การศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม สำหรับใช้ในงานฐานรากอาคาร

Study on Properties of Laterite Mixed with Admixtures for Foundations

ประพัตน์ สีใส

คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ 73170

E-mail: Prapat.see@rmutr.ac.th

บทคัดย่อ

การศึกษาในครั้งนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังในพื้นที่ บ่อลูกรัง ตำบล กลอนโดอำเภอ ด่านมะขามเตี้ย จ. กาญจนบุรี โดยนำมาผสมกับสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ เพื่อนำไปใช้ในการก่อสร้างชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ โดยทำการทดสอบหาค่าความสามารถในการต้านทานแรงเฉือนและแรงอัดแกนเดียวที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

จากผลการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม เพื่อเป็นการปรับปรุงชั้นดินให้มีคุณภาพดียิ่งขึ้น พบว่าการผสมสารผสมเพิ่มในอัตราส่วนผสมที่ 1–5 % มีค่าการต้านทานแรงเฉือนและค่าแรงอัดแกนเดียว ที่เหมาะสมกับการใช้ในการก่อสร้างชั้นชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ

คำสำคัญ: ดินลูกรัง, สารผสมเพิ่ม, การต้านทานแรงเฉือน, แรงอัดแกนเดียว

Abstract

In this study properties of the laterite soil in , Klondo , Dan Makham Tia , Kanchanaburi.By mixing with admixture various ratio. for appling to Soil supports the weight of buildings and structures.

By testing for the ability to weight and the ability to resist shear force and compression.

From the study on engineering properties of laterite soil mixed admixture. improvement the Soil layer, We found that 1-5% ratio admixture give appropriate valuse for the shear force and compression to be used in the construction of Soil supports the weight of buildings and structures

Keywords: Laterite , Admixture , Shear force , Compression

1. ที่มาและความสำคัญ

เนื่องจากปัจจุบันการก่อสร้างอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆในประเทศไทยต้องรองรับน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มมากขึ้น อีกทั้งประเทศไทยยังตั้งอยู่ในเขตร้อนซึ่งอุณหภูมิสูงมากกว่า ทำให้ชั้นดินที่รองรับน้ำหนักเกิดความเสียหายเนื่องจากการยุบตัวแบบถาวรเมื่อเกิดการรับน้ำหนักบรรทุกซึ่งมีสาเหตุมาจากชั้นดินมีการอ่อนตัวมากเกินไป จึงทำให้ผู้วิจัยตระหนักถึงความจำเป็นที่ต้องนำสารผสมเพิ่ม (Admixture) ที่ช่วยปรับปรุงให้ชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ สามารถรองรับน้ำหนักได้มากขึ้น

การปรับปรุงคุณภาพโดยการเสริมวัสดุที่เพิ่มความแข็งแรง คงทน เข้าไปในส่วนผสมของชั้นดินที่รองรับนั้นมีขบวนการทำได้หลายวิธี เช่น การใช้ผงแก้วผสมดินลูกรังและการใช้ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็กผสมดินลูกรัง เป็นวิธีการแก้ปัญหา เพื่อช่วยรับแรงดึงที่เกิดขึ้นเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก แต่ก็มีความเสียหายชนิดต่างๆที่เกิดขึ้น เช่น การทรุดตัวของชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ เป็นสาเหตุจากการบดอัดดินไม่แน่นและการกัดเซาะของน้ำซึ่งอาจจะทำให้คันดินเกิดความอ่อนแอ เป็นปัจจัยที่ทำให้เกิดการทรุดตัวของชั้นดิน แต่อย่างไรก็ตามปัญหาถึงแม้จะลดลงแต่ก็ปรากฏให้พบเห็นอยู่เสมอ จึงจำเป็นต้องพัฒนาขบวนการโดยใช้วัสดุอื่นเพิ่มความแข็งแรงต่อไปเพื่อลดปัญหาให้น้อยที่สุด

ดังนั้น ผู้วิจัยจึงได้ทำการปรับปรุงคุณภาพโดยการใส่สารผสมเพิ่ม (Admixture) ที่เป็นสารประกอบอนินทรีย์ชนิดโพลีเมอร์ (Polymer) มีคุณสมบัติทางเคมีโดยการเกาะยึดกับสารประกอบอื่น ทำให้ดินเกิดการแข็งตัว โดยทำการศึกษาคุณสมบัติของสารผสมเพิ่ม เมื่อนำไปเสริมกำลังในส่วนของชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ เพื่อลดความเสียหายเนื่องจากการทรุดตัวของชั้นดิน

2. วัตถุประสงค์

2.1 เพื่อศึกษาเปรียบเทียบคุณสมบัติต่างๆของดินลูกรังทั่วไปกับดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม

2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผสมสารผสมเพิ่มกับดินลูกรัง สำหรับใช้ในการรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ

2.3 เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำสารผสมเพิ่มมาประยุกต์ใช้ในการออกแบบและก่อสร้างชั้นรองรับน้ำหนักฐานราก

3. ทฤษฎี และงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

3.1 สารผสมเพิ่ม

เป็นโพลิเมอร์ และมีองค์ประกอบของสารลดน้ำ เหมาะกับการใช้งาน ผสมกับปูนซีเมนต์ เพื่อปรับปรุงคุณภาพดินให้มีคุณสมบัติความแข็งคล้ายคอนกรีต Polymer ทำหน้าที่เป็นสารเพิ่มความยืดหยุ่นระหว่างเม็ดดินใน Soil - cement & film former เชื่อมประสาน (binder) และเป็นสารหน่วงการใช้น้ำ(water retention agent) และมี Acrylic Resin ทำหน้าที่เป็นสารเชื่อมประสาน (binder) และช่วยยึดเกาะ (bonding) เมื่อสารเพิ่มความแข็งแรงผสมกับดิน - ซีเมนต์แล้วสามารถปรับปรุงและป้องกันความพรุนช่วยยึดเกาะการซึม ผ่านของน้ำ (water penetration) และการเพิ่มความต้านทานการแตกของดิน – ซีเมนต์ (fracture toughness) ไม่แค่เฉพาะการก่อสร้างถนนและงานฐานรากเท่านั้น แต่ยังใช้ในการทำโคลนแข็งตัวในพื้นก่อสร้างเป็นโคลนเลน การก่อสร้างระบบระบายน้ำ

คลองส่งน้ำ หรือแม้กระทั่งอ่างเก็บน้ำและเขื่อน หรือโครงการปรับปรุงดินเพื่อกันดินพัง สารผสมเพิ่ม เป็นรูปแบบที่ก้าวหน้าของซีเมนต์ ข้อแตกต่างประการหนึ่ง ระหว่างซีเมนต์กับสารผสมเพิ่ม ก็คือสารผสมเพิ่มมีความสามารถในการยึดเกาะประสานข้ามโมเลกุล (Cross-Linking) สูง บังเกิดผลลัพธ์ที่ยิ่งใหญ่ในการควบคุมการปลดปล่อยสารพิษในสารเคมีทั้งหลายสารผสมเพิ่มนี้ยังสามารถนำมาใช้ในการจำกัดขยะ สารพิษ หรือแม้กระทั่งของเสียที่เป็นเหลวแต่ต้องเติมวัตถุที่ทำให้ข้นขึ้น เช่น พวกขี้เถ้าลอยต่างๆ โคลนตะกอนก้นแม่น้ำหรือก้นอ่าว โดยหลังจากใช้สารผสมเพิ่มแล้วตรวจวัดพบว่า ปริมาณตะกั่วลดลงจาก 91 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 0.01 มิลลิกรัม/ลิตร สารปรอทลดลงจาก 0.02 มิลลิกรัม/ลิตร เหลือเพียง 0.005 มิลลิกรัม/ลิตร ส่วนสารพิษอันตรายอื่นๆ ก็ลดลงจนตรวจวัดไม่ได้ ตัวสารผสมเพิ่มมีหลักการในการพัฒนาของสาร คือการทำให้วัสดุ ซึ่งปูนซีเมนต์ทำให้แข็งตัวไม่ได้นั้น เกิดการแข็งตัว ยกตัวอย่างเช่น สารอินทรีย์ เช่นพวกน้ำมัน น้ำตาลหรือเกลือ (แม้กระทั่งเบียร์) เมื่อแข็งตัวแล้วจะต้องไม่มีการแตกร้าวใดๆ และผลิตภัณฑ์ที่ได้จะถูกนำไปใช้สำหรับการพัฒนาที่ดิน (ถมที่) ก่อสร้างถนน จัดการกับพื้นที่เป็นโคลนเลน

จุดเด่นของสารผสมเพิ่ม

1. มีคุณสมบัติช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างอนุภาคของวัตถุได้ดีกว่าซีเมนต์ เช่น เมื่อนำซีเมนต์ไปผสมกับดินธรรมดาจะไม่เกิดการยึดเกาะที่ดี ไม่มีความแข็งแกร่งแต่ถ้านำสารผสมเพิ่ม ไปผสมกับดินธรรมดา หรือดินชนิดอื่น จะเกิดความแกร่งคล้ายหินและแข็งแกร่งกว่าคอนกรีต
2. สารผสมเพิ่มสามารถผสมกับสารอินทรีย์ได้ทุกชนิดและเกิดการแข็งตัวคล้ายหินแต่ซีเมนต์ทำไม่ได้
3. วัตถุที่มีความเค็มหรือมีเกลือผสมอยู่ไม่สามารถผสมกับซีเมนต์ได้ นอกจากจะล้างทำความสะอาด แต่สารผสมเพิ่มผสมได้เลย
4. เมื่อผสมสารผสมเพิ่ม จะใช้เวลาในการก่อสร้างน้อยกว่าซีเมนต์ปกติ ไม่ต้องบ่ม สามารถเปิดการจราจรได้ทันที กันการซึมของน้ำได้ดี ทดกรดและด่างได้สูง

ลักษณะงานที่เหมาะสมกับการใช้สารผสมเพิ่ม

1. งานคอนกรีตที่ไม่ต้องการกระบวนการบ่ม
2. งานที่ต้องการให้เปิดใช้งานทันที
3. เพื่อเพิ่มเสถียรภาพของดินเหนียว
4. งานที่ต้องการความทดทานต่อสภาพอากาศและสารเคมี
5. งานที่ต้องการลดค่าใช้จ่ายในขั้นตอนการก่อสร้าง

4. วิธีดำเนินการวิจัย

4.1 การเตรียมวัสดุ

4.1.1 ดินลูกรัง(Laterite) ตัวอย่างที่ใช้ในการศึกษานี้ เป็นตัวอย่างดินลูกรังที่มีสภาพทั่วไป โดยนำมาทดสอบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมตามมาตรฐานกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย

4.1.2 สารผสมเพิ่ม (Admixture) เป็นสารประกอบอนินทรีย์ ชนิดโพลีเมอร์ (Polymer) มีคุณสมบัติทางเคมีโดยการเกาะยึดกับสารประกอบอื่น ทำให้ดินเกิดการแข็งตัว

4.1.3 น้ำสะอาด เป็นน้ำประปาที่สะอาด จากห้องปฏิบัติการที่ทำการทดสอบ

4.2 การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุดินลูกรังทั่วไป

การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุดินลูกรังทั่วไป โดยทำการทดสอบต่างๆ ดังนี้

4.2.1 การหาปริมาณความชื้น (Water Content Testing)

4.2.2 การหาค่าความถ่วงจำเพาะของเม็ดดิน(Specific Gravity of soil testing)

4.2.3 การหาขนาดของเม็ดดิน (Grain Size Analysis Testing) โดยทำการทดสอบด้วยวิธีการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง (Sieve Analysis Testing)

4.2.4 การทดสอบ Atterberg's Limit testing ในส่วนของการหาขีดการไหล (Liquid limit, LL) ขีดความอ่อนตัว (Plastic Limit Testing)และขีดการหดตัว (Shrinkage Limit, SL)

4.3 การศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม

การศึกษาคุณสมบัติของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม (Admixture) โดยทำการทดสอบตามมาตรฐานกรมทางหลวงแห่งประเทศไทย ดังนี้

4.3.1 การทดสอบ Atterberg's Limit Testing ในส่วนของการหาขีดการไหล (Liquid Limit, LL) ขีดความอ่อนตัว (Plastic Limit, PL)และขีดการหดตัว (Shrinkage Limit, SL) โดยใช้อัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 1

4.3.2 การบดดิน (Compaction Testing) โดยการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Testing โดยใช้อัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 1

4.3.3 การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (California Bearing Ratio Testing, CBR) แบบแช่น้ำ (Soak) โดยทำตัวอย่างทดสอบตามปริมาณน้ำที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน จากอัตราส่วนผสมต่างๆ ดังตารางที่ 1

4.3.4 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ตามมาตรฐานดินซีเมนต์กรมทางหลวง โดยใช้อัตราส่วนผสม ดังตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมสำหรับใช้ในการทดสอบ ของตัวอย่างดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม

ดินลูกรัง (%)	สารผสมเพิ่ม (%)
100	0
95	5
90	10
85	15
80	20

4.4 การเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม ที่อัตราส่วนผสมต่างๆกับมาตรฐานดินซีเมนต์

โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากผลการทดสอบ Atterberg's Limit Testing ,การบดอัด (Compaction testing) โดยการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Testing) ,ค่ากำลังต้านทานแรงเฉือน (California Bearing Ratio Testing, CBR) แบบแช่น้ำ(Soak) และการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ตามมาตรฐานดินซีเมนต์ โดยพิจารณาที่อัตราส่วนต่างๆ

5. ผลและวิจารณ์

5.1 ผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ

การศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุลูกรังตามสภาพตามธรรมชาติ ซึ่งเป็นตัวอย่างดินลูกรังที่นำมาจากจังหวัดกาญจนบุรี ได้ผลการทดสอบดังนี้

5.1.1 ผลการทดสอบการหาปริมาณความชื้น (Water Content testing) ของดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติได้ค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.58%

5.1.2 ผลการทดลองการหาค่าความถ่วงจำเพาะของดินลูกรัง (Specific Gravity of soil testing) โดยทำการทดสอบได้ค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.83 ซึ่งมีค่าอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังในประเทศไทยโดยจะมีค่าความถ่วงจำเพาะ อยู่ที่ 2.70-3.00

5.1.3 ผลการทดสอบการหาขนาดเม็ดดินลูกรัง (Grain Sieve Analysis Testing) โดยการทดสอบ 1 วิธี มีผลการทดสอบ ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ค่าเฉลี่ยเปอร์เซ็นต์ที่ดินลูกรังร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ต่างๆ

Sieve No.	Percent Passing (%)
#3/4	98.67
#3/8	80.50
#4	49.83
#10	23.33
#40	11.00
#200	6.50
Pan	1.17

เมื่อจำแนกดินลูกรังตามวิธี AASHTO จากตารางที่ 2 แสดงเปอร์เซ็นต์เฉลี่ยที่ผ่านตะแกรงขนาดต่างๆ และค่าขีดความอ่อนตัวของดินลูกรัง (Atterberg's Limit) ของดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติโดยมีค่า ขีดการไหลเฉลี่ยของดินลูกรัง (LL) เท่ากับ 27.91% ขีดความอ่อนตัวของดินลูกรัง (PL) เท่ากับ 16.08% และดัชนีความเหนียว (PI) เท่ากับ 11.83% ซึ่งดินลูกรังที่ได้นั้นจัดอยู่ในกลุ่ม A-2-6 ซึ่งเป็นพวกกรวดและทรายปนตะกอนทรายหรือดินเหนียว และเมื่อ

นำไปเขียนกราฟ ได้ค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆ คือ D60 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 6.23 mm D30 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 2.73 mm และ D10 มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 0.71 mm ซึ่งสามารถคำนวณค่าสัมประสิทธิ์ Cu เท่ากับ 8.77 และค่าสัมประสิทธิ์ Cc เท่ากับ 1.68 จะเห็นได้ว่าค่าสัมประสิทธิ์ Cu มีค่ามากกว่า4 และมากกว่า 6 และค่าสัมประสิทธิ์ Cc มากกว่า1 แต่น้อยกว่า 3 เพราะฉะนั้นจึงจัดดินลูกรังชนิดนี้อยู่ในประเภทคละกันดี (Well G)

5.1.4 ผลการทดสอบ Atterberg's Limit Testing ผลการทดสอบที่ได้คือ ค่าขีดการไหลตัว (Liquid Limit , LL) เท่ากับ 24.00% ค่าขีดการอ่อนตัว (Plastic Limit, PL) เท่ากับ 16.08% ค่าดัชนีความเหนียว (Plastic Index, PI) เท่ากับ 7.92% และค่าการหดตัว (Shrinkage, SL) เท่ากับ 15.98% เมื่อดูจากค่าแล้ว ค่าขีดการไหลตัวมีค่าน้อยกว่า 40% และค่าดัชนีมีค่าน้อยกว่า 20%

5.2 ผลการศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม

5.2.1 ผลการทดสอบ Atterberg's Limit Testing ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ โดยมีการทดสอบเพื่อหาค่า Liquid Limit (LL), ค่า Plastic Limit (PL), ค่า Plastic Index(PI) และค่า Shrinkage (SL) ซึ่งค่าที่ได้สรุปดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ Atterberg's Limit Testing ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

Mixed (%)		Liquid Limit	Plastic Limit	Plastic Index	Shrinkage
Laterite	Admixture	LL, (%)	PL, (%)	PI, (%)	SL, (%)
100	0	24.00	16.08	7.92	15.98
95	5	22.10	14.37	7.73	17.83
90	10	12.20	10.93	1.27	20.72
85	15	13.00	12.57	0.43	24.79
80	20	21.80	15.34	6.11	19.49

5.2.2 ผลการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction Testing) โดยการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Testing) ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ โดยทำการทดสอบเพื่อหาค่าเฉลี่ยของปริมาณความชื้นที่เหมาะสม(Optimum Moisture Content, OMC) และค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้งสูงสุด (Dry Density , MDD) ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนต่างๆ ค่าที่ได้สรุปดังตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบ การบดอัดดิน(Compaction Testing) โดยการทดสอบแบบสูงกว่ามาตรฐาน(Modified Compaction Testing) ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม

Mixed (%)		Modified Compaction Testing	
Laterite	Admixture	OMC (%)	MDD (kg/m^3)
100	0	8.56	2269.30
95	5	9.04	2293.26
90	10	8.39	2307.52
85	15	9.08	2270.96
80	20	8.75	2263.25

5.2.3 ผลการทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (California Bearing Ratio, CBR) โดยการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked) ก็เพื่อจะหาค่าเฉลี่ยของ %CBR ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆค่าที่ได้ สรุปดังตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบแคลิฟอร์เนีย แบริ่ง เรโช (Califotnia Bearing Ratio, CBR) โดยการทดสอบแบบแช่น้ำ (Soaked) ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

Mixed (%)		CBR (%)
Laterite	Admixture	
100	0	10.57
95	5	394.48
90	10	886.62
85	15	-
80	20	-

หมายเหตุ การทดสอบทีอัตราส่วนผสม 85:15 และ 80:20 ไม่สามารถทำการทดสอบได้เนื่องจากดินมีความต้านทานแรงกดสูงจึงทำให้อุปกรณ์ในการทดสอบไม่สามารถรับแรงกดได้

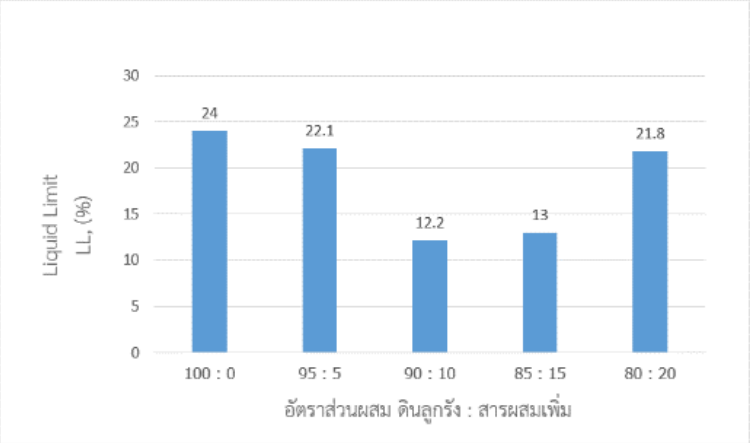
5.2.4 ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ตามมาตรฐานดินซีเมนต์ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ค่าที่ได้สรุปดังตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ตามมาตรฐานดินซีเมนต์ ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

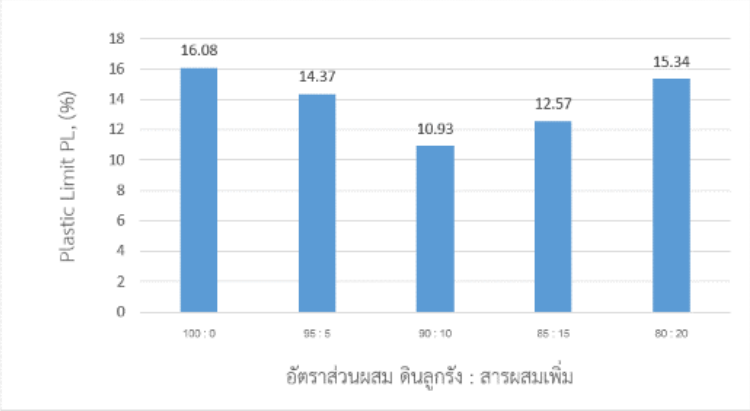
Mixed (%)		Unconfined Compressive Strength (Kg/cm^2)
Laterite	Admixture	
100	0	3.133
95	5	17.589
90	10	37.409
85	15	-
80	20	-

5.3 ผลการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ กับดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ

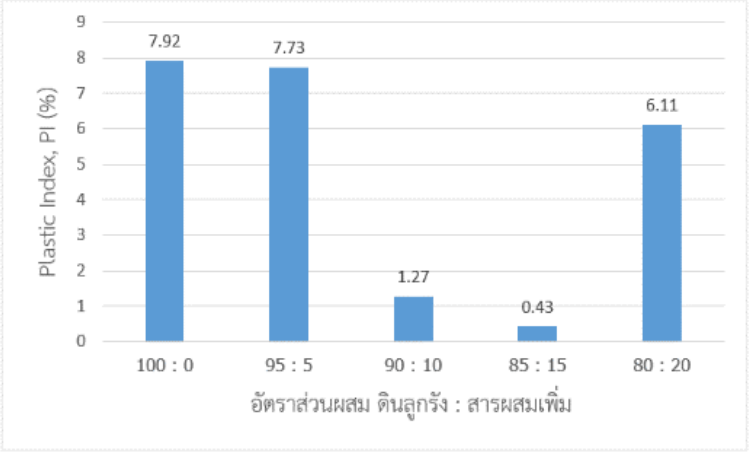
โดยเปรียบเทียบผลการทดสอบที่ได้จากการทดสอบ Atterberg's Limit Testing, การบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified Compaction Testing), การทดสอบกำลังต้านทานแรงเฉือน (California Bearing Ratio, CBR) และการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test) ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ซึ่งมีการเปรียบเทียบดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ,สารผสมเพิ่ม และดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม แสดงดังตารางที่ 7 และเปรียบเทียบกับมาตรฐานดินซีเมนต์ ดังตารางที่ 8 และแสดงการเปรียบเทียบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม ดังรูปที่ 1-6



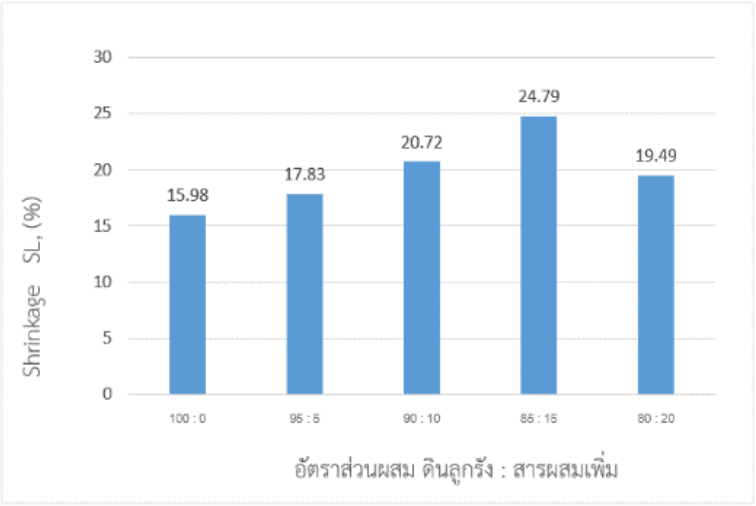
รูปที่ 1 การเปรียบเทียบ Liquid Limit, LL ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



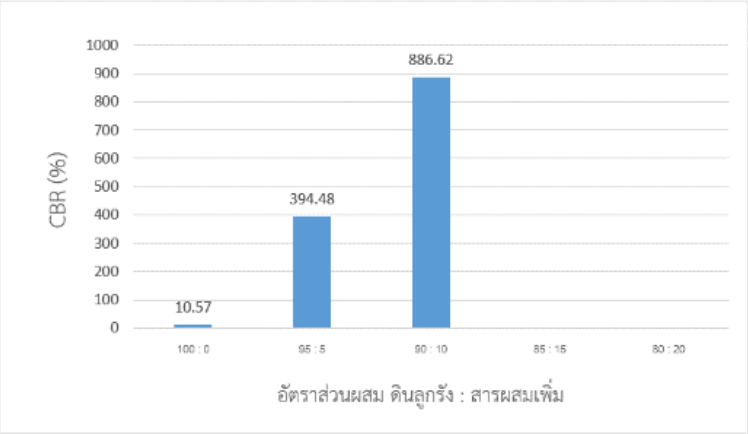
รูปที่ 2 การเปรียบเทียบ Plastic Limit, PL ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



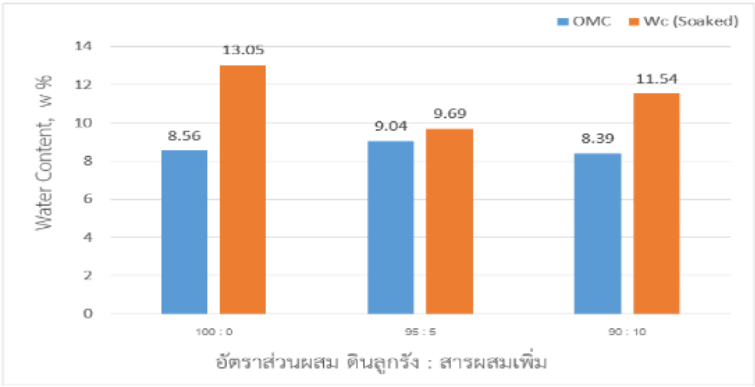
รูปที่ 3 การเปรียบเทียบ Plastic Index, PI ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบ Shrinkage, SL ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 5 การเปรียบเทียบ CBR ของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ



รูปที่ 6 การเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์ความชื้นของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

ตารางที่ 7 การเปรียบเทียบคุณสมบัติของดินลูกรังตามสภาพธรรมชาติ และดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

Mixed (%)		Specific Gravity of Soil	Grain size analysis	Atterberg's Limit Testing (%)				Compaction		California Bearing Ratio (%)	Unconfined Compressive Strength (kg/cm^2)
ดินลูกรัง	สารผสมเพิ่ม		Sieve analysis test	Liquid Limit, LL	Plastic Limit, PL	Plastic Index, PI	Shrinkage Limit, SL	Modified Test		Soaked	
								OMC (%)	MDD (kg/m^3)		
100	0	2.83	D	24.00	16.08	7.92	15.98	8.56	2269.30	10.57	3.133
95	5	-	-	22.10	14.37	7.73	17.83	9.04	2293.26	394.48	17.589
90	10	-	-	12.20	10.93	1.27	20.72	8.39	2307.52	886.62	37.409
85	15	-	-	13.00	12.57	0.43	24.79	9.08	2270.96	-	-
80	20	-	-	21.80	15.34	6.11	19.49	8.75	2263.25	-	-

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบเปรียบเทียบกับมาตรฐานดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง

คุณสมบัติต่างๆ	ดินลูกรัง : สารผสมเพิ่ม (%)					มาตรฐานกรมทางหลวง
	100 : 0	95 : 5	90 : 10	85 : 15	80 : 20	
ความถ่วงจำเพาะ	2.83	-	-	-	-	2.70-3.00
ขนาดคละ	D	-	-	-	-	
Liquid Limit, LL (%)	24.00	22.10	12.20	13.00	21.80	< 40%
Plastic Limit PL, (%)	16.08	14.37	10.93	12.57	15.34	< 20%
Plasticity Index, PI (%)	7.92	7.73	1.27	0.43	6.11	< 20%
CBR (%)	10.57	394.48	886.62	-	-	> 25%
Unconfined (kg/cm^2)	3.133	17.589	37.409	-	-	> 7.023%

6. สรุปผล

6.1 สรุปผลงานวิจัย

จากการศึกษาวิจัยในครั้งนี้ซึ่งได้จากการเปรียบเทียบผลระหว่างคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนต่างๆกัน สำหรับใช้ในงานชั้นดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม สำหรับงานชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ สรุปผลการศึกษาได้ดังต่อไปนี้

การเปรียบเทียบระหว่างดินลูกรังที่ใช้ในงานชั้นดินรองรับน้ำหนักทั่วไปกับดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่ม (Admixture) คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม อยู่ในมาตรฐานดินซีเมนต์ มีรายละเอียดแสดงดัง ตารางที่ 9 โดยที่อัตราส่วนต่างๆ พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือ 5% และที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่ม 5% มีค่าต้านทานแรงเฉือน (CBR) เท่ากับ 394% ซึ่งผ่านมาตรฐานดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ไม่น้อยกว่า 25% และที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่ม 5% มีค่าแรงอัดแกนเดียว (Unconfined) เท่ากับ 17.589 Kg/cm^2 ผ่านมาตรฐานดินซีเมนต์ที่กรมทางหลวงกำหนดไว้ที่ไม่น้อยกว่า 7.023 Kg/cm^2 ซึ่งเหมาะสำหรับการนำไปใช้ในงานก่อสร้างชั้นดินรองรับน้ำหนักอาคารและสิ่งก่อสร้างต่างๆ

ตารางที่ 9 สรุปผลการทดสอบของดินลูกรังผสมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนต่างๆเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง

คุณสมบัติต่างๆ	ดินลูกรัง : สารผสมเพิ่ม (%)					มาตรฐานกรมทางหลวง
	100 : 0	95 : 5	90 : 10	85 : 15	80 : 20	
ความถ่วงจำเพาะ	2.83	-	-	-	-	2.70-3.00
ขนาดคละ	D	-	-	-	-	
Liquid Limit, LL (%)	24.00	22.10	12.20	13.00	21.80	< 40%
Plastic Limit PL, (%)	16.08	14.37	10.93	12.57	15.34	< 20%
Plasticity Index, PI (%)	7.92	7.73	1.27	0.43	6.11	< 20%
CBR (%)	10.57	394.48	886.62	-	-	> 25%
Unconfined (kg/cm^2)	3.133	17.589	37.409	-	-	> 7.023%

7. กิตติกรรมประกาศ

ผู้จัดทำการศึกษาวิจัย ขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ที่ให้การสนับสนุนและการเผยแพร่การศึกษาวิจัยและขอขอบพระคุณบริษัท ฟูจิเบตอน (ประเทศไทย) จำกัด ที่ให้สารผสมเพิ่มมาใช้ในงานวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

[1] มานิต ช่วยงาน, คู่มือการทดลองปฐพีกลศสตร์, วิทยาลัยเทคนิคเชียงใหม่, 2552

[2] นิโรจน์ เงินพรม , การศึกษาคุณสมบัติของชั้นทางผสมดินลูกรัง ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์และตะกรันเหล็ก , มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร , 2554

[3] อาทร ชูพลสัตย์ และ พิสิทธิ์ ขันติวัฒนะกุล , การศึกษาคุณสมบัติของดินชั้นทางลูกรังบดอัดผสมปูนซีเมนต์ปอร์ดแลนด์ , มหาวิทยาลัยรังสิต , 2546

[4] กิตติศักดิ์ โชติ และ ประทีป ดวงเดือน , ศึกษาการนำเถ้าก้นเตาจากโรงไฟฟ้าและปูนขาวมาใช้ในการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรัง , 2556

[5] สยาม แกมขุนทด และคณะ , ศึกษาตัวแปรต่างๆ ที่ส่งผลกระทบต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในดินลูกรัง , 2557

[6] อุดม มาศสุวรรณ และ โรจนกร เลิศปิยะนันทกูร, ศึกษาเกี่ยวกับพฤติกรรมของดินปรับปรุงคุณภาพ , 2536