การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

กัญจน์ สลีวงศ์

วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต

สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

พฤศจิกายน 2563

การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

กัญจน์ สลีวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้เสนอต่อมหาวิทยาลัยเชียงใหม่เพื่อเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตาม
หลักสูตรปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
พฤศจิกายน 2563

การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

กัญจน์ สลีวงศ์

วิทยานิพนธ์นี้ได้รับการพิจารณาอนุมัติให้นับเป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต
สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะกรรมการสอบ **อาจารย์ที่ปรึกษา**

..... ประธานกรรมการ .....
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์) (รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม)

..... กรรมการ
(รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยะ ทองมุณี)

..... กรรมการ
(ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสิทธิ์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2 พฤศจิกายน 2563

© ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยเชียงใหม่

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้สำเร็จอย่างสมบูรณ์ได้ เพราะได้รับความช่วยเหลือจาก รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม อาจารย์ที่ปรึกษาวิทยานิพนธ์ ผู้ซึ่งให้คำปรึกษา คำแนะนำ และข้อคิดเห็นที่เป็นประโยชน์ในการทำวิจัยมาโดยตลอด อีกทั้งช่วยตรวจสอบแก้ไขวิทยานิพนธ์เพื่อความสมบูรณ์และถูกต้อง จนกระทั่งวิทยานิพนธ์ฉบับนี้เสร็จสมบูรณ์ ข้าพเจ้าจึงขอกราบขอบพระคุณไว้ ณ ที่นี้ และขอขอบพระคุณคณะกรรมการสอบวิทยานิพนธ์ที่ได้ให้คำแนะนำการแก้ไขวิทยานิพนธ์ให้ถูกต้องสมบูรณ์ยิ่งขึ้น

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสิทธิ์ อาจารย์ภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร ผู้ให้คำแนะนำในการทดสอบตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ และวัสดุเสริมในการทดสอบครั้งนี้ ตลอดจนให้ความรู้เกี่ยวกับการใช้โพลีเมอร์ในการปรับปรุงดิน และกรุณาให้คำปรึกษาเป็นอย่างดีมาโดยตลอด

ข้าพเจ้าขอกราบขอบพระคุณ ครอบครัว อาจารย์ เพื่อน ตลอดจนพี่นักศึกษาปริญญาเอก น้องนักศึกษาปริญญาโท และน้องนักศึกษาปริญญาตรี ที่ได้ให้ความช่วยเหลือ และเป็นกำลังใจให้ด้วยดีเสมอมา รวมถึงเจ้าหน้าที่ภาควิชาวิศวกรรมโยธาทุกท่าน และบุคคลที่เกี่ยวข้องกับวิทยานิพนธ์เล่มนี้ที่ทำให้การศึกษาครั้งนี้สำเร็จได้ด้วยดี

ท้ายที่สุดนี้ หากมีสิ่งใดขาดตกบกพร่องหรือผิดพลาดประการใด ผู้เขียนขออภัยเป็นอย่างสูงมา ณ ที่นี้ด้วย ข้าพเจ้าหวังเป็นอย่างยิ่งว่าวิทยานิพนธ์ฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับการเป็นแนวทางในการเลือกใช้วัสดุเพื่อปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานในอนาคต ตลอดจนผู้ที่มีความสนใจที่จะศึกษาต่อไป

กัญจน์ สลีวงศ์

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์ - โพลีเมอร์
ผู้เขียน	นาย กัญจน์ สลีวงศ์
ปริญญา	วิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต (วิศวกรรมโยธา)
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม

บทคัดย่อ

วิทยานิพนธ์นี้นำเสนอการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ (cement - polymer mixture) เพื่อลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ลงในการปรับปรุงคุณภาพดิน ให้สามารถรับกำลังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งในปัจจุบันซีเมนต์ถูกใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังอยู่ แต่เนื่องด้วยดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ จะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงแต่มีความสามารถในการรับแรงดัดต่ำ และก็ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากน้ำและความชื้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์และโพลีเมอร์ (Polymers) ที่นำมาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐาน โดยที่จะให้โพลีเมอร์มาช่วยในการพัฒนาความสามารถในการรับแรดดัดและการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากน้ำและความชื้น โดยการศึกษานี้พิจารณาการพัฒนากำลังรับแรงอัดแกนเดียว กำลังการรับแรงดัด และความสามารถในการดูดซึมน้ำของดินลูกรังด้อยมาตรฐานที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 และโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR) ในการทำเป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ของดินลูกรัง โดยแทนที่ซีเมนต์ด้วยโพลีเมอร์ที่ 0, 5, 10, 15 และ 20% ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนการแทนที่ด้วยโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) 10% และโพลีเมอร์อร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) 15% มีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวดีที่สุด และมีการพัฒนาการรับแรงดัดที่ดี ดังนั้นจึงนำอัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ ที่ได้จากการทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัด ของคอนกรีตมาใช้ในการปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐาน โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์อร์ชนิด Styrene acrylic (SA) เท่ากับ 90 : 10 และโพลีเมอร์อร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) เท่ากับ 85 : 15 เป็นวัสดุเชื่อมประสานแทนซีเมนต์ในปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10% ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน แล้วทำการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวต่อหน่วยพื้นที่ (Unconfined Compressive Strength) และทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption Test) เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมในการนำมาปรับปรุงดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ลูกรังด้อยมาตรฐาน พบว่าวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์ : โพลีเมอร์อร์ชนิด Styrene acrylic (SA) และโพลีเมอร์อร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) ที่ทำให้ดินลูกรังผ่านมาตรฐานจะใช้ปริมาณเท่ากับ 1.6% และ 2.4% ตามลำดับ ส่วนที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์จะใช้ปริมาณเท่ากับ 3.3% ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้วัสดุเชื่อมประสานได้ และวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์สามารถป้องกันความชื้นได้มากกว่าซีเมนต์ปกติได้ ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้จะสามารถนำไปใช้ในการรักษาเสถียรภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานสำหรับการใช้งานบนถนน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

Thesis Title	Improvement of Sub-Standard Lateritic Soil with Cement-Polymer Mixtures
Author	Mr.Gan Saleevong
Degree	Master of Engineering (Civil Engineering)
Advisor	Associate Professor Dr. Peerapong Jitsangiam

ABSTRACT

This research presents the improvement of sub-standard lateritic soil using cement-polymer mixtures. Mixing polymer into cement to create such a cement-polymer mixture could cause the cement use reduction in the cement stabilization technique for roadway applications. Cement as a soil stabilizing agent has been popularly used to stabilize any sub-standard materials for the road. However, the cement-stabilized material has relatively less flexural strength and still prone to have a moisture sensitivity characteristic even it can provide good compressive strength. This study aims to determine a proper ratio between cement and polymer for using as a stabilizing agent for sub-standard lateritic soil. This polymer would assist gaining more flexural strength and less moisture sensitivity for such cement-stabilized lateritic soil. In this study, the cement-polymer mixtures in forms of the paste were investigated with cement type 1, styrene acrylic (SA) and styrene butadiene rubber (SBR) polymers to make a new type of laterite binder with varying the polymer content of 0, 5, 10, 15, 20% by dry mass of cement. Cement-polymer paste samples were cured for 7 and 28 days before a series of the compressive strength tests, the flexural strength tests, and the water absorption tests. The results revealed that the 10% polymer (SA) and 15% polymer (SBR) content of cement can provide the best compressive strength with better flexural strength and least water absorption compared to other mixtures. With this proper ratio of cement : Styrene acrylic (SA) polymer of 90 : 10 and Styrene butadiene rubber (SBR) of 85 : 15 is used as a binder varying the cement content 2, 4, 6, 8 and 10% by dry mass of sub-standard lateritic soil. The unconfined compressive strength test and water absorption test were tested to determine the appropriate amount for improving sub-standard lateral soil. It was found that cement : styrene acrylic (SA) and styrene butadiene rubber (SBR) that

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

standardized laterite were used at equal amounts of 1.6% and 2.4%. The cement modified part used the amount equal to 3.3% which can reduce the consumption of binder and cement-polymer mixtures can prevent more moisture than normal cement. With this proper ratio, it can be further used in stabilizing the sub-standard lateritic soil for roadway application.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ

หน้า

กิตติกรรมประกาศ ค

บทคัดย่อภาษาไทย ง

ABSTRACT ฉ

สารบัญตาราง ญ

สารบัญรูปภาพ ฎ

บทที่ 1 บทนำ 1

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย 1

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย 2

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย 2

1.4 ขอบเขตของการวิจัย 2

บทที่ 2 ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 4

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง 4

2.2 มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย 20

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง 29

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย 33

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย 33

3.2 การทดสอบความข้นเหลวปกติและระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ด้วยเข็มไวแคต 34

3.3 การทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัด ของคอนกรีต 38

3.4 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง 42

3.5 การทดสอบค่าแรงอัดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unconfined Compressive Strength) 50

3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption Test) 55

บทที่ 4 ผลการทดสอบ 57

4.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง 57

4.2 การทดสอบวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ 62

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

4.3 การทดสอบดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ 67

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย 71

5.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง 71

5.2 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนซีเมนต์-โพลีเมอร์เพื่อใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานสำหรับการปรังปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐาน 71

5.3 การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ 72

5.4 การเปรียบเทียบหลังการปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสม 72

เอกสารอ้างอิง 73

รายการสิ่งพิมพ์เผยแพร่ 76

ภาคผนวก 77

ภาคผนวก ก 78

ภาคผนวก ข 82

ภาคผนวก ค 87

ประวัติผู้เขียน 93

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญตาราง

หน้า

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวม 10

ตารางที่ 2.2 การคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load) 26

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดของการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ 30

ตารางที่ 2.4 ค่า UCS ของดินแกรนิต โดยการผสมปูนซีเมนต์ 31

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบสภาวะข้นเหลวปกติและระยะก่อตัวของซีเมนต์ 35

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัดของคอนกรีต 39

ตารางที่ 3.3 การทดสอบและวิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นทางฟิสิกส์ของดินลูกรัง 42

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบหาความชื้นของดิน 46

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบ CBR (แบบแช่น้ำ) 48

ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ ชนิด Styrene acrylic (SA) 51

ตารางที่ 3.7 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) 51

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง 57

ตารางที่ 4.2 การกระจายตัวของเม็ดดินลูกรัง 58

ตารางที่ 4.3 ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (Subbase) 59

ตารางที่ 4.4 ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำในดินที่ทำให้เกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินลูกรัง โดยใช้วิธี Modified Compaction Test 60

ตารางที่ 4.5 ค่า C.B.R ของดินลูกรังที่ร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด 61

ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของอัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ 62

ตารางที่ 4.7 ค่า Flexural Strength และ Compressive Strength ของวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์ : โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) 63

ตารางที่ 4.8 ค่า Flexural Strength และ Compressive Strength ของวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์ : โพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) 65

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ

หน้า

ภาพที่ 2.1	โครงสร้างทางในยุคโรมัน	5
ภาพที่ 2.2	ดินลูกรัง	6
ภาพที่ 2.3	โพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์หลายตัวเชื่อมต่อกัน	15
ภาพที่ 2.4	โพลีเมอร์แบบเส้น (Chain length polymer)	17
ภาพที่ 2.5	โพลีเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer)	17
ภาพที่ 2.6	โพลีเมอร์แบบร่างแห (Croos -linking polymer)	18
ภาพที่ 3.1	แผนการดำเนินการวิจัย	33
ภาพที่ 3.2	แผนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)	34
ภาพที่ 3.3	สารละลายโพลีเมอร์ Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR)	34
ภาพที่ 3.4	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1)	35
ภาพที่ 3.5	การผสมวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์ – โพลีเมอร์	36
ภาพที่ 3.6	ตรวจสอบเครื่องมือไวแคต	36
ภาพที่ 3.7	ทดสอบความข้นเหลวของซีเมนต์	37
ภาพที่ 3.8	ทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์	38
ภาพที่ 3.9	เครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน	39
ภาพที่ 3.10	ซีเมนต์เพสต์ผสมเสร็จพร้อมใส่ในแบบ	40
ภาพที่ 3.11	การไล่อากาศภายในเนื้อคอนกรีตด้วยเครื่องสั่น	40
ภาพที่ 3.12	ก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน	41
ภาพที่ 3.13	การทดสอบ Flexural Strength Test	41
ภาพที่ 3.14	การทดสอบ Compressive Strength Test	42
ภาพที่ 3.15	การเตรียมตัวอย่างดินลูกรังสำหรับการร่อนเปียก	43
ภาพที่ 3.16	การร่อนเปียก (Wet Sieving)	43
ภาพที่ 3.17	อุปกรณ์การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.)	44
ภาพที่ 3.18	การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.)	45
ภาพที่ 3.19	การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.)	45
ภาพที่ 3.20	ผสมดินลูกรังเข้ากับน้ำ	47
ภาพที่ 3.21	ขั้นตอนการบดอัดดินเพื่อหาความชื้นของดิน (Optimum Moisture Content)	47

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สารบัญภาพ (ต่อ)

		หน้า
ภาพที่ 3.22	ขั้นตอนการบดอัดดินเพื่อทำการทดสอบ CBR (แบบแช่น้ำ)	49
ภาพที่ 3.23	การติดตั้งเครื่องมือวัดการบวมตัว	49
ภาพที่ 3.24	วัดการบวมตัวของตัวอย่างดิน	49
ภาพที่ 3.25	การเตรียมวัสดุเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด	53
ภาพที่ 3.26	ขั้นตอนการผสมวัสดุเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด	53
ภาพที่ 3.27	ขั้นตอนการบดอัดดินเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด	54
ภาพที่ 3.28	การบ่มตัวอย่างดินเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด	54
ภาพที่ 3.29	การทดสอบแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว	55
ภาพที่ 3.30	การทดสอบดูดซึมน้ำของดิน (Capillary rise test)	56
ภาพที่ 4.1	กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน	58
ภาพที่ 4.2	กราฟความสัมพันธ์จำนวนการเคาะกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน	59
ภาพที่ 4.3	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น	60
ภาพที่ 4.4	กราฟแสดงค่า C.B.R เทียบกับมาตรฐาน	61
ภาพที่ 4.5	กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ซีเมนต์:โพลีเมอร์ กับ น้ำ/ซีเมนต์	62
ภาพที่ 4.6	กราฟการทดสอบระยะก่อตัวของซีเมนต์-โพลีเมอร์	63
ภาพที่ 4.7	กราฟแสดง Flexural Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน (SA)	64
ภาพที่ 4.8	กราฟแสดง Compressive Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน (SA)	64
ภาพที่ 4.9	กราฟแสดง Flexural Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน (SBR)	65
ภาพที่ 4.10	กราฟแสดง Compressive Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน (SBR)	66
ภาพที่ 4.11	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์ - โพลีเมอร์ (SA)	67
ภาพที่ 4.12	กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์ - โพลีเมอร์ (SBR)	67
ภาพที่ 4.13	กราฟเปรียบเทียบวัสดุเชื่อมประสาน	68
ภาพที่ 4.14	กราฟเปรียบเทียบหลังปรับปรุงตามมาตรฐาน	69
ภาพที่ 4.15	กราฟการดูดซึมน้ำ	70

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 1

บทนำ

1.1 ที่มาและความสำคัญของการวิจัย

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ใช้ถนนเป็นคมนาคมหลักและมีระยะทางประมาณ 467,000 กิโลเมตร ปัจจุบันมีปริมาณผู้ใช้ถนนเพิ่มมากขึ้นจึงมีการก่อสร้างและปรับปรุงซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้น เนื่องจากถนนเกิดความเสียหายและเสื่อมสภาพ ซึ่งมีสาเหตุจากอุณหภูมิและความชื้นของสภาพอากาศในประเทศไทยมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างมาก ทำให้เกิดการเสื่อมสภาพไวกว่าอายุการใช้งานจริงและวัสดุที่นำใช้ในการก่อสร้างถนนนั้นมีหลายชนิด เช่น ดินลูกรัง หินคลุก เป็นต้น และต้องผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง ในปัจจุบันดินลูกรังที่ผ่านมาตรฐานนั้นมีจำนวนน้อยลงและหาได้ยาก ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังจึงเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อเพิ่มวัสดุในการก่อสร้างถนน

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังในประเทศไทยนิยมใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1) เป็นสารผสมเพิ่มเพื่อให้คุณสมบัติของวัสดุดีขึ้น อย่างไรก็ตามดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่ไม่สามารถรับแรงดึงได้ดี และยังทนต่อสภาพความชื้นที่เปลี่ยนแปลงได้ไม่ดีพอ (Jitsangiam and Nikraz, 2012) เพราะซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่ได้ถูกผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการผสมดิน เพื่อเป็นการพัฒนาการนำซีเมนต์มาปรับปรุงถนนให้ดียิ่งขึ้น จึงมีการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ซึ่งวัสดุทางเลือกที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ คือ โพลีเมอร์ (Polymer) ด้วยคุณสมบัติด้านกำลังที่ดี และยังช่วยป้องกันความชื้นได้มากกว่าซีเมนต์ปกติ (จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบูลย์, เดนนิส ที เบอร์กาโด และธนวรัท กฤตภัครพงษ์, 2553)

งานวิจัยนี้จึงมุ่งสนใจศึกษาการพัฒนาวัสดุงานถนน แนวทางความเป็นไปได้ในการนำดินลูกรังผสมกับวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ และผลจากการศึกษาส่วนใหญ่ยืนยันได้ว่าโพลีเมอร์ เป็นวัสดุทางเลือกชนิดหนึ่งที่นำมาปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังได้ ทำให้มีความเป็นได้ที่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ และศึกษาถึงคุณสมบัติด้านกำลังของดินลูกรังที่ปรับปรุง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

คุณภาพด้วยวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ เพื่อหาแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในงานถนนได้จริง ตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนดไว้

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

1.2.2 เพื่อประเมินหาคุณสมบัติด้านกำลังของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

1.2.3 เพื่อออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างดินลูกรังกับวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์ - โพลีเมอร์

1.2.4 เพื่อประเมินหาคุณสมบัติด้านกำลังของดินลูกรังด้อยมาตรฐานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์

1.3 ประโยชน์ที่ได้รับจากการวิจัย

1.3.1 ทราบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังเมื่อเทียบกับมาตรฐานของกรมทางหลวง

1.3.2 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ ที่จะนำไปใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่

1.3.3 ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมของดินลูกรังกับวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์

1.3.4 ดินลูกรังด้อยมาตรฐานที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ สามารถเป็นแนวทางของวัสดุก่อสร้างชั้นรองพื้นทางตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.4 ขอบเขตของการวิจัย

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ โดยใช้ดินลูกรังเป็นวัสดุตั้งต้น

1.4.1 ขอบเขตด้านข้อมูล

1) วัสดุตั้งต้น คือ ดินลูกรัง จากอำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่

2) โพลีเมอร์ที่นำมาวิจัยมี 2 ชนิด คือ Styrene acrylic และ Styrene butadiene rubber

1.4.2 ขอบเขตด้านวิธีการศึกษา

1) การทดสอบหาอัตราส่วนของวัสดุเชื่อมประสานระหว่างซีเมนต์ : โพลีเมอร์

2) กาทดสอบดินซีเมนต์ที่ให้พลังงานการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

3) การบ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 7, 28 วัน

4) การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compressive Strength Tests)

5) การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption Test)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 2

ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

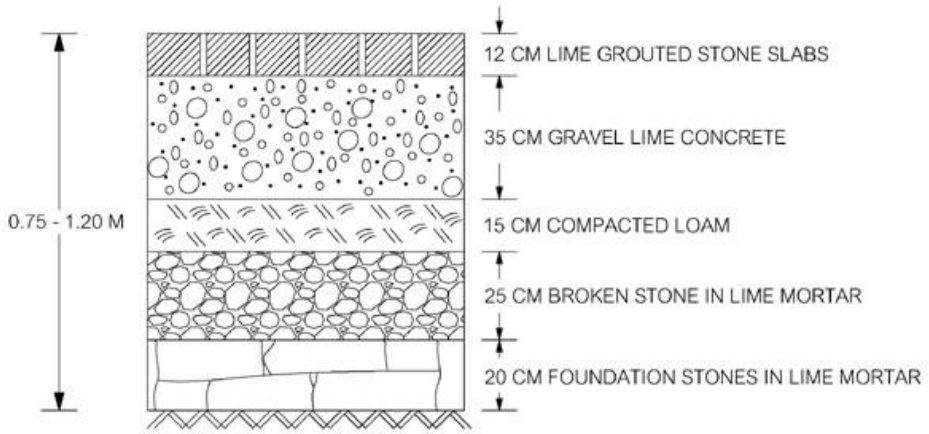
การก่อสร้างชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงโดยทั่วไปแล้วจะประกอบด้วยกรวด, หินบด, ดินลูกรังหรือดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์, เถ้าลอย, หรือหินปูน และเมื่อต้นทุนวัตถุดิบในท้องถิ่นมีราคาแพงเกินไปหรือความต้องการวัสดุเพิ่มขึ้น วัสดุที่ตรงตามมาตรฐานจึงไม่สามารถจัดหามาได้ จึงมีการเพิ่มความสามารถกำลังในการแบกรับของดินโดยการผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, ยางมะตอยโฟม, หรือเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นใหม่ เช่น cross-linking styrene acrylic polymer เป็นต้น

2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง

2.1.1 ประวัติการก่อสร้างถนน

จุดเริ่มต้นของการก่อสร้างถนนสามารถย้อนหลังไปถึงยุคของชาวโรมัน เริ่มแรกมนุษย์ใช้ทางเท้า (traces) ในการติดต่อหากัน ต่อมาได้มีการพัฒนามาใช้สัตว์เป็นพาหนะและขนสินค้า จึงได้เริ่มสร้างทางเกวียนขึ้นครั้งแรกก่อนคริสต์ศักราช 3500 พบได้ในเมโสโปเตเมีย ซึ่งสร้างด้วยหิน ในสมัยโรมันรุ่งเรืองชาวโรมันได้สร้างติดต่อระหว่างอาณาจักรต่างๆ ต่อมาเมื่อศตวรรษที่ 18 Tresaquet ชาวฝรั่งเศสได้เริ่มสร้างถนนให้ดีขึ้นโดยใช้หินมาถมเป็นชั้น ๆ ทำให้รับน้ำหนักได้มากขึ้นและยังทนทานกว่าเดิม จากนั้น John Macadam ชาวอังกฤษได้นำหินมาเรียงกันเป็นผิวทาง และให้รถม้าวิ่งบดทับให้แน่น ทางลักษณะนี้จึงให้ชื่อว่า Macadam ซึ่งใช้มาจนถึงปัจจุบันนี้ ในสหรัฐอเมริกาการก่อสร้างทางเริ่มจากการปรับปรุงทางเก่าและเก็บค่าผ่านทาง (Turn Pike) ซึ่งอาจจะลงทุนโดยรัฐบาลหรือเอกชน ทางสายแรกสร้างระหว่างฟิลาเดเฟียและเวอร์จิเนีย ต่อมาการสร้างทางหลวงถูกพัฒนามาเรื่อย ๆ เช่น การนำแอสฟัลท์มาใช้ประกอบกับหินหรือมวลรวม ใช้ในลักษณะของ Mixed Inplace and Asphaltic Concrete หรือ ผิวทางคอนกรีตเสริมเหล็กปัจจุบัน (O'Flaherty, 2002)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 2.1 โครงสร้างทางในยุคโรมัน
(จิรพัฒน์ โชติกไกร, 2531)

2.1.2 วัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างถนน

วัสดุที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางนั้นมีอยู่ 2 ประเภท คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์คอนกรีต (Portland cement concrete, PCC) และยางมะตอยผสมร้อน (Hot-mix asphalt, HMA) ต่อมาเป็นชั้นที่รองรับผิวทางเรียกชั้นนี้ว่าชั้นพื้นทาง วัสดุที่ใช้ก่อสร้างคือ หินคลุก หรือ วัสดุที่ปรับสภาพ (Treated material) และชั้นที่อยู่ข้างล่างชั้นพื้นทางเรียกว่าชั้นรองพื้นทาง วัสดุที่ใช้ก่อสร้างส่วนใหญ่จะใช้ดินลูกรัง นอกจากนี้ยังมีชั้นที่อยู่ล่างสุดคือชั้นดินเดิม จะเป็นดินเดิมตามธรรมชาติหรือดินที่ปรับปรุงคุณภาพก็ได้ (Tam & Weng On, 2005)

2.1.3 ดินลูกรัง (Lateritic Soils)

ประเทศไทยมีสถานที่ตั้งอยู่ในแถบมรสุมซึ่งมีสภาพบรรยากาศแบบร้อนและมีฝนตกตามสภาพภูมิอากาศดังกล่าวทำให้เป็นแหล่งกำเนิดของลูกรัง (Laterites) และดินลูกรัง (Laterites soil) โดยเฉพาะภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ดินลูกรังจะจะมีขนาดใหญ่เล็กตามชั้นดินและบริเวณแหล่งกำเนิดของดินลูกรัง ซึ่งเป็นปัจจัยที่ทำให้ดินลูกรังมีคุณสมบัติเปลี่ยนไปตั้งแต่ดีมากจนไปถึงแย่มาก นอกจากนี้ยังมีงานวิจัยในอดีตที่บอกถึงการเปลี่ยนแปลงทางเคมีภายในเนื้อดินตลอดระยะเวลาที่เปลี่ยนไป และตามสภาพอากาศ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.2 ดินลูกรัง

1) การเกิดของดินลูกรัง

1.1) Primary Lateritic Soil คือ ดินลูกรังที่มีเป็นส่วนประกอบหลัก และอยู่กับที่ในแหล่งกำเนิด เหล็กในดินลูกรังได้มาจากธาตุเฟอร์โรแมกนีเซียม (Ferro Magnesium) ที่อยู่ชั้นล่างลงไป และออกซิเจนกับกรดอินทรีย์จะออกซิไดซ์ (Oxidize) ให้กลายเป็นเหล็กออกไซด์ การเกิดของดินลูกรังประเภทนี้จะเกิดขึ้นเป็นชั้น ๆ จากผิวดินจนถึงแหล่งกำเนิดดังต่อไปนี้

ก) ชั้นผิวดิน

ข) ชั้นของดินลูกรังที่เป็นเม็ดกลมแห้งและแข็ง เกิดจากการเกาะกันของเฮมาไนท์เม็ดเล็ก ๆ และมีดินเหนียวปนบ้างเล็กน้อยชั้นของดินลูกรังที่เป็นเม็ดเล็กและแข็งจำนวนมาก และมีดินลูกรังเม็ดกลมที่เริ่มแข็งตัวของลิโมไนท์

ค) ชั้นดินเหนียวอ่อนที่ชุ่มชื้นและมีเหล็กออกไซด์ขนาดเม็ดต่าง ๆ ปนกันอยู่

ง) ชั้นดินเหนียวสีเทา ที่มีลิโมไนท์ปนอยู่หรือแทรกอยู่ตามรอยแตก

จ) ชั้นหินต้นกำเนิดที่ผุพัง (พวกกรวด ทราย ดินเหนียว)

ฉ) หินต้นกำเนิด

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.2) Secondary Lateritic Soil เป็นดินลูกรังที่เกิดขึ้นจากการเคลื่อนย้ายจากแหล่งกำเนิดอื่น และเมื่อน้ำใต้ดินไหลผ่านจะทำให้เหล็กออกไซด์ที่อยู่ในดินแข็งตัวและยังมีออกซิไดซ์แร่เหล็กที่มีอยู่ในบริเวณนั้นด้วย โดยทั่วไปดินลูกรังประเภทนี้จะไม่แบ่งเป็นชั้น ๆ เหล็กออกไซด์สีแดงที่เกิดขึ้นจะมีปริมาณต่างกันขึ้นอยู่กับสภาพแวดล้อม ลักษณะของดินและความสามารถในการยอมให้น้ำซึมผ่านของชั้นดินออกไซด์ของดินลูกรังประเภทนี้จะอยู่กระจัดกระจายมากกว่าดินลูกรังประเภทแรก และมักเกาะอยู่โดยรอบของเม็ดกรวดหรือชิ้นส่วนที่แตกหักจึงทำให้ดินลูกรังประเภทนี้มีขนาดใหญ่กว่า มีความแข็งแรงที่แตกต่างกันมากกว่า

Moh และ Mazhar (1969) กล่าวว่าการเตรียมตัวอย่างดินลูกรังก่อนทดสอบ มีผลทำให้ค่าขีดจำกัดพิกัดอัตเตอร์เบิร์กแตกต่างกันไป การอบตัวอย่างให้แห้งก่อนการทดสอบจะให้ผลที่ต่างจากดินที่อยู่ตามธรรมชาติ หรือการทดสอบที่ความชื้นตามธรรมชาติ ผลการทดลองจะแตกต่างกันมากในกรณีที่มีแร่ Montmorillonite เป็นองค์ประกอบ

Shuster (2548) ได้ทำการทดลองเพื่อตรวจสอบความทนทานของเม็ดลูกรังในประเทศไทยโดยใช้การทดลอง Los Angeles Rattler Test (ASTM C 131-64 T) และ California Durability Test (State of California Test Method 229-C) จากผลการทดลอง ปรากฏว่า California Durability Test เป็นวิธีการทดลองที่เหมาะสมให้ค่าความทนทานของดินลูกรังใกล้เคียงกับสภาพจริงที่เกิดขึ้นในสนามมากกว่า Los Angeles Ratter Test

2) สีของดินลูกรัง เกิดขึ้นเนื่องจาก 2 สาเหตุ คือ

2.1) จากอินทรีย์สารทำให้ดินลูกรังมีสีดำ, สีน้ำตาลและสีเทา

2.2) จากแร่ธาตุต่าง ๆ ที่มีในดินลูกรัง ได้แก่

ก) แร่เหล็กทำให้ดินลูกรังมีสีแดง, สีส้ม, สีเหลือง, สีน้ำตาล สีน้ำเงินและสีเขียว

ข) แร่แคลเซียม, แร่แมกนีเซียม, แร่โซเดียม, แร่โปแตสเซียมและแร่อลูมิเนียม ทำให้ดินลูกรังมีสีขาว

ค) แร่แมงกานีส ทำให้ดินลูกรังมีสีดำ และสีน้ำตาล

ดังนั้นจึง ดินลูกรังมีสีที่แตกต่างกันออกไปขึ้นอยู่ปริมาณของอินทรีย์สาร และแร่ที่ผสมอยู่ในดิน แต่โดยทั่วไปแล้วดินลูกรังมักมีสีแดงเป็นส่วนใหญ่

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3) คุณสมบัติทางฟิสิกส์ของดินลูกรัง

3.1) ความถ่วงจำเพาะ จากการศึกษาของ Nanda และ Krishnamachari (1958) พบว่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรังมีค่าอยู่ระหว่าง 2.55 – 4.6 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของเหล็กออกไซด์ที่ผสมอยู่ในดินลูกรัง

3.2) การกระจายขนาดของเม็ดดิน ดินลูกรัง ส่วนใหญ่มีการกระจายขนาดเม็ดดินคละกัน

3.3) ค่าดัชนีพลาสติก มีค่าไม่แน่นอนทั้งนี้ขึ้นอยู่กับปริมาณของดินเหนียว การชะล้าง และการเกิด laterization กล่าวคือ หากเกิดการชะล้าง และ laterization มากจะทำให้ ค่าดัชนีพลาสติกลดลง

4) คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรัง

4.1) กำลังรับแรงเฉือน มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับองค์ประกอบทาง genetic, ชนิดของหินต้นกำเนิด และการเกิดดินลูกรัง (decomposition , laterization, desiccation) จากการศึกษาของ Baldovin (1969) พบว่าดินลูกรังจะมีค่า strength parameter สูง หากเกิด laterization สูง

4.2) สัมประสิทธิ์การซึมน้ำ มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับชนิดของหินต้นกำเนิด, อัตราส่วนโพรง วิธีการเตรียมตัวอย่าง และ degree of weathering

4.3) การยุบตัวของดิน มีค่าไม่แน่นอนขึ้นอยู่กับสภาพการระบายน้ำ, ตำแหน่งของดินในชั้นดิน และโครงสร้างของดิน

4.4) การบดอัด จากการศึกษาของ Quinones (1963) พบว่าอิทธิพลที่มีผลต่อการบดอัดดินลูกรัง ได้แก่องค์ประกอบทาง genetic, วิธีการเตรียมและวิธีการบดอัด

4.5) องค์ประกอบทาง genetic ที่มีผลต่อการบดอัดดินลูกรังได้แก่ขบวนการเกิดดินลูกรัง, การกระจายขนาดเม็ดดิน และแร่ธาตุที่มีอยู่ในดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1.4 มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (Subbase) ทล. - ม. 205/2532

วัสดุมวลรวม (soil Aggregate) จะต้องมีความแข็ง ทนทาน เป็นเม็ดละเอียดปนหยาบในอัตราส่วนที่เหมาะสม และไม่มีก้อนดินเหนียวหรือวัชพืชปนอยู่ หากมีส่วนที่เป็นก้อนขนาดมากกว่า 50 มิลลิเมตร จะต้องทุบให้แตกแล้วผสมให้เข้ากันก่อน แหล่งวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการก่อสร้างจะต้องมีความหน้าเชื่อถือ และได้รองรับจากวิศวกรคุมงาน

ในกรณีที่ไม่ได้ระบุคุณสมบัติของรองพื้นทางวัสดุมวลรวมไว้เป็นอย่างอื่น วัสดุที่ใช้ทำชั้นรองนทาง จะต้องมีคุณสมบัติดังต่อไปนี้

1) มีค่าความสึกหรอ เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 202/2515 “วิธีทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion” ไม่เกินร้อยละ 60
2) มีขนาดคละที่ดี เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 205/2517 “วิธีการทดลองหาขนาดของวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง” ต้องมีขนาดใดขนาดหนึ่งตามตารางที่ 2.1
3) มีค่า Liquid Limit เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 102/2515 “วิธีทดลองหาค่า Liquid Limit (L.L.) ของดิน” ไม่เกินร้อยละ 35
4) มีค่า Plasticity Index เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 103/2515 “วิธีการทดลองหาค่า Plastic Limit และ Plasticity Index” ไม่เกินร้อยละ 11
5) มีค่า CBR เมื่อทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 109/2517 “วิธีการทดลองหาค่า CBR ” ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25 ที่ความหนาแน่นแห้งของการบดอัดร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดลองตามวิธีการทดลองที่ ทล.-ท. 108/2517 “วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน”

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ถ้าวัสดุที่ใช้ไม่ผ่านตามเกณฑ์ที่กำหนดให้เปลี่ยนแหล่งวัสดุหรือทำการปรับปรุงคุณภาพตามมาตรฐานดินซีเมนต์ (Soil Cement) ให้ผ่านตามที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2.1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวม

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

2.1.5 วัสดุที่ใช้ปรับปรุงดินลูกรัง

1) ปูนซีเมนต์ (Cement)

การผลิตปูนซีเมนต์ในปัจจุบันแตกต่างจากเดิมบ้างแต่ยังคงใช้วัสดุหลักที่ใช้ในสมัยแรก และให้ความสำคัญที่คุณภาพของปูนซีเมนต์ที่ผลิต และประสิทธิภาพของกระบวนการผลิต การผลิตปูนซีเมนต์มีความแพร่หลายและได้รับความนิยมสูงเพราะวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์มีปริมาณมากและหาได้ง่ายในที่ต่าง ๆ ทั่วโลก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.1) วัตถุดิบในการผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 3 ประเภทหลัก คือ

ก) วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของปูนขาว (Line Component) เป็นส่วนประกอบทางเคมีเป็นแคลเซียมคาร์บอเนต (Calcium Carbonate. CaCo3) ซึ่งมีความบริสุทธิ์ ประมาณร้อยละ 85 – 95 ตัวอย่างวัตถุเหล่านี้ ตามธรรมชาติ ได้แก่ หินปูน (Limestone) ชอล์ก (Chalk) และดินขาว (Marl)

ข) วัตถุดิบที่มีส่วนประกอบของดินดำ (Clay) เป็นส่วนประกอบทางเคมี ของซิลิคอนไดออกไซด์ (Silicon Dioxide, SiO2) อะลูมินัมออกไซด์ (Aluminum Oxide, Al2O3) และ เฟอร์ริกออกไซด์ (Ferric Oxide, Fe2O3) ตัวอย่างวัตถุเหล่านี ตามธรรมชาติ ได้แก่ ดินดำ (Clay) และ ดินดาน (Shale)

ค) วัตถุดิบปรับแต่งคุณสมบัติ (Corrective Materials) เป็นวัตถุดิบที่ใช้สำหรับ เพิ่มเติมสารประกอบบางตัว ซึ่งมีไม่เพียงพอในดินดำ หรือดินดาน วัตถุดิบเหล่านี ได้แก่ ทราย (ในกรณี ที่ต้องการซิลิคอนไดออกไซด์) แร่เหล็กหรือดินลูกรัง (ในกรณีที่ต้องการเฟอร์ริกออกไซด์) และดิน อะลูมินา (ในกรณีที่ต้องการอะลูมินัมออกไซด์) เป็นต้น

1.2) การผลิตปูนซีเมนต์

การผลิตปูนซีเมนต์แบ่งออกเป็น 2 ระบบ คือ การผลิตแบบเปียกและการผลิตแบบแห้ง วิธีเลือกการผลิตขึ้นอยู่กับความชื้นของวัตถุดิบในธรรมชาติ ความแข็งแรง และชนิดของวัตถุดิบ การบดวัตถุจะทำได้ยากเมื่อมีความชื้นอยู่ และจำเป็นต้องขจัดความชื้นที่มีอยู่หรือเพิ่มน้ำให้มีปริมาณมากขึ้น ถ้าวัตถุดิบเป็นดินเหนียวจะมีความชื้นสูง ดังนั้นจึงใช้กระบวนการผลิตแบบเปียก หากวัตถุดิบเป็นหินและหินเชลจะมีความชื้นค่อนข้างต่ำจึงควรใช้กระบวนการผลิตแบบแห้ง

การผลิตแบบเปียก จะนำวัตถุดิบผสมกับน้ำตามที่กำหนดโดยปกติถ้าใช้ดินเหนียวและหินชอล์กจะใช้อัตราส่วนวัตถุดิบต่อน้ำประมาณ 1:3 และบดให้ละเอียดในหม้อบด เสร็จแล้วนำไปร่อนผ่านตะแกรงละเอียวด ก่อนส่งเข้าเตาเผาจะมีความชื้นที่ประมาณร้อยละ 35 ถึง 50

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การผลิตแบบแห้ง วัตถุดิบที่ได้จากการระเบิดเหมืองแร่ จะนำไปย่อยให้มีขนาดเล็กในเครื่องย่อยขั้นต้น และเครื่องย่อยขั้นที่สองตามลำดับ จากนั้นนำไปบดละเอียด แล้วผสมกันตามสัดส่วนที่ต้องการในไซโลผสมวัตถุดิบ แล้วเพิ่มความร้อนของวัตถุดิบด้วยลมร้อนก่อนส่งเข้าเตาเผา ในกรณีของการผลิตแบบกึ่งแห้ง จะนำวัตถุดิบไปทำเป็นเม็ดโดยการเติมน้ำเล็กน้อยและผ่านเข้าไปในเครื่องทำเม็ด วัตถุดิบจะจับกันเป็นก้อนกลมขนาดประมาณ 12 มิลลิเมตร ทั้งนี้เพื่อทำให้การป้อนวัตถุดิบเข้าสู่เตาเผาสะดวกขึ้น วัตถุดิบจะมีความชื้นประมาณร้อยละ 12 ดังนั้นเตาเผาของการผลิตแบบแห้งและกึ่งแห้งจึงมีขนาดเล็กกว่าเตาเผาในกรณีการผลิตแบบเปียก

เตาเผาโรงงานปูนซีเมนต์เป็นเตาแบบหมุน ทำด้วยเหล็กกล้ารูปทรงกระบอกข้างในบุด้วยอิฐ ทนไฟ เตาเผาแบบหมุนมีความเอียงจากแนวราบเล็กน้อยประมาณ 3 ถึง 5 ในร้อย และหมุนรอบแกนของทรงกระบอกอย่างช้า ๆ ประมาณ 1 ถึง 3 รอบต่อนาที เชื้อเพลิงที่ใช้ในการเผาเป็นถ่านหิน น้ำมัน หรือก๊าซธรรมชาติ วัตถุดิบจะป้อนเข้าทางส่วนบนของเตาสำหรับกระบวนการผลิตแบบเปียกวัตถุดิบ อยู่ในเตาเผาเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ถึง 2 ชั่วโมง 30 นาที และเป็นเวลา 30 นาทีถึง 1 ชั่วโมง สำหรับ กรณีผลิตแบบแห้ง

<u>กระบวนการที่เกิดขึ้นในเตาเผาสามารถแบ่งออกเป็น 4 ขั้นตอน คือ</u>

ก) การขจัดน้ำอิสระโดยการระเหย (Evaporation)
ข) การขจัดน้ำและคาร์บอนไดออกไซด์ (Calcination)
ค) การทำปฏิกิริยาเป็นปูนเม็ด (Clinkering)
ง) การลดอุณหภูมิ (Cooling)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

1.3) ประเภทของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

การศึกษาอิทธิพลของสารประกอบทำให้สามารถปรับคุณสมบัติของปูนซีเมนต์เพื่อให้เหมาะสมกับการใช้งานประเภทต่าง ๆมาตรฐานการทดสอบวัสดุตาม ATSM C 150 ได้แบ่งปูนซีเมนต์ ปอร์ตแลนด์ออกเป็น 5 ประเภท ดังนี้

ก) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา เป็นปูนซีเมนต์ประเภทใช้กันมากในงานคอนกรีต ประมาณได้ว่าร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกาเป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทนี้ สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงสุดในระยะเวลาไม่รวดเร็วมากนักและให้ความร้อน ปานกลาง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว ตราทีพีไอสีแดง ตราภูเขาตรา ดาวเทียม และตราเอกซีเมนต์สีน้ำเงิน เป็นต้น

ข) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 2 ปูนซีเมนต์ดัดแปลง ปูนซีเมนต์ที่ให้ความร้อนไม่สูงมากนักความร้อนที่เกิดขึ้นมีค่าน้อยกว่า ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แต่สูงกว่าของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ความร้อนต่ำ (ประเภทที่ 4) และให้กำลังใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 เหมาะสำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่เกิดความร้อนและ ทนทานต่อการกัดกร่อนของสารละลายซัลเฟตได้ปานกลาง ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ใช้ค่อนข้างน้อยในประเทศไทยที่มีอยู่ได้แก่ปูนซีเมนต์ ตราพญานาค 7 เศียร

ค) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์แข็งตัวเร็ว ปูนซีเมนต์ที่ให้กำลังสูงในระยะแรก ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันสูงเพราะมีปริมาณสูงและความละเอียดสูงกว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาก เหมาะสำหรับงานที่ต้องการใช้งานเร็ว เช่น งานซ่อมแซม หรืองานที่ต้องการถอดแบบเร็ว เช่น เสาเข็มคอนกรีต เสาไฟฟ้าคอนกรีต ผลิตภัณฑ์คอนกรีตสำเร็จรูป ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ตราเอราวัณ ตราพญานาคสีแดง ตราทีพีไอสีดำ และตราเอกซีเมนต์สีแดง เป็นต้น

ง) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทเกิดความร้อนต่ำปูนซีเมนต์ชนิดนี้ ให้ความร้อนจากปฏิกิริยาไฮเดรชันที่ต่ำมากเพราะปริมาณของ C3S ต่ำ คือ โดยเฉลี่ยมีค่าประมาณร้อยละ 25 ที่ 30 แต่จะมี C2S ที่ค่อนข้างสูง คือโดยเฉลี่ยประมาณร้อยละ 50 ถึง 60 ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ จึงเหมาะสำหรับใช้งานในการก่อสร้างคอนกรีตหลา (Mass Concrete) หรือโครงสร้างคอนกรีตขนาดใหญ่ เช่น เขื่อนคอนกรีตตอม่อขนาดใหญ่เนื่องจากมีคุณสมบัติใน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การให้อุณหภูมิของคอนกรีตต่ำ ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ไม่มีจำหน่ายในท้องตลาดในประเทศไทยต้องสั่งโดยตรงจากผู้ผลิต

จ) ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 5 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทนซัลเฟต เป็นปูนซีเมนต์ที่ต้านทานซัลเฟต ได้สูงปูนซีเมนต์ประเภทนี้จะมีปริมาณ ของ C3A ต่ำมากโดยทั่วไปไม่เกินร้อยละ 5 เพราะ C3A จะทำให้เกิดการรวมตัวกับซัลเฟตได้ง่าย ดังนั้นเมื่อ C3A มีปริมาณน้อยจึงมีการการทำปฏิกิริยากับซัลเฟตได้น้อยหรือไม่ได้เลย ทำให้การกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายซัลเฟตลดลง ปูนซีเมนต์ชนิดนี้จึงเหมาะสำาหรับงานคอนกรีตที่สร้างอยู่ในที่มีเกลือหรือสารละลายซัลเฟตปูนซีเมนต์ชนิดนี้ได้แก่ ตราช้างสีฟ้า ตราปลาฉลาม และตราทีพีไอสีฟ้า เป็นต้น

1.4) ปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction)

ปฏิกิริยาทางเคมีระหว่างปูนซีเมนต์กับน้ำเรียกว่าปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Hydration Reaction) ทำให้เกิดความร้อน การก่อตัว และการแข็งตัวของเพสต์ ปฏิกิริยาไฮเดรชันขึ้นอยู่กับสารประกอบในปูนซีเมนต์ซึ่งจะทำปฏิกิริยาและมีอิทธิพลต่อกัน โดยปฏิกิริยาดังกล่าวจะเป็นตัวกำหนดคุณสมบัติของเพสต์ทั้งในสภาพพลาสติกและแข็งตัวแล้ว

ก) ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะก่อให้เกิดแคลเซียมซิลิเกต ไฮเดรต (Calcium Silicate Hydrate, $3CaO.2SIO_23H_2O$ หรือ CSH) และเกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (Calcium Hydroxide : $Ca(OH_2)$ หรือ CH) แสดงดังสมการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

$$2(3CaO.SiO_2) + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO_2.3H_2O + 3Ca(OH)_2$$

ข) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมซิลิเกต

ไตรแคลเซียมซิลิเกตจะทำปฏิกิริยากับน้ำช้ากว่าไตรแคลเซียมซิลิเกตแต่จะได้ผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาเหมือนกันคือ CSH และ CHแสดงดังสมการ

$$2(2CaO.SiO_2) + 4H_2O \longrightarrow 3CaO.2SiO.3H_2O + Ca(OH)_2$$

ค) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของไตรแคลเซียมอลูมิเนต

ปฏิกิริยาระหว่างน้ำกับไตรแคลเซียมอลูมิเนตจะเกิดขึ้นอย่างทันทีทันใด และทำให้เพสต์ก่อตัวอย่างรวดเร็ว แสดงดังสมการ

$$3CaO.Al_2O_3 + 6H_2O \longrightarrow 3CaO.Al_2O_3.6H_2O$$

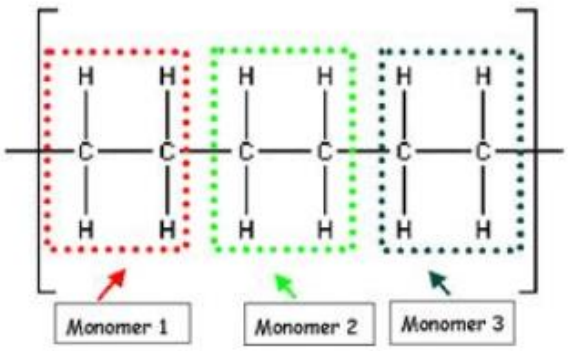
ง) ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์

ปฏิกิริยาไฮเดรชันของเตตราแคลเซียมอะลูมิโนเฟอร์ไรท์มีลักษณะคล้าย กับปฏิกิริยาของ CA แต่เกิดช้ากว่า และมีความร้อนจากการทำปฏิกิริยาน้อยกว่า โดยการทำปฏิกิริยา จะเกิดขึ้นในช่วงต้น โดยจะทำปฏิกิริยากับยิปซั่ม แสดงดังสมการ

$$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3 + Ca.SO_4.2H_2O \longrightarrow CaO.(Al_2O3.Fe_2O_3).3CaSO_4$$

2) โพลีเมอร์

โพลีเมอร์ (Polymer) คือ สารประกอบที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ และมีมวลโมเลกุลมากประกอบด้วยหน่วยเล็ก ๆ ของสารที่อาจจะเหมือนกันหรือต่างกันมาเชื่อมต่อกันด้วยพันธะโควาเลนต์มอนอเมอร์(Monomer) คือ หน่วยเล็ก ๆ ของสารในโพลีเมอร์ ดังภาพที่ 2.3



ภาพที่ 2.3 โพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์หลายตัวเชื่อมต่อกัน
(อนุสิษฐ์ เกื้อกูล, 2017)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.1) การเกิดโพลีเมอร์

โพลีเมอร์เกิดขึ้นจากการเกิดปฏิกิริยาโพลีเมอร์ไรเซชันของมอนอเมอร์ โพลีเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) คือ กระบวนการเกิดสารที่มีโมเลกุลขนาดใหญ่ (โพลีเมอร์) จากสารที่มีโมเลกุลเล็ก (มอนอเมอร์)

2.2) ประเภทของโพลีเมอร์

- <u>แบ่งตามการเกิดเป็นเกณฑ์ เป็น 2 ชนิด คือ</u>

ก) โพลีเมอร์ธรรมชาติเป็นโพลีเมอร์ที่เกิดขึ้นเองตามธรรมชาติ เช่น โปรตีน แป้ง เซลลูโลส ไกโคเจน กรดนิวคลีอิก และยางธรรมชาติ (พอลีไอโซปรีน)

ข) โพลีเมอร์สังเคราะห์เป็นโพลีเมอร์ที่เกิดจากการสังเคราะห์เพื่อใช้ประโยชน์ เช่น พลาสติก ไนลอน ดาครอน และลูไซต์ เป็นต้น

- <u>แบ่งตามชนิดของมอนอเมอร์ที่เป็นองค์ประกอบ เป็น 2 ชนิด คือ</u>

ก) โฮมอลิเมอร์ (Homopolymer) เป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ชนิดเดียวกัน เช่น แป้ง พอลิเอทิลีน

ข) เฮเทอโรโพลีเมอร์ (Heteropolymer) เป็นโพลีเมอร์ที่ประกอบด้วยมอนอเมอร์ต่างชนิดกัน เช่น โปรตีน พอลิเอสเทอร์ พอลิเอไมด์

- <u>แบ่งตามโครงสร้างของโพลีเมอร์ แบ่งออกเป็น 3 แบบ คือ</u>

ก) โพลีเมอร์แบบเส้น (Chain length polymer) เป็นโพลีเมอร์เกิดจากมอนอเมอร์สร้างพันธะต่อกันเป็นสายยาว โซ่โพลีเมอร์เรียงชิดกันมากว่าโครงสร้างแบบอื่น ๆ จึงมีความหนาแน่น และจุดหลอมเหลวสูง มีลักษณะแข็ง ขุ่นเหนียวกว่าโครงสร้างอื่น ๆ ตัวอย่าง PVC พอลิสไตรีน พอลิเอทิลีน ดังภาพที่ 2.4

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 2.4 โพลีเมอร์แบบเส้น (Chain length polymer) (อนุสิษฐ์ เกื้อกูล, 2017)

ข) โพลีเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) โพลีเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ยึดกันกันแตกกิ่งก้านสาขา มีทั้งโซ่สั้นและโซ่ยาว กิ่งที่แตกจากโพลีเมอร์ของโซ่หลัก ทำให้ไม่สามารถจัดเรียงโซ่โพลีเมอร์ให้ชิดกันได้มาก จึงมีความหนาแน่นและจุดหลอมเหลวต่ำยืดหยุ่นได้ความเหนียวต่ำโครงสร้างเปลี่ยนรูปได้ง่ายเมื่ออุณหภูมิเพิ่มขึ้นตัวอย่าง พอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นต่ำ ดังภาพที่ 2.5

ภาพที่ 2.5 โพลีเมอร์แบบกิ่ง (Branched polymer) (อนุสิษฐ์ เกื้อกูล, 2017)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค) โพลีเมอร์แบบร่างแห (Croos -linking polymer) เป็นโพลีเมอร์ที่เกิดจากมอนอเมอร์ต่อเชื่อมกันเป็นร่างแห โพลีเมอร์ชนิดนี้มีความแข็งแกร่งและเปราะหักง่าย ตัวอย่างเบกาไลต์ เมลามีนใช้ทำถ้วย ชาม ดังภาพที่ 2.6

ภาพที่ 2.6 โพลีเมอร์แบบร่างแห (Croos -linking polymer) (อนุสิษฐ์ เกื้อกูล, 2017)

2.1.6 ดินซีเมนต์ (Soil Cement)

ดินซีเมนต์ คือ ดินธรรมชาติที่ผ่านการคัดเลือก โดยการทดสอบคุณสมบัติทั้งเอกภาพและเคมี เหมาะสมที่จะนำมาใช้ผสมปูนซีเมนต์และน้ำในสัดสวนที่เหมาะสม และผ่านกรรมวิธีการผลิตได้เป็นวัสดุที่สามารถรับกำลังได้และใช้เป็นประโยชน์ในงานก่อสร้างและนั่น หมายถึงการนำวัสดุที่ไม่ได้มาตรฐาน Sub-Standard Material ทำให้เป็นวัสดุที่ได้มาตรฐาน Standard Material

ดินซีเมนต์ได้มีการพัฒนาขึ้นมาจากการทดสอบเป็นหลัก ซึ่งอาศัยวัสดุคือดินเป็นตัวกำหนดที่จะปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีใดวิธีหนึ่งให้ดีขึ้น ก่อนที่จะนำดินมาทำการทดลองจำเป็นต้องนำดินมาทดสอบทางกลศาสตร์ เพื่อหาแนวทางในการปรับปรุงคุณภาพของดินจากการทดสอบประเภทต่าง ๆ ด้วยวิธีการจำแนกดินทางวิศวกรรมและการทดสอบหาค่าดัชนีพลาสติกของดิน ขีดจำกัดเหลว ขีดพลาสติก และการหาขนาดของเม็ดดิน เพื่อจำแนกประเภทของดินลูกรังตาม โครงสร้างของดินได้มีการจำแนกชนิดของดินซีเมนต์ตามส่วนประกอบหลักออกเป็น 3 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดจะมีลักษณะเฉพาะในการใช้งานดังนี้

1) Cement–Modified Soils (CMS) ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินประเภทนี้จะน้อยมาก จุดประสงค์ของการปรับปรุงก็เพื่อแก้ไขคุณสมบัติที่ไม่พึงปรารถนาของดินที่มีปัญหา หรือวัสดุที่มีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐาน ให้มีคุณสมบัติเหมาะสมเพียงพอสำหรับการก่อสร้าง ไม่ได้ต้องการให้ดินซีเมนต์แข็งขึ้น โดยดินที่ถูกปรับปรุงคุณภาพแล้วจะก่อตัวเป็นก้อนหรือแข็งขึ้นเล็กน้อย แต่อย่างไรก็ตามจะยังมีคุณสมบัติหลักเหมือนดินอยู่ ระดับของการ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ปรับปรุงคุณภาพขึ้นอยู่ กับปริมาณซีเมนต์ที่ใช้และชนิดของดิน คุณสมบัติของดินที่ได้รับการปรับปรุงสามารถสรุปได้ดังนี้

1.1) ปริมาณอนุภาคขนาด Silt และ Clay ลดลง

1.2) เพิ่ม CBR (California Bearing Ratio)

1.3) เพิ่มกำลังรับแรงเฉือน

1.4) Cement - Modified Soils – Clay soil แบ่งออกเป็น 2 กลุ่มตามขนาดวัสดุ

ก) Cement - Modified Silt เป็นดินที่มีปริมาณของวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200

ข) มากกว่าร้อยละ 35 วัตถุประสงค์ทั่วไปในการปรับปรุงดินเพื่อจะลดคุณสมบัติด้านความเหนียวกับคุณสมบัติการเปลี่ยนแปลงปริมาตรเพิ่มกำลังแบกทาน ให้มั่นคงพอที่จะก่อสร้างชั้นโครงสร้างทางด้านบนต่อไป

ค) Cement - Modified Granular Soils เป็นดินที่มีปริมาณวัสดุที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 น้อยกว่าร้อยละ 35โดยปกติวัตถุประสงค์คือ เปลี่ยนแปลง วัสดุที่มีคุณสมบัติต่ำกว่ามาตรฐานให้มีคุณสมบัติเพียงพอที่จะเป็นชั้นรองพื้นทาง

2) Cement–Treated Base (CTB) ดินซีเมนต์ประเภทนี้ออกแบบให้มีกำลังรับแรงอัดและมีความแข็งแรง ปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมจะต้องมากพอที่จะทำให้ได้กำลังรับแรงอัดหรือกำลังแบกทานได้ตามที่กำหนด จะนำมาใช้ปรับปรุงคุณภาพดินสำหรับชั้นพื้นทาง โดยทำการผสมวัสดุมวลรวมหรือดินกับซีเมนต์และน้ำตามปริมาณที่ออกแบบไว้ แล้วทำการบดอัดให้ได้ความแน่นสูงสุดและมีระยะเวลาการบ่มที่เพียงพอให้ปฏิกิริยา Hydration ของซีเมนต์ ได้รับการพัฒนาอย่างต่อเนื่องเพื่อที่จะให้ได้ส่วนผสมที่แข็งแกร่งขึ้น ก่อนที่จะปูผิวทางแอสฟัลต์หรือผิวทางคอนกรีตทับด้านบน

3) Full–Depth Reclamation (FDR) การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ (Pavement Recycling) โดยนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์และพื้นทางข้างใต้ผิวทางเก่าที่เสียหายมาทำให้แข็งแรงขึ้นด้วยการผสมกับซีเมนต์ เพื่อให้มีคุณสมบัติเหมาะจะใช้เป็นพื้นทางสำหรับถนนใหม่กระบวนการนี้จะใช้กับถนนลาดยาง โดยผิวทางแอสฟัลต์เก่าและวัสดุพื้นทางจะถูกขุดรื้อและย่อย ก่อนที่จะถูกผสมด้วยซีเมนต์และน้ำ แล้วทำการบดอัดให้แน่นเพื่อใช้เป็นพื้นทางสำหรับรองรับผิวทางแอสฟัลต์ใหม่หรือผิวทางคอนกรีต Full-Depth Reclamation จะใช้ผิวทางแอสฟัลต์เก่าและวัสดุพื้นทางมาก่อสร้างเป็นถนนใหม่ จึงไม่ต้องมีการขนวัสดุผิวทางเก่าไป

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

กำจัดและไม่ต้องมีการขนวัสดุใหม่มาเพิ่ม เป็นการลดปริมาณจราจรของรถบรรทุกในการขนส่งวัสดุและลดการสูญเสียทรัพยากรช่วยประหยัดเงินและทรัพยากรธรรมชาติ พื้นทางที่ได้รับการปรับปรุงจะแข็งแกร่งขึ้นมากกว่าเดิม และเพิ่มการต้านทานต่อความชื้นมากกว่าเดิม ผลที่ได้จะช่วยเพิ่มอายุการใช้งานของถนน ลดการซ่อมบำรุง และสิ่งที่สำคัญที่สุดคือ ราคาในการทำ Recycling จะถูกกว่าการขุดรื้อถนนเก่าและแทนที่ด้วยถนนใหม่ประมาณร้อยละ 25 - 50 การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้ใหม่ จะมีขั้นตอนกระบวนการเดียวกับการก่อสร้างชั้นทางดินซีเมนต์ปกติ

2.2 มาตรฐานการทดสอบที่ใช้ในงานวิจัย

2.2.1 การทดสอบหาความข้นเหลวปกติและระยะเวลาการก่อตัวซีเมนต์โดยใช้เข็มไวแคต (มาตรฐาน ASTM C187 , C191)

การทดสอบความข้นเหลวมาตรฐาน เป็นการทดสอบหาปริมาณน้ำที่เหมาะสมเพื่อนำไปใช้ในการทดสอบหาสมบัติอื่น ๆ ของซีเมนต์ต่อไปสามารถทดสอบโดยการนำผงปูนซีเมนต์มาผสมรวมกับน้ำ ทำการคลุกเคล้าให้เข้ากันตามวิธีมาตรฐาน หลังจากนั้นนำซีเมนต์เพสต์ที่ได้ไปทำการทดสอบด้วยเครื่องมือทดสอบแบบไวแคท (Vicat Apparatus)

การคำนวณปริมาณน้ำที่ต้องการเพื่อให้ได้ความข้นเหลวปกติ ให้คำนวณเป็นร้อยละของน้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง โดยคำนวณให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.1 และต้องรายงานให้ละเอียดถึงร้อยละ 0.5

$$\text{ปริมาณน้ำ,\%} = \frac{\text{น้ำหนักน้ำที่ใช้ (กรัม)}}{\text{น้ำหนักปูนซีเมนต์แห้ง (กรัม)}} \times 100$$

การทดสอบระยะการก่อตัวซีเมนต์ เพื่อทดลองหาระยะการก่อตัวเริ่มต้น (ระยะเข็มจม 25 มิลลิเมตร) และระยะเวลาการก่อตัวสุดท้าย (เข็มไม่จมในซีเมนต์เพสต์)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.2 การทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัด ของคอนกรีต (มาตรฐาน BS EN 196-1)

วิธีทดสอบมาตรฐานสำหรับความต้านทานแรงดัดสูงสุดของมอร์ต้าร์ซีเมนต์ โดยใช้เครื่องทดสอบแบบเดียวกันกับที่ใช้ในการทดสอบกำลังรับแรงอัดจะใช้ในการประเมินค่าความต้านทานแรงดัด การทดสอบความต้านทานแรงดัดใช้วิธีการทดสอบสามจุดและคำนวณโดยใช้สมการ

$$f_b = 6M/bd^2$$

เมื่อ f_b = กำลังรับแรงดัด หน่วยเป็นเมกะปาสคาล (MPa)

M = โมเมนต์ดัดสูงสุด นิวตันต่อเมตร (N.mm)

b = ความกว้างตัวอย่าง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

d = ความลึกของตัวอย่าง หน่วยเป็นมิลลิเมตร (mm)

2.2.3 การสอบหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (มาตรฐาน ทล. -ท 205/2517)

วิธีการทดสอบสำหรับหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมโดยผ่านตะแกรง ทั้งเม็ดละเอียดและเม็ดหยาบ โดยให้ผ่านชุดตะแกรงมาตรฐาน แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHO T 27-70

1) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงของวัสดุซึ่งมีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4

ก) หามวลที่ค้าง (Mass Retained) บนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบนแต่ละตะแกรงมวลที่หายไป คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) รวมกับน้ำหนักที่ค้างบน Pan

ข) หามวลที่ผ่าน (Mass Passing) ตะแกรงแต่ละขนาด โดยคิดจากบรรทัดล่างของช่องมวลที่ค้างขึ้นไป เอามวลของช่อง Mass Retained บน Pan รวมมวลของ Mass Retained กับมวลที่ผ่านของตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) เป็นมวลของช่อง Mass Passing ของตะแกรงถัดขึ้นไป ดำเนินการแบบที่กล่าวมาแล้วนั้นไปเรื่อย ๆ จนถึงมวล Mass Passing ในบรรทัดบนสุดจะเท่ากับมวล ของตัวอย่างแห้งทั้งหมดซึ่งใช้ทดลอง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ค) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Percent Passing) ได้ดังสมการต่อปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรง} = \frac{\text{มวลที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ (กรัม)}}{\text{มวลที่อบแห้งทั้งหมด (กรัม)}} \times 100$$

2) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงของวัสดุซึ่งมีขนาดทั้งใหญ่และเล็กกว่าเบอร์ 4

ก) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) หามวลที่ค้างบนตะแกรงแต่ละขนาด โดยชั่งหามวลของตัวอย่างที่ค้างบน แต่ละตะแกรง มวลที่หายไป คือ มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ที่ค้างบน Pan หามวลที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด และคำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม

ข) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของวัสดุ ซึ่งมีขนาดเล็กกว่า เบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

ค) คำนวณหาเปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม (Total Percent Passing) ของวัสดุที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ได้ดังสมการต่อปนี้

$$\text{เปอร์เซ็นต์รวมผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{X}{100}$$

เมื่อ X = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่มีขนาดเล็กกว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

Y = เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวมของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (44.75 มิลลิเมตร) ในการทดลองพวกวัสดุที่มีขนาดใหญ่กว่าเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.4 การทดสอบค่าขีดจำกัดข้นเหลว (มาตรฐาน ทล.-ท 102/2515)

Liquid Limit (LL) ของดินคือปริมาณน้ำที่มีอยู่พอดีในดิน ซึ่งทำให้ดินเปลี่ยนจากภาวะ Plastic มาเป็น Liquid คิดเทียบเป็นร้อยละของมวลดินอบแห้ง หาได้โดยนำดินผ่านตะแกรงเบอร์ 40 (0.425 มิลลิเมตร) มาผสมกับน้ำ ค่า Liquid Limit คือ ปริมาณของน้ำดินคิดเป็นร้อยละที่ทำให้ดินในเครื่องมือทดลอง (Liquid limit Device) ไหลมาชนกันยาว 12.7 มิลลิเมตร (1/2 นิ้ว) เมื่อเคาะเครื่องมือทดลองซึ่งมีจุดตกกระทบสูง 10 มิลลิเมตร จำนวน 25 ครั้งวิธีหาค่า Liquid Limit คำนวณหาปริมาณน้ำในดินได้จากสมการดังนี้

$$\text{ค่าขีดจำกัดข้นเหลว } (\text{ร้อยละ}) = \frac{\text{มวลน้ำในดิน}}{\text{มวลดินอบแห้ง}} \times 100$$

2.2.5 การทดสอบค่าขีดจำกัดพลาสติก (มาตรฐาน ทล.-ท 103/2515)

วิธีการทดลองนี้ได้ปรับปรุงจาก AASHTO T 90 อธิบายถึงการหาค่าจำนวนน้ำต่ำสุดในดิน เมื่อดินนั้นยังคงอยู่ในสภาพ Plastic โดยการนำดินมาปั้นเป็นเส้นพอมีรอยแตกร้าวที่ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 3.2 มิลลิเมตร (1/8 นิ้ว) คำนวณหาค่า Plastic limit (PL) และค่า Plasticity Index (PI) ได้จากสมการดังนี้

$$\text{ค่าขีดจำกัดพลาสติก } (\text{ร้อยละ}) = \frac{\text{มวลน้ำในดิน}}{\text{มวลดินอบแห้ง}} \times 100$$

$$\text{Plasticity Index (PI)} = \text{LL-PL}$$

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.6 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (มาตรฐาน ทล. -ท 108/2517)

การทดลอง Compaction วิธีนี้เป็นการทดลองโดยวิธี Dynamic Compaction เพื่อหาความ สัมพันธ์ของความหนาแน่นของดินกับปริมาณน้ำที่ใช้ในการบดอัด เมื่อทำการบดอัดในแบบ (Mold) ตามขนาดข้างล่างนี้ด้วยค้อนหนัก 4.537 กิโลกรัม (10.0 ปอนด์) ระยะปล่อยค้อนตก 457.2 มิลลิเมตร (18 นิ้ว)

ก) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเท่ากับ 101.6 ม.ม. ขนาดดินผ่านตะแกรง 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว)

ข) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเท่ากับ 152.4 ม.ม. ขนาดดินผ่านตะแกรง 19.0 ม.ม. (3/4 นิ้ว)

ค) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเท่ากับ 101.6 ม.ม. ขนาดดินผ่านตะแกรง 4.75 ม.ม. (เบอร์ 4)

ง) ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางแบบเท่ากับ 101.6 ม.ม. ขนาดดินผ่านตะแกรง 4.75 ม.ม. (เบอร์ 4)

<u>หมายเหตุ ถ้าไม่ระบุวิธีใดให้ใช้วิธี “ก”</u>

สมการหาปริมาณน้ำในดิน

$$W = \frac{M_1 - M_2}{M_2} \times 100$$

เมื่อ W = ปริมาณน้ำในดินร้อยละคิดเทียบกับมวลของดินอบแห้ง

M = มวลของดินเปียก (กรัม)

M = มวลของดินอบแห้ง (กรัม)

สมการหาค่าความหนาแน่เปียก (Wet Density)

$$\rho_t = \frac{A}{V}$$

เมื่อ ρ_t = ความแน่นเปียก (กรัมต่อมิลลิลิตร)

A = มวลของดินเปียกที่บดทับในแบบ (กรัม)

V = ปริมาตรของดินเปียกที่บดทับในแบบ หรือปริมาตรของแบบ (มิลลิลิตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

สมการหาค่าความหนาแน่นแห้ง (Dry Density)

$$\rho_d = \frac{\rho_t}{1+\frac{w}{100}}$$

เมื่อ ρ_d = ความแน่นแห้ง (กรัมต่อมิลลิลิตร)

ρ_t = ความแน่นเปียก (กรัมต่อมิลลิลิตร)

w = ปริมาณน้ำใน (ร้อยละ)

2.2.7 การทดสอบวัดแรงเฉือนของดินที่บดอัดแน่น (มาตรฐาน ทล. -ท 109/2517)

วิธีการทดลอง CBR วิธีนี้ เป็นวิธีการทดลองที่กำหนดขึ้น เพื่อหาค่าเปรียบเทียบ Bearing Value ของวัสดุตัวอย่างกับวัสดุหินมาตรฐาน เมื่อทำการบดทับตัวอย่างนั้น โดยใช้ค้อนบดทับในแบบ (Mold) ที่ Optimum Moisture Content หรือปริมาณน้ำในดินใด ๆ เพื่อนำมาใช้ออกแบบโครงสร้าง ของถนนและใช้ควบคุมงาน ในการบดทับให้ได้ความแน่นและความชื้นตามต้องการ

การทดลอง CBR อาจทำได้ 2 วิธี คือ แบบแช่น้ำ (Soaked) และไม่แช่น้ำ (Unsoaked) ถ้าไม่ระบุวิธีใด ให้ใช้วิธีแบบแช่น้ำ

สมการหาค่าการขยายตัว (Swell)

$$\text{Swell} = \frac{S}{H} \times 100$$

เมื่อ S = ผลต่างระหว่างการอ่าน Reading ครั้งแรกและครั้งสุดท้ายของ Dial Gauge ที่วัด Swell (มิลลิเมตร)

H = ความสูงเริ่มต้น (Initial Height) ของตัวอย่างก่อนแช่น้ำ (มิลลิเมตร)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.2 การคำนวณหาค่า CBR ให้ถือแรงมาตรฐาน (Standard Load)

Penetration (mm.)	Standard Load (kg.)	Standard Unit Load (Y) (kg./cm.²)
2.54 (0.1")	1360.8 (3000lb)	70.3 (1000lb/in²)
5.08 (0.2")	2041.2 (4500lb)	105.46 (1500lb/in²)
7.62 (0.3")	2585.5 (5700lb)	133.59 (1900lb/in²)
10.16 (0.4")	3129.8 (6900lb)	161.71 (2300lb/in²)
12.70 (0.5")	3538.0 (7800lb)	182.81 (2600lb/in²)

หมายเหตุ 1. ถ้าต้องการแปลงหน่วยเป็นระบบ SI ให้ดูภาคผนวก

2. พื้นที่หน้าตัดของท่อนกด = 1,935.5 ตารางมิลลิเมตร

คำนวณค่า CBR เป็นร้อยละ

$$CBR = \frac{x}{y} \times 100$$

เมื่อ X = ค่าแรงกดที่อ่านได้ต่อหน่วยพื้นที่ของท่อนกด (สำหรับ Penetration ที่ 2.54 มิลลิเมตร หรือ 0.1 นิ้ว และที่เพิ่มขึ้นอีกทุก ๆ 2.54 มิลลิเมตร)

Y = ค่าหน่วยแรงมาตรฐาน (Standard Unit Load) กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร (จากตารางข้างบนนี้)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.8 การทดสอบหาค่าแรงอัดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (มาตรฐาน ทล.-ท 105/2515)

ค่ากำลังแรงอัด (Compressive Load) สูงสุดต่อหน่วยพื้นที่หรือ Unconfined Compressive Strength ของแท่งตัวอย่างทรงกระบอก ถ้าในกรณีที่ค่ากำลังแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ยังไม่ถึงค่าสูงสุดเมื่อความเครียด (Strain) ในแนวดิ่งเกิน 20% ให้ใช้ค่าแรงอัดต่อหน่วยพื้นที่ที่ความเครียด 20% นั้นเป็นค่า Unconfined Compressive Strength

คำนวณหาความเครียดในแนวดิ่งสำหรับแรงกดใด ๆ (ϵ)

$$\epsilon = \frac{\Delta L}{L_0}$$

เมื่อ ΔL = ระยะยุบตัวของตัวอย่างดิน

L = ความยาวเดิมของแท่งตัวอย่าง

คำนวณหาพื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยสำหรับแรงกดใด ๆ (A)

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

A_o = พื้นที่หน้าตัดเดิมของแท่งตัวอย่าง

ϵ = ความเครียดตามแนวดิ่งที่แรงกดนั้น ๆ

คำนวณหาความเค้นสำหรับแรงกดใด ๆ (G.)

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

เมื่อ P = แรงกด

A = พื้นที่หน้าตัดเฉลี่ยที่แรงกดนั้น ๆ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.2.9 การทดสอบค่าดูดซึมน้ำ (มาตรฐาน Australian Standard AS1141.53-1996)

วิธีการทดสอบนำดินตัวอย่างแห้งวางในภาชนะ จากนั้นเติมน้ำให้ได้ระดับความลึก 10 มิลลิเมตร ที่อุณหภูมิห้อง 22°C ตามมาตรฐานแล้ววัดการดูดซึมน้ำสุดท้ายของหลอดคาปิลลารี่ และการดูดซึมน้ำหลังจาก 72 ชั่วโมง จากนั้นวัดค่าการเพิ่มขึ้นของหลอดคาปิลลารี่ในช่วงเวลาที่เพิ่มขึ้นคำนวณได้จากสมการดังนี้

$$A = \frac{m_{dmp} - m_{dry}}{m_d} \times 100$$

$$CR = \frac{h \times 100}{H}$$

เมื่อ h = ความสูงของน้ำที่เพิ่มขึ้นจากฐานของตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยใช้ไม้บรรทัดในการวัด

m_{dmp} = มวลของตัวอย่างหลังนำขึ้นจากน้ำเป็นเวลา 72 ชั่วโมง

m_{dry} = มวลของตัวอย่างหลังอบแห้งที่อุณหภูมิ 50°C ถึง 60°C

m_d = มวลของตัวอย่างหลังจากการอบแห้งที่อุณหภูมิ 105°C

A = เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเทียบกับน้ำหนักรวมของตัวอย่าง

CR = เปอร์เซ็นต์ capillary rise ที่เพิ่มขึ้น

H = ความสูงของตัวอย่าง

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.3.1 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการทดสอบดินซีเมนต์ (Soil cement)

เกษม เพชรเกตุ และ วรกร สุขมงคล (2527) ได้ศึกษาสมบัติกำลังของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพผสมปูนซีเมนต์ โดยทำการศึกษาผลกระทบของขนาดและอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางของตัวอย่างดินซีเมนต์ โดยที่กำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์เท่ากลับกลางเท่ากับ 1.00, 1.50 และ 1.80 มีค่ากำลังอัดสูงกว่าตัวอย่างที่มีความยาวเส้นผ่านศูนย์เท่ากลับกลางเท่ากับ 2.00 ร้อยละ 6, 3 และ 1 ตามลำดับ

ทรงพล บุญมาดี (2529) ได้ทดลองนำดินลูกรังผสมซีเมนต์ไปทำการทดสอบหาความสัมพันธ์ระหว่างค่า UCS กับ CBR และค่า E กับ CBR โดยใช้ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 1, 3, 5, 7 ส่วนเวลาการบ่มใช้เวลา 1, 3, 7, 14 และ 28 วัน ซึ่งสรุปผลได้ว่าปริมาณซีเมนต์ตั้งแต่ร้อยละ 3 ขึ้นไป จะมีผลทำให้กำลังอัดเพิ่มขึ้นอย่างเด่นชัดและเมื่ออายุการบ่มมากขึ้นปฏิกิริยาเคมีกับอนุภาค ดินจะมีผลต่อกำลังอัดสูงด้วย

สุเชษฐ์ เอี่ยมเชย (2531) ทำการศึกษาเกี่ยวกับความคงทนของดินซีเมนต์ โดยปรับปรุงสมบัติของดินลูกรังในภาคตะวันออกเฉียงเหนือเพื่อจะมาใช้แทนหินคลุก โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ร้อยละ 3, 4, 6 และ 7 ของน้ำหนักดิน พบว่าค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) และ Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมซีเมนต์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้น โดยมีอัตราส่วนเพิ่มขึ้นสูงมากในช่วง 7 วันแรก หลังจากนั้นจะเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อย

Ruenkrairergsa (1982) รายงานว่ากรมทางหลวงได้ใช้มาตรฐานของ British Road Research Laboratory ในการกำหนดค่ากำลังอัดเท่ากับ 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว แต่ได้ดัดแปลงโดยการบ่มตัวอย่าง 7 วัน แล้วนำมาแช่น้ำ 1 วัน ก่อนนำไปทดสอบกำลังอัด การเตรียมตัวอย่างและการทดสอบกำลังอัดแปลงมาจากวิธีของสมาคมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์อเมริกา และจากประสบการณ์ในการก่อสร้างถนนโดยใช้ดินลูกรังผสมซีเมนต์ของกรมทางหลวงในภาคตะวันออกเฉียงเหนือของประเทศไทยในช่วงเวลาประมาณ 30 ปีที่ผ่านมาซึ่งมีระยะทางยาวประมาณ 1400 กม. โดยพบว่าสำหรับค่ากำลังอัด 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว จะใช้ปริมาณซีเมนต์ประมาณร้อยละ 3 ถึง 5 ของน้ำหนักดินก็เพียงพอ สำหรับดินลูกรังที่มี PI สูงกว่านี้สามารถแก้ไขได้ โดยผสมปูนขาวร้อยละ 2 ลงไปเพื่อลดค่า Plasticity Index ก่อนที่จะผสมซีเมนต์ ค่ากำลังอัดที่ได้จากข้อมูลงานก่อสร้างถนนซีเมนต์ในระยะสั้นจะมีค่า 250-400 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว โดยข้อกำหนดของการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ได้แสดงในตารางที่ 2.3 นอกจากนั้นยังได้

ทำการศึกษาค่าความแข็งแรงของดินแกรนิตผสมปูนซีเมนต์โดยมีการแบ่งตามการจำแนกดิน ซึ่งผลจากการวิเคราะห์ค่ากำลังอัดแกนเดียว (UCS) ได้ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.3 ข้อกำหนดของการออกแบบส่วนผสมดินซีเมนต์ (Ruenkrairergsa, 1982)

สถาบัน	**ข้อกำหนดการออกแบบ**
กรมทางหลวงประเทศไทย	รับกำลังอัดอายุ 7 วันไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
บริษัทปูนซีเมนต์ไทยจำกัด	CBR ไม่น้อยกว่า 120
British Road Research Laboratory	รับกำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน ไม่น้อยกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว
กรมทางหลวงประเทศกานา	CBR ไม่น้อยกว่า 200
ประเทศอัฟริกาส่วนมาก	CBR ไม่น้อยกว่า 180
National Association of Australia State Road Authorities (NAASRA) ประเทศออสเตรเลีย	1.รับกำลังอัดเมื่ออายุ 7 วัน อยู่ในช่วง 150-250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว 2.CBR เมื่อบ่ม 7 วัน และแช่น้ำ 4 วัน ไม่น้อยกว่า 120

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 2.4 ค่า UCS ของดินแกรนิต โดยการผสมปูนซีเมนต์ (Ruenkrairergsa, 1982)

USC ที่ 3, 4 และ 5% ซีเมนต์ (× 100 KN/m^2)		AASHTO Soil Group			
		A - 1 - b	A - 2 -4	A - 4, A - 5	A - 6, A - 7
3%	1 D	11 – 16	10 – 15	8 – 16	6 – 13
	7 D	17 – 26	15 – 26	15 - 25	10 – 19
	28 D	22 – 31	18 – 32	18 - 30	12 – 24
4%	1 D	17 – 24	15 – 24	13 – 20	9 – 15
	7 D	24 – 33	20 – 31	22 – 29	13 – 23
	28 D	28 – 40	24 – 37	27 – 35	19 – 28
5%	1 D	20 – 28	20 – 27	18 – 23	11 – 20
	7 D	28 – 35	26 – 39	27 – 32	17 – 28
	28 D	36 - 45	31 - 46	33 - 39	25 - 34

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

2.3.2 งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้โพลีเมอร์ผสมดินซีเมนต์

ศาสน์ สุขประเสริฐ (2560) ศึกษาดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 19.58 กก./ตร.ซม. เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 16.78 กก./ตร.ซม. พบว่า ดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีกำลังอัดเพิ่มขึ้น 16% ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลีเมอร์ ซึ่งมีค่ากำลังรับแรงอัด เท่ากับ 21.25 กก./ตร.ซม. พบว่าดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีกำลังรับแรงอัดลดลง 7.89% อย่างไรก็ตาม ดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่า 17.50 กก./ตร.ซม. และผลการวิจัยนี้ยืนยัน

ว่าสามารถประยุกต์ใช้น้ำยางพาราเป็นสารผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพดินซีเมนต์ สำหรับเป็นวัสดุพื้นทางในโครงสร้างถนน แต่ก็ยังมีสมบัติที่ด้อยกว่าดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลีเมอร์

สุทธิชัย เจริญกิจ (2560) ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติชนิดน้ำยางแบบข้น ที่มีอัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 60 ผสมกับน้ำและส่วนประกอบอื่น ๆ ร้อยละ 40 ในงานวิจัยนี้แบ่งอายุการบ่มเป็น 0 และ 7 วัน โดยทำการศึกษาที่อัตราส่วนน้ำยางพาราร้อยละ 5, 10, 15 และ 20 ของน้ำหนักตัวอย่าง พบว่าค่า C.B.R. จะมีค่าสูงสุดเมื่อผสมยางพาราร้อยละ 10 และค่า C.B.R. แบบแช่น้ำจะมีค่าน้อยกว่าแบบไม่แช่น้ำ เนื่องจากช่องว่างของอากาศก้อนตัวอย่างที่เกิดขึ้นระหว่างการบ่มจะทรุดตัวลง และทดสอบกำลังรับแรงอัด พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณน้ำยางพารา

จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบูลย์, เดนนิส ที เบอร์กาโด และธนวรัท กฤตภัครพงษ์ (2553) ได้ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยาโพลีเมอร์เคมโรด โดยทำการทดสอบกับตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วย 0% ซีเมนต์ และ 0% เคมโรด, 5% ซีเมนต์ และ 0% เคมโรด และ 5% ซีเมนต์ และ 5% เคมโรด ตามลำดับที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัด เพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรัง จากผลการทดสอบพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ที่ 5% และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 กับน้ำยาโพลีเมอร์เคมโรดที่ 5% จะมีค่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพอยู่ไม่ต่ำกว่า 1,200 และ 1,300 เปอรเซ็นต์ตามลำดับ และค่าโมดูลัสความยืดหยุ่นจะมีค่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพอยู่ 3,000 และ 4,900 เปอร์เซ็นต์ตามลำดับ ดังนั้นการปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยาโพลีเมอร์เคมโรดจะให้ค่าที่สูงที่สุด

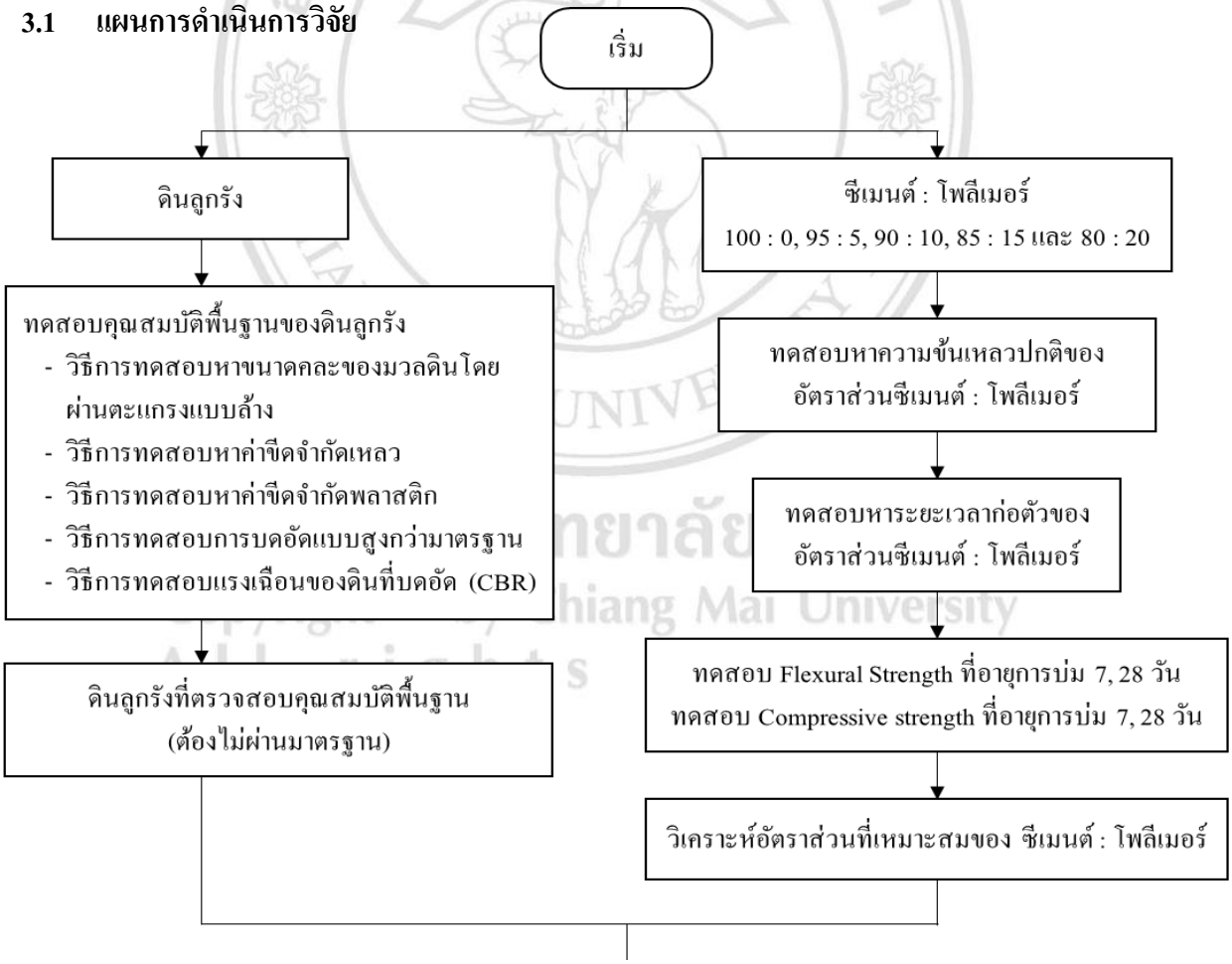
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 3

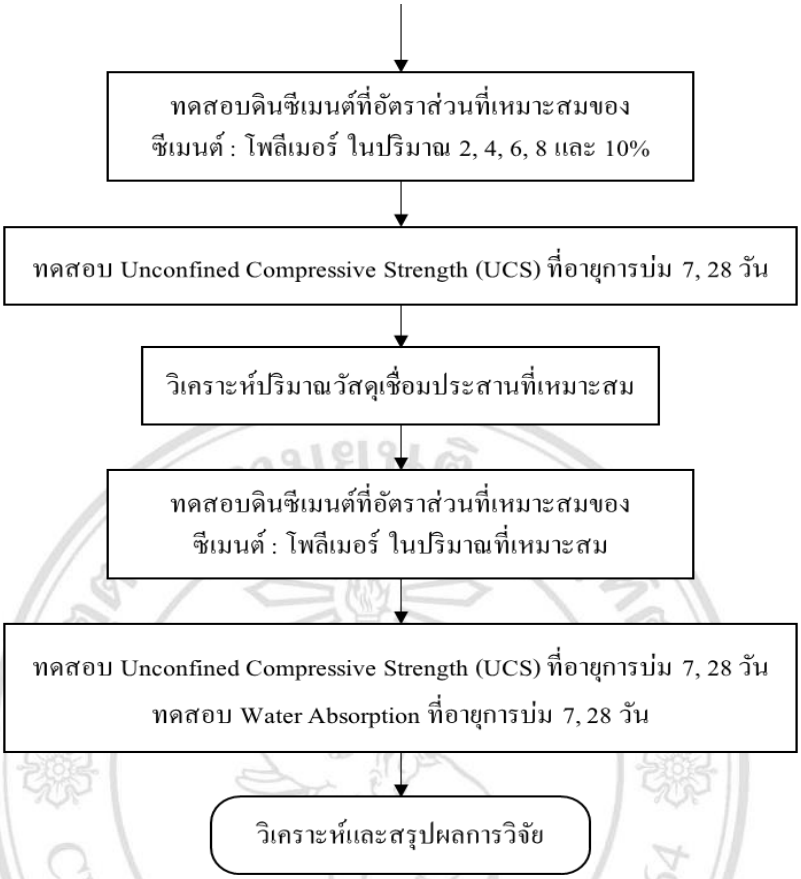
วิธีดำเนินการวิจัย

ในบทนี้จะนำเสนอวิธีการดำเนินการวิจัยเกี่ยวกับการปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์ -โพลีเมอร์ (Cement - Polymer) เพื่อให้ได้อัตราส่วนที่เหมาะสมและเป็นแนวทางในการนำไปใช้งานได้จริง ซึ่งมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

3.1 แผนการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 3.1 แผนการดำเนินการวิจัย



ภาพที่ 3.2 แผนการดำเนินการวิจัย (ต่อ)

3.2 การทดสอบความข้นเหลวปกติและระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ด้วยเข็มไวแคต

3.2.1 วัสดุที่นำมาวิจัย

1) สารละลายโพลีเมอร์ 2 ชนิด คือ Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR)
2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1)
3) น้ำ (Water)

ภาพที่ 3.3 สารละลายโพลีเมอร์ Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.4 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1)

3.2.2 การทดสอบหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดสภาวะความข้นเหลวปกติ (มาตรฐาน ASTM C187)

1) เตรียมวัสดุโดยใช้ปริมาณดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบสภาวะข้นเหลวปกติและระยะก่อตัวของซีเมนต์

อัตราส่วน ซีเมนต์ : โพลีเมอร์	ซีเมนต์ (กรัม)	สารละลายโพลีเมอร์ (กรัม)	น้ำ (กรัม)
ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 100 : 0	650.00	0.00	ทดสอบหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดสภาวะข้นเหลวปกติ
ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 95 : 5	617.50	32.50	
ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 90 : 10	585.00	65.00	
ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 85 : 15	552.50	97.50	
ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 80 : 20	520.00	130.00	

2) ทำการผสมวัสดุเชื่อมประสานด้วยวิธีการดังนี้ เกลี่ยซีเมนต์ให้อยู่ในลักษณะรูปกรวยภูเขาไฟ และทำผสมน้ำและโพลีเมอร์ให้เข้ากันโดยแท่งคนสารจากนั้นทำการเทสารผสม ขณะเทใช้ เกรียงเกลี่ยซีเมนต์ด้านนอกเข้าไปด้านในเพื่อกันการระเหยของน้ำ และเทน้ำให้หมดภายในระยะเวลา 30 วินาที และปล่อยทิ้งให้ซีเมนต์ดูดซึมน้ำอีกเป็นเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นทำการบีบ นวด ขยำ ให้เข้าเป็น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เนื้อเดียวกันเป็นระยะเวลา 90 วินาที จากนั้นใช้มือทั้ง 2 ข้างปั้นซีเมนต์เป็นกลมกลม แล้วโยนไปมาจำนวน 6 ครั้ง โดยมือทั้ง 2 ข้างห่างกันประมาณ 15 เซนติเมตร

ภาพที่ 3.5 การผสมวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์ - โพลีเมอร์

3) ทำการอัดซีเมนต์เพสต์เข้าด้านใหญ่ของแบบวงแหวนกรวยของเครื่องมือไวแคต หลังจากนั้นทำการปาดซีเมนต์เพสต์ทางด้านใหญ่ออก โดยใช้มือเลื่อนเพียงครั้งเดียว และปาดซีเมนต์เพสต์ด้านเล็กด้วยเกรียง จากนั้นทำการตกแต่งผิว

4) ทำการตรวจสอบเครื่องมือไวแคต ว่าเข็มของเครื่องมือไวแคตสามารถเลื่อนขึ้นลงได้สม่ำเสมอ

ภาพที่ 3.6 ตรวจสอบเครื่องมือไวแคต

5) วางซีเมนต์เพสต์ให้อยู่ใต้เข็มขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 มิลิเมตร จากนั้นเลื่อนเข็มแตะกับผิวซีเมนต์เพสต์ตรงกลางแบบ และทำการตั้งสเกลหน้าปัดที่ศูนย์

6) ทำการปล่อยเข็ม 30 วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7) อ่านสเกลหน้าปัด และทำการบันทึกผลระยะการจมของเข็ม

ภาพที่ 3.7 ทดสอบความข้นเหลวของซีเมนต์

8) แสดงความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำที่ใช้ (%) กับส่วนที่เข็มจม (มิลลิเมตร)
9) ทำการทดลองซ้ำหลายๆครั้ง โดยใช้ซีเมนต์ใหม่ทุกครั้ง เพื่อหาความสัมพันธ์ของปริมาณน้ำที่ใช้กับส่วนที่เข็มจมลงไป 10 มิลลิเมตร

3.2.3 การทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ (มาตรฐาน ASTM C191)

1) เลือกใช้ปริมาณซีเมนต์, โพลีเมอร์ และน้ำที่ได้จากการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดสภาวะข้นเหลวปกติ ซึ่งการทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ จะผสมตัวอย่างแบบเดียวกับการทดสอบหาปริมาณน้ำที่ทำให้ปูนซีเมนต์เกิดสภาวะข้นเหลวปกติ
2) ทำการทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ทันทีเมื่อเตรียมตัวอย่างเสร็จ เรียบร้อยด้วยเข็มมาตรฐานขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 1 มิลลิเมตร โดยการปล่อยเข็มระยะเวลา 30 วินาที และทำการทดสอบซ้ำทุก ๆ 15 นาที จนกว่าเข็มไม่จม ทุกครั้งที่ทำการทดสอบต้องอ่านสเกลและทำการบันทึกผล
3) ในการทดสอบแต่ละครั้งไม่ควรทดสอบใกล้กว่า 6.4 มิลลิเมตร จากจุดเดิมหรือ 9.5 มิลลิเมตร จากขอบด้านในของแบบรูปวงแหวน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.8 ทดสอบหาระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์

3.3 การทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัด ของคอนกรีต (มาตรฐาน BS EN 196-1)

3.3.1 วัสดุที่นำมาวิจัย

1) สารละลายโพลีเมอร์ Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR)
2) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1)
3) น้ำ (Water)

3.3.2 วิธีดำเนินการทดสอบ

1) เตรียมวัสดุโดยใช้ปริมาณดังตารางที่ 3.2
2) ทำการผสมน้ำและโพลีเมอร์เข้าด้วยกันโดยใช้แท่งคนสาร
3) เทปูนซีเมนต์ลงในเครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน จากนั้นทำการผสมซีเมนต์ โดยเครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน และเริ่มจับเวลาขณะเทน้ำที่ผสมโพลีเมอร์ ลงในเครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน โดยเทจนหมดในเวลา 30 วินาที หลังจากนั้นปิดเครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน และใช้เกรียงคลุกเคล้าให้เข้ากัน และทำการเปิดเครื่องผสมมาตรฐาน เป็นเวลา 90 วินาที

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.2 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัด ของคอนกรีต

อัตราส่วน ซีเมนต์ : โพลีเมอร์	ซีเมนต์ + โพลีเมอร์ (กรัม)	ซีเมนต์ (กรัม)	สารละลาย โพลีเมอร์ (กรัม)	น้ำสำหรับสารละลายโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA)		น้ำสำหรับสารละลายโพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR)	
				(%)	(กรัม)	(%)	(กรัม)
100: 0	1500.00	1500.00	0.00	33	495.00	33	495.00
95: 5	1550.00	1472.50	77.50	30	441.75	28	412.3
90: 10	1650.00	1485.00	165.00	27	400.95	18	267.3
85: 15	1650.00	1402.50	247.50	19	266.48	10	140.25
80: 20	1650.00	1320.00	330.00	11	145.20	-	-

ภาพที่ 3.9 เครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน

4) ถอดภาชนะที่มีซีเมนต์ออกจากเครื่องผสมซีเมนต์มาตรฐาน ใช้เกรียงเหล็กคลุกเคล้าสารให้เข้ากัน และใส่ลงไปในชิ้นตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 4x4x16 เซนติเมตร หลังจากนั้นทำการอัดซีเมนต์ให้ได้ตามแบบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

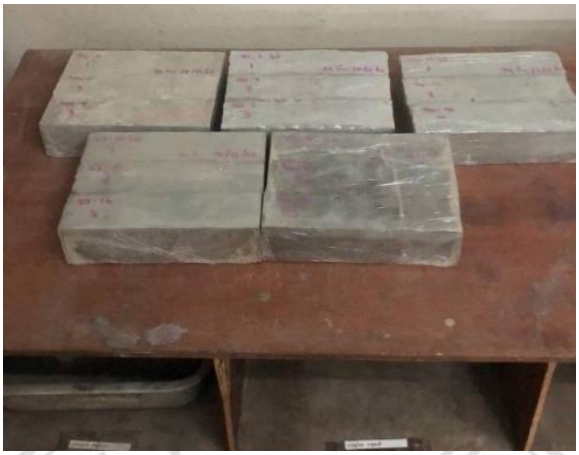
ภาพที่ 3.10 ซีเมนต์เพสต์ผสมเสร็จพร้อมใส่ในแบบ

5) นำซีเมนต์ที่ทำการผสมใส่แบบเรียบร้อยแล้ววางไว้บนเครื่องสั่นเพื่อไล่อากาศภายในเนื้อคอนกรีตและลดปริมาณรูพรุนในเนื้อคอนกรีต

ภาพที่ 3.11 การไล่อากาศภายในเนื้อคอนกรีตด้วยเครื่องสั่น

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

6) เมื่อคอนกรีตเซ็ตตัวให้ทำการแกะแบบ และนำชิ้นตัวอย่างห่อพลาสติกกันความร้อน และบ่มที่อุณหภูมิห้องจนถึงวันที่กำหนดทดสอบตัวอย่าง (7วัน, 28วัน)



ภาพที่ 3.12 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตที่อายุ 7 และ 28 วัน

7) ทดสอบด้วยวิธี Flexural Strength Test

7.1) วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของชิ้นตัวอย่างทดสอบ

7.2) ทำความสะอาดชิ้นส่วนตัวอย่างและผิวแท่นเครื่องกดหรือผิวหน้ารับแรง

7.3) วางชิ้นส่วนตัวอย่างทดสอบให้อยู่ในแนวศูนย์กลางของน้ำหนักกด และเลื่อนหรือหมุนผิวแท่นน้ำหนักกดให้สัมผัสกับชิ้นตัวอย่างทดสอบให้สนิท

7.4) เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดเป็นไปอย่างสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่

7.5) ให้น้ำหนักกดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างทดสอบถึงจุดประลัย (ชิ้นตัวอย่างแตก Failure) บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.13 การทดสอบ Flexural Strength Test

8) ทดสอบด้วยวิธี Compressive Strength Test

เปิดเครื่องทดสอบให้น้ำหนักกดสม่ำเสมอด้วยอัตราคงที่ ให้น้ำหนักกดบนชิ้นตัวอย่างทดสอบจนกระทั่งชิ้นตัวอย่างทดสอบถึงจุดประลัย (ชิ้นตัวอย่างแตก Failure) บันทึกค่าน้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบ สามารถรับได้ พร้อมทั้งบันทึกรูปภาพลักษณะการแตกของชิ้นตัวอย่างทดสอบนั้นด้วย

ภาพที่ 3.14 การทดสอบ Compressive Strength Test

3.4 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง

ตารางที่ 3.3 การทดสอบ และวิธีการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นทางฟิสิกส์ของดินลูกรัง

การทดสอบ	วิธีการทดสอบ
วิธีการหาขนาดคละของมวลดินโดยผ่านตะแกรงแบบล้าง	ทล.-ท. 205/2517
วิธีการทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว	ทล.-ท. 102/2515
วิธีการทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก	ทล.-ท. 103/2515
วิธีการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน	ทล.-ท. 108/2517
วิธีการทดสอบแรงเฉือนของดินที่บดอัด (CBR)	ทล.-ท. 109/2517

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.1 การทดสอบขนาดคละของมวลดิน (Grain Size Analysis) (มาตรฐาน ทล.-ท. 205/2517)

1) เตรียมตัวอย่างดินลูกรังประมาณ 1000 กรัม โดยขนาดโตสุดของเม็ดดินประมาณ 3/4”หลังจากนั้นนำดินไปอบ 1 วัน

2) นำดินออกมาจากตู้อบและแช่ดินในน้ำ 3-4 ชั่วโมง

ภาพที่ 3.15 การเตรียมตัวอย่างดินลูกรังสำหรับการร่อนเปียก

3) นำมาร่อนแบบเปียก (Wet Sieving) โดยน้ำตัวอย่างดินมาร่อนผ่านกระแกรงเบอร์ 200 เพื่อเป็นการแยกฝุ่นออกจากตัวดินลูกรัง ทำการร่อนจนน้ำใส

ภาพที่ 3.16 การร่อนเปียก (Wet Sieving)

4) นำตัวอย่างไปเข้าตู้อบให้แห้ง เมื่อตัวอย่างแห้งแล้วให้นำมาชั่งน้ำหนัก

5) นำมาทำการร่อนแบบแห้ง (Dry Sieving) โดยชั่งน้ำหนักตะแกรงเปล่าก่อน

6) นำดินที่อบไปร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 3/4, 1/2”, 3/8”, 4”, 8”, 20”, 40”, 100”, 200” ตามลำดับโดยการร่อนตัวอย่างใช้เวลาประมาณ 10 นาที หลังจากทำการร่อนด้วยเครื่องร่อนอัตโนมัติจนครบ 10 นาทีแล้ว จึงนำตะแกรงแต่ละเบอร์ที่มีมวลของเม็ดดินตัวอย่างค้างที่ตะแกรงมาคำนวณ

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.2 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.) (มาตรฐาน ทล.-ท. 102/2515)

ภาพที่ 3.17 อุปกรณ์การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.)

1) เตรียมตัวอย่างดินโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40" แล้วนำไปอบ 1 วัน
2) จากนั้นนำดินที่เตรียมไว้ประมาณ 100 กรัมใส่ลงในถ้วยและเติมน้ำกลั่นไปเรื่อยๆ จนกว่าดินจะเริ่มจับตัวกันเป็นเนื้อเดียว
3) นำดินที่กวนจนเป็นเนื้อเดียวกันแล้วใส่ลงในถ้วยทองเหลืองของเครื่องมือทดสอบขีดเหลว ใช้พายกวนดินปาดแต่งให้ได้ระดับโดยให้ดินที่ก้นทองเหลืองหนาประมาณ 1 เซนติเมตรและไม่ให้มีฟองอากาศในเนื้อดิน
4) ใช้เครื่องมือปาดร่องดิน ปาดให้เป็นร่องตามแนวเส้นผ่านศูนย์กลางของถ้วยทองเหลือง
5) หมุนเคาะถ้วยทองเหลืองด้วยอัตราเร็วประมาณ 2 ครั้งต่อวินาที จนดินสองข้างเลื่อนมาติดกันระยะประมาณ 1 เซนติเมตร บันทึกจำนวนครั้งที่เคาะไว้ โดยการทดสอบในข้อ 3-5 ควรใช้เวลาไม่เกิน 3 นาที
6) ชั่งน้ำหนักภาชนะสำหรับใส่ตัวอย่างดิน
7) นำตัวอย่างดินที่ทดสอบใส่ในภาชนะที่เตรียมไว้ นำไปชั่งน้ำหนักจากนั้นทำการบันทึกผล และนำไปอบ 1 วัน
8) นำตัวอย่างดินที่ใส่ภาชนะออกจากตู้อบ และชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาความชื้นของดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.18 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.)

3.4.3 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.) (มาตรฐาน ทล.-ท. 103/2515)

1) เตรียมตัวอย่างดินโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 40" แล้วนำไปอบ 1 วัน
2) นำดินที่ได้ใส่ลงในถ้วยแล้วเติมน้ำกลั่น จากนั้นกวนให้ทั่วจนเป็นเนื้อเดียวกันและเหนียวพอที่จะปั้นเป็นก้อนได้
3) นำดินมาปั้นเป็นเส้น แท่งกลมยาวบนกระจกที่เตรียมไว้ และปั้นให้มีขนาดเส้นผ่าศูนย์กลางเสมอกันโดยปั้นจนเส้นผ่าศูนย์กลางที่ขนาดประมาณ 3.2 มิลลิเมตรแล้วดินแตกออกพอดี ไม่สามารถปั้นให้เป็นเส้นต่อกันได้
4) นำตัวอย่างดินใส่ภาชนะ ไปชั่งน้ำหนักจากนั้นทำการบันทึกผล และนำไปอบ 1 วันเพื่อหาความชื้น
5) นำตัวอย่างดินที่ใส่ภาชนะออกจากตู้อบ และชั่งน้ำหนักอีกครั้ง และทำการบันทึกผลเพื่อหาความชื้นของดิน

ภาพที่ 3.19 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

3.4.4 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test) (มาตรฐาน ทล.-ท. 108/2517)

1) เตรียมวัสดุโดยใช้ปริมาณดังตารางที่ 3.4
ดินลูกรัง 3,000 กรัม ที่ไม่มีความชื้น (ทำการอบด้วยเครื่องอบ 1 วัน) ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 3/4" เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 3.4 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบหาความชื้นของดิน

ทดสอบครั้งที่	ปริมาณดินลูกรัง (กรัม)	ปริมาณน้ำ	
		(%)	(กรัม)
1	3000.00	5	150.00
2	3000.00	7	210.00
3	3000.00	9	270.00
4	3000.00	11	330.00
5	3000.00	13	390.00

2) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของโมล และชั่งน้ำหนักจากนั้นทาวาสลีน
3) นำดินที่เตรียมพร้อมเรียบร้อยแล้วมาทำการผสมน้ำที่กำหนดไว้ตาม ตารางที่ 3.4 และคลุกเคล้าให้เข้ากัน
4) ตักดินใส่โมล โดยแบ่งดินเป็น 5 ส่วนเท่ากัน แล้วทำการบดอัดโดยใช้ค้อนกระแทกสูงกว่ามาตรฐาน 10 ปอนด์ กระทุ้งดินในโมล ชั้นละ 25 ครั้ง จำนวน 5 ชั้น โดยพยายามบดอัด ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นเท่ากันสม่ำเสมอ โดยในชั้นสุดท้ายให้เหลือดินพ้นส่วนบนของโมลเล็กน้อยประมาณ 1-2 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.20 ผสมดินลูกรังเข้ากับน้ำ

5) ทำการปาดดินให้พอดีกับโมลและตกแต่งผิวหน้าด้วยค้อนยาง จากนั้นนำโมลที่มีดินที่บดอัดแล้วไปชั่งน้ำหนัก

6) เก็บตัวอย่างดินใส่ภาชนะไปชั่งน้ำหนัก และนำไปอบในเครื่องอบ 1 วัน ดิน จากนั้นออกจากเครื่องอบและ ชั่งน้ำหนักอีกครั้งเพื่อหาความชื้นของดิน

All rights reserved

ภาพที่ 3.21 ขั้นตอนการบดอัดดินเพื่อหาความชื้นของดิน (Optimum Moisture Content)

3.4.5 การทดสอบแรงเฉือนของดินที่บดอัดแน่น (CBR แบบแช่น้ำ) (มาตรฐาน ทล.-ท. 109/2517)

1) เตรียมวัสดุโดยใช้ปริมาณดังตารางที่ 3.5
ทุกครั้งที่ทำการทดสอบใช้ดินลูกรังที่ไม่มีความชื้น (ทำการอบด้วยเครื่องอบ 1 วัน) ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 3/4" เรียบร้อยแล้ว

ตารางที่ 3.5 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบ CBR (แบบแช่น้ำ)

ทดสอบครั้งที่	ปริมาณดินลูกรัง (กรัม)	ปริมาณน้ำ	
		(%)	(กรัม)
1	5000.00	10	500.00
2	5000.00	10	500.00
3	5000.00	10	500.00

2) ทำการประกอบโมลกับแผ่นเหล็กรอง วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของโมล และนำไปชั่งน้ำหนัก จากนั้นทำการจดบันทึก
3) ตัดกระดาษเป็นวงกลมขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่าโมล ใส่ลงไปเพื่อป้องกันไม่ให้ดินติดที่แผ่นเหล็กรอง
4) ใส่ดินลงไปในโมล แบ่งเป็น 5 ชั้นเท่าๆ กัน ใช้ค้อนกระแทกสูงกว่ามาตรฐาน 10 ปอนด์ บดอัดดินในโมลแต่ละชั้น ชั้นละ 12 ครั้ง, 25 ครั้งและ 56 ครั้งตามลำดับของแต่ละโมล และต้องพยายาม บดอัดดินให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นสม่ำเสมอเท่ากันโดยตลอด ขณะบดอัดตัวโมล จะต้องวางบนพื้นคอนกรีตที่เรียบและแข็ง
5) เมื่อเสร็จชั้นสุดท้าย ทำการปาดดินในส่วนที่เกินออกให้พอดีกับโมล ใช้คอนยางตกแต่งผิวหน้า จากนั้นนำไปชั่งน้ำหนักและจดบันทึก
6) นำแผ่นเหล็กรองออกจากโมล กลับหัวโมลและติดตั้งแผ่นน้ำหนักวงแหวน, แผ่นวัดการพองตัว และมาตราวัดการยุบตัว หลังจากนั้นนำไปแช่น้ำ 4 วัน เพื่อวัดการพองตัวของตัวอย่างดิน
7) ทำการวัดการพองตัวของตัวอย่างดินและทำการบันทึกผลทุกวัน จนครบ 4 วัน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.22 ขั้นตอนการบดอัดดินเพื่อทำการทดสอบ CBR (แบบแช่น้ำ)

ภาพที่ 3.23 การติดตั้งเครื่องมือวัดการบวมตัว

ภาพที่ 3.24 การวัดการบวมตัวของตัวอย่างดิน

8) การทดสอบแรงอัด (Compressive Strength)

8.1) เมื่อวัดการบวมตัวครบ 4 วันแล้ว นำโมลขึ้นมาจากน้ำประมาณ 15 นาที เพื่อเตรียมพร้อมในการทดสอบหาแรงอัดของตัวอย่างดิน

8.2) ทำการติดตั้ง Proving ring ขนาด 1 ตัน, Dial gauge และทางโลหะรองกับเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว ให้เรียบร้อย

8.3) ขณะทำการทดสอบให้ทำการจดบันทึกค่าจาก Proving ring ทุก ๆ 0.25 มิลลิเมตร บน dial gauge และทำการบันทึกวิดีโอเพื่อความถูกต้องของข้อมูล

8.4) ทดสอบแรงอัดแกนเดียวด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียวจนกว่าเข็มของ Proving ring ตีกลับ (ตัวอย่างแตก Failure) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกราฟแรงอัด 1 ตัน เพื่อหาค่าแรงอัดที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างดิน

3.5 การทดสอบค่าแรงอัดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unconfined Compressive Strength) (มาตรฐาน มาตรฐาน ทล.-ท 105/2515)

3.5.1 วัสดุที่นำมาวิจัย

1) ดินลูกรังที่ได้ทำการเก็บตัวอย่างบริเวณการก่อสร้างถนนอำเภอดอยสะเก็ดในห้องปฏิบัติการ
2) สารละลายโพลีเมอร์ Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR)
3) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1)
4) น้ำ

3.5.2 วิธีดำเนินการทดสอบ

1) เตรียมวัสดุโดยใช้ปริมาณดังตารางที่ 3.6 และ 3.7 ทุกครั้งที่ทำการทดสอบใช้ดินลูกรัง 3,000 กรัม ที่ไม่มีความชื้น (ทำการอบด้วยเครื่องอบ 1 วัน) ที่ผ่านการร่อนด้วยตะแกรงเบอร์ 3/4" เรียบร้อยแล้ว

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.6 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA)

วัสดุผสมซีเมนต์ - โพลีเมอร์		อัตราส่วน ซีเมนต์ : โพลีเมอร์	ซีเมนต์	โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA)	น้ำ	
(%)	(กรัม)	(%)	(กรัม)	(กรัม)	(%)	(กรัม)
2	60.00	90 : 10	54.00	6.00	10	300.00
4	120.00	90 : 10	108.00	12.00	10	300.00
6	180.00	90 : 10	162.00	18.00	10	300.00
8	240.00	90 : 10	216.00	24.00	10	300.00
10	300.00	90 : 10	270.00	30.00	10	300.00

ตารางที่ 3.7 แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR)

วัสดุผสมซีเมนต์ - โพลีเมอร์		อัตราส่วน ซีเมนต์ : โพลีเมอร์	ซีเมนต์	โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA)	น้ำ	
(%)	(กรัม)	(%)	(กรัม)	(กรัม)	(%)	(กรัม)
2	60.00	90 : 10	54.00	6.00	10	300.00

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ตารางที่ 3.7 (ต่อ) แสดงปริมาณวัสดุที่นำมาทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR)

วัสดุผสมซีเมนต์ - โพลีเมอร์		อัตราส่วน ซีเมนต์ : โพลีเมอร์	ซีเมนต์	โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA)	น้ำ	
(%)	(กรัม)	(%)	(กรัม)	(กรัม)	(%)	(กรัม)
4	120.00	90 : 10	108.00	12.00	10	300.00
6	180.00	90 : 10	162.00	18.00	10	300.00
8	240.00	90 : 10	216.00	24.00	10	300.00
10	300.00	90 : 10	270.00	30.00	10	300.00

2) วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของโมล และชั่งน้ำหนักจากนั้นทาวาสลีน
3) ผสมน้ำและโพลีเมอร์ที่เตรียมไว้และคนด้วยแท่งคนสาร
4) ผสมซีเมนต์และดินที่เตรียมไว้ จากนั้นทำการคลุกเคล้าให้เข้ากัน
5) เทน้ำที่ผสมโพลีเมอร์ลงในดินที่เตรียมไว้ จากนั้นทำคลุกเคล้าให้เข้ากัน
6) ตักดินใส่โมล โดยแบ่งดินเป็น 5 ส่วนเท่ากัน แล้วทำการบดอัดโดยใช้ ค้อนกระแทกสูงกว่ามาตรฐาน 10 ปอนด์ กระทุ้งดินในโมล ชั้นละ 25 ครั้ง จำนวน 5 ชั้น โดยพยายามบดอัด ให้ได้ความแน่นของดินในแต่ละชั้นเท่ากันสม่ำเสมอ โดย ในชั้นสุดท้ายให้เหลือดินพ้นส่วนบนของโมลเล็กน้อยประมาณ 1-2 เซนติเมตร

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.25 การเตรียมวัสดุเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ภาพที่ 3.26 ขั้นตอนการผสมวัสดุเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด

7) ทำการปาดดินให้พอดีกับโมล ตกแต่งหน้าดินด้วยค้อนยาง จากนั้นนำโมลออกจากตัวอย่างดินบดอัดด้วยเครื่องดันตัวอย่างดิน

8) นำตัวอย่างดินที่บดอัดเรียบร้อยแล้วห่อด้วยพลาสติกกันความร้อน และบ่มที่อุณหภูมิห้องจนถึงวันที่กำหนดทดสอบตัวอย่าง (7วัน, 28วัน)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
All rights reserved

ภาพที่ 3.27 ขั้นตอนการบดอัดดินเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด

ภาพที่ 3.28 การบ่มตัวอย่างดินเพื่อทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด

9) การทดสอบแรงอัด (Compressive Strength)

9.1) นำตัวอย่างดินที่ทำการบ่มตามที่กำหนด (7วัน, 28วัน) ไปแช่น้ำ 2 ชั่วโมง

9.2) ทำการติดตั้ง Proving ringขนาด 3 ตัน, Dial gauge และแท่งโลหะรองกับเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว ให้เรียบร้อย

9.3) หลังจากแช่ตัวอย่างดินครบ 2 ชั่วโมง ให้ใช้ผ้าซับน้ำตัวอย่างดินและนำไปทดสอบแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว

9.4) ขณะทำการทดสอบให้ทำการจดบันทึกค่าจาก Proving ring ทุก ๆ 0.25 มิลลิเมตร บน dial gauge และทำการบันทึกวิดีโอเพื่อความถูกต้องของข้อมูล

9.5) ทดสอบแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว จนกว่าเข็มของ Proving- ring ตีกลับ (ตัวอย่างแตก Failure) จากนั้นนำข้อมูลที่ได้เปรียบเทียบกราฟแรงอัด 3 ตัน เพื่อหาค่าแรงอัดสูงสุดที่เกิดขึ้นกับตัวอย่างดิน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาพที่ 3.29 การทดสอบแรงอัดด้วยเครื่องทดสอบแรงอัดแกนเดียว

3.6 การทดสอบการดูดซึมน้ำ (Water Absorption Test) (มาตรฐาน AS1141.53-1996)

3.6.1 วัสดุที่นำมาวิจัย

1) ตัวอย่างดินที่ทำการบดอัดและบ่มด้วยพลาสติกกันความร้อน (7 วัน, 28 วัน) จากการทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์
2) น้ำ

3.6.2 วิธีดำเนินการทดสอบ

1) เตรียมตัวอย่างดินที่ทำการบดอัดและบ่มด้วยพลาสติกกันความร้อน (7 วัน, 28 วัน) จากการทดสอบแรงอัดที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ปริมาณวัสดุ ตารางที่ 3.56-3.7
2) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดิน และนำไปอบที่อุณหภูมิที่ 55 องศา เป็นเวลา 1 วัน
3) ชั่งน้ำหนักตัวอย่างดินอีกครั้ง และทำเครื่องหมายด้วยปากกาเคมีที่ระยะ 1 เซนติเมตร จากด้านล่างของตัวอย่างดิน
5) นำตัวอย่างดินใส่ลงไปในถาด และเติมน้ำในถาดให้ถึงระยะที่ทำเครื่องหมายด้วยปากกาเคมี
6) ทดสอบการดูดซึมน้ำของดินด้วยการวัดน้ำหนักของตัวอย่างดิน โดยทำการชั่งน้ำหนัก 15 นาที, 30 นาที, 45 นาที, 1 ชั่วโมง, 2 ชั่วโมง, 3 ชั่วโมง, 4 ชั่วโมง, 1-7 วัน หลังจากนำตัวอย่างดินแช่น้ำและทำการบันทึกผล

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

7) หลังจากทำการทดสอบเสร็จให้นำตัวอย่างดินไปอบที่อุณหภูมิ 105 องศา เป็นเวลา 1 วัน แล้วนำมาชั่งน้ำหนักและบันทึกผล

ภาพที่ 3.30 การทดสอบดูดซึมน้ำของดิน (Water Absorption Test)

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 4

ผลการทดสอบ

ในบทนี้จะนำเสนอผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบความข้นเหลวปกติและระยะการก่อตัวของปูนซีเมนต์ด้วยเข็มไวแคต การทดสอบความต้านทานแรงอัด-ดัด ของคอนกรีต การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรังตามมาตรฐานกรมทางหลวง การทดสอบค่าแรงอัดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unconfined Compressive Strength) และการทดสอบดูดซึมน้ำ (Capillary rise test) โดยมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

4.1 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

ตารางที่ 4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

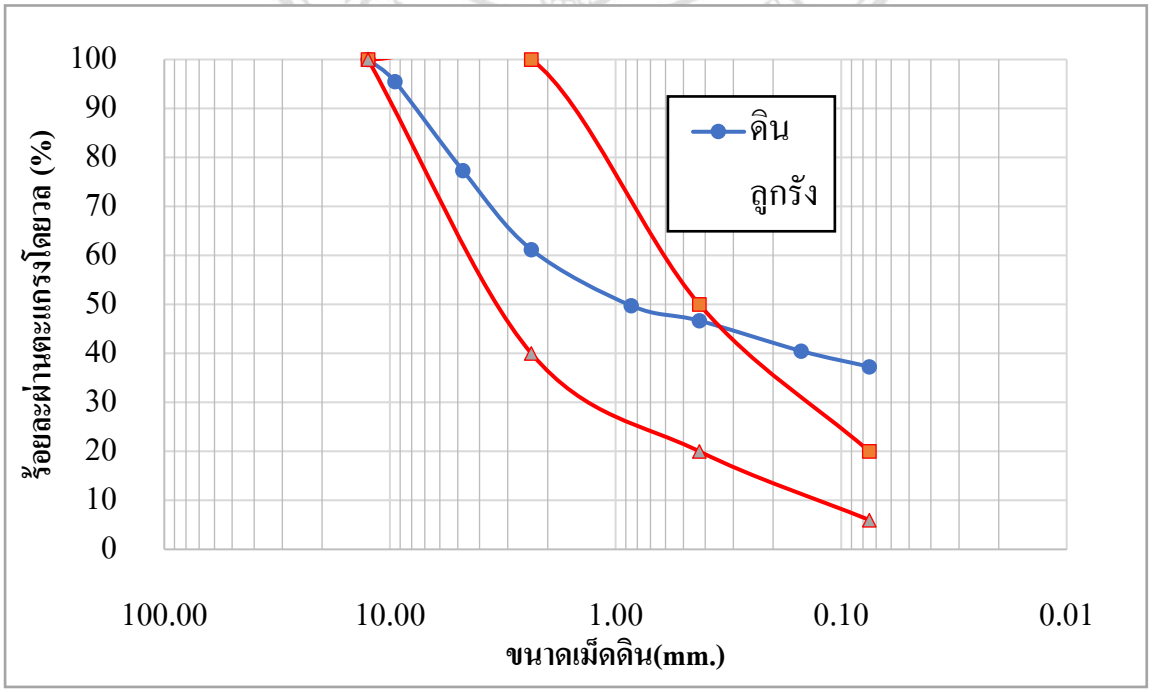
คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง	**ดินลูกรังที่ใช้ทดสอบ**	**มาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม ทล. - ม. 205/2532**	**มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล. - ม. 206/2532**	**หมายเหตุ**
1.ขนาดคละของดินลูกรัง	ขนาดคละไม่จัดอยู่ในกลุ่ม A- E	กลุ่ม A- E	ขนาดคละผ่าน #200 ไม่เกินร้อยละ 40	ดินลูกรังที่ใช้ไม่ผ่านมาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม และสามารถนำไปปรับปรุงคุณภาพตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ได้
2. Liquid Limit (L.L.)	ร้อยละ 18.75	ไม่เกินร้อยละ 35	ไม่เกินร้อยละ 40	
3. Plasticity Index (P.I.)	ร้อยละ 3.53	ไม่เกินร้อยละ 11	ไม่เกินร้อยละ 20	
4.ค่า C.B.R.	ร้อยละ 1	ไม่น้อยกว่าร้อยละ 25	-	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.1 การทดสอบขนาดคละของมวลดิน (Grain Size Analysis)

ตารางที่ 4.2 การกระจายตัวของเม็ดดินลูกรัง

ขนาดตะแกรง	ขนาดช่องเปิดแผ่นตะแกรง (D) (มม.)	Percent Finer (%)
1/2 in.	12.5	100
3/8 in.	9.5	95.49
No. 4	4.75	77.33
No. 8	2.36	61.18
No. 20	0.85	49.73
No. 40	0.425	46.68
No. 100	0.15	40.48
No. 200	0.075	37.30
Pan	-	0.00



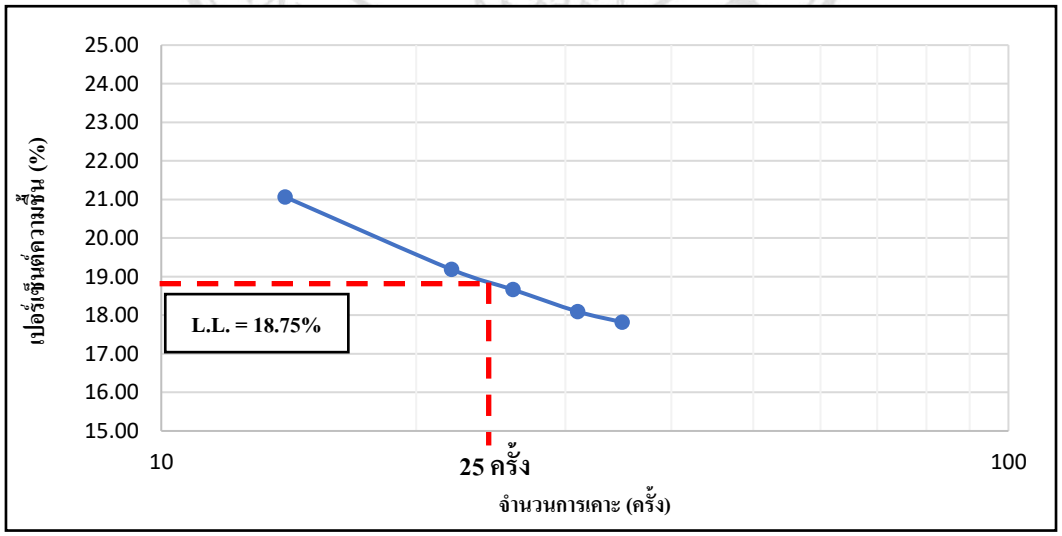
ภาพที่ 4.1 กราฟการกระจายตัวของเม็ดดิน

ตารางที่ 4.3 ขนาดคละของวัสดุรองพื้นทางวัสดุมวลรวม (Subbase) ทล.-ม. 205/2517

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร)	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล				
	A	B	C	D	E
50 (2”)	100	100	-	-	-
25.0 (1”)	-	-	100	100	100
9.5 (3/8”)	30-65	40-75	50-85	60-100	-
2.00 (เบอร์ 10)	15-40	20-45	25-50	40-70	40-100
0.425 (เบอร์ 40)	8-20	15-30	15-30	25-45	20-50
0.075 (เบอร์ 200)	2-8	5-20	5-15	5-20	6-20

จากภาพที่ 4.1 และตารางที่ 4.3 สรุปได้ว่างตัวอย่างดินลูกรังที่นำมาทดสอบนั้นไม่จัดอยู่ในกลุ่มประเภทใด ดังนั้น จึงไม่ผ่านมาตรฐาน ทล.-ม. 205/2532

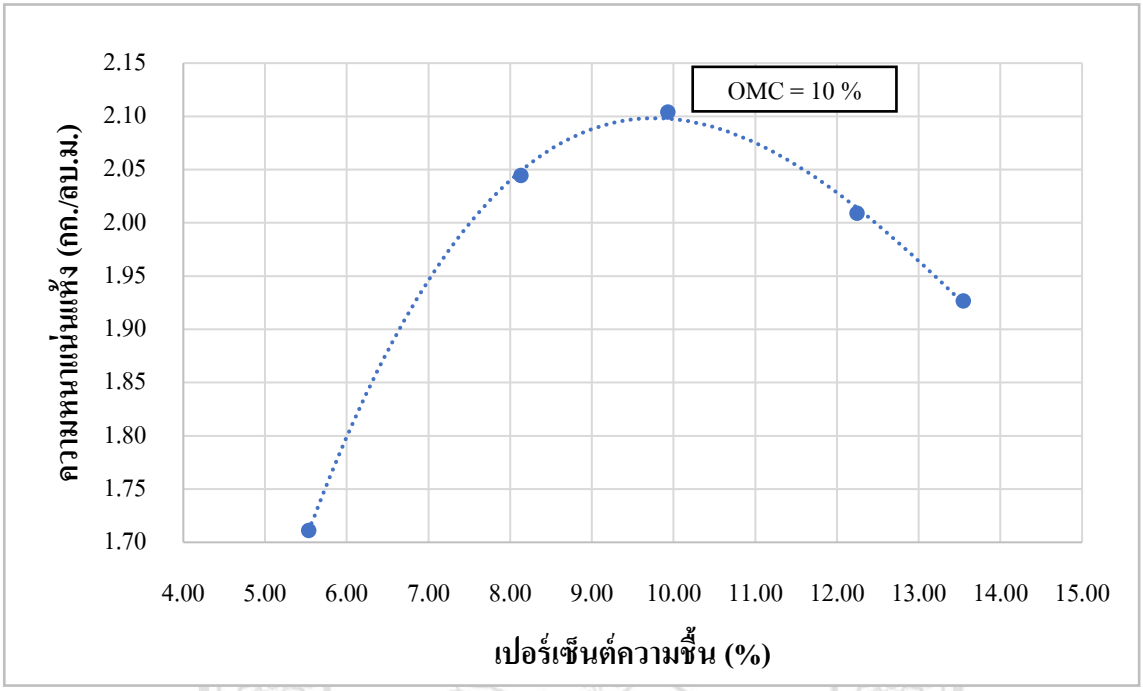
4.1.2 การทดสอบหาค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, L.L.) และการทดสอบหาค่าขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, P.L.)



ภาพที่ 4.2 กราฟความสัมพันธ์จำนวนการเคาะกับเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดิน

จากกราฟที่ 4.2 จะได้ค่า Liquid Limit เท่ากับ 18.75% และค่า Plastic Limit เท่ากับ 15.22% ซึ่งทำให้ได้ค่า Plasticity Index เท่ากับ 18.75 – 15.22 = 3.53%

4.1.3 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Test)



ภาพที่ 4.3 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นแห้งกับเปอร์เซ็นต์ความชื้น

ตารางที่ 4.4 ความหนาแน่นแห้งสูงสุดและปริมาณน้ำในดิน ที่ทำให้เกิดความหนาแน่นแห้งสูงสุดของดินลูกรัง โดยใช้วิธี Modified Compaction Test

แหล่งดินลูกรัง	ความหนสแน่นแห้งสูงสุด (กก./ลบ.ม.)	ปริมาณน้ำ (%)
อำเภอดอยสะเก็ด	2.100	10

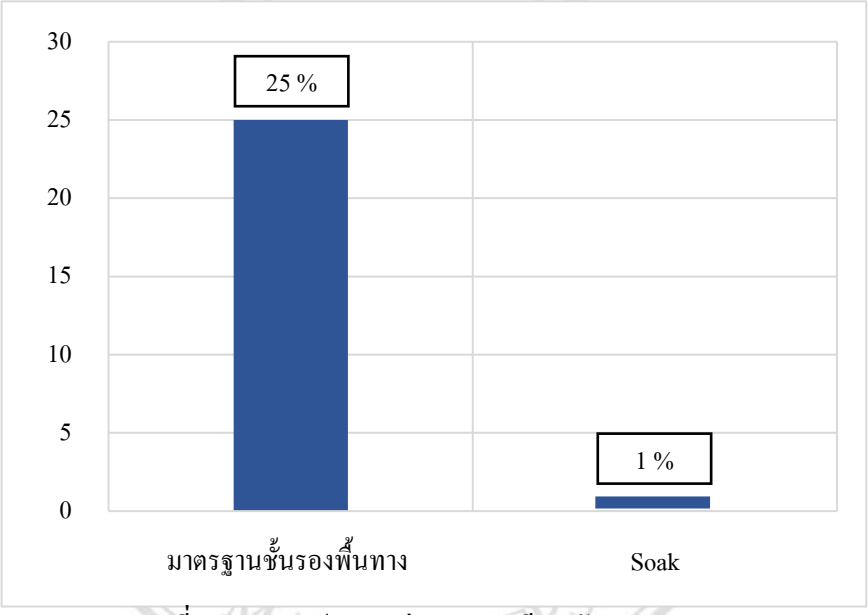
จากภาพที่ 4.3 และตารางที่ 4.4 จะได้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดเท่ากับ 2100 กก./ลบ.ม. และปริมาณน้ำที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content, OMC) เท่ากับ 10%

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.1.4 การทดสอบแรงเฉือนของดินที่บดอัดแน่น (CBR แบบแช่น้ำ)

ตารางที่ 4.5 ค่า C.B.R ของดินลูกรังที่ร้อยละ 95 ของความหนาแน่นแห้งสูงสุด

ประเภทการทดสอบ	ค่า CBR (%)
Soak	1



ภาพที่ 4.4 กราฟแสดงค่า C.B.R เทียบกับมาตรฐาน

จากภาพที่ 4.4 และตารางที่ 4.5 ค่า C.B.R ที่ได้จากการทดสอบนั้นได้เท่ากับ 1% ซึ่งมีค่าน้อยกว่ามาตรฐานชั้นรองพื้นทางของกรมทางหลวงที่ว่า ค่า C.B.R ที่ 95% ของความหนาแน่นแห้งสูงสุดนั้นต้องไม่น้อยกว่า 25% ดังนั้น จึงไม่ผ่านมาตรฐาน ทล.-ท. 109/2517

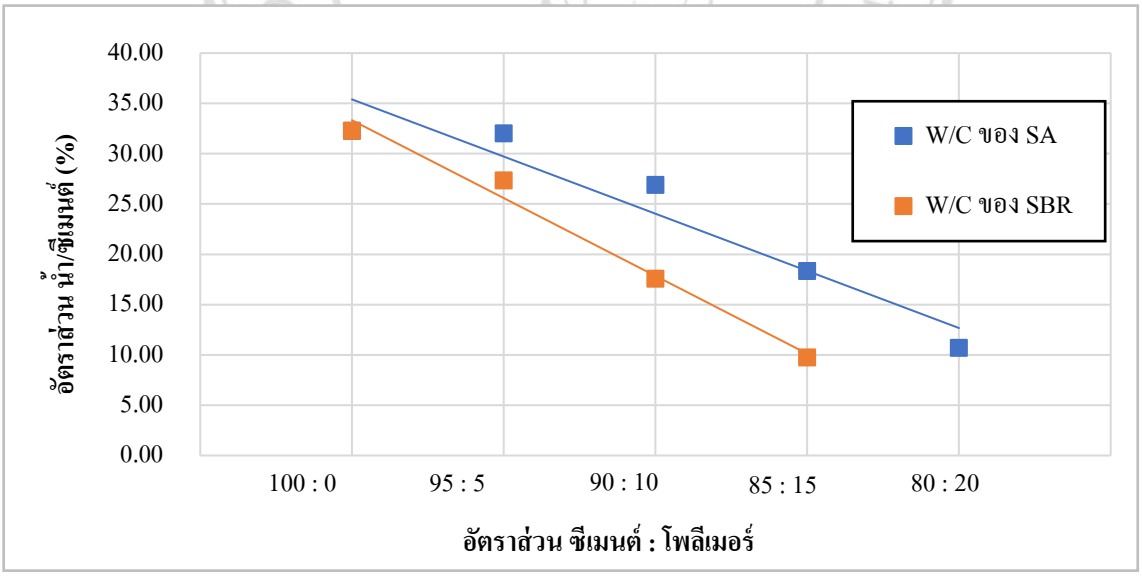
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

4.2 การทดสอบวัสดุวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

4.2.1 การทดสอบหาความข้นเหลวปกติของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

ตารางที่ 4.6 ปริมาณน้ำที่เหมาะสมของอัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์

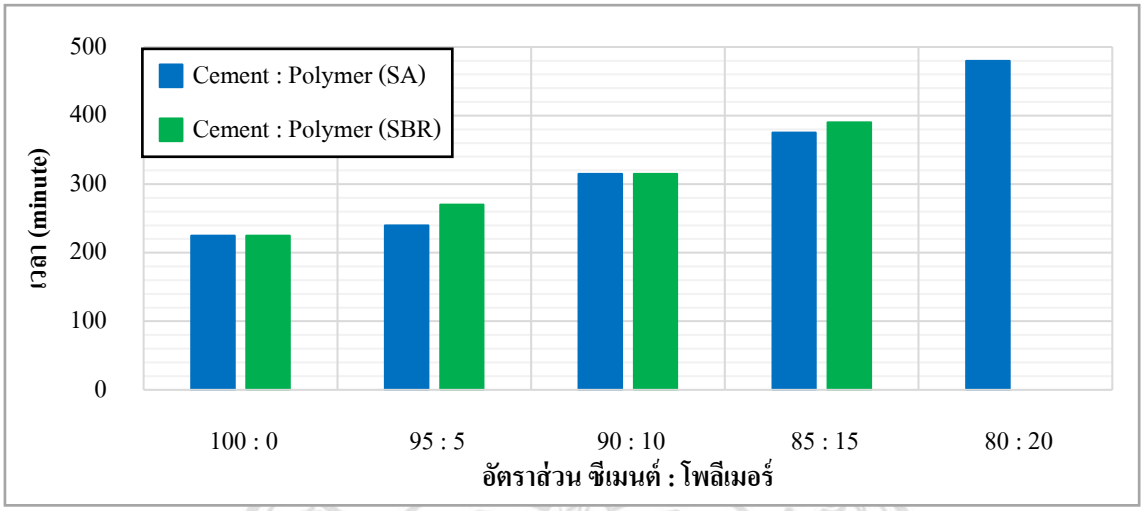
อัตราส่วน ซีเมนต์ : โพลีเมอร์	ปริมาณน้ำสำหรับสายละลายโพลีเมอร์ ชนิด Styrene acrylic (SA)		ปริมาณน้ำสำหรับสารละลายโพลีเมอร์ ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR)	
	น้ำ/ซีเมนต์	ของเหลว/ซีเมนต์	น้ำ/ซีเมนต์	ของเหลว/ซีเมนต์
100: 0	32.26		32.26	
95: 5	32.00	37.26	27.33	32.60
90: 10	26.89	38.00	17.56	28.66
85: 15	18.33	35.98	9.73	27.38
80: 20	10.69	35.69	-	-



ภาพที่ 4.5 กราฟความสัมพันธ์ระหว่าง ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ กับ น้ำ/ซีเมนต์

จากภาพที่ 4.5 และตารางที่ 4.6 จะได้ปริมาณน้ำที่เหมาะสมสำหรับการผสมวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ และเมื่ออัตราส่วนของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์เพิ่มมากขึ้น จะทำให้ปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ลดลง เนื่องจากสารละลายโพลีเมอร์เป็นน้ำทำให้มีปริมาณของเหลวที่เพิ่มขึ้นและซีเมนต์ลดลง

4.2.2 การทดสอบระยะเวลาการก่อตัวของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์



ภาพที่ 4.6 กราฟการทดสอบระยะก่อตัวของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

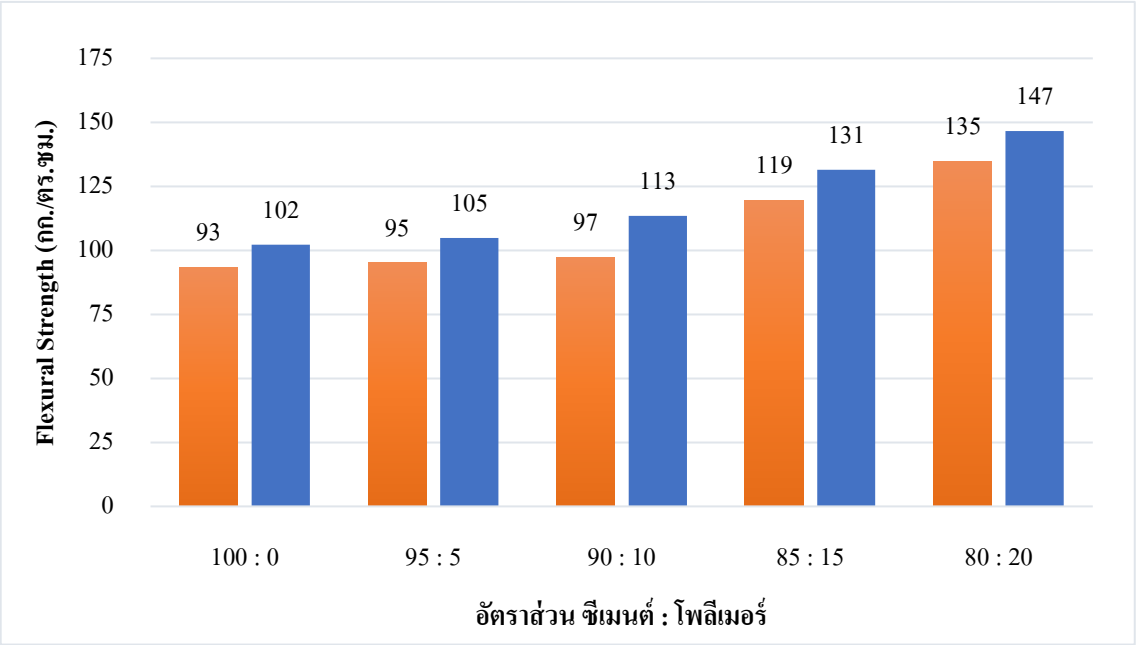
จากภาพที่ 4.6 กราฟการทดสอบระยะการก่อตัวของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่มีอัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เท่ากับ 100 : 0, 95 : 15, 90 : 10, 85 : 15 และ 80 : 20 พบว่าเมื่อปริมาณโพลีเมอร์เพิ่มมากขึ้นจะทำให้ระยะเวลาในการก่อตัวของตัวอย่างทดสอบนานมากขึ้น ซึ่งทำให้การผสมและแกะตัวอย่างเพื่อทดสอบความกำลังรับแรงอัด-แรงดัดใช้เวลานานมากขึ้น

4.2.3 การทดสอบ Flexural Strength และ Compressive Strength ของวัสดุผสมซีเมนต์ : โพลีเมอร์

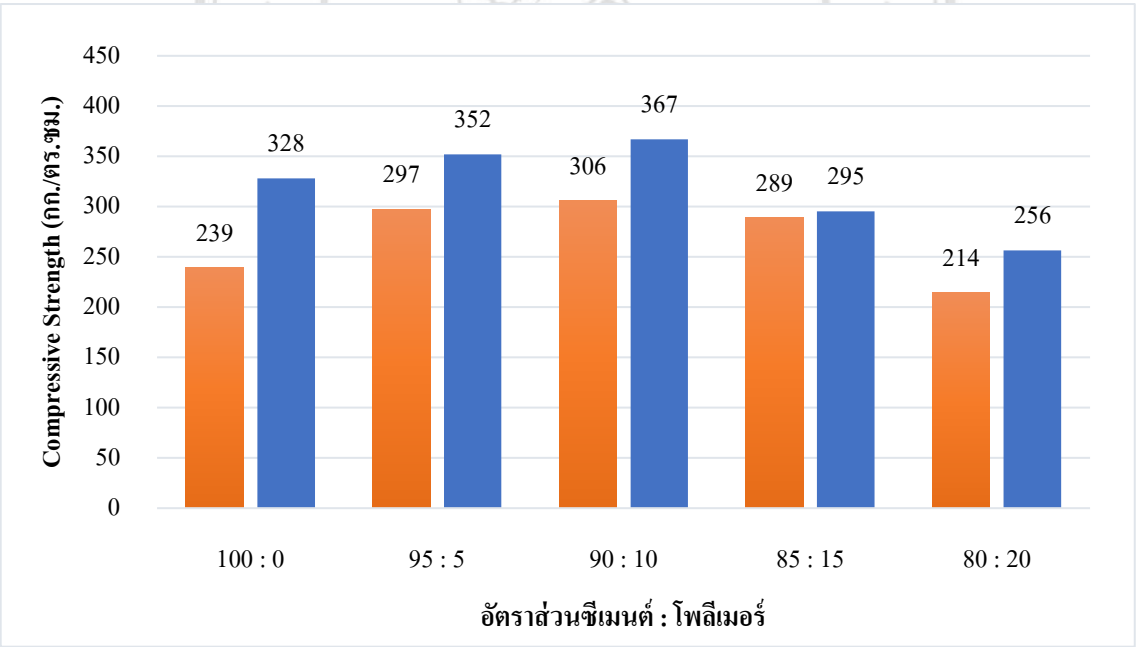
ตารางที่ 4.7 ค่า Flexural Strength และ Compressive Strength ของวัสดุผสมซีเมนต์ : โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA)

อัตราส่วน	Flexural Strength (กก./ตร.ซม.)		Compressive Strength (กก./ตร.ซม.)	
	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
100 : 0	93	102	239	328
95 :5	95	105	297	352
90 : 10	97	113	306	367
85 : 15	119	131	289	295
80 : 20	135	147	214	256

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.7 กราฟแสดง Flexural Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน



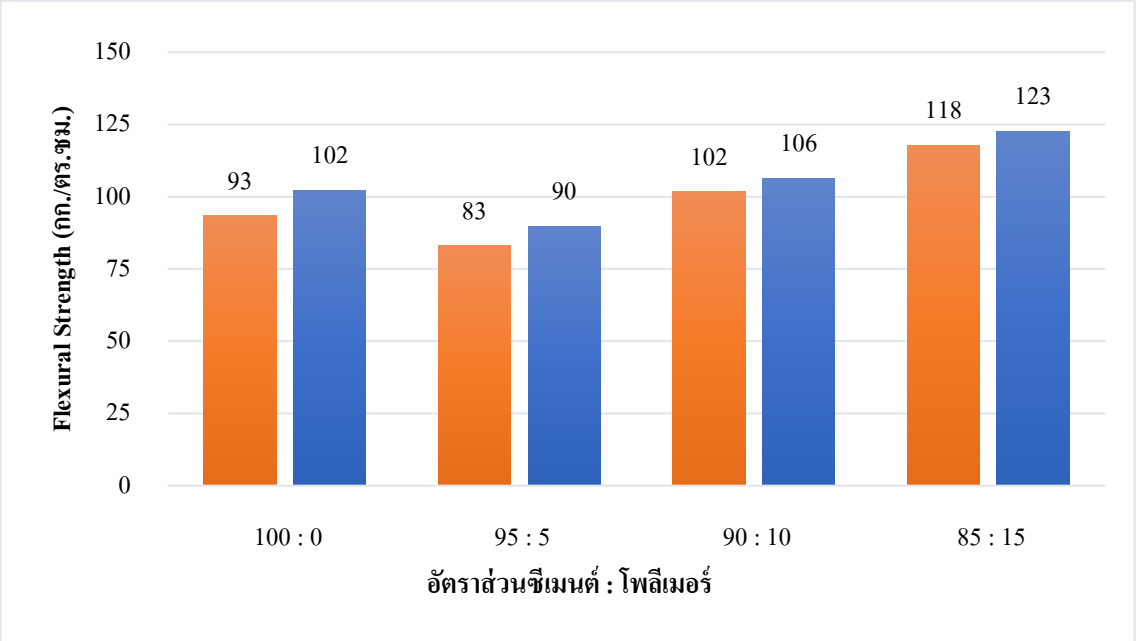
ภาพที่ 4.8 กราฟแสดง Compressive Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน

วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่ทำการผสมตามอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำการบ่มไว้ที่ระยะเวลา 7 วัน และ 28 วัน จากนั้นนำมากดหาค่า Flexural Strength และค่า Compressive Strength ได้ค่าตามตารางที่ 4.7 และภาพที่ 4.7-4.8 และอัตราส่วนที่มีซีเมนต์ 80% ต่อโพลีเมอร์ 20% มีค่า Flexural Strength เท่ากับ 135 และ 147 กก./ตร.ซม. ที่การบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากสุด และอัตราส่วนที่มีซีเมนต์ 90% ต่อโพลีเมอร์ 10% มีค่า Compressive Strength เท่ากับ 306 และ 367 กก./

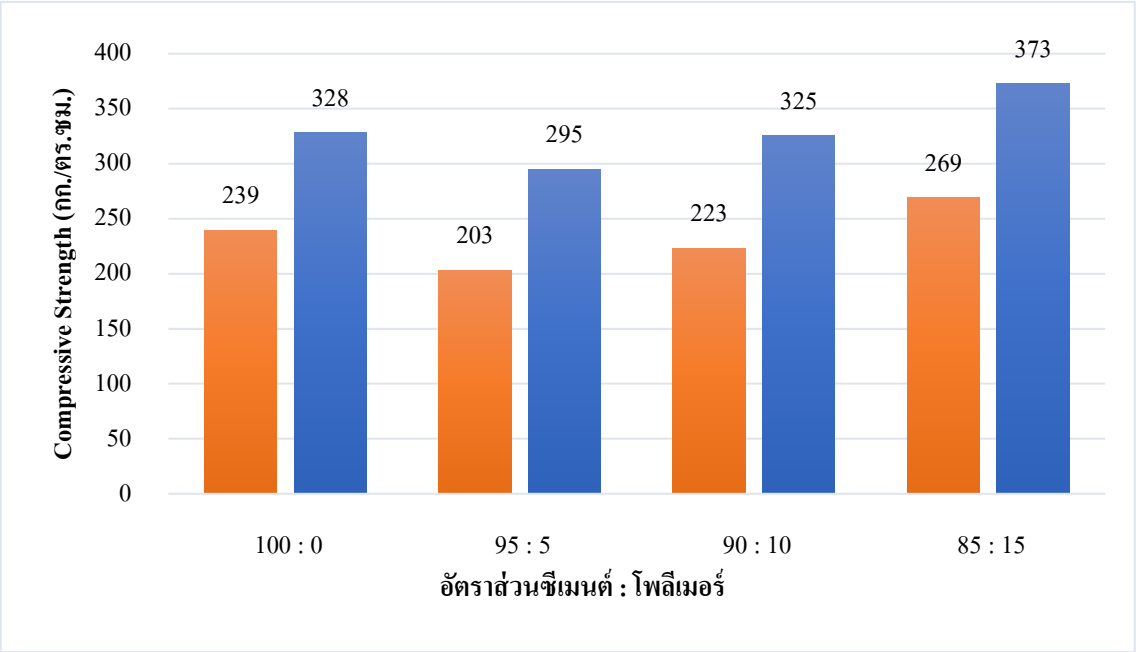
ตร.ซม. ที่การบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ซึ่งมีค่ามากที่สุดเช่นกัน จากตารางที่ 4.7 ค่า Flexural Strength และค่า Compressive Strength มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเหนียวของตัวโพลีเมอร์ จะเข้ามาช่วยในการรับแรงดัดและอัด แต่ที่อัตราส่วนซีเมนต์ 80% ต่อโพลีเมอร์ 20% ค่าของ Compressive Strength มีค่าลดลงเกิดจากที่ส่วนผสมมีความข้นมากเกินไปทำให้เกิดความเหนียวมากเกินไปทำให้รับแรงอัดได้น้อยลง

ตารางที่ 4.8 ค่า Flexural Strength และ Compressive Strength ของวัสดุผสม ซีเมนต์:โพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR)

อัตราส่วน	Flexural Strength (กก./ตร.ซม.)		Compressive Strength (กก./ตร.ซม.)	
	7 วัน	28 วัน	7 วัน	28 วัน
100 : 0	93	102	239	328
95 :5	83	90	203	295
90 : 10	102	107	223	326
85 : 15	118	123	269	373



ภาพที่ 4.9 กราฟแสดง Flexural Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน



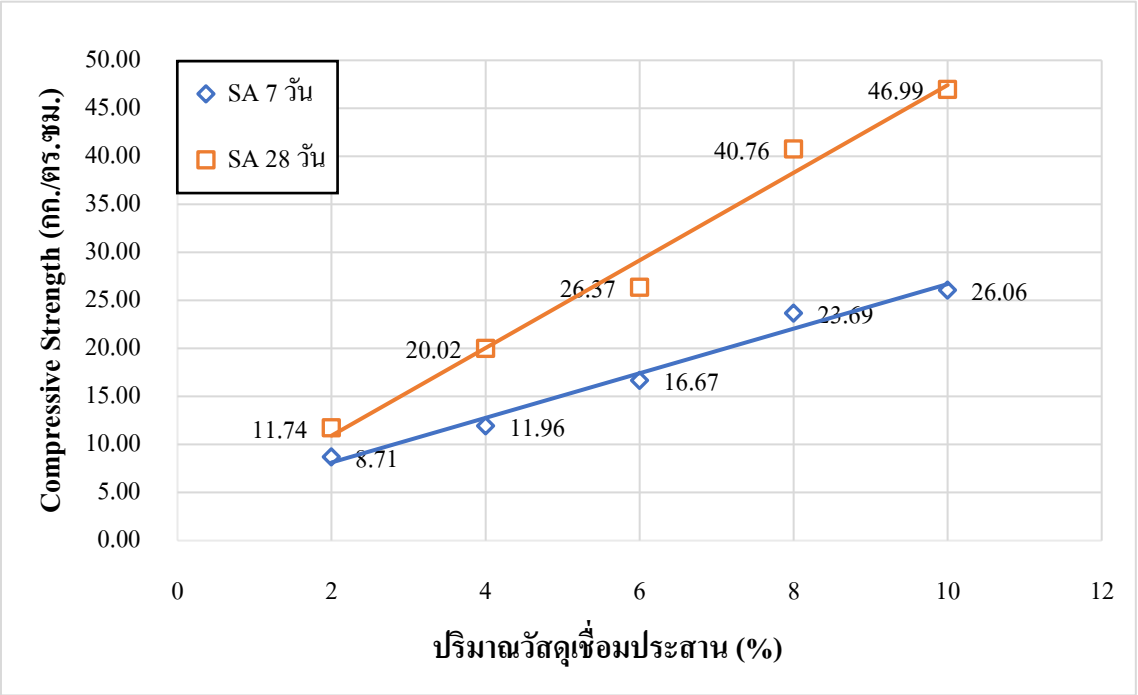
ภาพที่ 4.10 กราฟแสดง Compressive Strength ที่อายุ 7 และ 28 วัน

วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่ทำการผสมตามอัตราส่วนต่าง ๆ แล้วทำการบ่มไว้ที่ระยะเวลา 7 วัน และ 28 วัน จากนั้นนำมากดหาค่า Flexural Strength และค่า Compressive Strength ได้ค่าตามตารางที่ 4.8 และภาพที่ 4.9-4.10 และอัตราส่วนที่มีซีเมนต์ 85% ต่อโพลีเมอร์ 15% มีค่า Flexural Strength เท่ากับ 118 และ 123 กก./ตร.ซม. ที่การบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ตามลำดับ ซึ่งมีค่ามากสุด และอัตราส่วนที่มีซีเมนต์ 85% ต่อโพลีเมอร์ 15% มีค่า Compressive Strength เท่ากับ 269 และ 373 กก./ตร.ซม. ที่การบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ซึ่งมีค่ามากที่สุดเช่นกัน จากตารางที่ 4.8 ค่า Flexural Strength และค่า Compressive Strength มีค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากความเหนียวของตัวโพลีเมอร์ จะเข้ามาช่วยในการรับแรงดัดและอัด แต่ที่อัตราส่วนซีเมนต์ 85% ต่อโพลีเมอร์ 15% ค่าของ Compressive Strength มีค่าลดลงเกิดจากที่ส่วนผสมมีความข้นมากเกินไปทำให้เกิดความเหนียวมากเกินไปทำให้รับแรงอัดได้น้อยลง

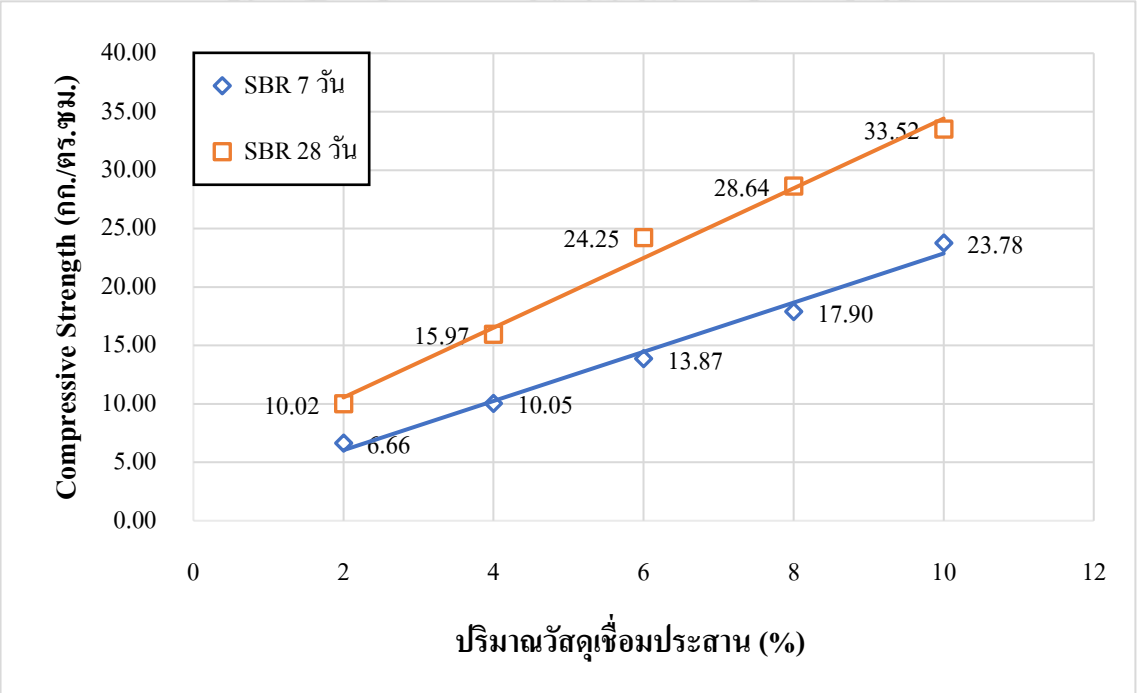
จากการวิเคราะห์การทดสอบหาค่า Flexural Strength และค่า Compressive Strength ของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์เพื่อที่จะนำไปใช้ปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐาน พบว่าวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่ใช้โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) มีอัตราส่วนซีเมนต์ 90% ต่อโพลีเมอร์ 10% และที่ใช้โพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) มีอัตราส่วนซีเมนต์ 85% ต่อโพลีเมอร์ 15% ซึ่งทั้ง 2 อัตราส่วนนี้ให้ค่า Compressive Strength สูงที่สุดและมากกว่าอัตราส่วนที่มีซีเมนต์ 100% จึงเลือกใช้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

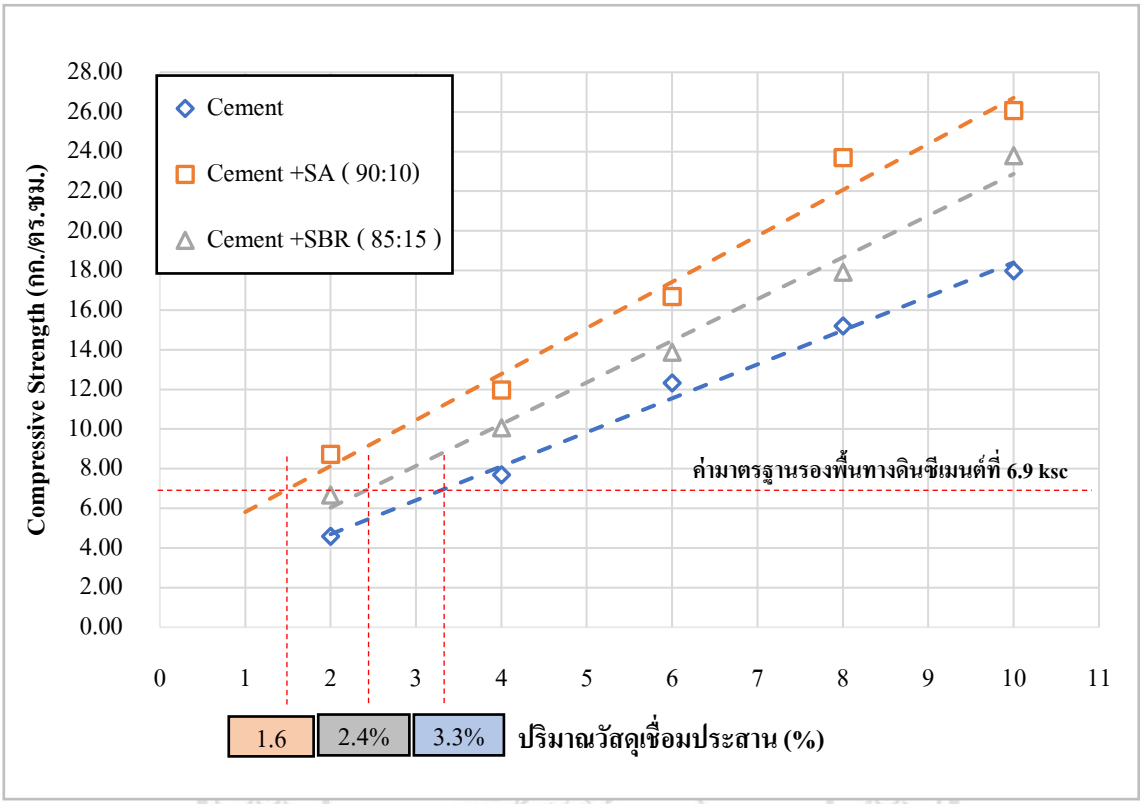
4.3 การทดสอบดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์



ภาพที่ 4.11 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ (สายละลายโพลีเมอร์ชนิด SA)



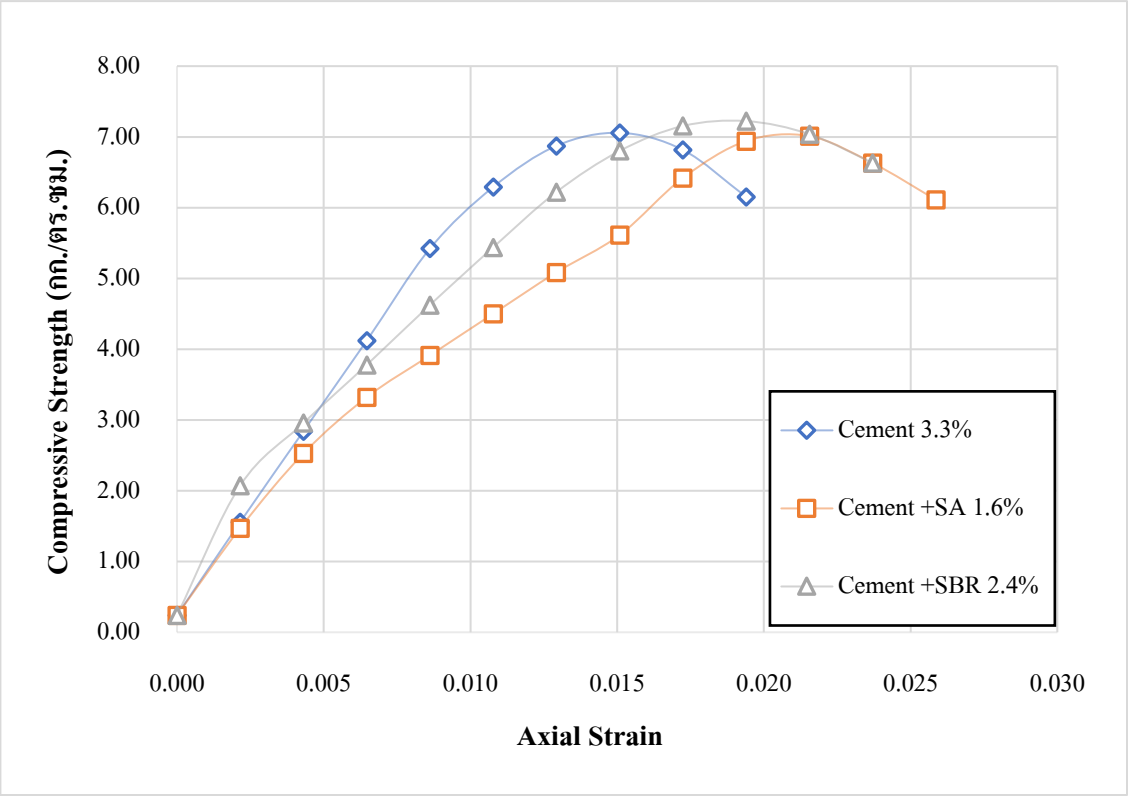
ภาพที่ 4.12 กราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ (สายละลายโพลีเมอร์ชนิด SBR)



ภาพที่ 4.13 กราฟเปรียบเทียบวัสดุเชื่อมประสาน

จากภาพที่ 4.11-4.12 แสดงให้เห็นว่าวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์สามารถเพิ่มค่า Compressive Strength ของดินซีเมนต์ได้โดยมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุเชื่อมประสาน และวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) จะให้กำลังที่มากกว่าชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) ตามภาพที่ 4.13 เมื่อเปรียบเทียบกับการปรับปรุงด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียว สังเกตได้ว่าวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ทั้ง 2 ชนิด มีค่า Compressive Strength มากกว่าการปรับปรุงด้วยซีเมนต์ และนำไปเทียบกับค่ามาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง พบว่าการปรับปรุงด้วยวิธีปกติจะใช้ซีเมนต์เท่า 3.3% โดยมวลดินลูกรัง แต่เมื่อเปลี่ยนมาใช้วัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์จะใช้ปริมาณซีเมนต์-โพลีเมอร์เท่ากับ 1.6% และ 2.4% ตามลำดับดังภาพที่ 4.13 ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ได้

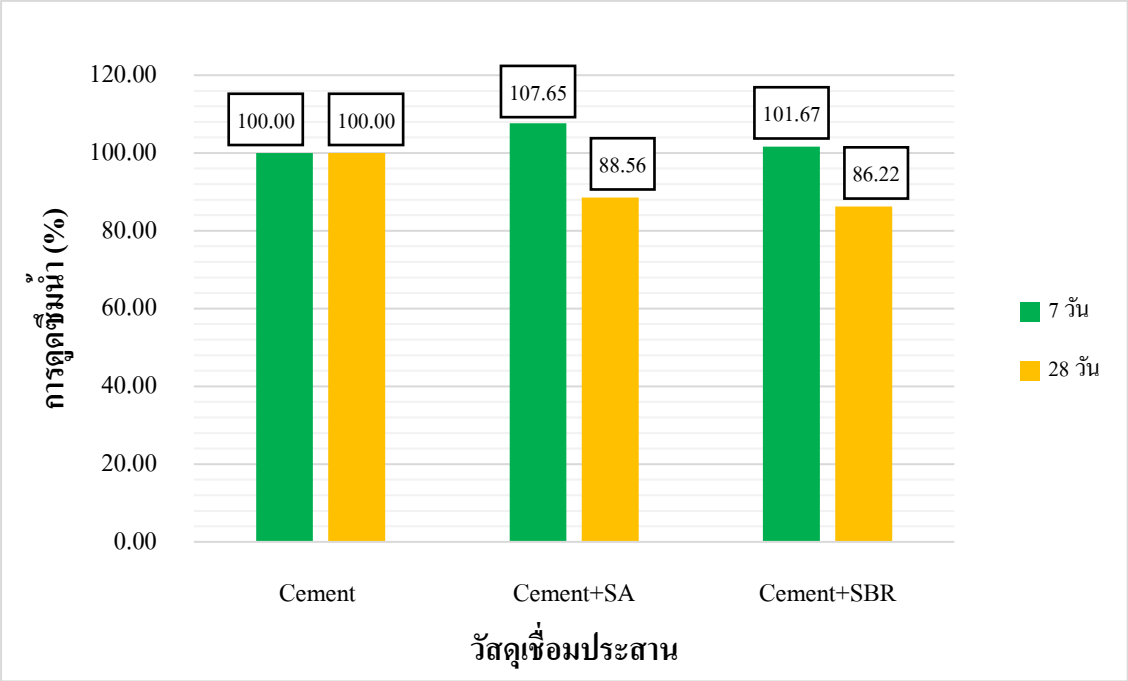
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบหลังปรับปรุงตามมาตรฐาน

จากการปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุเชื่อมประสานชนิดต่าง ๆ ตามปริมาณที่เหมาะสมที่ได้จากภาพที่ 4.13 คือ ซีเมนต์เท่ากับ 3.3%, ซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด SA เท่ากับ 1.6% และซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด SBR เท่ากับ 2.4% ตามลำดับ แล้วทำการทดสอบหาค่า Compressive Strength ของตัวอย่างดินซีเมนต์ พบว่ามีค่า Compressive Strength มากกว่าค่ามาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงที่ 6.9 กก./ตร.ซม. และมีค่าความเครียดตามแนวแกนเพิ่มมากขึ้นมากกว่าการปรับปรุงแบบปกติ ดังภาพที่ 4.14 กราฟเปรียบเทียบหลังปรับปรุงตามมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved



ภาพที่ 4.15 กราฟการดูดซึมน้ำ

จากภาพที่ 4.15 แสดงการเปรียบเทียบการดูดซึมน้ำของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่ผสมวัสดุเชื่อมประสานชนิดต่าง ๆ ในอัตราส่วนที่เหมาะสม สังเกตได้ว่าดินซีเมนต์ที่ผสมวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ชนิด SA และชนิด SBR จะมีการดูซึมน้ำที่น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับการผสมด้วยซีเมนต์ปกติ ซึ่งลดการดูดซึมน้ำที่อายุการบ่ม 28 วัน ได้เท่ากับ 14.44% และ 13.78% ตามลำดับ ซึ่งการปรับปรุงดินลูกรังด้วยวัสดุผสมซีเมนต์โพลีเมอร์สามารถช่วยลดการดูดซึมน้ำของดินซีเมนต์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

บทที่ 5

สรุปผลการวิจัย

จากการวิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ สำหรับปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐาน โดยใช้วิธีการทดสอบค่าแรงอัดสูงสุดต่อหน่วยพื้นที่ (Unconfined Compressive Strength) และการทดสอบดูดซึมน้ำ (Water Absorption Test) ของตัวอย่างดินซีเมนต์ สามารถสรุปผลได้ดังต่อไปนี้

5.1 คุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง

ดินลูกรังที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างจากบ่อดินลูกรัง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อทำการจำแนกแบบ Unified soil classification system (USCS) พบว่าเป็นดินชนิด CL-ML ซึ่งจัดว่าเป็นดินเหนียวปนตะกอนทราย และจำแนกทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าตัวอย่างดินลูกรังมีค่า Sieve ไม่จัดอยู่ในกลุ่ม A-E, Liquid limit 28%, Plasticity index 18%, Maximum dry density 2,100 กรัม/ลบ.ซม. และ CBR 1% เมื่อเทียบกับมาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม มาตรฐานที่ ทล.-ม. 205/2532 พบว่าเป็นดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐาน และสามารถปรับปรุงคุณภาพด้วยวิธีดินซีเมนต์ตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.-ม. 206/2532 ของกรมทางหลวง

5.2 การวิเคราะห์หาอัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เพื่อใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานสำหรับการปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐาน

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

การวิเคราะห์อัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ สำหรับปรับปรุงดินลูกรัง และมีโพลีเมอร์ 2 ชนิด คือ Styrene acrylic (SA) และ Styrene butadiene rubber (SBR) แล้วทำการทดสอบเป็นวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ โดยใช้เป็นอัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ ที่ 100:0, 95:5, 90:10, 85:15, 80:20 และใช้ปริมาณน้ำที่ W/C ของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ ในปริมาณที่เหมาะสมของแต่ละอัตราส่วน หลังจากนั้นทำการผสมตัวอย่างทดสอบ Flexural Strength และค่า Compressive Strength พบว่าโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) จะได้ W/C เท่ากับ 33, 30, 27, 19 และ 11% ตามลำดับ และมีค่า Flexural Strength สูงสุดที่อัตราส่วน 80 : 20 เท่ากับ 135 และ 147 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

ตามลำดับ และมีค่า Compressive Strength สูงสุดที่อัตราส่วน 90 : 10 เท่ากับ 306 และ 367 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วันตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้ในการปรับปรุงดินลูกรังจะดูค่า Compressive Strength เป็นหลักจึงเลือกอัตราส่วน 90 : 10 ของโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม ส่วนโพลีเมอร์ชนิด Styrene butadiene rubber (SBR) จะได้ W/C เท่ากับ 33, 28, 18 และ 10% ตามลำดับ โดยอัตราส่วนที่ 80 : 20 ไม่สามารถหาปริมาณน้ำได้เนื่องจากมีปริมาณของเหลวมากเกินไปจนทำให้ซีเมนต์ไม่จับตัวเป็นก้อน และมีค่า Flexural Strength สูงสุดที่อัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 118 และ 123 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วันตามลำดับ และมีค่า Compressive Strength สูงสุดที่อัตราส่วน 85 : 15 เท่ากับ 269 และ 373 กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วันตามลำดับ ซึ่งอัตราส่วนที่ใช้ในการปรับปรุงดินลูกรังจะดูค่า Compressive Strength เป็นหลักจึงเลือกอัตราส่วน 85 : 15 ของโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic (SA) เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐาน

5.3 การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

การปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ ในอัตราส่วนที่ได้จากการทดสอบหาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ โดยใช้อัตราส่วนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ (SA) เท่ากับ 90 : 10 และ ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ (SBR) เท่ากับ 85 : 15 เป็นวัสดุเชื่อมประสานในปริมาณ 2, 4, 6, 8 และ 10% จากนั้นทำการบ่มที่ระยะเวลา 7 และ 28 วัน พบว่าค่า Unconfined Compressive Strength ของดินซีเมนต์ปกติที่ผ่านมาตรฐานกรมทางหลวงจะใช้ปริมาณเท่ากับ 3.3% ส่วนดินซีเมนต์ที่ใช้วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ (SA) จะใช้ปริมาณเท่ากับ 1.6% และดินซีเมนต์ที่ใช้วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ (SBR) จะใช้ปริมาณเท่ากับ 2.4% ซึ่งสารละลายโพลีเมอร์จะเข้าไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดินทำให้ดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์มีกำลังเพิ่มขึ้น และยังสามารถลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ในการปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานได้

5.4 การเปรียบเทียบหลังการปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสม

ดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ทั้ง 2 ชนิดในอัตราส่วนที่เหมาะสมและผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวงจะให้ค่า Unconfined Compressive Strength ที่ใกล้เคียงกันแต่ Axial Strain ของดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์จะมีค่ามากว่าดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์แบบปกติ และการดูดซึมน้ำของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ พบว่าโพลีเมอร์สามารถช่วยเพิ่มการป้องกันน้ำในดินซีเมนต์ได้

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

เอกสารอ้างอิง

[1] กาญจนา ปิ่นวิเศษ. (2017*). การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์. กรุงเทพฯ

[2] เกษม เพชรเกตุ, และ วรกร สุขมงคล. (2527) *อิทธิพลของอัตราส่วนระหว่างความยาวต่อเส้นผ่านศูนย์กลางที่มีผลต่อกำลังของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานครผสมปูนซีเมนต์.* สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ

[3] กรมทางหลวง. (2532). *มาตรฐานงานทาง*. กรุงเทพฯ : สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง.

[4] จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบูลย์, เดนนิส ที เบอร์กาโด, และธนวรัท กฤตภัครพงษ์. *การเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และ น้ำยาโพลิเมอร์เคมโรด*. บทความทางวิศกรรมโยธา. สืบค้นเมื่อวันที่ 10 กันยายน 2563, จาก http://www.chemroad.com/th

[5] ทรงพล บุญมาดี. (2529). *ความสัมพันธ์ระหว่าง Unconfined Compressive Strength กับ Unsoaked CBR ของดินลูกรังผสมซีเมนต์* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) สถาบันพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ

[6] นิโรจน์ เงินพรหม. (2553). *การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็ก* (รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา). กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[7] รณภูมิ ลิ่มศรีสวัสดิ์, และประทีป ดวงเดือน. (2553). *การปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังโดยใช้เถ้าหนักและเศษปูนขาว* (รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา) กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์.

[8] ศาสน์ สุขประเสริฐ. (2560) *การวิจัยการประยุกต์ใช้ยางพาราและดินซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างถนน* (รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา) กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[9] สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. (2548). *ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของดินซีเมนต์บดอัดสำหรับงานถนน* (รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา) กรุงเทพฯ : มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[10] สุทธิชัย เจริญกิจ. (2560). *การปรับปรุงคุณสมบัติของดินลูกรังด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ* (รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา) สงขลา : มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[11] สุรเชษฐ์ เอี่ยมเชย. 2531. *ความคงทนของดินซีเมนต์* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. กรุงเทพฯ

[12] อธิกานต์ ธิวงศ์คำ. (2558). *คุณสมบัติคอนกรีตผสมสารเพิ่มกำลังอัด* (วิทยานิพนธ์ปริญญามหาบัณฑิต) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี. ปทุมธานี

[13] Chummunerat, S., Jitsangiam, P., Nikraz, H.R., (2012). “Mechanical characteristics of Hydrated Cement Treated Crushed Rock Base for Western Australian Road Base” The 2 nd International Conference on Transportation Geotechnics (IS-Hokkaido 2012), 10th - 12th September. Sapporo, Japan.

[14] Chummunerat, S., Jitsangiam, P., Nikraz, H.R., (2012). “Performance of Hydrated Cement Treated Crushed Rock Base as a Road Base Material in Western Australia” the 11st Australia New Zealand Conference on Geomechanics, 15th- 18th July, Melbourne, Australia.

[15] Chummunerat, S., Jitsangiam, P., Nikraz, H.R., (2012). “Performances of Hydrated Cement Treated Crushed Rock Base for Western Australian Roads” International Symposium on Heavy Duty Asphalt Pavements and Bridge Deck Pavements (ISAP 2012), 23rd-25th May, Nanjing, China.

[16] Gunalan, K.N. (2005). Highway Construction. *The Handbook of Highway Engineering*. Ed. T.W. Fwa. CRC Press, 2005.

[17] Jayantha Kodikara, Kok Yun Lee and Srijib Chakrabarti. (2003). La*boratory Assessment of Capillary Rise in Stabilized Pavement Materials*. Monash University: Japan.

[18] Mirzababaei, M., Arulrajah, A. & Ouston, M. (2017). Polymers for Stabilization of Soft Clay Soils, *Procedia Engineering, Volume 189,* Pages 25-32, ISSN 1877-7058

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

[19] O'Flaherty, edited by C.A. (2002). Highways the location, design, construction and maintenance of road pavements (4th ed. ed.). *Oxford: Butterworth-Heinemann*. ISBN 978-0-7506-5090-8.

[20] Ramli, M., & Tabassi, A. A. (2012). Effects of polymer modification on the permeability of cement mortars under different curing conditions: a correlational study that includes pore distributions, water absorption and compressive strength. *Construction and Building Materials, 28*(1), 561-570.

[21] Rauch, A. F., Katz, L. E., & Liljestrand, H. M. (1993). *AN analysis of the mechanisms and efficacy of three liquid chemical soil stabilizers: VOLUME.* Work, 1.

[22] Ruenkrairergsa, T. (1982). Principle of Soil Stabilization. *Group Training in Road Construction*. Bangkok. Thailand. 17-26.

[23] Ruenkrairergsa, T. (1982). Principle of Soil Stabilization. Bangkok. *Highways Department*. 17-27.

[24] Tam, Weng On. (2005). "Highway Materials." *The Handbook of Highway Engineering*. Ed. T.W. Fwa. CRC Press, 2005.

[25] Wang, R., Li, X. G., & Wang, P. M. (2006). Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes. *Cement and concrete research, 36*(9), 1744-1751.

[26] Wu, K. R., Zhang, D., & Song, J. M. (2002). Properties of polymer-modified cement mortar using pre-enveloping method. *Cement and Concrete research, 32*(3), 425-429.

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

รายการสิ่งพิมพ์เผยแพร่

1) กัญจน์ สลีวงศ์, พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม และ กรกฎ นุสิทธิ์ “การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 ในรูปแบบการประชุมออนไลน์ ปี พ.ศ. 2563 หน้า 1427 - 1432

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ก

รูปตัวอย่างการทดสอบกำลังแรงอัดตัวอย่างดินที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

มีส่วนประกอบดังนี้

1. ก.1 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์2 %
2. ก.2 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 4 %
3. ก.3 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 6 %
4. ก.4 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 8 %
5. ก.5 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 10 %
6. ก.6 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์ 3.3 %
7. ก.7 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ SA 1.6 %
8. ก.8 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ SBR 2.4 %

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.1 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์2 %

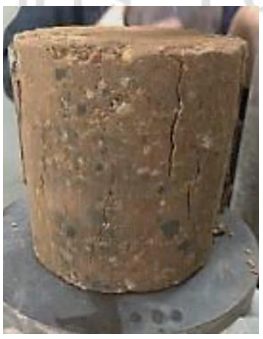
ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)

ก.2 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 4 %

ซีเมนต์ : โพลีเมอร์เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)

ก.3 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 6 %

ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ก.4 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 8 %

ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)

ก.5 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ 10 %

ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)

ก.6 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์ 3.3 % (บ่ม 28 วัน)

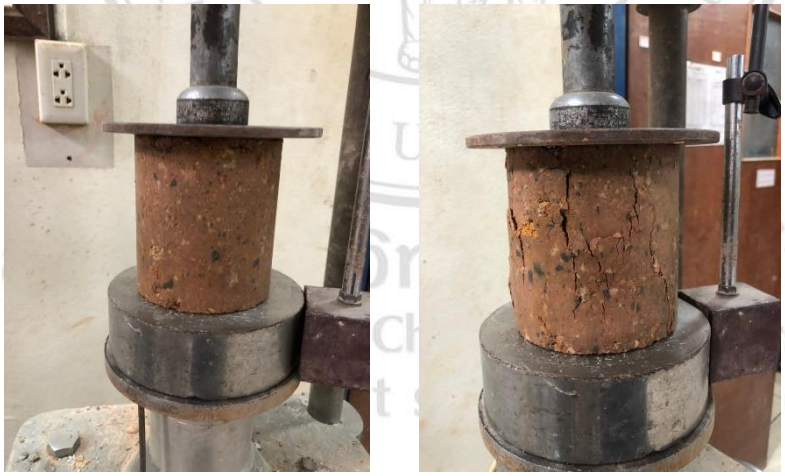
ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University

ก.7 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ SA 1.6 %

ซีเมนต์ : โพลีเมอร์เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)

ก.8 ภาพแสดงการทดสอบกำลังแรงอัด อัตราส่วนผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ SBR 2.4 %

ซีเมนต์ : โพลีเมอร์ เท่ากับ 90:10 (บ่ม 28 วัน)



ภาคผนวก ข

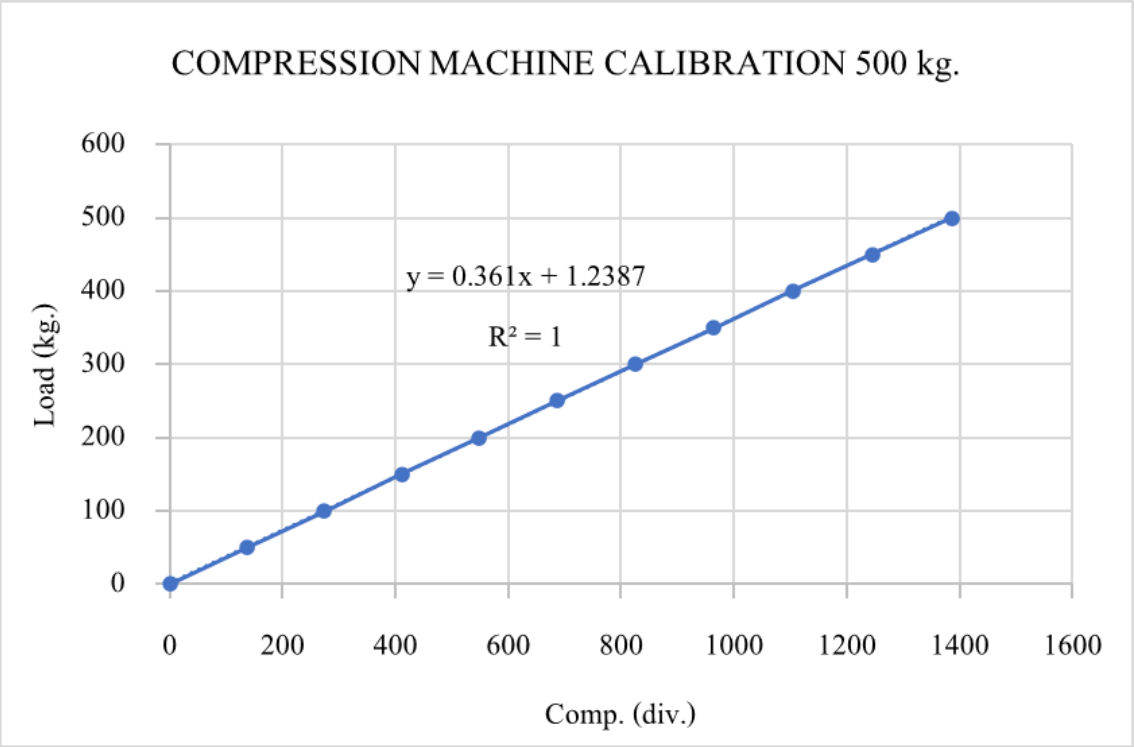
กราฟแสดงผลการทดสอบ

มีส่วนประกอบดังนี้

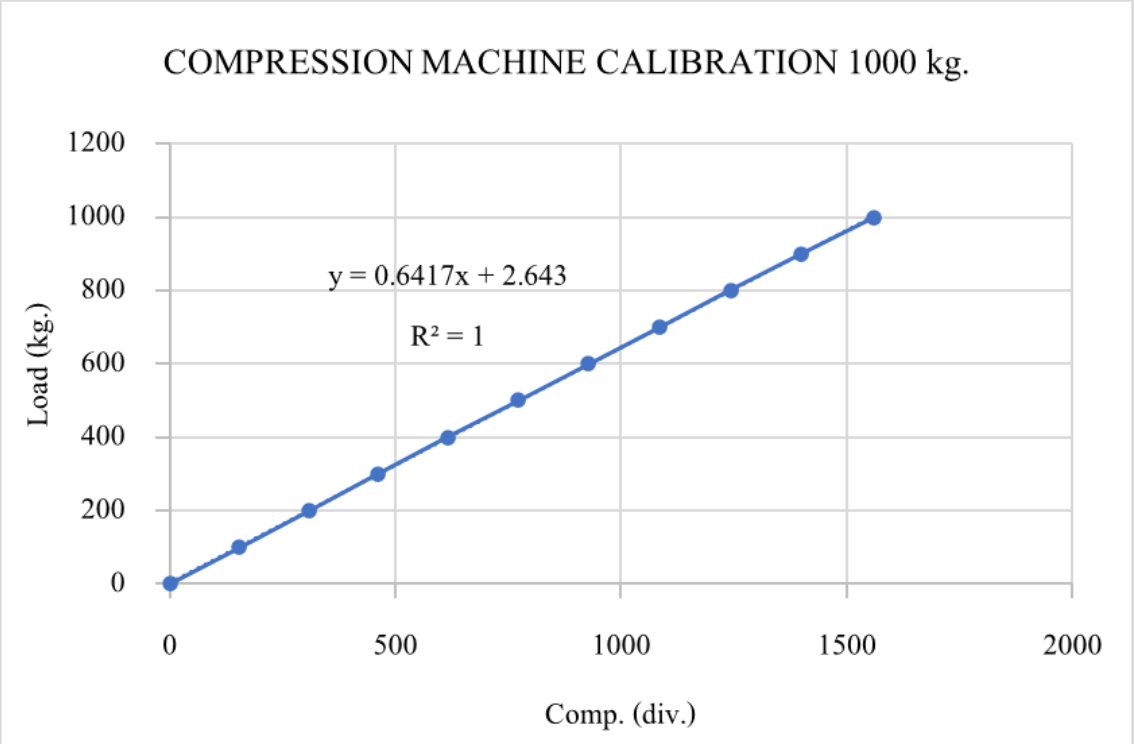
1. ข.1 ภาพแสดงกราฟ COMPRESSION MACHINE CALIBRATION 500 kg.
2. ข.2 ภาพแสดงกราฟ COMPRESSION MACHINE CALIBRATION 1000 kg.
3. ข.3 ภาพแสดงกราฟ COMPRESSION MACHINE CALIBRATION 3000 kg.
4. ข.4 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับ Cement ที่อัตราส่วนต่าง ๆ
5. ข.5 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ SA
6. ข.6 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์- โพลีเมอร์ SBR
7. ข.7 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary Rise in mm. กับ Time in minutes

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

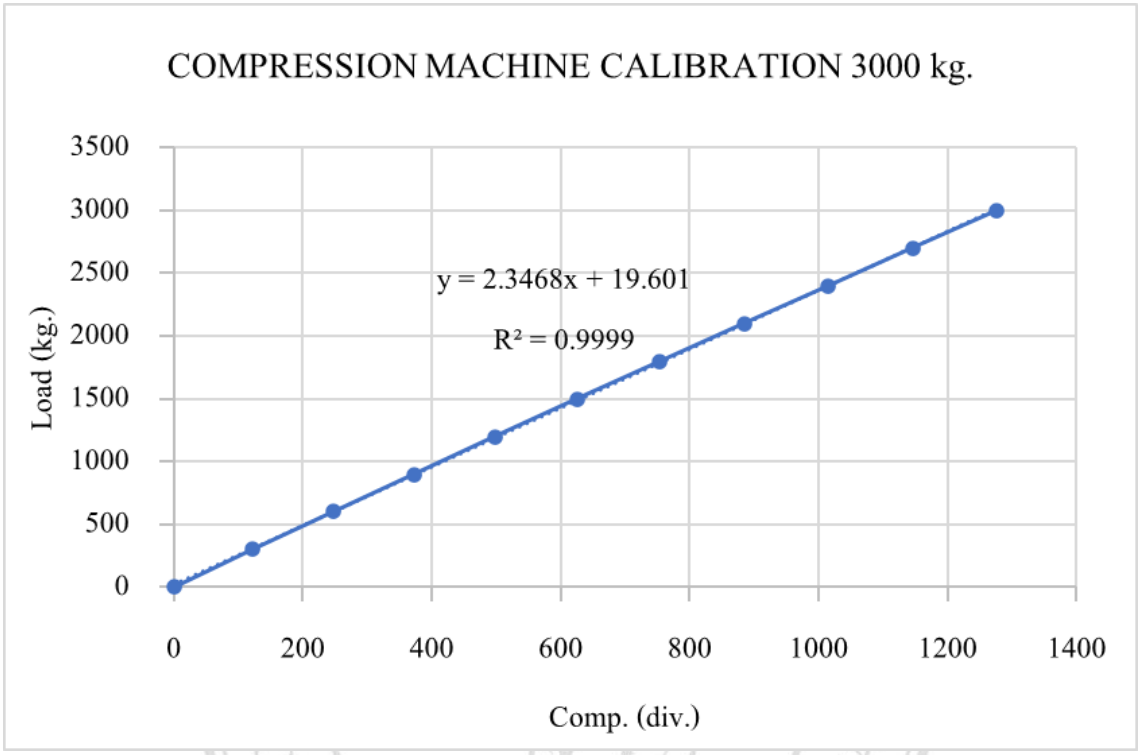
ข.1 ภาพแสดงกราฟ COMPRESSION MACHINE CALIBRATION 500 kg.



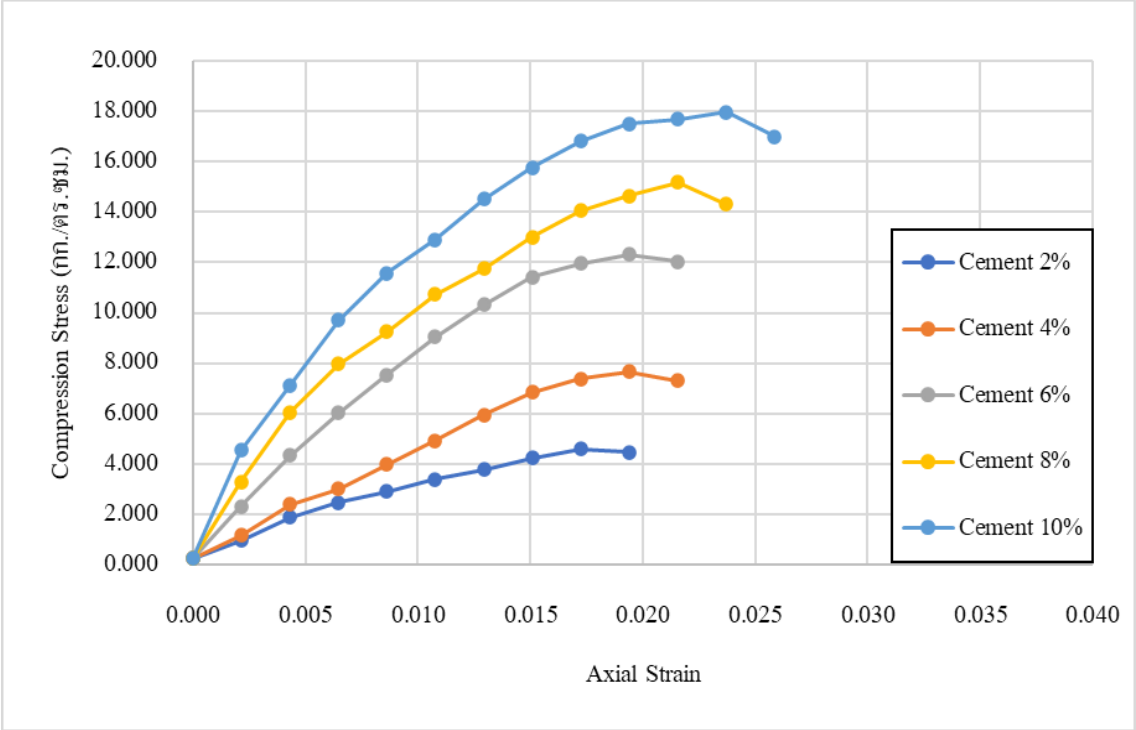
ข.2 ภาพแสดงกราฟ COMPRESSION MACHINE CALIBRATION 1000 kg.



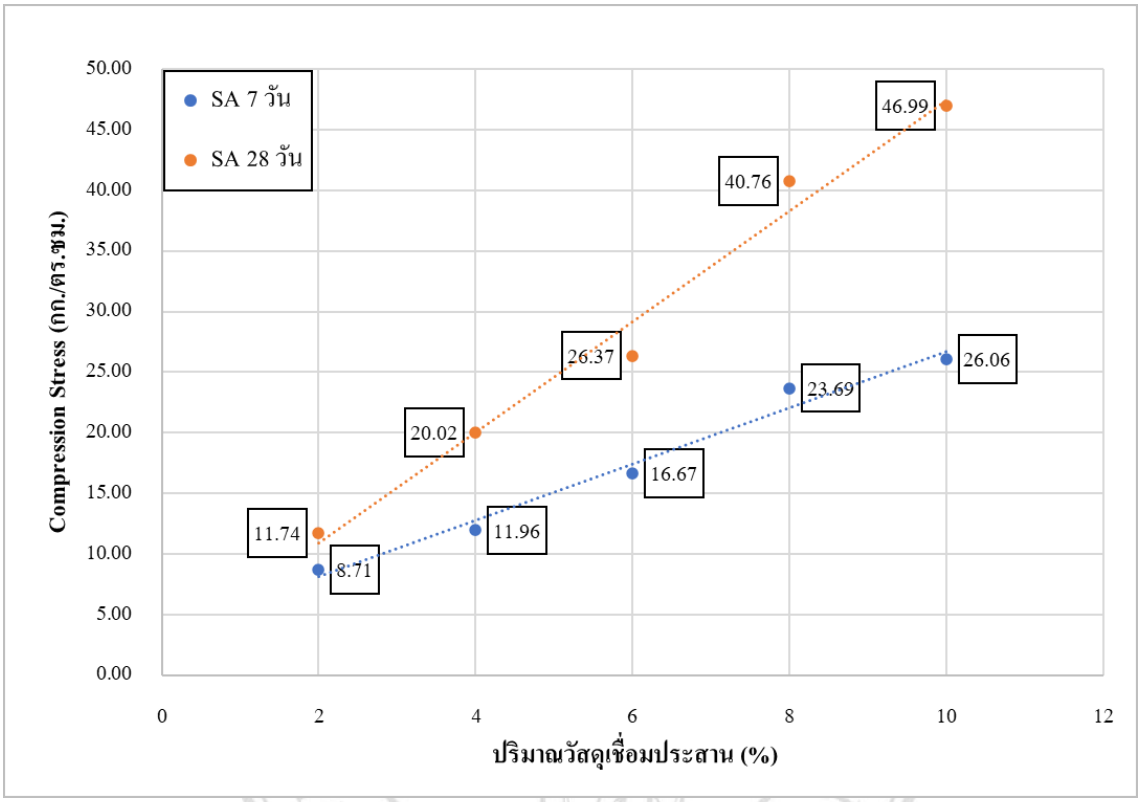
ข.3 ภาพแสดงกราฟ COMPRESSION MACHINE CALIBRATION 3000 kg.



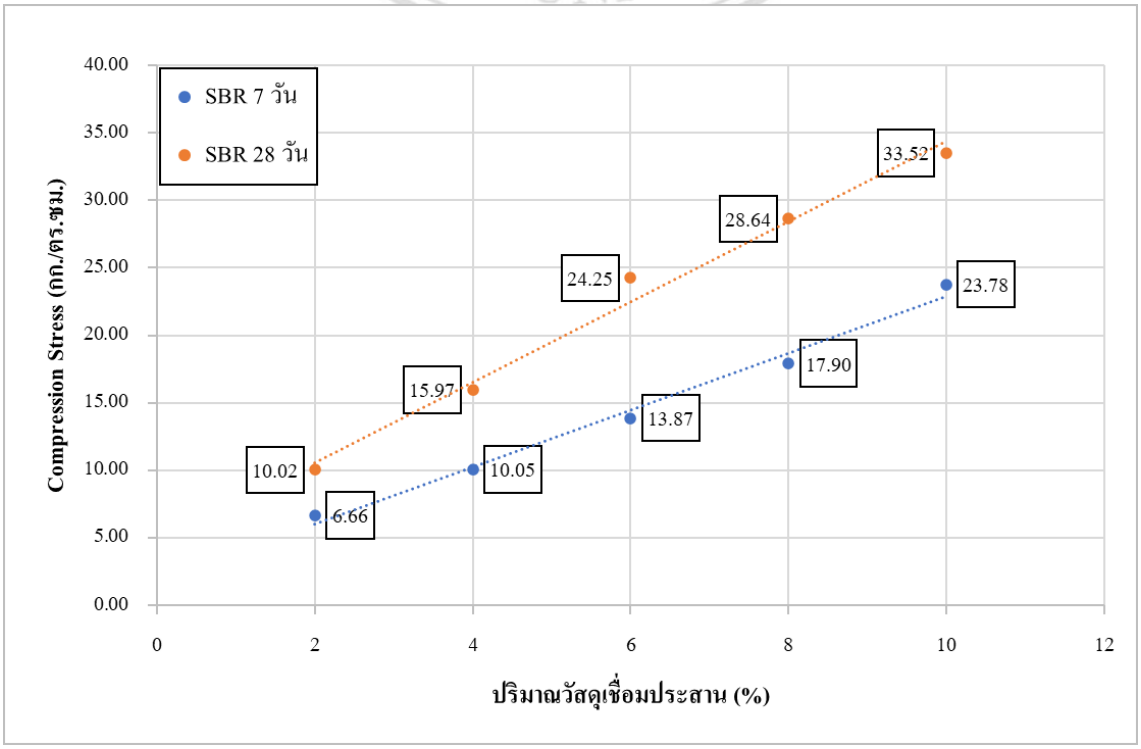
ข.4 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับ Cement ที่อัตราส่วนต่าง ๆ



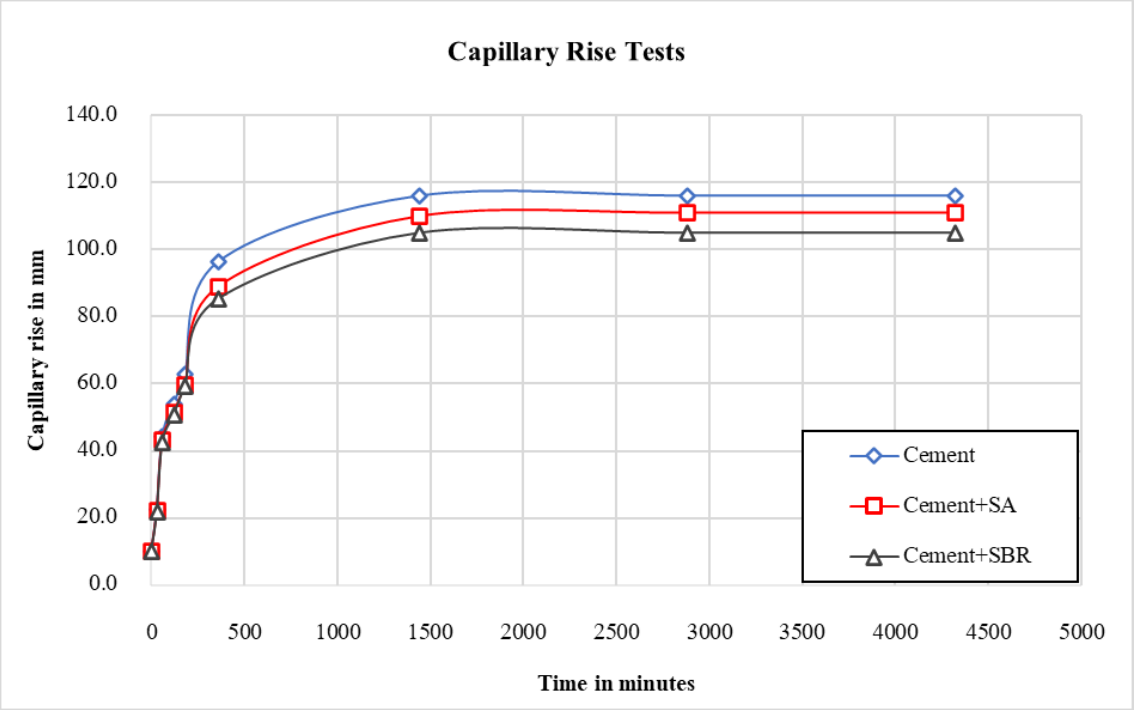
ข.5 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ SA



ข.6 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Compressive Strength กับปริมาณวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ SBR



ข.7 ภาพแสดงกราฟความสัมพันธ์ระหว่าง Capillary Rise in mm. กับ Time in minutes



ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved

ภาคผนวก ค

รายการสิ่งพิมพ์เผยแพร่

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

Improvement of Sub-Standard Lateritic Soil with Cement-Polymer Mixtures

กัญจน์ สลีวงศ์[1,*] พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม[2] และ กรกฎ นุสิทธิ์[3]

[1,2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ 239 ถนนห้วยแก้ว ตำบลสุเทพ อำเภอเมือง จังหวัดเชียงใหม่ 50200
[3] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร 239 99 หมู่ที่ 9 ถนนพิษณุโลก-นครสวรรค์ ตำบลท่าโพธิ์ อำเภอเมือง จังหวัดพิษณุโลก 65000
**Corresponding author; E-mail address: gun superhero 162555@hotmail.com*

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสม ซีเมนต์-โพลีเมอร์ (cement-polymer mixture) เพื่อลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ลงในการปรับปรุงคุณภาพดิน ให้สามารถรับกำลังรับแรงอัดได้ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ซึ่งในปัจจุบัน ซีเมนต์ถูกใช้เพื่อการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังอยู่ด้วย แต่เนื่องด้วยดินปรับปรุงด้วยซีเมนต์จะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงแต่มีความสามารถในการรับแรงดัดต่ำ และก็ไวต่อการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากน้ำและความชื้น งานวิจัยนี้จึงมีจุดประสงค์เพื่อหาอัตราส่วนที่เหมาะสมระหว่างซีเมนต์และโพลีเมอร์ (Polymers) ที่นำมาปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐาน โดยมีเป้าประสงค์ที่จะให้โพลีเมอร์มาช่วยในการพัฒนาความสามารถในการรับแรงดัดและการทนต่อการเปลี่ยนแปลงอันเนื่องมาจากน้ำและความชื้น โดยการศึกษานี้พิจารณาการพัฒนากำลังรับแรงอัดแกนเดียว กำลังการรับแรงดัด และความสามารถในการดูดซึมน้ำของดินลูกรังด้อยมาตรฐานที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 และโพลีเมอร์ ในการทำเป็นตัวเชื่อมประสานของดินลูกรัง โดยแทนที่ซีเมนต์ด้วยโพลีเมอร์ที่ 0, 5, 10, 15, 20% และที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนการแทนที่ด้วยโพลีเมอร์ 10% มีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวดีที่สุด และมีการพัฒนาการรับแรงดัด ร่วมกับการซึมได้ของน้ำที่ต่ำ ดังนั้น ด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้จะสามารถนำไปใช้ในการรักษาเสถียรภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานสำหรับการใช้งานบนถนน

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพดิน, ดินลูกรัง, ปูนซีเมนต์, โพลีเมอร์, กำลังรับแรงอัดแกนเดียว

Abstract

This paper presents the improvement of sub-standard lateritic soil using cement-polymer mixtures. Mixing polymer into cement to create such a cement-polymer mixture could cause the cement use reduction in the cement stabilization technique for roadway applications. Cement as a soil stabilizing agent has been popularly used to stabilize any sub-standard materials for the road. However, the cement-stabilized material has relatively less flexural strength and still prone to have a moisture sensitivity characteristic even it can provide good compressive strength. This study aims to determine a proper ratio between cement and polymer for using as a stabilizing agent for sub-standard lateritic soil. This polymer would assist gaining more flexural strength and less moisture sensitivity for such cement-stabilized lateritic soil. In this study, the cement-polymer mixtures in forms of the paste were investigated with varying the polymer content of 0, 5, 10, 15, 20% by dry mass of cement. Cement-polymer paste samples were cured for 7 and 28 days before a series of the compressive strength tests, the flexural strength tests, and the water absorption tests. The results revealed that the 10% polymer content of cement can provide the best compressive strength with better flexural strength and least water absorption compared to other mixtures. With this proper ratio, it can be further used in stabilizing the sub-standard lateritic soil for roadway application.

Keywords: Soil Improvement, Lateritic Soil, Cement, Polymers, Compressive Strength

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ใช้ถนนเป็นคมนาคมหลัก และมีระยะทางประมาณ 467,000 กิโลเมตร ปัจจุบันมีปริมาณผู้ใช้ถนนเพิ่มมากขึ้นจึงมีการก่อสร้างและปรับปรุงซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่อง ซึ่งวัสดุที่นำใช้ในการก่อสร้างถนนมีหลายชนิด เช่น ดินลูกรัง หินคลุก เป็นต้น และต้องผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ในปัจจุบันดินลูกรังที่ผ่านมาตรฐานนั้นมีจำนวนน้อยลงและหาได้ยาก ดังนั้นการปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังจึงเป็นวิธีการหนึ่งเพื่อเพิ่มวัสดุในการก่อสร้างถนน [1]

การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังในประเทศไทยนิยมใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Portland cement type 1) เป็นสารผสมเพิ่มเพื่อให้คุณสมบัติของวัสดุดีขึ้น [3,4] อย่างไรก็ตามดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูง แต่ไม่สามารถรับแรงดึงได้ดี และยังทนต่อสภาพความชื้นที่เปลี่ยนแปลงได้ไม่ดีพอ เพราะซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ไม่ได้ถูกผลิตมาเพื่อวัตถุประสงค์ในการผสมดิน เพื่อเป็นการพัฒนาการนำซีเมนต์มาปรับปรุงถนนให้ดียิ่งขึ้น จึงมีการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพของดิน ซึ่งวัสดุทางเลือกที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพ คือ โพลีเมอร์ (Polymer) ด้วยคุณสมบัติด้านกำลังที่ดี และยังช่วยป้องกันความชื้นได้มากกว่าซีเมนต์ปกติ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งสนใจศึกษาการพัฒนาวัสดุงานถนน แนวทางความเป็นไปได้ในการนำดินลูกรังผสมกับวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ และผลจากการศึกษาส่วนใหญ่ยืนยันได้ว่าสารละลายโพลีเมอร์ เป็นวัสดุทางเลือกชนิดหนึ่งที่นำมาปรับปรุงคุณภาพของดินลูกรังได้ [5] ทำให้มีความเป็นได้ที่จะสามารถนำมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ และศึกษาถึงคุณสมบัติด้านกำลังของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ เพื่อหาแนวโน้มความเป็นไปได้ในการนำมาใช้ในงานถนนได้จริง ตามมาตรฐานที่กรมทางหลวงกำหนด [1]

2. วัสดุและขั้นตอนวิจัย

2.1 วัสดุ

2.1.1 ดินลูกรัง

ดินลูกรังที่นำมาใช้ในงานวิจัยนี้เก็บตัวอย่างจากบ่อดินลูกรัง อำเภอดอยสะเก็ด จังหวัดเชียงใหม่ เมื่อทำการจำแนกดินด้วยระบบการจำแนกแบบ Unified soil classification system (USCS) พบว่าเป็นดินชนิด CL-ML ซึ่งจัดว่าเป็นดินเหนียวปนตะกอนทราย และจำแนกทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพพบว่าตัวอย่างดินลูกรังมีค่า Sieve ไม่จัดอยู่ในกลุ่ม A-E, LA Abrasion 88%, Liquid limit 19.80%, Plastic limit 15.22%, Plasticity index 4.58%, Maximum dry density 2,120 กรัม/ลบ.ซม. และ CBR 4.12% เมื่อเทียบกับมาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวม มาตรฐานที่ ทล.-ม. 205/2532 พบว่าเป็นดินลูกรังที่ไม่ผ่านมาตรฐานของกรมทางหลวง และสามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพดินด้วยวิธีดินซีเมนต์ตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.-ม. 206/2532 ของกรมทางหลวง [1,6]

2.1.2 ปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 หรือปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ธรรมดา

เป็นปูนซีเมนต์ประเภทใช้กันมากในงานคอนกรีต ประมาณได้ว่าร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ที่ผลิตในสหรัฐอเมริกา เป็นปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ใช้สำหรับการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมใดที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษกว่าธรรมดา และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป เช่น เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงสุดในระยะเวลาไม่รวดเร็วและให้ความร้อนปานกลาง ได้แก่ ปูนซีเมนต์ตราช้าง ตราพญานาคสีเขียว ตราที่พีไอสีแดง ตราภูเขาตรา ดาวเทียม และตราเอกซีเมนต์สีน้ำเงิน เป็นต้น

2.1.3 โพลีเมอร์

โพลีเมอร์ (Polymer) ที่นำมาใช้ในงานวิจัยเป็นโพลีเมอร์สังเคราะห์แบบสารละลายลาเทกซ์ชนิด Styrene acrylic สามารถสังเกตลักษณะด้วยตาและมือสัมผัสมีสีขาวและมีความเหนียวข้นแสดงในรูปที่ 1 โพลีเมอร์จะกระจายตัวในของเหลวอื่น ๆ ไม่ว่าจะเป็นตัวทำละลายของโพลีเมอร์เองหรือกระจายตัวเป็นอิมัลชันในน้ำ ซึ่งโพลีเมอร์ที่ใช้จะมีคุณสมบัติในการเพิ่มกำลังรับแรงดัดและแรงอัด [7,8] แต่การใส่โพลีเมอร์ในปริมาณที่มากจะทำให้วัสดุมีความเหนียวทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าลดลง และผลการทดสอบองค์ประกอบทางเคมีของสารละลายโพลีเมอร์จะแสดงรายละเอียดตามตารางที่ 1

รูปที่ 1 สารละลายโพลีเมอร์

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของสารละลายโพลีเมอร์

คุณสมบัติทั่วไป	Styrene acrylic
1. รูปร่าง	ของเหลว
2. ร้อยละของแข็งทั้งหมด	ร้อยละ 54.0 - 56.0
3. pH	7.0 - 9.0
4. ความเหนียว (Brookfield RVT, CPS)	500 – 2,000
5. Ionic nature	Anionic
6. ความถ่วงจำเพาะ	1.000 – 1.100
7. ความหนาแน่นของไอ	< 1 water
8. จุดเดือด	100 degree c
9. การละลายในน้ำ	กระจายตัวในน้ำ

2.2 ขั้นตอนการวิจัย

มีขั้นตอนการศึกษา 2 ขั้น คือ การทดสอบหาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ และการทดสอบเพื่อหาปริมาณการผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ในการปรับปรุงดินลูกรังด้อยมาตรฐานเพื่อใช้เป็นชั้นรองพื้นทางดินซีเมนต์

2.2.1 การทดสอบหาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

การทดสอบหาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์เพื่อนำไปใช้เป็นตัวเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ และซีเมนต์ที่ใช้เป็นซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 กับโพลีเมอร์ชนิด Styrene acrylic โดยทำการผสมตัวอย่างทดสอบที่มีซีเมนต์และโพลีเมอร์ในอัตราส่วนต่าง ๆ ดังนี้

ปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 100 : 0 (ปูนซีเมนต์ 100% และ โพลีเมอร์ 0%)
ปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 95 : 5 (ปูนซีเมนต์ 95% และ โพลีเมอร์ 15%)
ปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 90 : 10 (ปูนซีเมนต์ 90% และ โพลีเมอร์ 10%)
ปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 85 : 15 (ปูนซีเมนต์ 85% และ โพลีเมอร์ 15%)
ปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 80 : 20 (ปูนซีเมนต์ 80% และ โพลีเมอร์ 20%)

หลังจากผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปบรรจุในแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ (Mold) ขนาด กว้าง 4 ซม. ยาว 16 ซม. สูง 4 ซม. นำพลาสติกแผ่นบางหุ้มแบบไว้เพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้นบริเวณผิวตัวอย่าง ทิ้งไว้จน 24 ชั่วโมงจึงนำตัวอย่างออกจากแบบ จากนั้นวัดขนาดตัวอย่างทดสอบและชั่งน้ำหนักให้เรียบร้อยแล้วนำมาหุ้มด้วยพลาสติกแผ่นบาง บ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องตามอายุการบ่ม 7 และ 28 วัน ทั้งนี้การนับระยะเวลาในการบ่ม ทำการนับโดยเริ่มตั้งแต่การผสมตัวอย่างทดสอบ เมื่อครบอายุการบ่มนำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) ตามมาตรฐาน ASTM C348 และกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) ตามมาตรฐาน ASTM C109 / C109M เพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังของตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่างแสดงในรูปที่ 2 และ 3 หลังจากนั้นคำนวณหาอัตราส่วนที่เหมาะสมของตัวเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์

2.2.2 การทดสอบ Soil Cement Subbase

ในการทดสอบจะเตรียมวัสดุทดสอบดินลูกรังด้อยมาตรฐานที่เก็บจากบ่อดินลูกรัง กับตัวเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมได้จากผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด และนำมาผสมกันในปริมาณต่าง ๆ โดยมีรายละเอียดส่วนผสมดังนี้

ดินลูกรัง 3000 กรัม สารเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ 60 กรัม (2%)
ดินลูกรัง 3000 กรัม สารเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ 120 กรัม (4%)
ดินลูกรัง 3000 กรัม สารเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ 180 กรัม (6%)
ดินลูกรัง 3000 กรัม สารเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ 240 กรัม (8%)
ดินลูกรัง 3000 กรัม สารเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์ 300 กรัม (10%)

หลังจากดินซีเมนต์ผสมเป็นเนื้อเดียวกันแล้วนำไปบรรจุในแบบหล่อตัวอย่างทดสอบ (Mold) ขนาด เส้นผ่าศูนย์กลางภายใน 10.16 ซม. สูง 11.64 ซม. ด้วยวิธีการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction) กับปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum Moisture Content) หลังจากนั้นนำตัวอย่างออกจากแบบหล่อและวัดขนาดตัวอย่างทดสอบกับชั่งน้ำหนักให้เรียบร้อยแล้วนำมาหุ้มด้วยพลาสติกแผ่นบาง จากนั้นจึงบ่มตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิห้องตามอายุการบ่ม 7 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 4 ทั้งนี้การนับระยะเวลาในการบ่ม ทำการนับโดยเริ่มตั้งแต่การผสมตัวอย่างทดสอบ เมื่อครบอายุการบ่มนำตัวอย่างไปทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined compressive strength test) เพื่อหาค่าเฉลี่ยกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง ตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.-ม. 206/2532 [1] และทดสอบการดูดซึมน้ำ (Capillary rise test) ดินซีเมนต์ตามมาตรฐาน Australian Standard AS 1141.53-1996 [2] ของดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสมที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

รูปที่ 2 แบบหล่อและตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

รูปที่ 3 ตัวอย่างวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

รูปที่ 4 ก้อนตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์

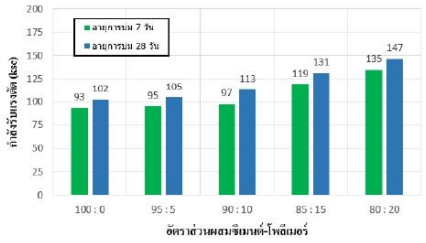
3. ผลการทดสอบและวิเคราะห์

ผลทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural Strength) พบว่าก้อนตัวอย่างมีการพัฒนากำลังรับแรงดัดที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 5 และมีค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่อัตราส่วน ปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 80 : 20 มีค่าเท่ากับ 135 ksc ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 147 ksc ที่

อายุการบ่ม 28 วัน สังเกตได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณโพลีเมอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งสารละลายโพลีเมอร์นั้นมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับวัสดุ ทำให้การพัฒนากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้น

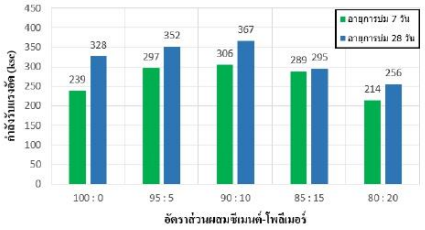
ผลทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compressive strength) พบว่าก้อนตัวอย่างมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนต่าง ๆ ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน แสดงในรูปที่ 6 และมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่อัตราส่วนปูนซีเมนต์ : โพลีเมอร์ = 90 : 10 มีค่าเท่ากับ 306 ksc ที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 367 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน สังเกตได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นในปริมาณโพลีเมอร์ 5, 10% และมีค่าลดลงในปริมาณโพลีเมอร์ 15, 20% ซึ่งสารละลายโพลีเมอร์นั้นมีคุณสมบัติช่วยเพิ่มความเหนียวให้กับวัสดุ แต่ในทางกลับกันยิ่งมีความเหนียวมากจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง

เมื่อพิจารณาการพัฒนากำลังของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ในแต่ละช่วงอายุการบ่ม จะเห็นได้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น แต่ในทางกลับกันค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้นในเปอร์เซ็นต์โพลีเมอร์ที่น้อย และมีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์โพลีเมอร์ที่เพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นไปตามคุณสมบัติของโพลีเมอร์ ในการวิเคราะห์หาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่เหมาะสมที่สุดที่จะนำไปปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง ซึ่งในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยทั่วตามตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.-ม. 206/2532 ของกรมทางหลวง [1] กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วันที่ 6.9 ksc จึงพิจารณาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงสุดใช้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนซีเมนต์-โพลีเมอร์ 90 : 10

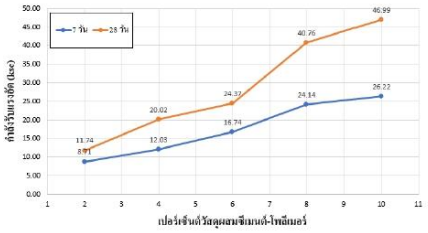


รูปที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

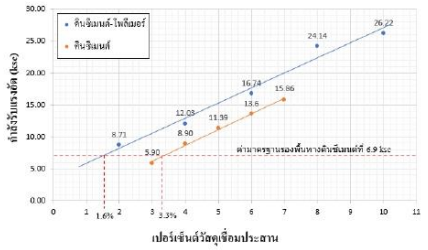
ผลการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ในอัตราส่วนที่เหมาะสม พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามเปอร์เซ็นต์วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ 2, 4, 6, 8, 10% ตามลำดับ และแสดงในรูปที่ 7 และรูปที่ 8 แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์กับวัสดุเชื่อมประสาน 2 ชนิด คือ ซีเมนต์ และ ซีเมนต์-โพลีเมอร์ สังเกตได้ว่าดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์มีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่าดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพดินด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียว และเมื่อนำค่าที่ได้มาเปรียบเทียบกับค่ากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ที่ 6.9 ksc ทล.-ม. 206/2532 [1] พบว่าดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ผ่านมาตรฐาน 6.9 ksc ที่ 3.3% และดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์-โพลีเมอร์ผ่านมาตรฐาน 6.9 ksc ที่ 1.6%



รูปที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของอัตราส่วนผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของดินลูกรังผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน

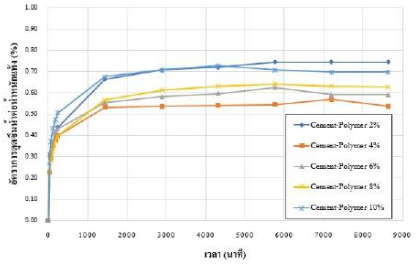


รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์กับวัสดุเชื่อมประสาน

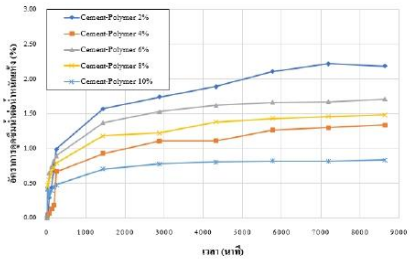
เมื่อพิจารณาผลการทดสอบการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ พบว่ามีค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์เพิ่มขึ้น เมื่อวัสดุเชื่อมประสานซีเมนต์-โพลีเมอร์มีกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้น จะสามารถนำมาปรับปรุงกำลังรับแรงอัดของดินลูกรังได้ และค่ากำลังรับแรงอัดจะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณวัสดุเชื่อมประสานจนผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดตาม

มาตรฐานกรมทางหลวงที่ขนาดแรงเท่ากับ 6.9 ksc แสดงในรูปที่ 8 และยังสามารถลดปริมาณของซีเมนต์ที่นำมาใช้เป็นตัวเชื่อมประสานสำหรับปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังได้

รูปที่ 9 ตัวอย่างทดสอบการดูดซึมน้ำ



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมน้ำต่อน้ำหนักแห้งกับเวลาที่อายุการบ่ม 7 วัน



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราการดูดซึมน้ำต่อน้ำหนักแห้งกับเวลาที่อายุการบ่ม 28 วัน

รูปที่ 9 แสดงวิธีทดสอบการดูดซึมน้ำ (Capillary rise test) ตามมาตรฐาน Australian Standard AS 1141.53-1996 [2] โดยใช้วิธีการคำนวณเปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนักแห้ง จากผลการทดสอบพบว่าอัตราการดูดซึมน้ำของแต่ละตัวอย่างจะมีค่าเพิ่มขึ้นมากในระยะแรกและหลังจาก 72 ชั่วโมงผ่านไปจะมีค่าค่อยๆคงที่ มีอัตราการดูดซึมน้ำสูงสุดอยู่ที่ปริมาณวัสดุเชื่อมประสาน 2% เท่ากับ 0.74%, 2.22% ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน ตามลำดับแสดงในรูปที่ 10 และ 11 ดินซีเมนต์ที่มีปริมาณวัสดุเชื่อประสานสูงจะมีอัตราการดูดซึมน้ำน้อยลง เนื่องจากสารละลายโพลีเมอร์จะไปอุดช่องว่างระหว่างเม็ดดิน และเมื่อเทียบกับอัตราการดูดซึมน้ำของดินลูกรังปกติ พบว่าดินลูกรังปกติที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพจะมีระยะเวลาการดูดซึมน้ำที่ 20-30 นาที หลังจากนั้นดินจะพังทลาย ซึ่งการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์จะช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความชื้นของดินซีเมนต์

4. บทสรุป

จากผลการทดสอบหาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์เพื่อใช้เป็นวัสดุเชื่อประสานของดินลูกรัง และการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ สามารถสรุปได้ดังนี้

1. วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์มีการพัฒนากำลังรับแรงดัดได้ดี และมีค่าที่เพิ่มขึ้นตามเปอร์เซ็นต์โพลีเมอร์ที่เพิ่มขึ้น ส่วนการพัฒนากำลังรับแรงอัดจะดีในช่วงเปอร์เซ็นต์สารละลายโพลีเมอร์น้อย แต่เมื่อมีสารละลายโพลีเมอร์มากจะทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง ซึ่งโพลีเมอร์ที่ใช้มีคุณสมบัติในการเพิ่มกำลังรับแรงดัดและแรงอัด แต่การใส่โพลีเมอร์ในปริมาณที่มากจะทำให้วัสดุมีความเหนียวและทำให้มีค่ากำลังรับแรงอัดลดลง

2. ในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังโดยทั่วตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.-ม. 206/2532 ของกรมทางหลวงกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วัน เท่ากับ 6.9 ksc จึงพิจารณาอัตราส่วนวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่มีการพัฒนากำลังรับแรงอัดสูงที่สุดใช้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสม คือ อัตราส่วนซีเมนต์-โพลีเมอร์ 90 : 10 โดยน้ำหนักแห้ง เมื่อเทียบกับอัตราส่วนอื่น

3. การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ช่วยในการพัฒนากำลังรับแรงอัดได้ดี ที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน ทั้งนี้การพัฒนากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของดินซีเมนต์สอดคล้องกับการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นของวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ เมื่อเทียบกับดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ซึ่งสามารถลดปริมาณการใช้ซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพได้ จากปริมาณวัสดุเชื่อมประสาน 3.3% เป็น 1.6% โดยน้ำหนักดิน และผ่านเกณฑ์ข้อกำหนดตามมาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.-ม. 206/2532 ของกรมทางหลวง

4. วัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์ที่ใช้เป็นสารเชื่อมประสานของดินลูกรังมีคุณสมบัติในการช่วยป้องกันความชื้นได้ เห็นได้ชัดที่อายุการบ่ม 28 วัน คือ เมื่อเปอร์เซ็นต์วัสดุผสมมากจะช่วยลดการดูดซึมน้ำได้ดี เมื่อเทียบกับดินลูกรังปกติ

เอกสารอ้างอิง

[1] กรมทางหลวง (2532). มาตรฐานงานทาง, สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง, กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ.

[2] Jayantha Kodikara, Kok Yun Lee and Srijib Chakrabarti. (2003). Laboratory Assessment of Capillary Rise in Stabilized Pavement Materials. Monash University: Australia.

[3] นิโรจน์ เงินพรหม (2553). การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ และตะกรันเหล็ก. รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา คณะครุศาสตร์อุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร.

[4] สุขสันติ์ หอพิบูลสุข. (2548). ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังของดินซีเมนต์บดอัดสำหรับงานถนน. รายงานการวิจัยสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี.

[5] Rauch, A. F., Katz, L. E., & Liljestrand, H. M. (1993). AN analysis of the mechanisms and efficacy of three liquid chemical soil stabilizers: VOLUME. Work, 1.

[6] Gunalan, K.N. (2005). Highway Construction. The Handbook of Highway Engineering. Ed. T.W. Fwa. CRC Press 2005.

[7] Wang, R., Li, X. G., & Wang, P. M. (2006). Influence of polymer on cement hydration in SBR-modified cement pastes. Cement and concrete research, 36(9), 1744-1751.

[8] Wu, K. R., Zhang, D., & Song, J. M. (2002). Properties of polymer-modified cement mortar using pre-enveloping method. Cement and Concrete research, 32(3), 425-429.

ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-นามสกุล	นาย กัญจน์ สลีวงศ์	
วัน เดือน ปี เกิด	29 กันยายน พ.ศ. 2538	
ประวัติการศึกษา	ปีการศึกษา 2556	มัธยมศึกษา โรงเรียนสุโขทัยวิทยาคม
	ปีการศึกษา 2560	สำเร็จการศึกษาปริญญาวิศวกรรมศาสตรบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
ผลงานตีพิมพ์ (ถ้ามี)	กัญจน์ สลีวงศ์, พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม และ กรกฎ นุสิทธิ์ “การปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้อยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์-โพลีเมอร์” การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25 ในรูปแบบการประชุมออนไลน์ ปี พ.ศ. 2563 หน้า 1427 - 1432	

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Copyright© by Chiang Mai University
All rights reserved