นิ้วมือคลึงตัวอย่างออกเป็นเส้น โดยใช้น้ำหนักกดลงแต่เพียงพอดีในอัตราการคลึง 80 ถึง 90 เทียวด่อนาที (คลึงไปและกลับนับเป็น 1 เทียว) ให้เส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างโตสม่ำเสมอจนตลอด เส้นตัวอย่างจะค่อย ๆ ยาวออกและเส้นผ่านศูนย์กลางจะค่อย ๆ ลดลง

2.2.3.3 เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กลงจนเท่ากับ 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างแตกพอดี ให้ดำเนินการตามข้อที่ 2.2.3.11

2.2.3.4 ถ้าเส้นตัวอย่างยังไม่แตก เมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางของเส้นตัวอย่างเล็กถึง 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว) ให้หักเส้นตัวอย่างออกเป็นหกหรือแปดชิ้น ใช้นิ้วชี้และข้อมือทั้งสองมือจนเข้ากันดี แต่งเป็นรูปยาวรีแล้วคลึงใหม่เช่นเดียวกับข้อ 2.2.3.2

2.2.3.5 ถ้าดำเนินการตามข้อ 2.2.3.4 แล้วเส้นตัวอย่างยังคงไม่แตก ให้ดำเนินการตามวิธี 2.2.3.4 ซ้ำใหม่ จนกระทั่งเส้นตัวอย่างแตก ไม่สามารถคลึงต่อไปได้

2.2.3.6 ถ้าการแตกของเส้นตัวอย่างตามข้อ 2.2.3.5 เกิดขึ้นเมื่อเส้นผ่านศูนย์กลางมีขนาดโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร (0.125 นิ้ว) และเส้นตัวอย่างนั้นเคยคลึงได้ขนาด 3.2 มิลลิเมตรมาก่อนแล้ว ให้ดำเนินการตามข้อ 2.2.3.11 ได้

2.2.3.7 การแตกของเส้นตัวอย่าง จะแสดงลักษณะผิดแผกกันไปสุดแล้วแต่ชนิดของดินดินบางชนิดอาจจะแตกออกเป็นก้อนเล็ก ๆ มากมาย บางชนิดแตกออกเป็นลักษณะทรงกระบอก โดยเริ่มต้นแตกปรีออกจากปลายทั้งสองข้างก่อน แล้วจึงแตกติดต่อไปตรงกลาง จนในที่สุดเส้นตัวอย่างจะแตกออกเป็นชิ้นบาง ๆ เล็ก ๆ หรืออาจจะแตกในลักษณะอื่นก็ได้

2.2.3.8 การปฏิบัติตามข้อ 2.2.3.4 สำหรับดินที่เหนียวมากในการคลึงให้เป็นเส้นแต่ละครั้ง การคลึงครั้งหลัง ๆ จำเป็นต้องเพิ่มน้ำหนักมากขึ้น ตัวอย่างดินชนิดนี้เมื่อแตกออกจะแตกเป็นปล้อง ๆ มีขนาดยาว 0.6 ถึง 10.0 มิลลิเมตร (0.25-0.375 นิ้ว)

2.2.3.9 ในการคลึงแต่ละครั้งตามข้อ 2.2.3.4 ห้ามเปลี่ยนอัตราเร็ว หรือเปลี่ยนน้ำหนักการคลึง หรือเปลี่ยนทั้งสองอย่าง เพื่อต้องการให้เส้นตัวอย่างแตกที่เส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร

2.2.3.10 สำหรับตัวอย่างที่มี Plasticity น้อย ๆ ในครั้งแรกควรทำดินตัวอย่างให้มีรูปร่างยาวรีและมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางโตกว่า 3.2 มิลลิเมตร เล็กน้อย

2.2.3.11 รวบรวมตัวอย่างที่แตกทั้งหมดใส่ลงในกระป๋องปิดฝาหรือนำไปชั่งแล้วบันทึกมวลไว้และเอาไปอบจนแห้งที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียส นำไปชั่ง บันทึกมวลดินแห้ง หามวลที่หายไป และถือว่าเป็นมวลของน้ำ

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

2.3 การคำนวณ

คำนวณหาค่า Plastic Limit (PL) และค่า Plasticity Index (PI) ได้จากสูตร

$$\begin{aligned} \text{Plastic Limit (PL)} &= \frac{\text{มวลของน้ำ (กรัม)}}{\text{มวลของดินแห้ง (กรัม)}} \times 100\% \\ \text{Plasticity Index} &= \text{LL} - \text{PL} \end{aligned}$$

3. วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (เทียบเท่า AASHTO T 27-70)

3.1 ขอบข่าย

วิธีการทดสอบนี้ได้ปรับปรุงจาก 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

เครื่องมือทดสอบประกอบด้วย

2.1.1 ตะแกรงช่องผ่าน ขนาดช่องผ่านต่าง ๆ พร้อมเครื่องมือเขย่าตะแกรง

2.1.2 เครื่องชั่ง สามารถชั่งได้ละเอียด 0.2% ของตัวอย่างทั้งหมด

2.1.3 แปรงลวดทองเหลือง แปรงพลาสติก และแปรงขน สำหรับทำความสะอาดตะแกรง

2.1.4 เตาอบสามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

3.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

นำตัวอย่างมาคลุกให้เข้ากันและแยกด้วยวิธีแบ่งสี่ หรือใช้เครื่องมือแบ่งตัวอย่าง ในขณะที่ตัวอย่างมีความชื้นเพื่อลดการแยกตัว ถ้าตัวอย่างไม่มีส่วนละเอียดอาจจะแบ่งขณะที่ตัวอย่างแห้งอยู่ก็ได้ ประมาณให้ได้ตัวอย่างเมื่อแห้งแล้ว

3.2.3 การทดลอง

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

3.2.3.2 นำตัวอย่างไปเขย่าในตะแกรงขนาดต่าง ๆ ตามต้องการ การเขย่านี้ต้องให้ตะแกรงเคลื่อนที่ทั้งแนวราบและแนวตั้งรวมทั้งมีแรงกระแทกขณะเขย่าด้วย เขย่านานจนกระทั่งตัวอย่างผ่านตะแกรงแต่ละขนาดใน 1 นาที ไม่เกิน 1% ของตัวอย่างในตะแกรงนั้น หรือใช้เวลาเขย่านานทั้งหมดประมาณ 15 นาที เมื่อเขย่าเสร็จแล้วตัวอย่างก้อนใหญ่กว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ต้องไม่ซ้อนกันในตะแกรง และตัวอย่างที่มีเม็ดเล็กกว่าตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) ต้องมีตัวอย่าง

ค้ำตะแกรงแต่ละขนาดไม่เกิน 6 กรัมต่อ 1,000 ตารางมิลลิเมตร หรือไม่เกิน 200 กรัมสำหรับตะแกรงเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร (8 นิ้ว) ถ้าตัวอย่างค้ำตะแกรงเกินกว่าที่กำหนดให้แบ่งตัวอย่างทดลองสองครั้ง หรือเพิ่มตะแกรงขนาดใหญ่กว่าตะแกรงที่ค้ำเกินเข้าไปอีกขนาดหนึ่ง นำตัวอย่างที่ค้ำตะแกรงแต่ละขนาดไปชั่ง

3.3 การคำนวณ

คำนวณหาขนาดเม็ดของวัสดุได้จากสูตร

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{R}{T} \times 100$$

เมื่อ R = มวลของตัวอย่างผ่านตะแกรงนั้น

T = มวลของตัวอย่างทั้งหมด

4. วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน (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. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ข. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

วิธี ค. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

วิธี ง. แบบขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) ดินผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (4 นิ้ว)

หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี “ก”

วิธีการทดลองที่จะกล่าวถึงต่อไปนี้ อาศัยวิธีการและปรับปรุงจากการทดลองของ AASHTO 180 และ ASTM D 1577 T

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) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางภายใน 152.4 มิลลิเมตร (6 นิ้ว) สูง 177.8 มิลลิเมตร (7 นิ้ว) และจะต้องมีปลอกขนาดเดียวกันสูง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีฐานทึบหรือเจาะรูพรุน ในการทดลองต้องใช้เหล็กโลหะรอง (Spacer Disc) ตามข้อ 4.2.1.1 รองด้านล่าง เพื่อให้ตัวอย่างสูง 116.4 มิลลิเมตร หรืออาจใช้แบบขนาดสูง 116.4 มิลลิเมตร (4.584 นิ้ว) โดยไม่ต้องใช้แท่งโลหะรองแต่ต้องใช้ฐานทึบ 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 (Rammer) ทำด้วยโลหะมีลักษณะดังนี้

เป็นรูปทรงกระบอก มีเส้นผ่านศูนย์กลาง 50.8 มิลลิเมตร (2 นิ้ว) มีมวลรวมทั้งด้าม ถือ 4.537 กิโลกรัม (10 ปอนด์) ต้องมีปลอกที่ทำไว้อย่างเหมาะสม เป็นตัวอย่างบังคับให้มีระยะตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว) เหนือระดับดินที่ต้องการบดทับจะต้องมีระยะบายอากาศอย่างน้อย 4 รู แต่ละรูมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางไม่น้อยกว่า 9.5 มิลลิเมตร เจาะห่างจากปลายปลอกทั้ง 2 ข้าง ประมาณ 19 มิลลิเมตร

4.2.1.4 เครื่องดันตัวอย่าง (Sample Extruder) เป็นเครื่องดันดินออกจากแบบภายหลัง เมื่อการทดลองเสร็จแล้ว จะมีหรือไม่มีก็ได้ ประกอบด้วยตัว Jack ทำหน้าที่เป็นตัวดัน และโครงเหล็กทำหน้าที่เป็นตัวจับแบบ ในกรณีที่ไม่ใช่ให้ใช้ส่วหรือเครื่องมืออย่างอื่นแคะตัวอย่างออกจากแบบ

4.2.1.5 ตาชั่งแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้น้อยกว่า 16 กิโลกรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.001 กิโลกรัม สำหรับชั่งตัวอย่างทดลอง

4.2.1.6 ตาชั่ง Scale หรือแบบ Balance มีขีดความสามารถชั่งได้ 1,000 กรัม ชั่งได้ละเอียดถึง 0.1 กรัม สำหรับหาปริมาณน้ำในดิน

4.2.1.7 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ 100 ± 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) ขนาด 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว)

(2) ขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

4.2.1.10 เครื่องผสม เป็นเครื่องมือจำเป็นต่าง ๆ ที่ใช้ผสมตัวอย่างกับน้ำ ได้แก่ ถาดซ้อน พลั่ว เกรียง ค้อนยาง และถ้วยตวงวัดปริมาตรน้ำ หรือจะใช้เครื่องผสมแบบ Mechanic Mixer ก็ได้

4.2.1.11 กระบองอบดิน สำหรับใส่ตัวอย่างดินเพื่ออบหาปริมาณน้ำ

4.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

ตัวอย่าง ได้แก่ ดินหรือหิน คลุก หรือ Soil-Aggregate หรือวัสดุอื่นใดที่ต้องการทดลองให้ดำเนินการดังนี้

4.2.2.1 ถ้าขนาดตัวอย่างก้อนใหญ่ที่สุด (Maximum Size) มีขนาดใหญ่กว่า 19.0 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) ถึงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)
- ขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4)

(2) ทำการชั่งมวลของวัสดุแต่ละขนาดที่เตรียมได้จากข้อ 4.2.2.1 (1) ก็จะทราบมวลของแต่ละตัวอย่างแต่ละขนาดมีอยู่ขนาดเท่าใด

(3) ตัวอย่างที่มีขนาดใหญ่กว่า 19 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ทิ้งไป

(4) แทนที่ของตัวอย่างในข้อ 4.2.2.1 (3) ด้วยตัวอย่างที่มีขนาดระหว่าง 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ถึงขนาด 4.75 (เบอร์ 4) 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. ดังตัวอย่างในข้อบ่งชี้ให้นำตัวอย่างมาทำให้แห้งโดยวิธีการตากแห้ง แล้วใช้ค้อนทุบให้ก้อนหลุดจากกัน และร่อนผ่านตะแกรงขนาด 4.75 มิลลิเมตร (เบอร์ 4) แล้วคลุกตัวอย่างให้เข้ากัน

4.2.2.4 ชั่งตัวอย่างที่เตรียมได้จากข้อ 4.2.2.1 หรือ 4.2.2.2 หรือ 4.2.2.3 แล้วแต่กรณี ให้ได้มวลรวมประมาณ 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 การทดลอง

การทดลอง Compaction Test จะใช้แบบ (Mold) ขนาดใดก็ได้แล้วแต่ความต้องการตามวิธีต่าง ๆ ดังกล่าวในข้อบ่งชี้ 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 ในขณะที่เดียวกับที่ทำการบดทับตัวอย่างในแบบ 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) และความแน่นแห้ง ρ_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 เขียน Curve ระหว่างความหนาแน่นแห้ง ρ_d และปริมาณน้ำในดินเป็นร้อยละ w ก็ทราบความแน่นแห้งสูงสุด $\text{Max } \rho_d$ (Maximum Dry Density) และปริมาณน้ำในดินที่ทำให้ความแน่นแห้งสูงสุด OMC (Optimum Moisture Content)

5. วิธีการทดลองหาค่า Unconfined Compressive Strength ของดิน (เทียบเท่า AASHTO T 208)

5.1 ขอบข่าย

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

5.2 วิธีทำ

5.2.1 เครื่องมือทดลองประกอบด้วย

5.2.1.1 เครื่องกด เป็นเครื่องใช้กดแท่งตัวอย่าง มีหลายแบบ เช่น ใช้ Deadweight หรือ Hydraulic เป็นแรงกด หรืออาจใช้เครื่องมือกดชนิดอื่นๆ ที่สามารถควบคุมอัตราเร็วของแรงกด และมีกำลังกดเพียงพอ สำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength น้อยกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) ต้องใช้เครื่องกดที่สามารถอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.01 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.001 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) และสำหรับดินที่มีค่า Unconfined Compressive Strength มากกว่า 1 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.1 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร) เครื่องกดจะต้องอ่านค่าได้ละเอียดถึง 0.05 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (0.005 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)

5.2.1.2 เครื่องดันตัวอย่างดิน ใช้ดันแท่งตัวอย่างดินออกจากท่อบาง (Thin Wall Tube)

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

5.2.1.4 Vernier Caliper ใช้วัดขนาดของแท่งตัวอย่าง โดยวัดได้ละเอียดถึง 0.1 มิลลิเมตร หรือ 0.01 นิ้ว

5.2.1.5 นาฬิกาจับเวลา

5.2.1.6 เตาอบที่สามารถควบคุมอุณหภูมิให้คงที่ได้ที่ 110 ± 5 องศาเซลเซียส

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

5.2.1.8 เครื่องมือเบ็ดเตล็ด เครื่องมืออื่น ๆ ที่ต้องใช้ คือ เครื่องมือตัดและตกแต่งตัวอย่าง เครื่องทำตัวอย่าง Remolded และกระป๋องอบดิน

5.2.2 การเตรียมตัวอย่าง

5.2.2.1 ขนาดแท่งตัวอย่าง แท่งตัวอย่างควรมีเส้นผ่านศูนย์กลางอย่างน้อย 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

5.2.2.2 ตัวอย่าง Undisturbed เตรียมตัวอย่าง Undisturbed จากแท่งตัวอย่าง Undisturbed ขนาดใหญ่หรือจากดินที่ได้จากการเก็บตัวอย่างโดยใช้ท่อบาง แท่งตัวอย่างที่ได้จากท่อบางอาจจะทดลองได้เลยโดยไม่ต้องตกแต่ง แต่ต้องตัดปลายทั้งสองข้างของตัวอย่างให้เรียบและมีสัดส่วนดังที่ได้ระบุมาแล้ว ในการเตรียมตัวอย่างจะต้องระมัดระวังอย่าให้มีการเปลี่ยนรูปร่างและขนาดหน้าตัดเกิดขึ้นในระหว่างการดันตัวอย่างดินออกจากท่อบาง ถ้าหากเห็นว่าจะเกิดการอัดตัวอย่างดินหรือจะทำให้ตัวอย่างดินถูกรบกวนก็ให้ตัดแบ่งท่อบางตามความยาวออกเป็นส่วน ๆ การเตรียมตัวอย่างทดลองถ้าหากเป็นไปได้ก็ควรเตรียมในห้องที่ควบคุมความชื้น เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น แท่งตัวอย่างทดลองจะต้องมีหน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง ในการตัดและแต่งปลายทั้งสองข้างของแท่งตัวอย่างถ้าหากมีเม็ดวัสดุที่ทำให้ผิวหน้าไม่เรียบ ก็ให้ปิดผิวหน้าด้วยปูนปลาสเตอร์ โดยให้ความหนาน้อยที่สุดหรือใช้ Hydrostone หรือวัสดุอื่น ๆ ที่มีคุณสมบัติคล้ายกัน ให้ซึ่งหามวลของแท่งตัวอย่างก่อนและหลังการทดลองหาปริมาณน้ำในดินของแท่งตัวอย่าง โดยใช้ตัวอย่างทั้งแท่งหรือส่วนที่เป็นตัวแทนของแท่งตัวอย่าง

5.2.2.3 ตัวอย่าง Remolded นำตัวอย่างดิน Undisturbed มาห่อด้วยแผ่นยางบาง ๆ แล้วใช้นิ้วขยำขยี้ เพื่อให้ดินถูก Remold อย่างทั่วถึง ในการทำต้องระวังอย่าให้มีฟองอากาศเข้าไปปนในดิน หลังจากนั้นก็อัดดินลงใน Mold ที่มีหน้าตัดเป็นรูปวงกลม และมีขนาดที่ได้ระบุไว้ในข้อ 5.2.2.1 เมื่อได้อัดดินใน Mold จนเต็มแล้วให้แต่งปลายแท่งตัวอย่างจนเรียบได้หน้าตัดตั้งฉากกับแกนตามยาวของแท่งตัวอย่าง แล้วดันแท่งตัวอย่างออกจาก Mold และชั่งหามวลของแท่งตัวอย่าง ตัวอย่าง Remolded ที่ได้จะต้องได้ดินเป็นเนื้อเดียวกันมี Void Ratio และปริมาณน้ำในดินใกล้เคียงกับตัวอย่าง Undisturbed เดิม

5.2.3 การทดลอง

5.2.3.1 โดยวิธีควบคุมความเครียด (Strain)

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

5.2.3.2 โดยวิธีควบคุมความเค้น (Stress)

ก่อนการทดลองให้ประมาณค่าแรงกดสูงสุดของแท่งตัวอย่าง วางแท่งตัวอย่างไว้ตรงกลางแผ่นกลมแผ่นล่างของเครื่องกดเลื่อนจนแผ่นกลมอันบนแตะกับผิวบนของแท่งตัวอย่างแล้วตั้งศูนย์บนหน้าปัดที่ใช้อ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง ใช้แรงกดเริ่มแรกบนแท่งตัวอย่างเท่ากับ $1/15$ ถึง $1/10$ ของแรงกดสูงสุดที่ได้ประมาณไว้แล้วทิ้งไว้ครู่หนึ่งนาที แล้วอ่านระยะยุบตัวของแท่งตัวอย่าง เพิ่มแรงกดต่อไปเท่ากับแรงกดแรก แล้วทิ้งไว้ครู่หนึ่งนาทีเหมือนครั้งแรก ทำเช่นนี้ไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งได้แรงกดสูงสุด หรือจนกระทั่งความเครียดมีค่าเท่ากับ 20 เปอร์เซ็นต์ ในระหว่างการเพิ่มแรงกด ถ้าสังเกตว่า จะต้องใส่แรงกดมากกว่า 15 ครั้งหรือน้อยกว่า 10 ครั้ง เพื่อให้ได้แรงกดสูงสุดแล้ว จะต้องรีบเปลี่ยนแรงกดแต่ละครั้งให้มากขึ้น หรือน้อยลงทันที ในการหาปริมาณน้ำในดิน อาจหาจากดินทั้งแท่งที่ทดลองเสร็จแล้ว หรือส่วนของดินที่เป็นตัวแทนแท่งตัวอย่างก็ได้

5.3 การคำนวณ

5.3.1 คำนวณหาความเครียดในแนวดิ่ง สำหรับแรงกดใด ๆ (ϵ) ได้โดยใช้สูตร

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L}$$

เมื่อ ΔL = ระยะยวบตัวของแท่งตัวอย่างที่แรงกดใด ๆ โดยอ่านค่าจาก Dial Gauge

L = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

5.3.2 คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใด ๆ (A) ได้โดยใช้สูตร

$$A = \frac{A_o}{1 - \epsilon}$$

เมื่อ A_o = เป็นพื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

ϵ = ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้น ๆ

5.3.3 คำนวณหาความเค้นสำหรับแรงกดใด ๆ (σ) ได้โดยใช้สูตร

$$\sigma = \frac{P}{A}$$

เมื่อ P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้น ๆ

5.3.4 เขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง σ และ ϵ โดยใช้ σ เป็นแกนตั้งและ ϵ เป็นแกนนอนจากกราฟสามารถหาค่าสูงสุดของ σ หรือค่า σ ที่ $\epsilon = 20\%$ ได้

6. วิธีทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริง เรโซ (California Bearing Ratio: CBR)

6.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง

6.1.1 แบบ (Mold) สำหรับเตรียมตัวอย่างขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6 นิ้ว สูง 7 นิ้ว พร้อม Collar สูง 2.5 นิ้ว และ Base Plate สำหรับยึด Mold และ Collar

6.1.2 Spacer Disc สูง 2.5 นิ้ว

6.1.3 Hammerหนัก 10 ปอนด์

6.1.4 Swelling Plate พร้อมขายึดมีเกลียวปรับความสูงต่ำได้

6.1.5 สามขา (Tripod) สำหรับยึด Dial Indicator เพื่อวัดอัตราการบวมของดิน

6.1.6 Dial Indicator วัดได้ 1 นิ้ว อ่านละเอียด 0.001 นิ้ว

6.1.7 น้ำหนักถ่วงทับ (Surcharge Weight)หนักแผ่นละ 5 ปอนด์

6.1.8 Penetration Piston พื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว

6.1.9 Loading Device แบบ Hydraulic Jack หรือแบบ Screw Jack มีอุปกรณ์วัดแรงได้ 10,000 ปอนด์

6.1.10 ตะแกรงร่อนดินเบอร์ 3/4 นิ้ว

6.1.11 เครื่องชั่ง ถาดคลุกดิน Straight Edge กระบอกลอยน้ำ

6.2 การเตรียมตัวอย่าง

6.2.1 นำดินตัวอย่างที่อบไว้ออกมาพัก ก่อนทำปฏิบัติการทดสอบดินตัวอย่างให้อยู่ในสภาพอุณหภูมิห้อง แล้วทำการร่อนดินผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว

6.2.2 เตรียมน้ำตาม Optimum Moisture Content ที่คำนวณไว้ในปฏิบัติการ Compact Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน

6.3 วิธีการทดลอง

6.3.1 ชั่งดินตัวอย่างที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว ประมาณ 6 กิโลกรัม

6.3.2 เตรียม Mold ชั่งน้ำหนัก Mold (เฉพาะ Mold ไม่รวม Base Plate)

6.3.3 ประกอบ Mold เข้ากับ Base Plate และ Spacer (ขนาด 6"x2" ใช้กระดาษกรอง ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 6" ปูทับ Spacer เพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดกับแผ่นเหล็ก)

6.3.4 นำดินตัวอย่างมาผสมกับน้ำตาม Optimum Moisture Content ในถาด แล้วทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน

6.3.5 นำตัวอย่างดินใส่ลงใน Mold แล้วทำการกระทุ้ง โดยแบ่งดินตัวอย่างที่ใส่ลงในเป็น 5 ชั้น ชั้นละ 2 นาติ ในการกระทุ้งด้วยเครื่องกระทุ้ง (โดยการตั้งค่านั้นจะได้การกระทุ้งประมาณ 25 ครั้งต่อชั้น)

6.3.6 หลังจากบดอัดดินจนครบจำนวนชั้นและจำนวนครั้งแล้ว ทำการถอด Collar ออก จากนั้นใช้ไม้บรรทัดเหล็ก (Straight Edge) ปาดดินส่วนที่เกินขอบ Mold ออกพร้อมกับการซ่อมแต่งผิวบนของดินตัวอย่างให้เรียบร้อยเสมอกับปาก Mold

6.3.7 ถอด Base Plate และ Spacer Disc ออก นำ Mold และดินไปชั่งน้ำหนักเพื่อหา Wet Density

6.3.8 เอากระดาษกรองวางบน Base Plate เพื่อป้องกันไม่ให้ดินเกาะติดแผ่นเหล็กประกอบ Mold ที่ดินอัดแน่นนี้เข้ากับ Base Plate โดยให้ปาก Mold ด้านที่มีดินเสมอกาวางบน Base Plate และส่วนที่มีช่องว่าง 2.5 นิ้วอยู่ที่ด้านบน

6.3.9 วางแผ่นเหล็ก Surcharge อย่างน้อย 10 ปอนด์ลงบนดินตัวอย่างใน Mold

6.3.10 จัดวาง Mold พร้อมดินตัวอย่างเข้าเครื่องกดทดลองซึ่งมี Piston ขนาดพื้นที่หน้าตัด 3 ตารางนิ้ว ประกอบติดอยู่ จัดให้ผิวด้านหน้าของดินใน Mold แตะสัมผัสกับ Piston ดังกล่าว จัดเข็ม Dial Gauge ที่จะใช้วัด Penetration ให้อยู่ที่จุดศูนย์

6.3.11 จัดการ Load ให้อัตรา 0.05 นิ้วต่อนาที พร้อมกับอ่านค่าน้ำหนักที่ตรงกับ Penetration 0 0.025 0.050 0.075 0.100 0.150 0.200 0.250 0.300 0.350 0.400 0.450 และ 0.500 นิ้ว

6.3.12 เสร็จแล้วถอด Mold ออกจากเครื่องกดทดลองเก็บตัวอย่างดินตรงกลางตามแนวตั้ง ประมาณ 100 กรัม (Fine Grained Soil) หรือประมาณ 500 กรัม (Coarse Grained Soil) นำไปหา เพอร์เซ็นต์ความชื้น (Water Content)

6.4 การคำนวณ

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

7. วิธีทดสอบความซึมน้ำ (Soil Permeability Test)

7.1 อุปกรณ์

7.1.1 Mold ขนาด

7.2 การเตรียมตัวอย่าง

7.2.1 นำดินที่ได้จากการอบมาพักให้อุณหภูมิอยู่ที่อุณหภูมิห้อง

7.2.2 เตรียมส่วนผสม น้ำ (ตาม Optimum Water Content) ซีเมนต์ (2%) และ ยางพารา (ตามส่วนผสมที่กำหนด 2.5% 5% และ 7.5%)

7.3 วิธีการทดลอง

7.3.1 นำดินตัวอย่างมาร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4 นิ้ว

7.3.2 ชั่งดินประมาณ 3 กิโลกรัมต่อ 1 Mole

7.3.3 เตรียมส่วนผสม

7.3.3.1 เตรียมน้ำตาม Optimum Water Content (สำหรับดินซีเมนต์)

7.3.3.2 ผสมน้ำกับยางพาราแต่ละเปอร์เซ็นต์ (2.5% 5% และ 7.5%) ให้มีปริมาณ ตามที่ Optimum Water Content (สำหรับดินซีเมนต์ผสมยางพารา)

7.3.4 คลุกเคล้าส่วนผสมให้เข้ากัน

7.3.5 นำดินตัวอย่างที่ทำการคลุกเคล้ากันดีแล้วมาใส่ใน Mold ที่เตรียมไว้ จากนั้นทำการกระทุ้งโดยแบ่งเป็น 3 ชั้นโดยแต่ละชั้นทำการกระทุ้ง 25 ครั้ง (ทำดิน)

7.3.6 การทำแต่งหน้าผิวดินด้วยไม้บรรทัด (Straight Edge) ให้มีความเรียบเสมอกับขอบของ Mold

7.3.7 ทำการบ่มตัวอย่าง (ดินผสมซีเมนต์และดินผสมซีเมนต์ผสมยางพารา) เป็นเวลา 7 วัน

7.3.8 นำตัวอย่างดินมาติดตั้งท่อน้ำเข้าและออก แล้วปล่อยน้ำเข้าและในขณะเดียวกันก็ระบายอากาศออกทางตอนบนของตัวอย่างดิน น้ำเริ่มระบายออกโดยไม่มีฟองอากาศออกแล้ว ปิดวาล์ว

7.3.8.1 เปิดวาล์วทางน้ำออก จนไม่มีฟองอากาศแล้วปิด ปล่อยตัวอย่างดินให้ชุ่มน้ำอย่างน้อย 12 ชม. สำหรับดินเหนียวหรือลูกรังบดอัด

7.3.8.2 เริ่มทำการทดลองโดยเปิดวาล์วทางน้ำออก แล้วจับเวลาเป็นวินาที

ภาคผนวก ข
(ผลการทดสอบและการคำนวณ)

1. ผลการทดสอบการซึมผ่าน

ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

Sample Diameter 10.10 cm

Sample Height 11.68 cm

Sample Area 80.12 cm²

Testing Head 163.00 cm

การคำนวณ

ตารางที่ ข-1 ข้อมูลการซึมผ่านของดินเดิม

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	1,560	29	10	5.38773x10 ⁻⁶
2	1,620	29	10	
3	1,800	29	10	
Average	1,660	29	10	

การคำนวณ Permeability, k:

$$k = \frac{QL}{Ah}$$

$$k = \frac{10 \times 11.68}{80.12 \times 163 \times 1660} = 5.38773 \times 10^{-6} \text{ cm/s}$$

ตารางที่ ข-2 ข้อมูลการซึมผ่านของดินซีเมนต์

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	120	32	10	7.09813x10 ⁻⁵
2	128	32	10	
3	130	32	10	
Average	126	32	10	

การคำนวณ Permeability, k:

$$k = \frac{QL}{Ah}$$

$$k = \frac{10 \times 11.68}{80.12 \times 163 \times 126} = 7.09813 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

การเตรียมสารละลาย

$$C_1V_1 = C_2V_2$$

เมื่อ C_1 = ความเข้มข้นสารละลายก่อนเจือจาง (%)

C_2 = ความเข้มข้นสารละลายหลังเจือจาง (%)

V_1 = ปริมาตรสารละลายก่อนเจือจาง (ml)

V_2 = ปริมาตรสารละลายหลังเจือจาง (ml)

ตารางที่ ข-3 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 2.5%

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	1,980	31	10	3.75783x10 ⁻⁵
2	2,520	31	10	
3	2,640	31	10	
Average	2,380	31	10	

การคำนวณ ปริมาตรน้ำยางพารา (2.5%) ก่อนเจือจาง :

$$V_1 = \frac{C_2V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{2.5 \times 546}{55}$$

$$V_1 = 24.82 \text{ ml} = 24.82 \text{ g}$$

$$\text{Permeability, } k: k = \frac{QL}{Ah}$$

$$k = \frac{10 \times 11.68}{80.12 \times 163 \times 2380}$$

$$k = 3.75783 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$$

ตารางที่ ข-4 ข้อมูลการซึมน้ำของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 5%

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	40.00	31	10	1.74227x10 ⁻⁴
2	53.00	31	10	
3	61.00	31	10	
Average	51.33	31	10	

การคำนวณ ปริมาณน้ำยางพารา (5%) ก่อนเจือจาง :

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{5 \times 546}{55}$$

$$V_1 = 49.64 \text{ ml} = 49.64 \text{ g}$$

Permeability, k: $k = \frac{QL}{Ah}$

$$k = \frac{10 \times 11.68}{80.12 \times 163 \times 51.33}$$

$$k = 1.74227 \times 10^{-4} \text{ cm/s}$$

ตารางที่ ข-5 ข้อมูลการซึมผ่านของดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารา 7.5%

Trial No.	Time (sec)	T (°C)	Q (ml)	k (cm/s)
1	5.55	33	10	1.75365 × 10 ⁻³
2	5.21	33	10	
3	4.54	33	10	
Average	5.10	33	10	

การคำนวณ ปริมาณน้ำยางพารา (7.5%) ก่อนเจือจาง :

$$V_1 = \frac{C_2 V_2}{C_1}$$

$$V_1 = \frac{7.5 \times 546}{55}$$

$$V_1 = 74.45 \text{ ml} = 74.45 \text{ g}$$

Permeability, k: $k = \frac{QL}{Ah}$

$$k = \frac{10 \times 11.68}{80.12 \times 163 \times 51.33}$$

$$k = 1.75365 \times 10^{-3} \text{ cm/s}$$

2. ผลการทดสอบหาพิกัดเหลว (LL) และพิกัดพลาสติก (PL)

ตารางที่ ข-6 ผลการทดสอบหาพิกัดเหลว (LL) และพิกัดพลาสติก (PL)

Liquid Limit Test					
No. of Blows	48	36	27	19	8
Can No.	1	2	3	4	5
Weight of Can (g.)	25.07	25.18	25.16	24.70	25.13
Wet Soil + Can (g.)	33.65	31.94	30.68	28.72	30.90
Dry Soil + Can (g.)	32.08	30.54	29.51	27.85	29.51
Weight of Water	1.57	1.40	1.17	0.87	1.39
Weight of Dry Soil (g.)	7.01	5.37	4.35	3.15	4.38
% Water Content	22.43	26.05	26.78	27.55	31.79
Plastic Limit Test					
	1	2	3	Average	
Weight of Can (g)	19.22	19.43	19.31	19.32	
Wet Soil + Can (g)	21.45	21.28	21.32	21.35	
Dry Soil + Can (g)	21.01	21.05	21.03	21.03	
Weight of Water (g)	0.44	0.23	0.29	0.32	
Weight of Dry soil (g)	1.79	1.62	1.72	1.71	
%Water Content of Plastic Limit	24.6	14.2	16.7	18.5	
Plasticity Index (PI) = LL - PL	26.9 - 18.5				8.4

2.1 การคำนวณหาค่า Liquid Limit (LL) (Can No.1)

$$\text{Weight of Water} = (\text{Wet Soil} + \text{Can}) - (\text{Dry Soil} + \text{Can})$$

$$\text{Weight of Water} = 33.65 - 32.0 = 1.57 \text{ g.}$$

$$\text{Weight of Dry Soil} = (\text{Dry Soil} + \text{Can}) - (\text{Weight of Can})$$

$$\text{Weight of Dry Soil} = 32.08 - 25.07 = 7.01 \text{ g.}$$

$$\% \text{ Water Content} = \frac{\text{Weight of Water}}{\text{Weight of Dry Soil}} \times 100$$

$$\% \text{ Water Content} = \frac{1.57}{7.01} \times 100 = 22.43 \%$$

$$\text{Liquid Limit} = \frac{\sum \% \text{Water Content}}{n}$$

$$\text{Liquid Limit} = \frac{22.43+26.05+26.78+27.55+31.79}{5} = 26.9 \%$$

2.2 การคำนวณหาค่า Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) (Can No.1)

$$\text{Weight of Water} = (\text{Wet Soil} + \text{Can}) - (\text{Dry Soil} + \text{Can})$$

$$\text{Weight of Water} = 21.45 - 21.01 = 0.44 \text{ g.}$$

$$\text{Weight of Dry Soil} = (\text{Dry Soil} + \text{Can}) - (\text{Weight of Can})$$

$$\text{Weight of Dry Soil} = 21.01 - 19.22 = 1.79 \text{ g.}$$

$$\% \text{ Water Content} = \frac{\text{Weight of Water}}{\text{Weight of Dry Soil}} \times 100$$

$$\% \text{ Water Content} = \frac{0.44}{1.79} \times 100 = 24.6 \%$$

$$\text{Plastic Limit} = 24.6 \%$$

$$\text{Average Plastic Limit} = \frac{24.6+14.2+16.7}{5} = 18.5\%$$

$$\text{Plasticity Index} = \text{Liquid Limit} - \text{Plastic Limit}$$

$$\text{Plasticity Index} = 26.9 - 18.5 = 8.4 \%$$

3. ผลการทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน (Grain Size Distribution Test)

ตารางที่ ข-7 ผลการทดสอบหาการกระจายตัวของเม็ดดิน

Soil Sample Weight							
		Weight of Container + Dry Soil		g.	1,631.2		
		Weight of Container		g.	131.2		
		Weight of Dry Soil		g.	1,500.0		
Sieve Data							
Sieve No.	Sieve Opening mm.	Weight of Sieve g.	Weight of Sieve + Soil, g.	Weight of Soil Retained, g.	Cumulative Retained, g.	Cumulative Retained, %	Percent Finer %
1"	19.000	493.40	493.40	0.0	0.0	0.00	100.00
3/8"	9.525	764.00	1,150.20	386.2	386.2	25.75	74.25
4	4.750	465.60	887.60	422.0	808.2	53.88	46.12
10	2.000	650.90	841.20	190.3	998.5	66.57	33.43
40	0.425	347.00	547.20	200.2	1,198.7	79.91	20.09
200	0.075	343.40	555.10	211.7	1,410.4	94.03	5.97
Pan	0.000	489.50	579.10	89.6	1,500.0	100.00	0.00

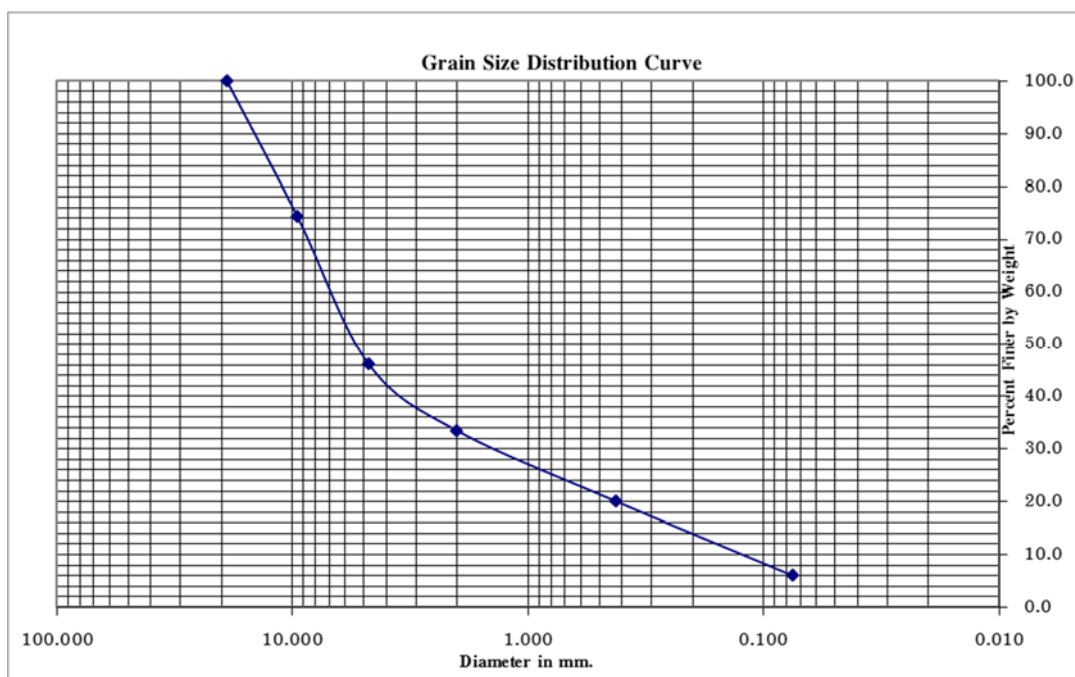
3.1 การคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง (เบอร์ 3/8")

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรง} = \frac{\text{น้ำหนักดินในแต่ละตะแกรง}}{\text{น้ำหนักดินทั้งหมด}} \times 100$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/8"} = \frac{386.2}{1,500} \times 100 = 25.75 \%$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรง (\%Finer)} = 100 - \text{เปอร์เซ็นต์ค้างสะสม}$$

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของดินที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8"} (\%Finer) = 100 - 25.75 = 74.25 \%$$



รูปที่ ข-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การผ่านตะแกรงกับเบอร์ตะแกรง

3.2 คำนวณหาค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C_u) และค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (C_c)

3.2.1 Coefficient of Uniformity, C_u

$$C_u = \frac{D_{60}}{D_{10}}$$

จากกราฟ Grain Size Distribution Curve จะได้ D_{10} เท่ากับ 0.14 มิลลิเมตร และ D_{60} เท่ากับ 7.00 มิลลิเมตร

$$C_u = \frac{7.00}{0.14} = 50$$

3.2.2 Coefficient of Concavity, C_c

$$C_c = \frac{D_{30}^2}{D_{10}D_{60}}$$

จากกราฟ Grain Size Distribution Curve จะได้ D_{10} เท่ากับ 0.14 มิลลิเมตร D_{30} เท่ากับ 1.50 มิลลิเมตร และ D_{60} เท่ากับ 7.00 มิลลิเมตร

$$C_c = \frac{1.50^2}{0.14 \times 7.00} = 2.30$$

4. ผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)

ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

Mold Diameter 6.0"

Mold Height 5.0"

Mold Volume 0.002317 m³

ตารางที่ ข-8 ข้อมูลผลการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน

WATER CONTENT DETERMINATION					
Trial No.	1	2	3	4	5
Wet Soil + Can	38.75	55.29	36.93	42.18	60.20
Dry Soil + Can	38.09	54.08	35.89	40.35	56.29
Wt. of Can	25.06	34.04	24.97	24.70	26.02
Wt. of Water	0.7	1.2	1.0	1.8	3.9
Wt. of Dry Soil	13.0	20.0	10.9	15.7	30.3
% Water Content	5.07%	6.04%	9.52%	11.69%	12.92%
DENSITY DETERMINATION					
Wt. of Soil + Mold	10,080.0	10,180.0	10,400.0	10,430.0	10,440.0
Wt. of Mold	5530	5530	5530	5530	5530
Wt. of Soil in Mold	4,550	4,650	4870	4900	4910
Wet Density	1,964.0	2,007.2	2,102.2	2,115.1	2,119.4
Dry Density, Kg/m ³	1,869.3	1,892.9	1,919.4	1,893.7	1,877.0

4.1 ตัวอย่างการคำนวณค่า (Trial No.1)

Water Content Determination

$$\text{Weight of Water} = (\text{Wet Soil} + \text{Can}) - (\text{Dry Soil} + \text{Can})$$

$$\text{Weight of Water} = 38.75 - 38.09 = 0.66 \text{ g.}$$

$$\text{Weight of Dry Soil} = (\text{Dry Soil} + \text{Can}) - \text{Weight of Can}$$

$$\text{Weight of Dry Soil} = 38.09 - 25.06 = 13.03 \text{ g.}$$

$$\% \text{ Water Content} = \frac{\text{Wt. of Water}}{\text{Wt. of Dry Soil}} \times 100$$

$$\% \text{ Water Content} = \frac{0.66}{13.03} \times 100 = 5.07 \%$$

Density Determination

Weight of Soil in Mold = (Wt. of Soil + Mold) – Wt. of Mold

Weight of Soil in Mold = 10,080.0 – 5,530 = 1,964.0 g.

$$\text{Wet Density} = \left(\frac{\text{Wt. OF Soil in Mold}}{\text{volume of mold}} \right)$$

$$\text{Wet Density} = \frac{\frac{4550}{0.002317}}{1,000} = 1,963.74 \text{ kg/m}^3$$

$$\text{Dry Density} = \frac{\text{Wet Density}}{(1 + \text{Wet Density})}$$

$$\text{Dry Density} = \frac{1,964.0}{1 + \frac{5.07}{100}} = 1,869.3 \text{ kg/m}^3$$

5. ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)

ข้อมูลพื้นฐานของวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ

Mold Diameter 6.0"

Mold Height 5.0"

Mold Area 0.018241 m²

ตารางที่ ข-9 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 1% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	72	5	147	5	100
10	145	10	370	10	150
12	251			13	280

ตารางที่ ข-10 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 2% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	25	5	30	5	40
10	50	10	50	10	65
15	83	15	72	15	93
20	110	20	95	20	120
25	140	25	144	25	160
30	200	28	220	30	209
30.43	250			33.36	248

ตารางที่ ข-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 2.5% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	96	5	90	5	92
10	132	10	127	10	130
15	160	15	150	15	155
20	191	20	186	20	195
25	233	25	223	25	237
30	302	30	298	30	305

ตารางที่ ข-11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 5% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	70	5	120	5	125
10	92	10	150	10	154
15	119	15	177	15	173
20	192	20	187	20	192
25	225	25	222	25	230
30	270	30	267	30	275

ตารางที่ ข-12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 7.5% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	53	5	50	5	52
10	68	10	67	10	65
15	78	15	76	15	75
20	85	20	80	20	81
25	94	25	92	25	92
30	110	30	108	30	113
35	122	35	120	35	124
40	135	40	131	40	135
45	152	45	150	45	155
50	168	50	165	50	170

ตารางที่ ข-13 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินผสมซีเมนต์ที่ 10% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	52	5	50	5	49
10	69	10	68	10	67
15	80	15	79	15	78
20	102	20	101	20	103
25	126	25	124	25	125
30	142	30	140	30	140
35	160	35	160	35	163
40	183	40	182	40	181
45	210	45	210	45	209
50	220	50	221	50	222
55	234	55	233	55	232
60	373	60	374	60	373

ตารางที่ ข-14 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่ 2.5% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	65	5	70	5	77
10	160	10	110	10	125
15	280	15	200	15	265
20	430	20	308	20	320
22.56	570	23.22	490	23	510

ตารางที่ ข-15 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่ 5% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	70	5	55	5	60
10	100	10	90	10	110
15	150	15	145	15	145
20	220	20	240	20	235
24.42	445	24.46	385	24.50	410

ตารางที่ ข-16 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราที่ 7.5% สามตัวอย่าง

ตัวอย่างที่ 1		ตัวอย่างที่ 2		ตัวอย่างที่ 3	
โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm	โหลดที่กระทำ (KN)	การทรุดตัว 0.01 mm
5	400	5	150	5	145
		10	230	10	244
		15	320	15	340
		19.14	700	18.20	715

ตัวอย่างการคำนวณ (ดินผสมซีเมนต์ที่ 7.5% ตัวอย่างที่ 1)

$$\sigma = \frac{P}{A} = \frac{50}{0.018241} = 2,741.1 \text{ kN/m}^2$$

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L} = \frac{168}{127} = 1.32$$

6. ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบร์ริง เรโซ (California Bearing Ratio: CBR)

ข้อมูลการทดสอบ

%Optimum Water Content 9.1 %

Type of Compaction Modified Procter Test

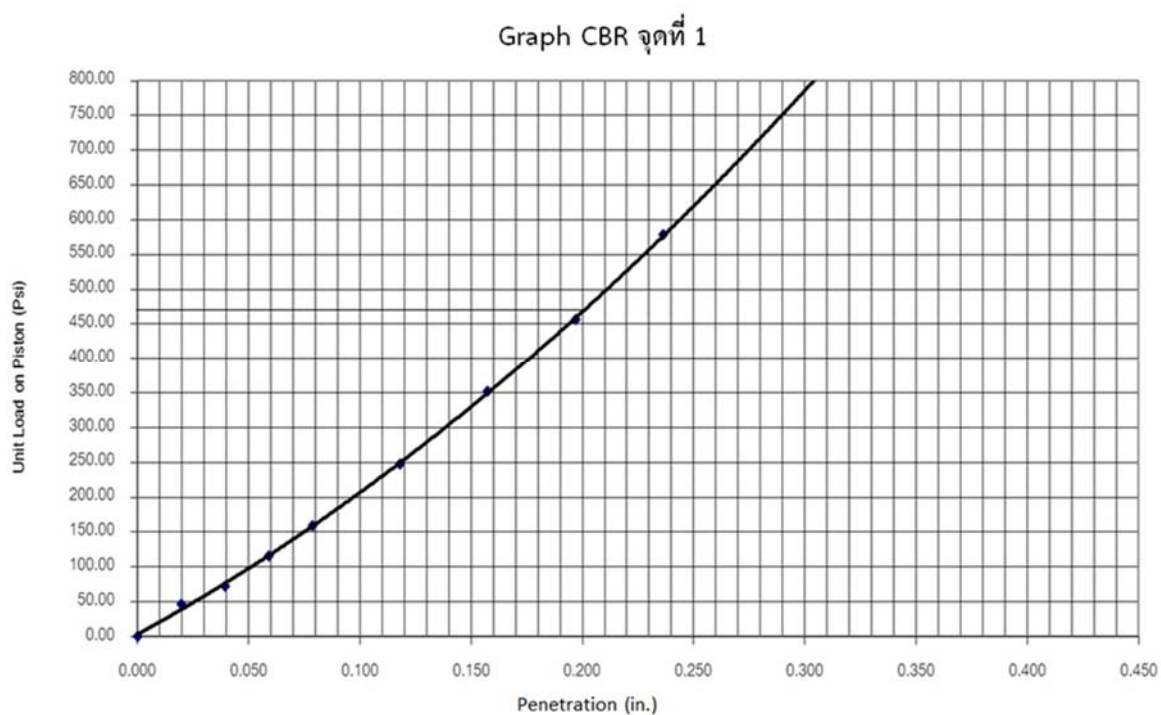
ตารางที่ ข-17 ผลการทดสอบ CBR

	CBR Load Test Data:			
	Sample No.	1		
penetration (div)	Penetration (in.)	Proving Ring Reading (Div.)	Load (Lb.)	Stress (Psi.)
0	0.000	0.0	0.00	0.00
50	0.020	25.0	139.58	46.53
100	0.039	40.0	218.04	72.68
150	0.059	65.0	348.80	116.27
200	0.079	90.0	479.56	159.85
300	0.118	140.0	741.08	247.03
400	0.157	200.0	1,054.90	351.63
500	0.197	260.0	1,368.73	456.24
600	0.236	330.0	1,734.86	578.29
800	0.315	480.0	2,519.42	839.81
1,000	0.394	650.0	3,408.59	1,136.20
	% C.B.R.	31.0%		

$$\text{Penetration (div) 1,000; Test Unit Load} = \frac{\text{penetration load}}{3}, \text{ psi}$$

$$\text{Test Unit Load} = \frac{3,408.59}{3}$$

$$\text{Test Unit Load} = 1,136.20 \text{ psi}$$



รูปที่ ข-2 กราฟระหว่าง Unit Load on Piston (Psi) ในแกนตั้งกับ Penetration (in.) ในแกนนอน

อ่านค่า Test Unit Load จากกราฟ ที่ 0.2 นิ้ว เพื่อคำนวณหา %CBR

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

จาก Penetration (in.) 0.2 นิ้ว จะได้ Standard Unit Load เท่ากับ 1,500 Psi

$$\%CBR = \frac{465}{1,500} \times 100\%$$

$$\%CBR = 31 \%$$

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ ชื่อสกุล

นายทัศนัย ภาชิต

วันเดือนปีเกิด

29 พฤศจิกายน 2537

สถานที่เกิด

อำเภอเมือง จังหวัดปราจีนบุรี

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

10/30 หมู่ 3 ต.ดงพระราม อ.เมือง

จ.ปราจีนบุรี 25000

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

083-031-6169

Email

thasdnai_9@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544

ประถมศึกษา จากโรงเรียน ทบอ. จักรพงษ์พิทยาลัย

พ.ศ. 2550

มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง

พ.ศ. 2553

มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนปราจิณราษฎรอำรุง

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก



ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ ชื่อสกุล

นายไกรสร หงษ์ฤทัย

วันเดือนปีเกิด

5 กันยายน 2537

สถานที่เกิด

อำเภอบางมูลนาก จังหวัดพิจิตร

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

87/29 ถ.ร่วมจิตบันดาล อ.บางมูลนาก

จ.พิจิตร 66120

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

095-639-1961

Email

kraisorn.hongruthai@g.swu.ac.th

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544

ประถมศึกษา จากโรงเรียนอนุบาลบางมูลนาก

พ.ศ. 2550

มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนบางมูลนากวิทยา

พ.ศ. 2553

มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนบางมูลนากวิทยา

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ

อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก



ประวัติย่อผู้ทำโครงการ

ชื่อ ชื่อสกุล

นายณัฐพงษ์ साใจ

วันเดือนปีเกิด

4 กุมภาพันธ์ 2537

สถานที่เกิด

อำเภอเมือง จังหวัดแพร่

สถานที่อยู่ปัจจุบัน

85/1 หมู่ 5 ถ.ช่อแฮ ต.นาจักร

อ.เมือง จ.แพร่ 54000

หมายเลขโทรศัพท์ติดต่อ

091-068-8537

Email

ex-orange@hotmail.com

ประวัติการศึกษา

พ.ศ. 2544

ประถมศึกษา จากโรงเรียนเทศบาลวัดเหมืองแดง

พ.ศ. 2550

มัธยมศึกษาตอนต้น จากโรงเรียนนาริรัตน์

พ.ศ. 2553

มัธยมศึกษาตอนปลาย จากโรงเรียนนาริรัตน์

พ.ศ. 2556

กำลังศึกษาระดับปริญญาตรี สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
อำเภอองครักษ์ จังหวัดนครนายก

