อิทธิพลของวัสดุพอลิเมอร์ต่อกำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

Influence of Polymer Materials on Unconfined Compressive Strength of Soft Bangkok Clay Mixed with Portland Cement

เกรียงศักดิ์ ปรึ่มพรชัย[1,*] เสริมศักดิ์ ติยะแสงทอง[1] และ เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒนพงศ์[1]

[1] สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จ.นครราชสีมา

**Corresponding author; E-mail address: Kriangsak.Pr@rmuti.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษากำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และวัสดุพอลิเมอร์ โดยใช้ปริมาณความชื้นเริ่มต้นของดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 1.0LL 1.5LL และ 2.0LL และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 1.0 วัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ร้อยละ 1 3 5 และ 7 ของปริมาตรน้ำ ทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่า ค่าความชื้นเริ่มต้นของดินเท่ากับ 1.0LL และความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ร้อยละ 3 ของปริมาตรน้ำ ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวสูงสุด ที่อายุบ่ม 28 วัน มีค่าเท่ากับ 1.20 1.12 และ 1.04 MPa สำหรับ PEG PVA และ PVP ตามลำดับ ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง การใช้วัสดุพอลิเมอร์ในดินเหนียวอ่อนกรุงเทพปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ไม่เพียงแค่ปรับปรุงค่ากำลังอัดแกนเดียว แต่ยังเพิ่มค่าความเหนียวของตัวอย่างอีกด้วย

คำสำคัญ: ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ, ดินซีเมนต์, วัสดุพอลิเมอร์, ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์, กำลังอัดแกนเดียว

Abstract

This research investigated the unconfined compressive strength (UCS) of soft Bangkok clay stabilized with Portland cement type I and polymer materials. The initial water content (w) of soft Bangkok clay (SC) of 1.0LL, 1.5LL, and 2.0LL (LL is Liquid Limit of SC) and water/cement ratio (w/C) of 1.0 were used. Polymer materials (P) used in this study were polyethylene glycol (PEG), polyvinyl alcohol (PVA), and polyvinylpyrrolidone (PVP). Concentrations of P were 1, 3, 5, and 7% by volume of water. The 7-day and 28-day UCS of samples were examined. The test results found that w of 1.0LL and P concentration of 3% of SC-C-P samples offered the highest 28-day UCS, which were 1.20, 1.12, and 1.04 MPa for PEG, PVA, and PVP, respectively, and passed the UCS requirement specified by Department of Highway. The use of polymers in SC-C samples not only increased UCS but also improved ductility of sample.

Keywords: Soft Bangkok clay, Soil cement, Polymer, Portland cement, Unconfined compressive strength

1. คำนำ

การก่อสร้างในปัจจุบันมีการพัฒนาไปอย่างมาก ไม่ว่าจะในแง่ของการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานหรือระบบสาธารณูปโภค ซึ่งเป็นปัจจัยหลักของมนุษย์ในการดำรงชีวิตในปัจจุบัน ในเมืองหลวงของประเทศไทย อย่างกรุงเทพมหานคร มีการพัฒนาระบบสาธารณูปโภคอย่างต่อเนื่องมาเป็นเวลานานในหลายด้าน เช่น งานถนน งานรถไฟฟ้า งานฐานรากอาคาร งานกำแพงกันดิน และงานเขื่อนกั้นน้ำ เป็นต้น โดยสภาพชั้นดินของกรุงเทพมหานคร มีลักษณะเป็นชั้นดินเหนียวอ่อน (soft clay) ซึ่งมีความหนาอยู่ระหว่าง 15-20 เมตร ข้อเสียของดินเหนียวอ่อนประกอบด้วยการขยายตัวและหดตัวสูง เสถียรภาพต่ำ และความไวตัวปานกลาง [1] หากมีการก่อสร้างบนชั้นดินนี้จะมีปัญหาอย่างมาก ในด้านการรับน้ำหนักของโครงสร้างซึ่งเป็นปัญหาต่อเนื่องมาอย่างยาวนาน เทคนิคการปรับปรุงคุณภาพดินเหนียวกรุงเทพที่ได้รับความนิยมอย่างมาก คือการผสมลึก (Deep mixing) โดยใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุเชื่อมประสาน เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรม [2] ซึ่งในอดีตได้มีการศึกษาเกี่ยวกับเสาเข็มดินซีเมนต์ของ Horpibulsuk et al. (2011) [3] ได้พัฒนากำลังของดินซีเมนต์ทั้งในห้องปฏิบัติการและในสนาม โดยตัวอย่างดินที่ใช้เป็นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ พบว่า ขั้นตอนการผสมและอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ มีผลอย่างมากต่อการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของปูนซีเมนต์ ทั้งนี้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/C) แนะนำให้ใช้เท่ากับ 1 ซึ่งเป็นอัตราส่วนที่ให้กำลังของดินมีค่าสูง ต่อมา ชยานนท์ และคณะ (2557) [4] ได้ศึกษาการพัฒนากำลังของเสาเข็มดินซีเมนต์และเสาเข็มดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอย พบว่า เมื่อใช้อัตราส่วนผสมเถ้าลอยที่เหมาะสม สามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดได้ของเสาเข็มดินซีเมนต์ผสมเถ้าลอยได้ เมื่อเปรียบเทียบกับกำลังของเสาเข็มดินซีเมนต์

อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและก่อให้เกิดปัญหาโลกร้อน อีกทั้งการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่มากเกินไปทำให้พฤติกรรมของตัวอย่างเปลี่ยนจากวัสดุเหนียว (Ductile material) ไปเป็นวัสดุเปราะ (Brittle material) [5]

พอลิเมอร์ (Polymer) เป็นสารประกอบไฮโดรคาร์บอน ที่มีน้ำหนักโมเลกุลสูง พอลิเมอร์เกิดจากกระบวนการรวมโมเลกุลขนาดเล็กเข้าด้วยกัน ซึ่งเรียกว่าปฏิกิริยามอนอเมอร์ (monomer) พอลิเมอร์สามารถจำแนกได้ 2 ชนิดคือ พอลิเมอร์ธรรมชาติ (Natural Polymer) และ วัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ (Synthetic Polymer) ในปัจจุบันวัสดุพอลิเมอร์สังเคราะห์ถูกนำมาใช้กันอย่างแพร่หลายในอุตสาหกรรมก่อสร้าง ด้วยคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นสูง การยึดเกาะตัวกันได้ดี [6] ละลายน้ำได้ อีกทั้งยังมีราคาต่ำ ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในอดีตที่ได้ศึกษาการนำพอลิเมอร์มาปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ โดย Kim et al. (1999) [7] ได้ศึกษาโครงสร้างทางจุลภาคและคุณสมบัติของมอร์ต้าที่ผสมโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) เมื่อนำตัวอย่างไปส่องด้วยกล้องจุลทรรศน์อิเล็กตรอนแบบส่องกราด (SEM) พบว่า รูพรุนรอบพื้นที่ผิวของมวลรวมหยาบลดลง เมื่อเปรียบเทียบกับมอร์ต้าที่ไม่มี PVA เนื่องมาจาก PVA ทำให้เกิดการเพิ่มขึ้นของปริมาณช่องว่าง จึงทำให้มีการกระจายอนุภาคของปูนซีเมนต์ได้อย่างสม่ำเสมอและทำให้เกิดการพัฒนากำลังของมอร์ต้า จากการศึกษาของ Mirzababaei et al. (2009) [8] ได้ศึกษาอิทธิพลของพอลิเมอร์ที่มีผลต่อกำลังอัดของดินเหนียวอ่อน โดยนำโพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) มาผสมกับดินเหนียวอ่อน พบว่า พอลิเมอร์ทำให้ดินเหนียวอ่อนมีความหนาแน่นขึ้นและมีกำลังอัดเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาของการบ่ม อีกทั้งพอลิเมอร์ยังช่วยให้ดินเหนียวอ่อนมีความทนทานมากขึ้นในสภาวะแช่น้ำอีกด้วย

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้วัสดุพอลิเมอร์เพื่อปรับปรุงกำลังรับแรงอัดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ในงานเสาเข็มดินซีเมนต์ โดยวัสดุพอลิเมอร์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone, PVP) ซึ่งเป็นวัสดุทางเลือกชนิดหนึ่งและมีคุณสมบัติเพิ่มกำลังรับแรงอัดและแรงดัด สามารถนำมาปรับปรุงคุณภาพของดินซีเมนต์ได้ [9,10] โดยจะพิจารณาตัวแปรควบคุมได้แก่ ปริมาณความชื้นของดินเหนียวอ่อน ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ และอายุบ่ม ตัวอย่างทั้งหมดจะถูกนำมาทดสอบกำลังอัดแกนเดียว เพื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานกรมทางหลวง

2. วิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1 ตัวอย่างวัสดุทดสอบ

2.1.1 ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ (Soft Bangkok clay)

ดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเก็บที่ความลึกประมาณ 3-5 เมตร บริเวณเขตหนองจอก กรุงเทพมหานคร ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะ เท่ากับ 2.68 ค่าขีดจำกัดเหลว (Liquid Limit, LL) ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) และดัชนีความเป็นพลาสติก (Plasticity Index, PI) เท่ากับร้อยละ 72.34 30.65 และ 41.69 ตามลำดับ รูปที่ 1 แสดงการกระจายขนาดคละของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ซึ่งทดสอบด้วยเทคนิค Laser particle size analysis พบว่า ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (D_{50}) ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพเท่ากับ 4.3 ไมครอน และเมื่อนำดินมาจำแนกตามระบบ Unified Soil Classification System (USCS) สามารถจัดอยู่ในกลุ่มดินเหนียวที่มีค่าพลาสติกสูง (CH) [11]

2.1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15 คุณสมบัติทางเคมีแสดงในตารางที่ 1 ผลรวมของปริมาณธาตุ SiO_2, Al_2O_3 และ Fe_2O_3 มีค่าเท่ากับร้อยละ 30.23 และ CaO มีปริมาณร้อยละ 61.62 การกระจายขนาดคละของปูนซีเมนต์ ซึ่งทดสอบด้วยเทคนิค Laser particle size analysis พบว่า ขนาดเฉลี่ยของอนุภาค (D_{50}) ของปูนซีเมนต์เท่ากับ 13.8 ไมครอน แสดงในรูปที่ 1

2.1.3 โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

โพลีเอทิลีนไกลคอล ชนิด 4000 (PEG 4000) เป็นกลุ่มของโพลีเมอร์เอทิลีนออกไซด์สังเคราะห์ มีลักษณะเป็นเกล็ดขนาด 1-15 มิลลิเมตร ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.087-1.126 เมื่อละลายน้ำมีลักษณะข้นคล้ายกาวช่วยในการยึดเกาะ มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 3,500-4,500 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 57.5 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 2 [12]

2.1.4 โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA)

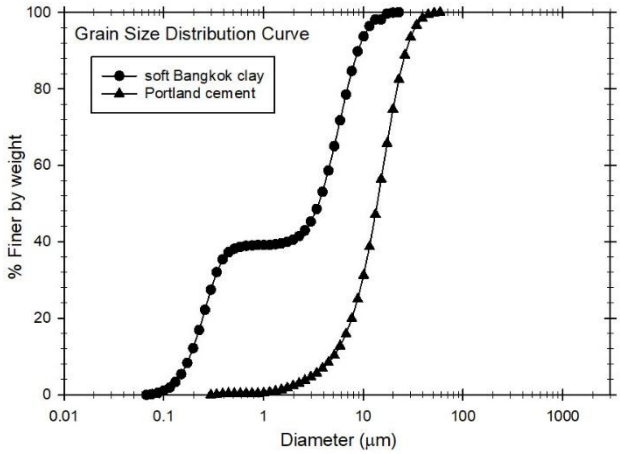
โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ เป็นสารพอลิเมอร์สังเคราะห์ มีลักษณะเป็นเกล็ดขนาดเล็ก ไม่มีสี ไม่มีกลิ่น มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.27-1.31 เมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติก่อให้เกิดฟิล์มทำให้มีการยึดเกาะ มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 26,300-30,000 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 80-95 องศาเซลเซียส [13] แสดงในรูปที่ 3

2.1.5 โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone, PVP)

โพลีไวนิลไพโรลิโดน ชนิด K30 (PVP K30) เป็นพอลิเมอร์โมเลกุลสูงที่ไม่มีไอออน มีลักษณะเป็นผงสีขาว มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.23-1.29 เมื่อละลายน้ำมีคุณสมบัติเป็นกาวช่วยในการยึดเกาะ มีน้ำหนักโมเลกุลระหว่าง 35,000-51,000 มีจุดหลอมเหลวประมาณ 150 องศาเซลเซียส แสดงในรูปที่ 4

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ และปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

องค์ประกอบทางเคมี	ดินเหนียวอ่อน (SC)	ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (PC)
SiO_2	62.87	22.30
Al_2O_3	16.91	4.23
Fe_2O_3	7.12	3.70
CaO	1.57	61.62
SO_3	5.22	4.62
K_2O	1.40	0.40
TiO_2	0.94	0.26
MnO_2	0.27	0.06
MgO	3.67	2.21
LOI	8.79	8.91



รูปที่ 1 ขนาดคละของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพและปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์

รูปที่ 2 วัสดุพอลิเมอร์ โพลีเอทิลีนไกลคอล (Polyethylene glycol, PEG)

รูปที่ 3 วัสดุพอลิเมอร์ โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (Polyvinyl alcohol, PVA)

รูปที่ 4 วัสดุพอลิเมอร์ โพลีไวนิลไพโรลิโดน (Polyvinylpyrrolidone, PVP)

2.2 การเตรียมตัวอย่างการทดสอบ

ตัวอย่างดินเหนียวอ่อนจะถูกนำมาปรับปริมาณความชื้นให้เท่ากับ 1LL 1.5LL และ 2LL (LL คือขีดจำกัดเหลว) โดยการผสมดินเหนียวอ่อนกับน้ำให้เข้ากันทิ้งไว้เป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาผสมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/C) เท่ากับ 1.0 ที่ผสมสารละลายพอลิเมอร์ ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ร้อยละ 1 3 5 และ 7 ของปริมาตรน้ำ โดยทำการผสมในหม้อกวนจนกระทั่งส่วนผสมเข้ากันดี โดยใช้ระยะเวลาผสม 3 ถึง 5 นาที จากนั้นเทตัวอย่างลงในแบบท่อพีวีซี ที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 50 มิลลิเมตร และความสูง 100 มิลลิเมตร บ่มตัวอย่างไว้ในแบบหล่อประมาณ 24 ชั่วโมง หลังจากนั้นแกะตัวอย่างออกจากแบบหล่อ แล้วจึงนำแผ่นพลาสติกใสห่อหุ้มตัวอย่างเพื่อป้องกันการสูญเสียความชื้น จากนั้นบ่มตัวอย่างที่อุณหภูมิห้องระยะเวลา 7 และ 28 วัน เมื่อได้อายุบ่มที่ต้องการแล้วจึงแกะพลาสติกใสออก วัดขนาดและชั่งน้ำหนักของตัวอย่าง จากนั้นนำตัวอย่างไปทดสอบกำลังอัดแกนเดียว (Unconfined compressive strength) ตามมาตรฐาน ทล.ท 105/2525 หรือ ASTM D.2166-06 โดยใช้อัตราการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งเท่ากับ 1 มิลลิเมตรต่อนาที จนกว่าตัวอย่างจะเกิดการวิบัติ โดยทำการทดสอบตัวอย่างจำนวน 3 ตัวอย่าง

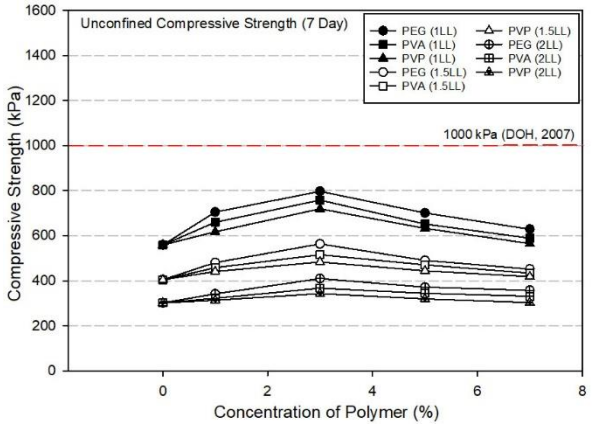
3. ผลการทดสอบ

รูปที่ 5-6 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ผสมปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ที่ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ร้อยละ 1 3 5 และ 7 ของปริมาตรน้ำ และปริมาณความชื้นของดินเหนียวอ่อนเท่ากับ 1LL 1.5LL และ 2LL และอายุบ่มเท่ากับ 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่ากำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพผสมปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ มีค่าเพิ่มขึ้นตามความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ที่เพิ่มสำหรับทุกปริมาณความชื้น และอายุบ่ม จนกระทั่งความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ที่เหมาะสม (ร้อยละ 3 ของปริมาตรน้ำ) กำลังอัดแกนเดียวที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความสามารถของวัสดุพอลิเมอร์ที่แทรกซึมเข้าไปเติมเต็มช่องว่างในดิน ซึ่งทำให้เกิดแผ่นฟิล์มบางระหว่างชั้นของดินเหนียวผสมซีเมนต์ [14] และส่งผลให้มีการยึดเกาะได้ดี อีกทั้งยังช่วยให้ความหนาแน่นมากขึ้นและความพรุนลดลง อย่างไรก็ตามความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ที่มากเกินไปส่งผลให้กำลังอัดแกนเดียวลดลง เนื่องจากโครงสร้างชั้นดินเกิดความไม่สม่ำเสมอเป็นเนื้อเดียวกัน ซึ่งเป็นผลมาจากแผ่นฟิล์มที่หนาขึ้น [15]

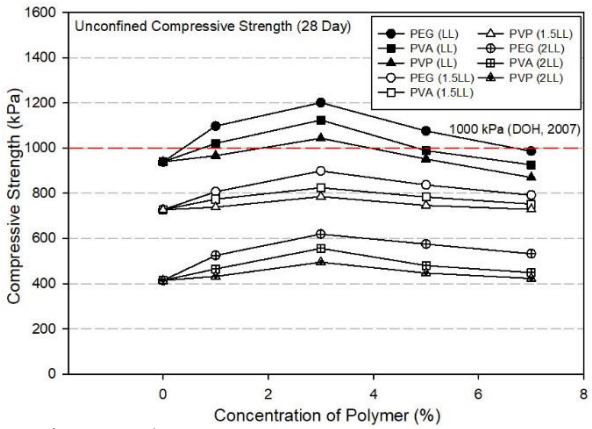
ปริมาณความชื้นส่งผลต่อกำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างสำหรับทุกชนิดของวัสดุพอลิเมอร์, ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ และอายุบ่ม พบว่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่างมีค่าลดลงกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณความชื้น เนื่องจากผลของอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/C) ซึ่งเกิดจากปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นในดินเหนียว [16]

เมื่อพิจารณากำลังอัดแกนเดียวของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพ ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ ที่อายุบ่ม 28 วัน พบว่ากำลังอัดแกนเดียวของตัวอย่าง มีค่าเท่ากับ 1,201 1,124 และ 1,043 กิโลปาสกาล สำหรับ PEG, PVA และ PVP ตามลำดับ กำลังอัดแกนเดียวที่ลดลงเนื่องจากปริมาณความชื้นของดินและความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ที่เพิ่มขึ้น [17] เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกำลังอัดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์กับมาตรฐานดินซีเมนต์ของกรมทางหลวง ซึ่งระบุกำลังอัดแกนเดียวต้องไม่น้อยกว่า 1,000 กิโล

ปาสคาล [18] พบว่าอัตราส่วนเหมาะสมของดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์คือ ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ร้อยละ 3 ของปริมาตรน้ำ และปริมาณความชื้นของดินเหนียวเท่ากับ 1LL ซึ่งให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวผ่านเกณฑ์มาตรฐานของดินซีเมนต์

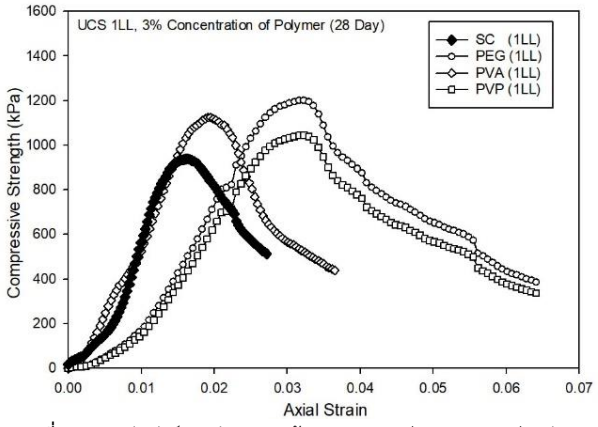


รูปที่ 5 กำลังอัดที่อายุบ่ม 7 วัน ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ที่มีปริมาณความชื้น 1LL 1.5LL และ 2LL



รูปที่ 6 กำลังอัดที่อายุบ่ม 28 วัน ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ที่มีปริมาณความชื้น 1LL 1.5LL และ 2LL

จากรูปที่ 7 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนกรุงเทพผสมปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ (PEG, PVA และ PVP) ที่ปริมาณความชื้นเท่ากับ 1LL ความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์ร้อยละ 3 ของปริมาตรน้ำ และอายุบ่มเท่ากับ 28 วัน เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบระหว่างดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์ และดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ พบว่าเมื่อเติมวัสดุพอลิเมอร์เข้าไปในตัวอย่างส่งผลให้ค่าความเครียดที่จุดวิบัติสูงกว่าตัวอย่างดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว โดยพลังงานที่ถูกดูดซับในวัสดุก่อนการวิบัติของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนผสมปูนซีเมนต์ และวัสดุพอลิเมอร์มีค่ามากกว่าตัวอย่างดินเหนียวผสมปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว เนื่องจากคุณสมบัติความเหนียวและสามารถยึดเกาะตัวกันได้สูง [18] ของวัสดุพอลิเมอร์จึงทำให้พฤติกรรมของตัวอย่างเปลี่ยนจากวัสดุเปราะ (Brittle material) ไปเป็นวัสดุเหนียว (Ductile material) [5] ส่งผลให้ดินที่ผสมพอลิเมอร์สามารถต้านทางแรงก่อนการวิบัติได้มากขึ้น ซึ่งเป็นผลทดสอบที่สอดคล้องกับงานวิจัยของ Suddeepong et al. (2022) [20]



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียดของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพผสมด้วยปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ความเข้มข้นร้อยละ 3 ของปริมาตรน้ำ ที่มีปริมาณความชื้น 1LL ที่อายุบ่ม 28 วัน

4. บทสรุป

บทความนี้ศึกษาอิทธิพลของวัสดุพอลิเมอร์ต่อกำลังอัดแกนเดียว ของดินเหนียวอ่อนกรุงเทพผสมปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อลดการใช้ซีเมนต์ในการปรับปรุงคุณภาพดินซีเมนต์ ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ที่ต้องการกำลังอัดไม่น้อยกว่า 1,000 กิโลปาสคาล โดยผลการศึกษาสามารถสรุปผลได้ดังนี้

1) จากผลการศึกษาปริมาณความชื้นของดินเหนียวอ่อนที่ 1LL 1.5LL และ 2LL เมื่อนำมาผสมกับปูนซีเมนต์และวัสดุพอลิเมอร์ พบว่าปริมาณความชื้นที่ส่งผลให้ดินเหนียวอ่อนมีกำลังอัดสูงสุด มีค่าเท่ากับ 1LL ที่อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/C) เท่ากับ 1.0

2) เมื่อเปรียบเทียบดินซีเมนต์ กับดินซีเมนต์ผสมวัสดุพอลิเมอร์ ที่กำลังอัด 28 วัน พบว่าความเข้มข้นของวัสดุพอลิเมอร์โพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG) ร้อยละ 3 ของปริมาตรน้ำ สามารถให้กำลังอัดสูงที่สุด ซึ่งมีค่าเท่ากับ 1,201 กิโลปาสคาล ซึ่งผ่านเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงสำหรับดินซีเมนต์

3) วัสดุพอลิเมอร์ทั้ง 3 ชนิด ได้แก่ โพลีเอทิลีนไกลคอล (PEG), โพลีไวนิลแอลกอฮอล์ (PVA) และโพลีไวนิลไพโรลิโดน (PVP) เมื่อนำมาผสมกับดินซีเมนต์ สามารถเพิ่มคุณสมบัติให้ดินซีเมนต์มีความเหนียวและทำให้มีการยึดเกาะตัวกันได้ดีกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับดินเหนียวกรุงเทพผสมปูนซีเมนต์

5. ข้อเสนอแนะ

งานวิจัยนี้ได้จำกัดการศึกษาเกี่ยวกับแรงกระทำต่อดินซีเมนต์ผสมวัสดุพอลิเมอร์แบบสถิตย์ศาสตร์ (Static Load) เพียงอย่างเดียว ทั้งนี้ควรศึกษาเพิ่มเติมเกี่ยวกับแรงกระทำแบบพลศาสตร์ (Dynamic load) แรงกระทำซ้ำหรือความคงทนของดินซีเมนต์ผสมวัสดุพอลิเมอร์ ด้วยอีกทางหนึ่ง

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน ที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่และเครื่องมือในการทดสอบและการทำวิจัยครั้งนี้

เอกสารอ้างอิง

[1] Horpibulsuk, S., Shibuya, S., Fuenkajorn, K. and Katkan, W. (2007). Assessment of engineering properties of Bangkok clay. *Canadian Geotechnical Journal,* 44(2), pp. 173-187.

[2] Horpibulsuk, S., Miura, N., Koga, H., and Nagaraj, T-S. (2004). Analysis of strength development in deep mixing – a field study. *Ground Improve*. 8(2), pp. 59–68.

[3] Horpibulsk, S., Rachan, R., Suddeepong, A., & Chinkulkijniwat, A. (2011). Strength development in cement admixed Bangkok clay: laboratory and field investigations. Soils and Foundations, 51(2), pp. 239-251.

[4] ชยานนท์ ศรีเจริญ, รุ้งลาวัลย์ ราชัน และ สุขสันติ์ หอพิบูลสุข (2557). การพัฒนากำลังของเสาเข็มดินซีเมนต์และเสาเข็มซีเมนต์ผสมเถ้าลอยในชั้นดินเหนียวอ่อนกรุงเทพฯ. วารสารวิจัยและพัฒนา มจธ. ปีที่ 37, กรุงเทพมหานคร, 2 เมษายน-มิถุนายน, หน้า 151-164.

[5] Saberian, M. and Li, J. (2018). Investigation of the mechanical properties and carbonation of construction and demolition materials together with rubber. Journal of cleaner production, 202, pp. 553-560.

[6] Mirzababaei, M., Arulrajah, A., Horpibulsuk, S., Soltani, A. and Khayat, N. (2018). Stabilization of soft clay using short fiber and poly vinyl alcohol. *Geotextiles and Geomembranes*, 46, pp. 646-655.

[7] Kim, J. H., Robertson, R. E., & Naaman, A. E. (1999). Structure and properties of poly (vinyl alcohol)-modified mortar and concrete. Cement and Concrete Research, 29(3), pp. 407-415.

[8] Mirzababaei, M., Arulrajah, A., & Ouston, M. (2017). Polymers for stabilization of soft clay soils. Procedia engineering, 189, pp. 25-32.

[9] 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), pp. 1744-1751.

[10] Fan, J., Li, G., Deng, S., & Wang, Z. (2019). Mechanical properties and microstructure of polyvinyl alcohol (PVA) modified cement mortar. Applied Sciences, 9(11), 2178.

[11] American Society for Testing and Material (2011). ASTM D 2487. Standard practice for classification of soil for engineering purposes (unified soil classification system). ASTM International.

[12] ธิดารัตน์ สุทธิภาศิลป์ และ ปิติ สุคนธสุขกุล (2561). การศึกษาคุณสมบัติการกักเก็บความร้อนของมอร์ต้าปูนฉาบผสมวัสดุเปลี่ยนสถานะประเภทพาราฟินและโพลีเอทิลีนไกลคอล. *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระเกล้า*, ปีที่ 28, ฉบับที่ 2, หน้า 341-352.

[13] Suksiripattanapong, C., Horpibulsuk, S., Yeanyong, C. and Arulrajah, A. (2021). Evaluation of polyvinyl alcohol and high calcium fly ash based geopolymer for the improvement of soft Bangkok clay. *Transportation Geotechnics,* 27. 100476.

[14] Hariharan, A., Kumar, S. K., & Russell, T. P. (1990). A lattice model for the surface segregation of polymer chains due to molecular weight effects. *Macromolecules*, *23*(15), pp. 3584-3592.

[15] Yaowarat, T., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Maghool, F., Mirzababaei, M., Rashid, A. S. A., & Chinkulkijniwat, A. (2020). Cement stabilisation of recycled concrete aggregate modified with polyvinyl alcohol. *International Journal of Pavement Engineering*, pp. 349-357.

[16] Horpibulsuk, S., Yangsukkaseam, N., Chinkulkijniwat, A. and Du, YJ. (2011). Compressibility and permeability of Bangkok clay compared with kaolinite and bentonite. *Applied Clay Science*, 52, pp. 150–159.

[17] Buritatum, A., Suddeepong, A., Horpibulsuk, S., Udomchai, A., Arulrajah, A., Mohammadinia, A., & Hoy, M. (2022). Improvement of tensile properties of cement-stabilized soil using natural rubber latex. Journal of Materials in Civil Engineering, 34(4), 04022028.

[18] DOH (Department of Highways). Manual of highway construction, Thailand 2007.

[19] Yu, Y-H., Lin, C-Y., Yeh, J-M. and Lin, W-H. (2003). Preparation and properties of poly (vinyl alcohol) – clay nanocomposite materials. *Polymer*, 44, pp. 3553-3560.

[20] Suddeepong, A., Buritatum, A., Hoy, M., Horpibulsuk, S., Takaikaew, T., Horpibulsuk, J., & Arulrajah, A. (2022). Natural Rubber Latex–Modified Concrete Pavements: Evaluation and Design Approach. Journal of Materials in Civil Engineering, 34(9), 04022215.