

อิทธิพลของวงจรเปียกและแห้งต่อกำลังรับแรงอัดและโมดูลัสดินซีเมนต์ลูกรังผสมน้ำยาโพลิเมอร์
**Influence of wet and dry cycle on compressive strength and modulus of elasticity
of lateritic soil cement modified with polymer**

ประดิษฐ์ แสงเขียว¹

ดร. ก้องรัฐ นกแก้ว²

¹นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนครพนม

²อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนครพนม

Abstract

The pavement structure is one of the main structures affecting the power and durability of the road. This research studies the performance of lateritic soil-cement mixed with polymer to improve the long-term properties for use as base course. The influence of wet and dry cycle on compressive strength and elastic modulus was mainly investigated. The study showed that Polymer solution reduces water absorption at dry cycle for soil cement. Adding polymer solution could improve strength and elastic modulus, providing longer life-service for pavement.

Keywords: soil cement, polymer, compressive strength, wet and dry cycle, stress and strain

บทคัดย่อ

โครงสร้างชั้นพื้นทางถือเป็นหนึ่งในโครงสร้างหลักที่ส่งผลต่อกำลังและความคงทนของถนน งานวิจัยนี้ศึกษาสมรรถนะของลูกรังผสมดินซีเมนต์และปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลิเมอร์ในระยะยาวเพื่อใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง โดยศึกษาอิทธิพลของวงจรเปียกและแห้ง (Wet and dry cycle) ต่อค่ากำลังอัดแบบไม่จำกัดและปริมาณการสูญเสียมวลของดิน จากการศึกษาพบว่าน้ำยาโพลิเมอร์ช่วยลดการสูญเสียของดินที่ผ่านการทดสอบวงจรเปียกและแห้ง ช่วยลดการสูญเสียกำลังรับแรงอัดและเพิ่มค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์ตัวอย่าง โดยน้ำยาโพลิเมอร์จะช่วยเพิ่มแรงยึดเหนี่ยวระหว่างเม็ดดิน ช่วยปรับกำลังและความคงทนของดินลูกรังซีเมนต์ชั้นพื้นทาง ส่งผลให้อายุของถนนที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ดินซีเมนต์, น้ำยาโพลิเมอร์, กำลังรับแรงอัด, วัฏจักรเปียกสลับแห้ง, ความเค้นและความเครียด

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศที่ใช้ถนนเป็นคมนาคมหลักซึ่งในปัจจุบันมีปริมาณผู้ใช้ถนนเพิ่มมากขึ้นจึงมีการก่อสร้างและปรับปรุงซ่อมบำรุงเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องซึ่งวัสดุที่นำมาใช้ในการก่อสร้างถนนมีหลายชนิด เช่น ดินลูกรัง หินคลุก เป็นต้น และต้องผ่านข้อกำหนดตามมาตรฐานของกรมทางหลวง [1] ในปัจจุบันดินลูกรังที่ผ่านมาตรฐานนั้นมีจำนวนน้อยลงและหาได้ยากในบางครั้ง แหล่งวัสดุที่นำมาก่อสร้างนั้นมีอยู่อย่างจำกัดและมีราคาสูงต้องไปหาแหล่งที่อื่นทำให้การก่อสร้างบางโครงการต้องเสียค่าใช้จ่ายในการ

ขนส่งวัสดุที่สูงและเกินความจำเป็นจึงนำไปสู่ความล่าช้าในเรื่องเวลา ดังนั้นจำเป็นต้องมีวัสดุมาทดแทนหรือเทคนิคในการปรับปรุงคุณภาพดินโดยประเทศไทยนิยมใช้ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ซึ่งนำมาผสมกับดินซึ่งจะถูกรเรียกว่า "ดินซีเมนต์" เพื่อเป็นการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังเพื่อให้คุณสมบัติของวัสดุเช่นกำลังรับแรง การต้านทานการยุบตัวดี และความสามารถในการต้านทานการซึมน้ำดีขึ้น [1,2,3] อย่างไรก็ตามดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์จะมีกำลังรับแรงอัดที่สูงแต่ไม่สามารถรับแรงดึงได้ดี แต่ยังมีข้อจำกัดยังทนต่อสภาพแวดล้อม เช่นความชื้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงอย่างรุนแรงเช่นบริเวณที่มีน้ำใต้ดินหรือน้ำท่วมสูงในฤดูฝนและแห้งแล้งในฤดูแล้งได้ไม่ดีพอ เพื่อเป็นการพัฒนาการนำซีเมนต์มาปรับปรุงถนนให้ดียิ่งขึ้นจึงมีการพัฒนาวัสดุเชื่อมประสานชนิดใหม่ในการปรับปรุงคุณภาพของดินซึ่งวัสดุทางเลือกที่ใช้ในการปรับปรุงคุณภาพคือน้ำยาโพลีเมอร์ (Polymer) เป็นสารเชื่อมประสานที่จะช่วยลดข้อต่อของดินซีเมนต์ในเรื่องป้องกันการซึมผ่านน้ำใต้ดินเพิ่มความยืดหยุ่นของถนน [1]

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติกำลังรับแรงอัดและโมดูลัสของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลีเมอร์สังเคราะห์ เปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ที่ไม่ได้ปรับปรุงคุณภาพโดยพิจารณาถึงอิทธิพลของวงรอบเปียกสลับแห้งโดยรวมอิทธิพลของความชื้นและอุณหภูมิที่เปลี่ยนแปลงของตัวอย่างตามมาตรฐาน ASTM D559 [4] โดยผลที่ได้จากการทดสอบสมบัติด้านวิศวกรรมประกอบภาควิเคราะห์ผลกระทบต่อกำลังรับแรงอัดและค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์จากการใช้น้ำยาโพลีเมอร์สังเคราะห์เป็นสารผสมเพิ่ม และเป็นข้อพิจารณาในการนำน้ำยาโพลีเมอร์สังเคราะห์มาเป็นตัวช่วยผสมดินลูกรังกับซีเมนต์ เพื่อเป็นอีกหนึ่งทางเลือกในการใช้น้ำยาโพลีเมอร์สังเคราะห์ในงานก่อสร้าง

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำยาโพลีเมอร์เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินซีเมนต์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

[1] ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพดินลูกรังด้วยมาตรฐานด้วยวัสดุผสมซีเมนต์และโพลีเมอร์ โดยพิจารณาการพัฒนา กำลังรับแรงอัดแกนเดียว กำลังการรับแรงดัด และความสามารถในการดูดซึมน้ำของดินลูกรังด้วยมาตรฐานที่ผสมซีเมนต์ประเภทที่ 1 และโพลีเมอร์ ในการทำเป็นตัวเชื่อมประสานของดินลูกรัง โดยแทนที่ซีเมนต์ด้วยโพลีเมอร์ที่ 0, 5, 10, 15, 20% และที่อายุการบ่ม 7 และ 28 วัน จากผลการทดสอบพบว่าอัตราส่วนการแทนที่ด้วยโพลีเมอร์ 10% มีค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวที่ดีที่สุดและมีการพัฒนาการรับแรงดัดร่วมกับการซึมได้ของน้ำที่ต่ำ ดังนั้นด้วยอัตราส่วนที่เหมาะสมนี้จะสามารถนำไปใช้ในการรักษาเสถียรภาพดินลูกรังด้วยมาตรฐานสำหรับการใช้งานบนถนน

[5] ศึกษาเรื่องการพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติพื้นฐานของดินลูกรัง ได้ผลการทดลองเป็นค่าดังนี้คือ ค่าขีดเหลว (LL) 24.89%, ค่าขีดพลาสติก (PL) 14.82% ค่าดัชนีความเหนียว (PI) 10.07% ค่าความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบได้ 34.1% ค่ากำลังอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา 21.49 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทกำหนดให้ค่าความสึกหรอของวัสดุชนิดเม็ดหยาบไม่เกิน 60% ค่าขีดเหลว (LL) ไม่เกิน 35% และค่าดัชนีความเหลว (PI) ไม่เกิน 11% ค่ากำลังอัดของดินชั้น Base มากกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

[6] ได้ศึกษาอิทธิพลเปียกสลับแห้งของดินซีเมนต์ในกรณีปริมาณซีเมนต์สูง โดยผสมซีเมนต์ 4, 9 และ 13% จากนั้นนำไปทดสอบรอบเปียกสลับแห้งที่ 1, 3, 6 และ 12 รอบ ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ทุกอายุบ่มมีค่าลดลงตามจำนวนรอบเปียกสลับแห้งที่เพิ่มขึ้น กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 4% ไม่สามารถทนต่อสภาวะเปียกสลับแห้งได้ในขณะที่ตัวอย่างที่ผสมปูนซีเมนต์ 9 และ 13% มีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงและสามารถทนต่อสภาวะเปียกสลับแห้งได้ มีค่าสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานดินซีเมนต์จนถึง 12 รอบ

[7] ได้ศึกษาวัฏจักรเปื่อยสลับแห้งต่อกำลังของชั้นพื้นทางดินลูกรังปรับปรุงด้วยซีเมนต์ พบว่าการปรับปรุงด้วยซีเมนต์ส่งผลต่อการต้านทานการวิบัติของดินพื้นทางเนื่องจากวัฏจักรเปื่อยสลับแห้ง นอกจากนั้นกำลังรับแรงอัดยังเพิ่มขึ้นตามรอบเปื่อยสลับแห้งถึง 6 รอบเนื่องจากการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ยังไม่หมดในช่วง 7 วันจากนั้นกำลังมีแนวโน้มลดลงตามการเพิ่มจำนวนรอบเปื่อยสลับแห้ง

[8] ได้ศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์โพลิเมอร์สำหรับงานทาง โดยใช้มวลรวมคือหินคลุกและวัสดุผิวทางเก่า นำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์โพลิเมอร์ชนิดสไตรีนอะคริลิก (SA) และโพลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) จากนั้นทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (IDT) และการทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดินและการทดสอบความทนทาน (Durability Test) โดยวิธีเปื่อยสลับแห้ง ผลทดสอบพบว่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์โพลิเมอร์ทั้งสองประเภทของหินคลุกมีค่าสูงกว่าวัสดุผิวทางเก่า ตรงกันข้ามผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อมของวัสดุที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์โพลิเมอร์ทั้งสองประเภทของวัสดุผิวทางเก่ามีค่าสูงหินคลุก อีกทั้งผลการทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน และการทดสอบความทนทานของทั้งสองวัสดุ พบว่าการปรับปรุงมวลรวมด้วยซีเมนต์โพลิเมอร์ชนิดโพลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) ส่งผลดีในด้านการทนทานความชื้น

[9] ได้ศึกษาการประเมินประสิทธิภาพระยะยาวและความคงทนของวัสดุชั้นพื้นทางปรับปรุงคุณภาพด้วยซีเมนต์และโพลิเมอร์ในห้องปฏิบัติการ โดยใช้หินคลุกผสมซีเมนต์ (PMC) หินคลุกผสมซีเมนต์โพลิเมอร์สไตรีนอะคริลิก (PMCSA) และ หินคลุกผสมซีเมนต์โพลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน (PMCSBR) โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อโพลิเมอร์ 50:50 จากนั้นบ่มตัวอย่าง 7 วัน นำไปทดสอบเปื่อยสลับแห้งและทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว โดยผลการทดสอบแบบทำลายตัวอย่างพบว่าทั้ง 3 วัสดุเมื่อผ่านการทดสอบเปื่อยสลับแห้งวัสดุจะมีการพัฒนากำลังในช่วง 0-6 cycles และหลังจากนั้นวัสดุจะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงโดย PMC ลดลง 20% PMCSA ลดลง 38% และ PMCSBR ลดลง 14%

[10] ศึกษาผลกระทบของสภาพเปื่อยสลับแห้งต่อกำลังรับแรงอัดของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอย โดยปริมาณซีเมนต์ที่ใช้ผสมมีค่าเท่ากับ 5, 7, 9 และ 11% โดยมวล และปริมาณเถ้าลอยที่ใช้ผสมมีค่าเท่ากับ 10, 20 และ 30% โดยมวล ใช้สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ความเข้มข้นเท่ากับ 10 โมลาร์ และอัตราส่วนโซเดียมซิลิเกตต่อโซเดียมไฮดรอกไซด์ที่แตกต่างกันในการเตรียมจีโอโพลิเมอร์ อายุบ่ม 2, 7 และ 28 วัน ที่อุณหภูมิห้องกำลังรับแรงอัดของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอย พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยมีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นตามระยะเวลาบ่มและปริมาณวัสดุที่ใช้ในการผสม และผลการทดสอบด้วยวิธีเปื่อยสลับแห้ง พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์มีแนวโน้มลดลงเมื่อผ่านสภาพเปื่อยสลับแห้ง เนื่องจากเกิดความพรุนจากสภาพเปื่อยสลับแห้งและมีการสูญเสียมวลเท่ากับ 11.06% ค่ากำลังรับแรงอัดของดินที่ปรับปรุงด้วยจีโอโพลิเมอร์จากเถ้าลอยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อผ่านสภาพเปื่อยสลับแห้ง

3. วัสดุและวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลิเมอร์ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่ 5% ของน้ำหนักดินและผสมน้ำยาโพลิเมอร์ที่ 0, 5 และ 10% ของน้ำหนักน้ำที่ใช้ผสมตัวอย่างดินซีเมนต์ ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการบดอัดดินซีเมนต์แบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ตามมาตรฐานการทดสอบ มทช.(ท) 501.1-2545 [11] โดยผสมน้ำยาโพลิเมอร์ผสมรวมกับน้ำให้ได้เท่ากับปริมาณน้ำที่ความแน่นแห้งสูงสุด (OMC) ที่ 10% ของน้ำหนักมวลรวม ผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างดินซีเมนต์บดอัด 3 ตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากนั้นห่อตัวอย่างในถุงพลาสติกและบ่มเป็นเวลา 7 วัน ที่อุณหภูมิห้อง ผลทดสอบที่ได้จะนำมาสร้างความสัมพันธ์ระหว่างวัฏจักรเปื่อยสลับแห้งต่อความเค้นและความเครียด, วัฏจักรเปื่อยสลับแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงน้ำหนักของตัวอย่าง, วัฏจักรเปื่อยสลับแห้งต่อกำลังรับแรงอัด เพื่อ

(Research article)**Journal of Engineering Technology Access**

เปรียบเทียบกับผลทดสอบของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ที่ไม่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ และศึกษาอิทธิพลของการเติมน้ำยาโพลีเมอร์ต่อคุณสมบัติของดินซีเมนต์ในรูปแบบต่างๆ ดังรูปที่ 3.1

3.1 วัสดุ

3.1.1. ดินลูกรัง

ในการศึกษานี้ได้ใช้วัสดุดินลูกรังจากแหล่งดิน ต.หนองญาติ อ.เมือง จ.นครพนม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (C_u) และค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง (C_c) ได้เท่ากับ 13.33 และ 3.33 ตามลำดับ โดยที่ค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอมีค่ามากกว่า 4 และค่าสัมประสิทธิ์ความโค้งมีค่ามากกว่า 3 จัดอยู่ใน Group Symbols GP Poorly Graded Gravels แสดงว่าดินมีขนาดคละกันไม่ดี และค่า Liquid Limit (LL) มีค่า 38.95% Plastic Limit (PL) มีค่า 30.04% และ Plasticity Index (PI) มีค่า 8.91% ตามลำดับ

3.1.2. ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นส่วนผสมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน มอก.15 ประเภท 1

3.1.3. น้ำยาโพลีเมอร์

Renolith เป็นน้ำยาเคมีที่มีสารโพลีเมอร์ลาเท็กซ์และเซลลูโลสเป็นองค์ประกอบหลักสารโพลีเมอร์ในส่วนผสม Renolith ที่มีสมบัติเป็นกาวยาเหนียวที่ช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะของปูนซีเมนต์กับดินหรือวัสดุอื่นๆ เช่น หิน กรวด ทราย ช่วยให้เกิดการเชื่อมประสานของปูนซีเมนต์กับดินเมื่อผ่านการบดอัดทำให้ดินมีความแข็งแรงคล้ายคอนกรีต มีสมบัติพื้นฐานแสดงดังตารางที่ 3.3

ตารางที่ 3.1 อัตราส่วนผสมของดินลูกรังต่อปูนซีเมนต์ (1 ตัวอย่าง)

ปูนซีเมนต์ (%)	ปูนซีเมนต์ (kg)	ดินลูกรัง (kg)	น้ำ (kg)
0	0	4	0.4
5	0.2	4	0.4

หมายเหตุ ตัวอย่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% (C5)

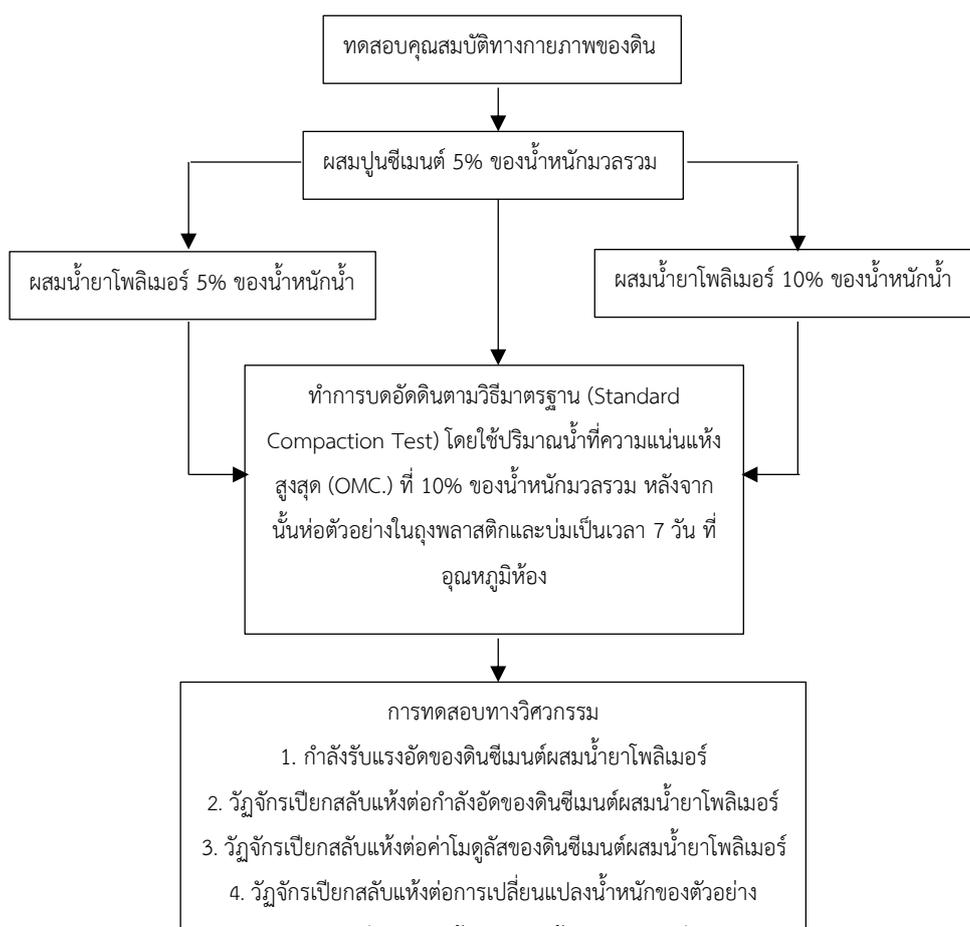
ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลีเมอร์กับปริมาณน้ำ (1 ตัวอย่าง)

น้ำยาโพลีเมอร์ (%)	ปริมาณน้ำที่ใช้ (kg)	ปริมาณน้ำยาโพลีเมอร์ที่ใช้ (kg)
0	0.4	0
5	0.38	0.02
10	0.36	0.04

หมายเหตุ ตัวอย่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% ผสมโพลีเมอร์ 0% (C5P0), ตัวอย่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% ผสมโพลีเมอร์ 5% (C5P5), ตัวอย่างดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ 5% ผสมโพลีเมอร์ 10% (C5P10)

ตารางที่ 3.3 สมบัติพื้นฐานของน้ำยาโพลิเมอร์

คุณสมบัติของน้ำยาโพลิเมอร์ (POLYMER INGREDIENT)	
ปริมาณ Acrylic resin	< 5%
ปริมาณ Calcium Salt	<8%
ปริมาณ Mineral oil	<1
ปริมาณ cellulose	< 2%
การละลายน้ำ	กระจายน้ำในตัว
จุดเดือด	100 C°
ความถ่วงจำเพาะที่ 25 C°	1.00-1.02
ค่า PH ที่ 25 C°	11.0 - 12.5
ค่าความหนืด ที่ 25 C°	1,200 - 2,000 CPS



รูปที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบดินซีเมนต์

3.2. การเตรียมตัวอย่าง

3.2.1. การเตรียมตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัด

ทำการเตรียมดินลูกรัง น้ำ นํ้ายาโพลิเมอร์ และปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนตามที่ออกแบบไว้ดังตารางที่ 3.1 และตารางที่ 3.2 จากนั้นทำการผสมดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน แล้วจึงทำการเติมนํ้าและนํ้ายาโพลิเมอร์ลงไป จากนั้นผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ทำการเตรียมโมลด์สำหรับตัวอย่างกำลังรับแรงอัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.14 เซนติเมตร และสูง 11.80 เซนติเมตร จากนั้น นำส่วนผสมทั้งหมดที่ผสมเข้ากันแล้วใส่ลงไปในโมลด์แล้วทำการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน (Standard Compaction Test) หลังจากทำการบดอัดเป็นที่เรียบร้อยแล้วนำตัวอย่างออกจากโมลด์โดยใช้แม่แรงดันก่อนตัวอย่างออกและทำการห่อก้อนตัวอย่างด้วยถุงพลาสติกหรือไวนิล ป้องกันความชื้น แล้วนำก้อนตัวอย่างที่ห่อแล้วไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 วัน โดยก่อนการทดสอบต้องมีการแช่นํ้าก่อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล-ม.206/2532 [12]

3.2.2. การเตรียมตัวอย่างทดสอบวงรอบเปียกสลับแห้งของดินซีเมนต์ผสมนํ้ายาโพลิเมอร์

หลังจากผ่านการเตรียมตัวอย่างดินในข้อ 3.2.1. ในช่วงสุดท้ายของการจัดเก็บในห้องความชื้น นำตัวอย่างลงในภาชนะบรรจุน้ำที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อย 5 ชั่วโมง จากนั้นบันทึกมวลของตัวอย่าง ดังรูปที่ 3.2 นำตัวอย่างที่ครบ 7 วัน มาทำการทดสอบกำลังรับแรงอัด 1 ชุด เพื่อหาค่าความแตกต่างที่อายุบ่ม 7 วัน ที่ผ่านรอบเปียกสลับแห้ง 3, 6, 9 และ 15 รอบ เพื่อให้ทราบผลในแต่ละรอบและนำไปคำนวณหาค่ากำลังรับแรงอัดที่แตกต่างของแต่ละรอบ การทดสอบแต่ละรอบทำได้โดยการวางดินตัวอย่างทั้ง 3 ตัวอย่างลงในเตาที่อุณหภูมิ 160 °F (70 °C) เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และนำออกมาจากเตาวัดและบันทึกน้ำหนักของตัวอย่าง ตามมาตรฐาน ASTM D559 ดังรูปที่ 3.3



3.2 การแช่ตัวอย่างในน้ำ 5 ชั่วโมงก่อนหาปริมาณน้ำ

รูปที่ 3.3 การอบก้อนตัวอย่างเพื่อหาปริมาณน้ำที่วงรอบแห้งที่วงรอบเปียก

จากนั้นออกแรงกดเบา ๆ บนตัวอย่างด้วยแปรงขัดโดยถือแปรงขัดขนานกับแนวยาวของดินตัวอย่างหรือขนานกับปลายก้อนดินเพื่อให้เกิดรอยทั่วดินตัวอย่างออกแรงทั้งตามความกว้างและความสูงของดินตัวอย่างอย่างสม่ำเสมอ ทำให้เกิดรอยแปรง 18 ถึง 20 รอยเพื่อให้ครอบคลุมทั้งสองด้านของดินตัวอย่างและรอยแปรงสักรอบบนปลายก้อนดินแต่ละก้อนดังรูปที่ 3.4 กระบวนการที่ทำให้เปียกและทำให้แห้ง 1 รอบ (48 ชั่วโมง) ต่อการแช่ตัวอย่างในน้ำ 5 ชั่วโมง และทำตามกระบวนการจำนวน 15 รอบ หลังจาก

(Research article)**Journal of Engineering Technology Access**

ทดสอบครบ 15 รอบ อดดินตัวอย่างให้แห้งเพื่อให้น้ำหนักมีค่าคงที่ด้วยอุณหภูมิ 230 °F (110 °C) วัดและบันทึกน้ำหนักของดินตัวอย่าง ข้อมูลที่รวบรวมไว้จะใช้ในการคำนวณการเปลี่ยนแปลงปริมาตรและส่วนประกอบที่เป็นน้ำของดินตัวอย่าง และการสูญเสียมวลของดินหลังจากการทดสอบจำนวน 15 รอบ



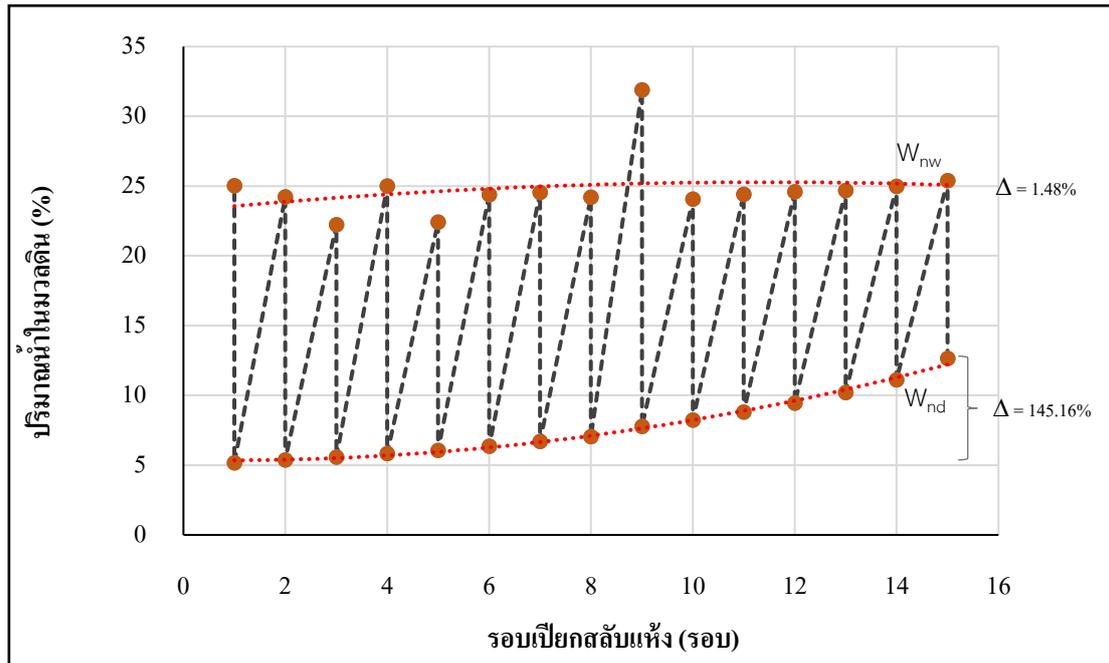
รูปที่ 3.4 การทำรอยบนตัวอย่างด้วยแปรงขัด

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

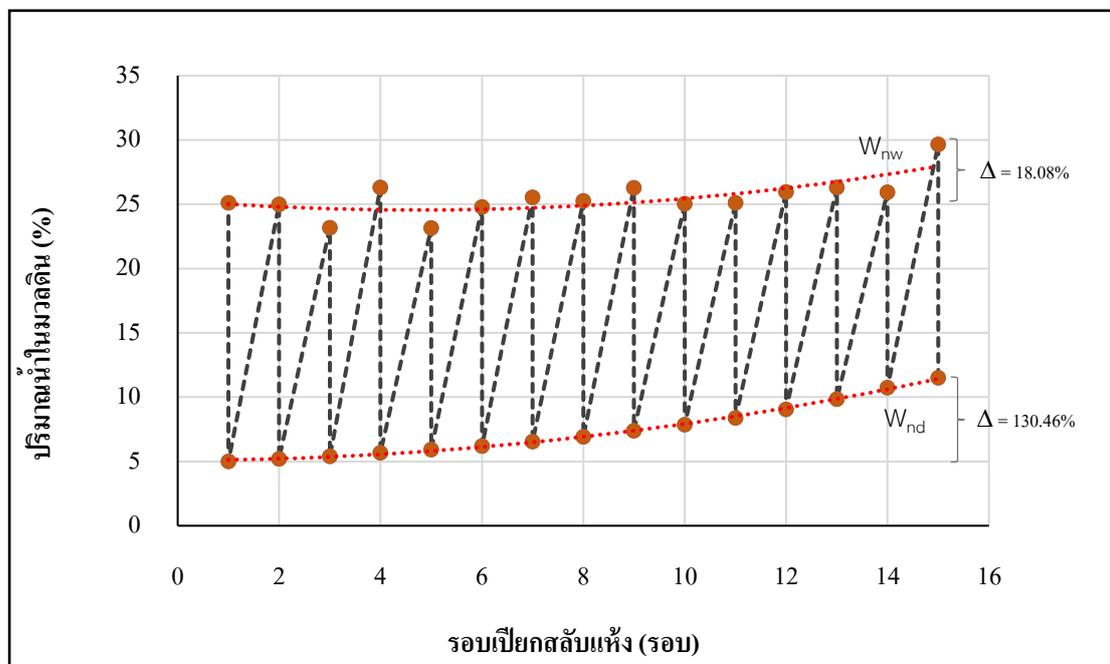
4.1. ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดิน

คือกระบวนการที่เกิดขึ้นเมื่อน้ำถูกเพิ่มเข้าสู่ดิน (เปียก) และเมื่อน้ำถูกกลดออกจากดิน (แห้ง) ซึ่งส่งผลให้ปริมาณน้ำในดินเปลี่ยนแปลงไปตามแต่ละรอบของวัฏจักรนี้ เป็นกระบวนการที่สัมพันธ์กับการเปลี่ยนแปลงปริมาณน้ำในดินและส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเคมีของดินซีเมนต์ ดังนั้นวงจรรอบเปียกสลับแห้งเป็นปัจจัยที่มีผลต่อพฤติกรรมและคุณสมบัติของวัสดุในงานวิศวกรรมและสภาพแวดล้อม โดยเฉพาะเมื่อดินซีเมนต์ผสมกับน้ำยาโพลีเมอร์หรือสารอื่นๆ ที่มีความสัมพันธ์กับการเก็บความชื้นในดินด้วย

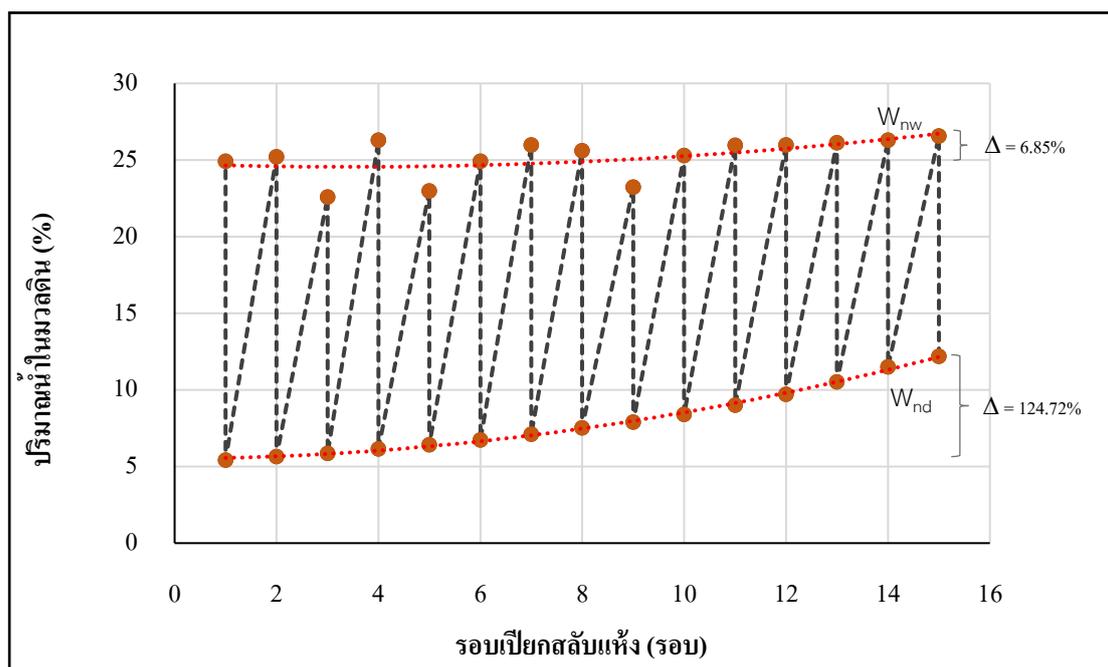
จากรูปที่ 4.1 รูปที่ 4.2 และ รูปที่ 4.3 แสดงปริมาณร้อยละของความชื้นตัวอย่างในแต่ละรอบเปียกสลับแห้ง 2 กรณีคือ ที่ความชื้นขณะแห้ง (Water content at dry cycle, W_{nd}) วัดได้หลังจากนำตัวอย่างขึ้นจากแช่น้ำและอบตัวอย่างที่ 70 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 48 ชั่วโมง และที่ขณะเปียก (Water content at wet, cycle W_{nw}) วัดทันทีหลังจากนำตัวอย่างขึ้นจากแช่น้ำ 5 ชั่วโมง ผลการทดสอบพบว่าค่าปริมาณน้ำหรือความชื้นขณะแห้ง (W_{nd}) ของตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์และที่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ 5 และ 10% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามจำนวนรอบการทดสอบตั้งแต่รอบที่ 1 ถึงรอบที่ 15 อย่างมีนัยสำคัญ เนื่องจากขณะที่ตัวอย่างผ่านวงจรรอบเปียกสลับแห้งจะเกิดการสูญเสียมวลของดินที่เป็นของแข็งทำให้เกิดช่องว่างหรือโพรงในดินมากขึ้นทำให้น้ำซึมเข้าไปแทนที่ช่องว่างในก้อนตัวอย่างจึงส่งผลให้ค่าความชื้นของตัวอย่างเพิ่มขึ้น [7] และความชื้นในขณะเปียก (W_{nw}) มีค่าไม่เปลี่ยนแปลงมากนักซึ่งเพิ่มขึ้นไม่มากนักเนื่องมาจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างซีเมนต์กับน้ำที่ดูดซึมในสภาพเปียกจึงทำให้อ่อนตัวอย่างมีความที่บน้ำมากขึ้นจึงส่งผลให้ค่าความชื้นเพิ่มขึ้นเล็กน้อย [7]



รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ (%) ของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีปริมาณซีเมนต์ 5% ที่วางรอบเปียกสลับแห้งต่างๆ



รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ (%) ของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีปริมาณซีเมนต์ 5% นํ้ายาโพลีเมอร์ 5% ที่วางรอบเปียกสลับแห้งต่างๆ



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำ (%) ของตัวอย่างดินซีเมนต์ที่มีปริมาณซีเมนต์ 5% น้ำยาโพลีเมอร์ 10% ที่วิ่งรอบเปียกสลับแห้งต่างๆ

ตารางที่ 4.1 ปริมาณการเปลี่ยนแปลงของค่า W_{nd} และ W_{nw} ของดินซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ที่ผ่านวงรอบเปียกสลับแห้ง 15 รอบ

รอบเปียกสลับแห้ง (รอบ)	ปริมาณโพลีเมอร์ (%)					
	0		5		10	
	ΔW_{nd} (%)	ΔW_{nw} (%)	ΔW_{nd} (%)	ΔW_{nw} (%)	ΔW_{nd} (%)	ΔW_{nw} (%)
1-15	145.16	1.48	130.46	18.08	124.72	6.85

หมายเหตุ ค่าความแตกต่างของปริมาณน้ำหรือความชื้นของตัวอย่างรอบที่ 1 กับรอบที่ 15 แทนด้วยค่าเดลตา (Δ)

อิทธิพลของน้ำยาโพลีเมอร์ต่อการดูดซับน้ำของดินซีเมนต์เกี่ยวข้องกับความสามารถของน้ำยาโพลีเมอร์ในการเก็บและรักษาไว้ในดิน น้ำยาโพลีเมอร์มีโครงสร้างที่สามารถเก็บน้ำได้ ดังนั้นเมื่อน้ำยาโพลีเมอร์ถูกผสมเข้ากับดินซีเมนต์อิทธิพลที่เกิดขึ้นจะมีความเกี่ยวข้องกับการเพิ่มหรือลดปริมาณน้ำที่ดินซีเมนต์สามารถเก็บและรักษาไว้ได้ ดังตารางที่ 4.1 การเปลี่ยนแปลงของค่า W_{nd} และ W_{nw} ของดินซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ที่ผ่านวงรอบเปียกสลับแห้ง 1 ถึง 15 รอบ พบว่าค่าความชื้นขณะแห้งของตัวอย่าง ΔW_{nd} มีแนวโน้มลดลงต่อเนื่องอย่างมีนัยสำคัญ เมื่อปริมาณการผสมน้ำยาโพลีเมอร์เพิ่มขึ้นที่ 5 และ 10% ตามลำดับ เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ เนื่องมาจากการเพิ่มปริมาณน้ำยาโพลีเมอร์ในดินซีเมนต์อาจทำให้เกิดความหนาแน่นของตัวอย่างเพิ่มขึ้นทำให้พื้นผิวดินที่สามารถดูดซับน้ำได้ลดลง [1] การที่ดินมีความหนาแน่นมากขึ้น อาจจะทำให้ช่องว่างที่สามารถเก็บรักษาน้ำลดน้อยลง และในส่วนของความชื้นขณะเปียกของตัวอย่าง ΔW_{nw} มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อย เพราะฉะนั้นเมื่อผสมน้ำยาโพลีเมอร์ในปริมาณที่มากขึ้นการดูดซับน้ำของดินซีเมนต์อาจลดลงดังค่า ΔW_{nd} เนื่องจากสมบัติของน้ำยาโพลีเมอร์ที่สร้างประสิทธิภาพในการเก็บรักษาน้ำในดินและน้ำยาโพลีเมอร์มีความเหนียวหนืดจึงไปช่วยลดช่องว่างที่สูญเสียมวลดินจากการทดสอบรอบเปียกสลับแห้ง [1] อย่างไรก็ตาม

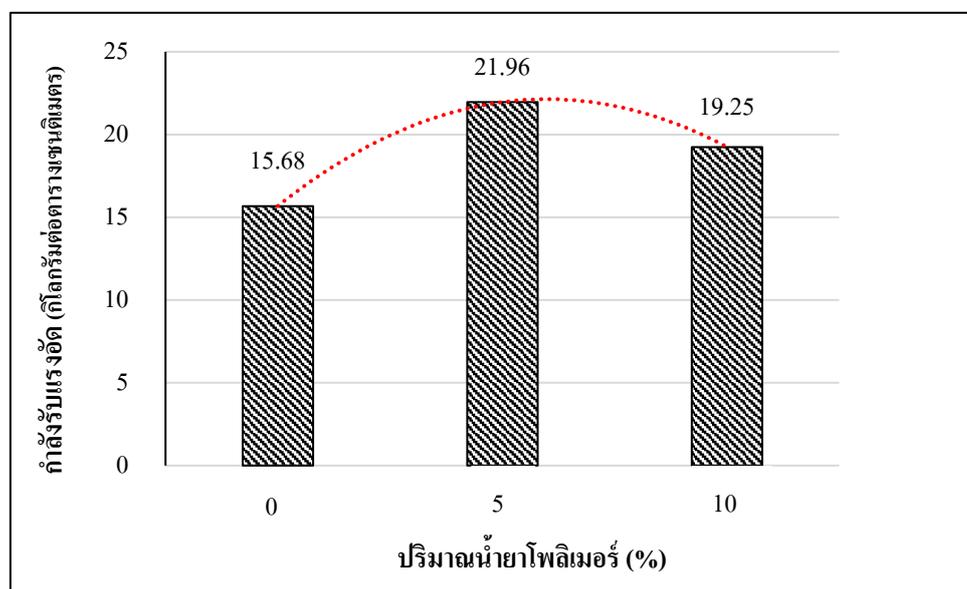
(Research article)**Journal of Engineering Technology Access**

การที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมยังช่วยทำให้ดินมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นลดการสูญเสียมวลดินจากวงรอบแห้งเปียก เป็นผลดีต่อดินซีเมนต์ในระยะยาว

4.2. กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์

คือความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์เกี่ยวข้องกับปริมาณและลักษณะของน้ำยาโพลิเมอร์ที่ถูกใช้ในการผสมกับดินและสภาวะทางธรรมชาติของดินซีเมนต์เอง ความสัมพันธ์นี้มีผลต่อความแข็งแรงและความทนทานของดินเมื่อเผชิญกับแรงอัดหรือการกดทับ ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์สามารถใช้ในการประเมินความแข็งแรงและความทนทานของดินเมื่อเผชิญกับแรงกระทำ เช่น ในโครงการก่อสร้างทางหลวง สะพาน อาคาร และโครงสร้างอื่นๆ ที่ต้องรับแรงอัดหรือแรงบีบเป็นประจำ ค่านี้ช่วยในการออกแบบและคำนวณความเหมาะสมของดินในการใช้งานตามเงื่อนไขและสภาวะที่ต่างกันไป

จากรูปที่ 4.4 กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5% ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 0, 5 และ 10% ที่อายุบ่ม 7 วัน จากการศึกษาพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 5% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เมื่อเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ เมื่อผสมน้ำยาโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นที่ 10% จะส่งผลให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลง อย่างไรก็ตาม แม้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ที่ 10% จะลดลง แต่เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์แล้วยังคงให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าตัวอย่างที่ไม่ผสม ซึ่งในส่วนกำลังรับแรงอัดที่ลดลงเมื่อปริมาณน้ำยาโพลิเมอร์เพิ่มขึ้นในช่วง 10-15% เนื่องจากคุณสมบัติของน้ำยาโพลิเมอร์มีความเหนียวหนืดส่งผลให้ดินจับตัวกันเป็นก้อนทำให้ดินไม่เป็นเนื้อเดียวกัน [1] อาจส่งผลด้านกำลังของตัวอย่างดินซีเมนต์ เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับมาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ ทล.ม.204/2533 [13] ซึ่งกำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าตัวอย่างที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 5 และ 10% ผ่านเกณฑ์มาตรฐานทั้ง 2 ตัวอย่าง

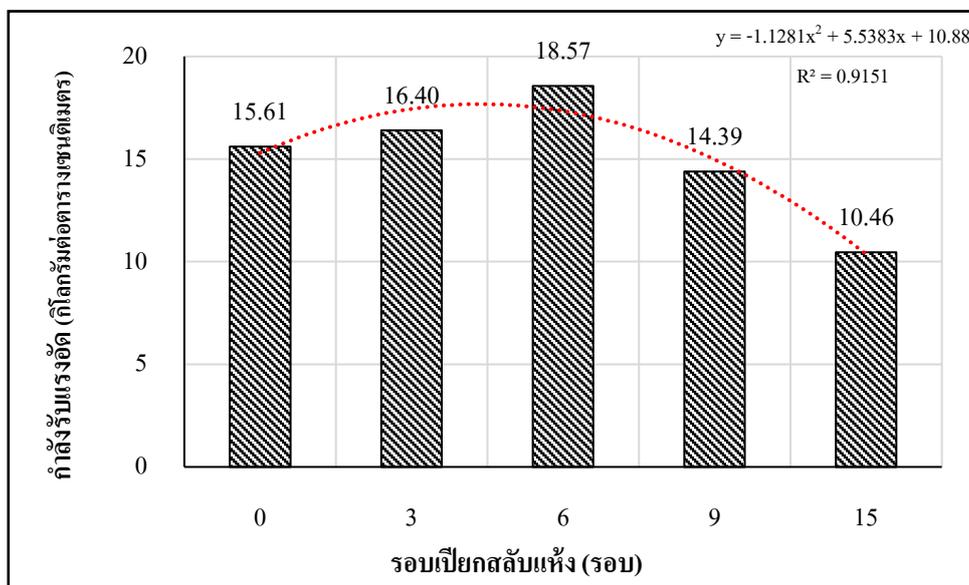


รูปที่ 4.4 กำลังรับแรงอัดดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ 5% ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ ที่อายุบ่ม 7 วัน

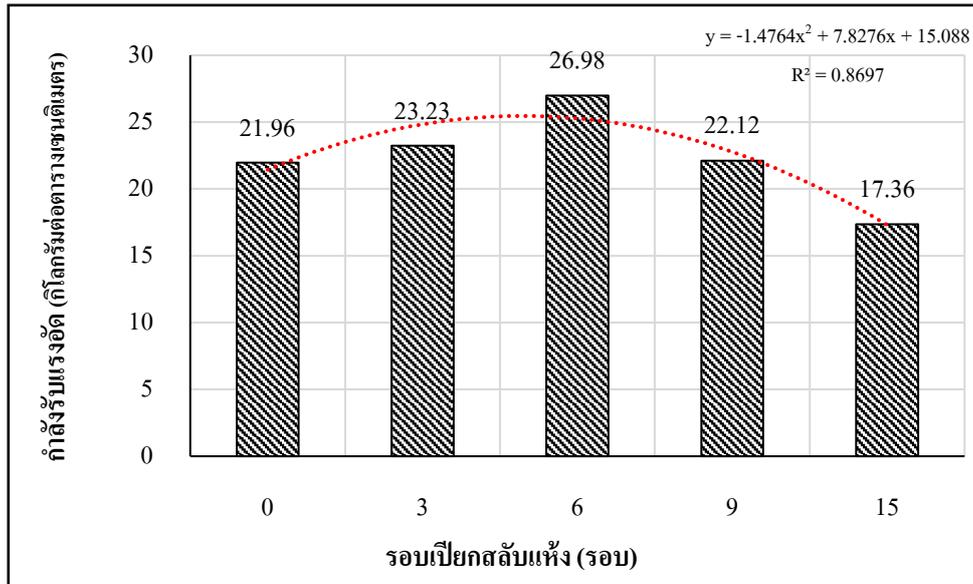
4.3. ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์

อิทธิพลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์เกี่ยวข้องกับความเปลี่ยนแปลงค่าน้ำหนักและความชื้นของดินในแต่ละรอบ การเปลี่ยนแปลงนี้สามารถส่งผลต่อความแข็งแรงและความทนทานของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์เมื่อเผชิญกับแรงอัดหรือการกดทับในระหว่างการก่อสร้างหรือขณะใช้งาน

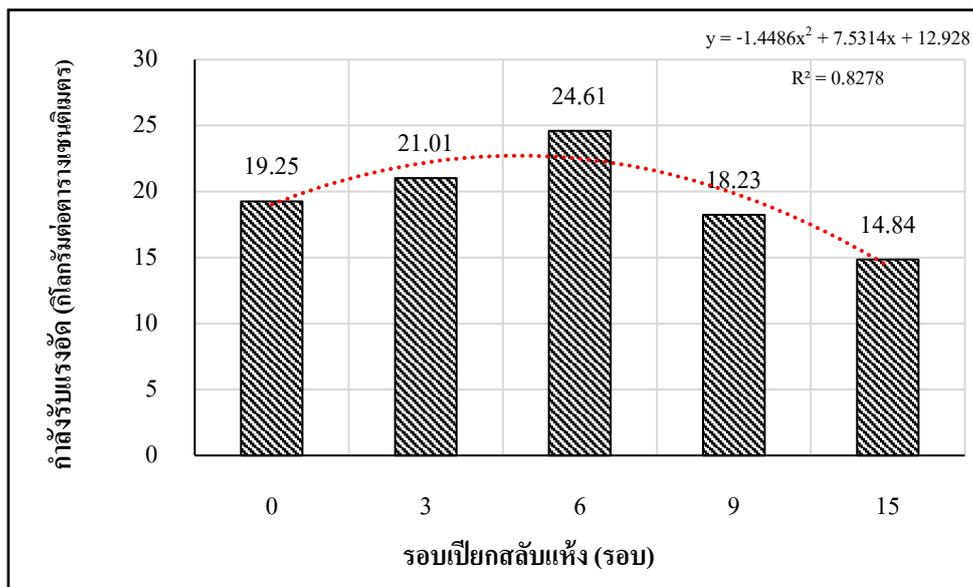
จากรูปที่ 4.5 รูปที่ 4.6 และ รูปที่ 4.7 กำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังที่ผสมซีเมนต์ 5% ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 0, 5 และ 10% ที่อายุบ่ม 7 วัน ทั้ง 3 อัตราส่วนผสมหลังจากผ่านรอบเปียกสลับแห้ง ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่รอบที่ 3 ถึงรอบที่ 6 และในรอบที่ 6 ให้ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด จากนั้นค่ากำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นมากกว่า 6 รอบ ซึ่งทั้ง 3 อัตราส่วนผสมมีค่ากำลังรับแรงอัดไปในทิศทางเดียวกัน ซึ่งการเพิ่มกำลังรับแรงอัดที่ในช่วง 3 ถึง 6 รอบนั้น เนื่องจากซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำในช่วง 7 วันยังไม่หมด เมื่อผ่านรอบอบแห้งน้ำในตัวอย่างถูกไล่ออกด้วยความร้อนและเมื่อผ่านรอบเปียก น้ำที่ซึมเข้าตัวอย่างเข้าไปทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ที่เหลือทำให้โครงสร้างดินแน่นขึ้น [7] ดังนั้นกระบวนการทำปฏิกิริยาของซีเมนต์เข้าร่วมไปถึงความดันที่เป็นลบจาก Suction force ส่งผลให้ตัวอย่างที่ผ่านรอบเปียกสลับแห้งมีกำลังอัดที่สูงขึ้น [14] อย่างไรก็ตามเมื่อรอบการทดสอบเพิ่มขึ้นที่ 6 ถึง 15 รอบพันธะเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินเริ่มถูกทำลายส่งผลให้ความพรุนเพิ่มมากขึ้น เมื่อน้ำซึมเข้าตัวอย่างได้มากขึ้นแรงดูดจึงมีค่าลดลง ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของก้อนตัวอย่างลดลง [7] ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นและลดลงของแต่ละตัวอย่าง สามารถแสดงได้จากสมการพาราโบลากำลังสองดังนี้คือ ตัวอย่างที่ไม่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ $y = -1.1281x^2 + 5.5383x + 10.88$, $R^2 = 0.9151$ ส่วนตัวอย่างที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 5% ได้เท่ากับ $y = -1.4764x^2 + 7.8276x + 15.088$, $R^2 = 0.8697$ และตัวอย่างที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 10% ได้เท่ากับ $y = -1.4486x^2 + 7.5314x + 12.928$, $R^2 = 0.8278$ ตามลำดับ



รูปที่ 4.5 กำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์ 5% ที่จำนวนรอบเปียกสลับแห้งต่างๆ



รูปที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์ 5% และน้ำยาโพลีเมอร์ 5% ที่จำนวนรอบเปียกสลับแห้งต่างๆ



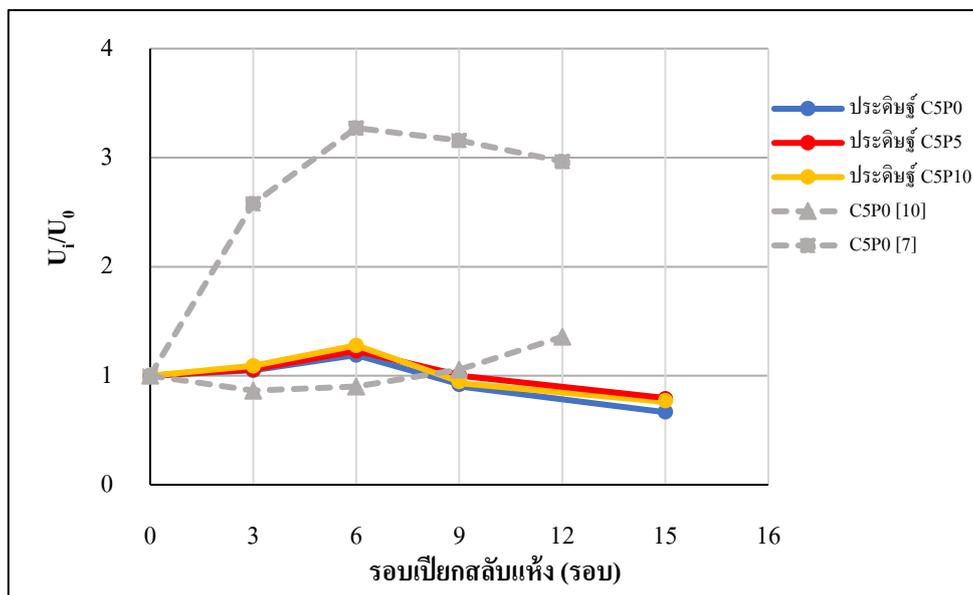
รูปที่ 4.6 กำลังรับแรงอัดของส่วนผสมที่มีปริมาณซีเมนต์ 5% และน้ำยาโพลีเมอร์ 10% ที่จำนวนรอบเปียกสลับแห้งต่างๆ

ตารางที่ 4.2 กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ 5% ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ 5 และ 10% ผ่านรอบเปียกสลับแห้ง

ตัวอย่าง	รอบเปียกสลับแห้ง (รอบ)				
	0	3	6	9	15
ดินซีเมนต์ 5%	15.61 (ksc.)	16.40 (ksc.)	18.57 (ksc.)	14.39 (ksc.)	10.46 (ksc.)
ดินซีเมนต์ 5% น้ำยาโพลีเมอร์ 5%	21.96 (ksc.)	23.23 (ksc.)	26.98 (ksc.)	22.12 (ksc.)	17.36 (ksc.)

ดินซีเมนต์ 5% น้ำยาโพลีเมอร์ 10%	19.25 (ksc.)	21.01 (ksc.)	24.61 (ksc.)	18.23 (ksc.)	14.84 (ksc.)
----------------------------------	--------------	--------------	--------------	--------------	--------------

วัฏจักรเปียกสลับแห้งจะส่งผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลีเมอร์โดยทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นหรือลดลงขึ้นอยู่กับสถานะความชื้นของดินในแต่ละรอบ ตารางที่ 4.2 แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ 5% ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ 0, 5 และ 10% ที่รอบเปียกสลับแห้ง 1 ถึง 15 รอบ ซึ่งจะเห็นว่าค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ที่ 5% ให้กำลังรับแรงอัดสูงที่สุดในทุกสถานะ และเมื่อเพิ่มปริมาณน้ำยาโพลีเมอร์เป็น 10% ค่ากำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ 10% ที่ลดลงนั้น ยังคงมีค่าสูงกว่าดินซีเมนต์ที่ไม่ผสมน้ำยาโพลีเมอร์ในสถานะเดียวกัน ดังนั้นการผสมน้ำยาโพลีเมอร์ในปริมาณที่เหมาะสมเข้ากับดินซีเมนต์สามารถเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของดินให้ดีขึ้นรวมถึงค่ากำลังรับแรงอัดจะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น



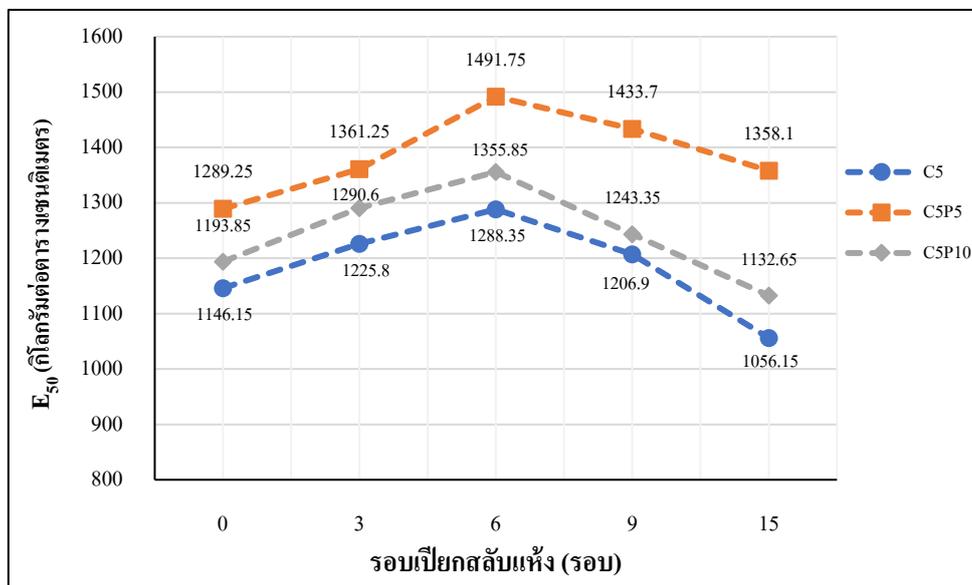
รูปที่ 4.8 อัตราส่วนค่ากำลังอัดของการทดสอบเปียกสลับแห้งที่วงรอบต่างๆ ต่อกำลังรับแรงอัดที่ไม่ผ่านวงรอบแห้งสลับเปียก (U_i/U_0) ที่ปริมาณซีเมนต์ 5 %

จากรูปที่ 4.8 แสดงค่าอัตราส่วนกำลังรับแรงอัดแต่ละวงรอบต่อกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่ไม่ผ่านการทดสอบวงรอบแห้งสลับเปียก (U_i/U_0) ของดินซีเมนต์ที่ผ่านรอบเปียกสลับแห้ง 1 ถึง 15 รอบ ที่อายุบ่ม 7 วัน ของ 5 ชุดข้อมูล พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของชุดข้อมูล ประติษฐ์ C5P0, C5P5 และ C5P10 มีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นในช่วง 3 ถึง 6 รอบแรก และจะลดลงเมื่อจำนวนรอบเพิ่มขึ้น จะมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 1.00 – 1.50 หาได้จากการนำค่ากำลังรับแรงอัดที่ผ่านรอบเปียกสลับแห้งใด ๆ (U_i) หารด้วยค่ากำลังรับแรงอัดที่ไม่ผ่านรอบเปียกสลับแห้ง (U_0) ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดจะสอดคล้องกับชุดข้อมูล C5P0 [7] ที่มีแนวโน้มของกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้น 3 ถึง 6 รอบแรกและจะลดลงเช่นเดียวกัน ซึ่งมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 1.00 – 3.00 คิดเป็น 2 เท่าของชุดข้อมูลประติษฐ์ และเมื่อนำชุดข้อมูลประติษฐ์ C5P0, C5P5 และ C5P10 มาเปรียบเทียบกับชุดข้อมูล C5P0 [10] พบว่ามีค่าอัตราส่วนการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกันมีอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้นระหว่าง 1.00 - 1.50

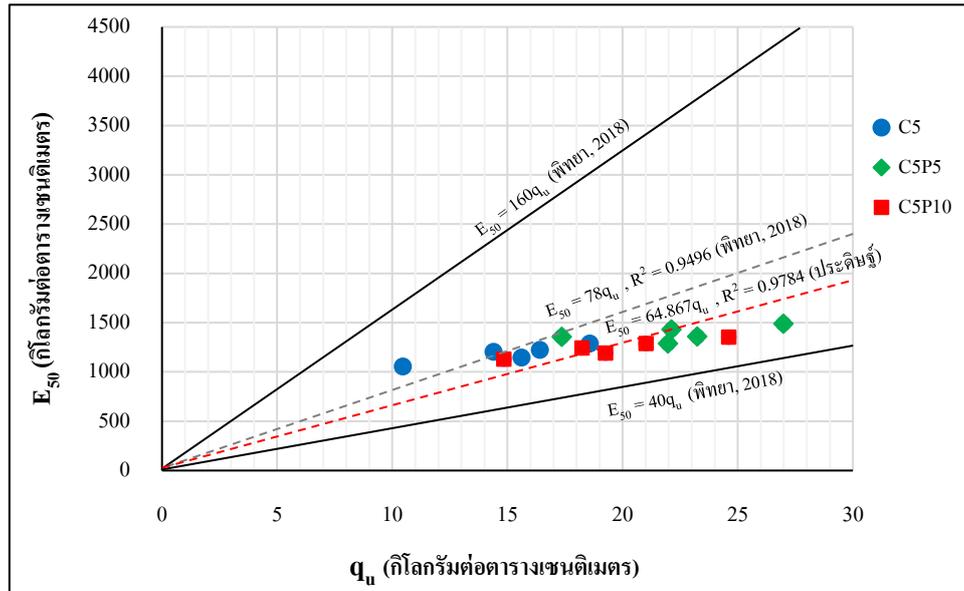
4.4. ผลของวัฏจักรเปียกสลับแห้งต่อค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์ผสมน้ำยาโพลิเมอร์

สมบัติที่สำคัญอย่างหนึ่งของดินซีเมนต์นั้นคือความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นกับความเครียด โดยหาได้จากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด ซึ่งเป็นวิธีที่ยอมรับได้เนื่องจากมีค่าต่ำกว่าค่าที่ได้จากการทดสอบในสนาม 4 หรือ 5 เท่า อย่างไรก็ตามมีผู้รายงานว่าค่าโมดูลัสความเค้นมีความเหมาะสมสำหรับใช้ประเมินค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในช่วงของการรับน้ำหนักในสนาม [15] จากเหตุผลดังกล่าวจึงได้ประมาณค่า E_{50} (โมดูลัสความเค้น) ตามขั้นตอนที่ [16] แนะนำไว้โดย E_{50} คำนวณจากความลาดเอียงของเส้นตรงที่ลากจากจุดกำเนิดไปยังความเค้นที่หาไว้ก่อน ณ จุดซึ่งมีค่าความเครียดสูงสุดเท่ากับร้อยละ 50 (จากการทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัด) **รูปที่ 4.9** พบว่าค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์ที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 5 และ 10% มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อนำมาเทียบกับดินซีเมนต์ที่ไม่ผสมโพลิเมอร์ และจะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์ที่ไม่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์และที่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ 5 และ 10% ทั้ง 3 อัตราส่วนผสม มีแนวโน้มเพิ่มขึ้นในช่วงรอบที่ 3 ถึงรอบที่ 6 เนื่องจากซีเมนต์ทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำในช่วง 7 วันยังไม่หมด น้ำที่ซึมเข้าตัวอย่างเข้าทำปฏิกิริยากับซีเมนต์ที่เหลือทำให้โครงสร้างดินแน่นขึ้น จากนั้นค่าโมดูลัสจะมีแนวโน้มลดลง เนื่องจากเมื่อรอบการทดสอบเพิ่มขึ้นพันธะเชื่อมประสานระหว่างเม็ดดินจะเริ่มถูกทำลายส่งผลให้ความพรุนเพิ่มมากขึ้น น้ำซึมเข้าตัวอย่างได้มากขึ้น แรงคูดมีค่าลดลง ส่งผลให้ค่าโมดูลัสลดลง ซึ่งจะสอดคล้องกับค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ผ่านรอบเปียกสลับแห้ง

จากรูปที่ 4.10 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัด (q_u) กับค่าโมดูลัส (E_{50}) ของดินซีเมนต์ ที่นำมาเปรียบเทียบกับ พิทยา (2018) พบว่าค่า q_u และค่า E_{50} ที่ได้รับการทดลองอยู่ในช่วงที่ พิทยา (2018) แนะนำไว้ซึ่งอยู่ในช่วงระหว่างขอบล่างและขอบบน (Lower- Upper Boundary) และมีค่าเฉลี่ยเท่ากับ $E_{50} = 64.867q_u$, $R^2 = 0.9784$ ซึ่งต่ำกว่าค่าเฉลี่ยของ พิทยา (2018) เนื่องจากความสัมพันธ์ของค่า q_u กับค่า E_{50} ของ พิทยา (2018) ได้จากการทดสอบของดินซีเมนต์ที่ไม่ผสมน้ำยาโพลิเมอร์ จากผลการทดสอบสามารถสรุปได้ว่า ค่า E_{50} จะมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามค่า q_u ที่เพิ่มขึ้นในทุกกรณี [17,18]



รูปที่ 4.9 ค่าโมดูลัส (E_{50}) ของดินซีเมนต์ 5% และน้ำยาโพลิเมอร์ 5% และ 10% ที่วงรอบต่าง ๆ



รูปที่ 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัด (q_u) และโมดูลัสของดินซีเมนต์ (E_{50}) เมื่อเปรียบเทียบกับพิทยา 2018

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยโพลีเมอร์ที่อายุบ่ม 7 วัน พบว่า

1. ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมโพลีเมอร์ 5 และ 10% มีค่ามากกว่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ไม่ผสมโพลีเมอร์ โดยการผสมโพลีเมอร์ที่ 5% ให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 21.96 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร
2. โพลีเมอร์ช่วยให้ดินลดการสูญเสียมวลอันเนื่องมาจากอิทธิพลความเปื่อยสลับแห้ง ตลอดจนลดการดูดซึมน้ำของตัวอย่าง โดยเฉพาะค่าความชื้นในขณะแห้ง การผสมโพลีเมอร์ที่ 10% จะช่วยลดการสูญเสียความชื้นได้ดีที่สุด
3. กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ที่ผสมโพลีเมอร์ 0, 5 และ 10% ที่ผ่านรอบเปื่อยสลับแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่รอบที่ 1 จนถึงรอบที่ 6 อันเนื่องมาจากปฏิกิริยา cementation โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดเท่ากับ 18.57 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และจะลดลงเมื่อจำนวนรอบมากกว่า 6 รอบอันเนื่องมาจากอิทธิพลของค่าวงรอบเปื่อยสลับแห้งที่ทำให้ตัวอย่างเริ่มเกิดการสูญเสียมวล
4. ค่าโมดูลัสของดินซีเมนต์ (E_{50}) ที่ผสมโพลีเมอร์ 0, 5 และ 10% ที่ผ่านรอบเปื่อยสลับแห้งมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตั้งแต่รอบที่ 3 ถึงรอบที่ 6 จากนั้นค่าโมดูลัสจะลดลงตามจำนวนรอบที่เพิ่มขึ้นโดยสอดคล้องกับการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังรับแรงอัด

9. เอกสารอ้างอิง

- [1] Sawaliwong, K. & Jitsangiam, P. & Nusit, K. (2020). *Improvement of sub-standard lateritic soil with cement-polymer mixtures*. The 25th National convention on civil engineering.
- [2] Ngenprom, N. (2010). *Study on Properties of Laterite Soil Portland Cement and Slag Mix as a Pavement Materials*. RMUTP Research Journal, 4(1), 25-31.
- [3] Horpibulsuk, S. (2005). *Factors influencing strength development of cement stabilized soils for road construction*. Civil Engineering Department, School of Engineering, Suranaree University of Technology
- [4] ASTM (2015). *Standard test methods for wetting and drying compacted soil-cement mixtures*. ASTM D559 / D559M-15, American Society for Testing and Materials, West Conshohocken, PA, USA, 2015
- [5] Pinwiset, K. (2017). *The development of para soil cement road*. Engineering Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Thammasat University.
- [6] Kumpala, A. & Chinklang, S. & Banjongkit, P. & Jitchaiyaphum, K. (2016). *Influence of wet-dry cycled on compressive strength of soil cement; case height cement content*. 21th National Convention on Civil Engineering 28-30 June.
- [7] Suebsuk, J. & Siriphan, A. (2017). *Effects of wetting and drying cycles on strength of cement stabilized lateritic soil as base course material*. Faculty of Engineering Chiang Mai University.
- [8] Had Kaew, I. & Nusit, K. & Jitsangiam, P. & Pra-ai, S. & Khumkud, N. & Ponpitakchai, T. (2021). *The study of the properties of the cement polymer-stabilized road materials*. The 26th National Convention on Civil Engineering 23-25 June.
- [9] Khumkud, N. (2022). *Laboratory assessment for long-term performance and durability of cement-polymer stabilized road base*. M.Eng. Thesis in Civil Engineering, Naresuan University.
- [10] Srichat, C. & Hormdee, D. (2022). *Effect of wet-dry condition on compressive strength of soil improvement with cement and fly ash-based geopolymers*. Engineering Journal of Research and Development, 33(1), 23-34.
- [11] Bureau of testing research and development. (2002). *Standard No. DH-S 501.1/2545*
- [12] Bureau of testing research and development. (1989). *Standard No. DH-S 206/2532*
- [13] Bureau of testing research and development. (1990). *Standard No. DH-S 204/2533*
- [14] Horpibulsuk, S., Katkan, W., Sirilerdwattana, W., and Rachan, R. (2006). *Strength development in cement stabilized low plasticity and coarse-grained soils laboratory and field study*. Soils and Foundations, 46(3): 351-366.
- [15] Akram, T. & Memon, S, A. & Obaid, H. (2009). *Production of low-cost self-compacting concrete using bagasse ash*. Construction and Building Materials, 23(2), 703-712.
- [16] Holtz, W.G. & Gibbs, H.J. (1956). *Engineering properties of expansive clays*. Transaction of the American Society of Civil Engineering, 121, 641-663.

(Research article)
Journal of Engineering Technology Access

[17] Horpibulsuk, S. & Suddeepong, A. & Chinkulkijniwat, A. & Liu, M.D. (2012). *Applied clay Science Strength and compressibility of lightweight cemented clays*. Applied clay Science, 69, 11-21.

[18] Pitthaya Jamsawang. (2018). *Applications of soil cement in civil engineering works*. Civil Engineering Department, Faculty of Engineering, King Mongkut's University of Technology North Bangkok