

คุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ผสมยางพารา

Engineering Properties of Soil Cement Mixed with Natural Rubber Latex

วิชัย บุญรักษา¹, ผศ.ดร.ทิพาภรณ์ หอมดี², ดร.ก้องรัฐ นกแก้ว³

¹นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนครพนม

^{2,3}อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยนครพนม

Wichaiboonruksa007@gmail.com

Received 19 กันยายน 2565, Revised 17 พฤศจิกายน 2565, Accepted 22 พฤศจิกายน 2565

Abstract

The objective of this research is to study engineering properties which are: compressive strength, elastic modulus, tensile strength, and flexural strength of laterite soil mixed with cement 5% by weight. The soil-cement sample were mixed with natural rubber latex at 0, 5, 10, 15 and 20 percent and cured at room temperature for 7 and 28 days. The results showed that the compressive strength showed that the compressive strength at 7 days tended to decrease continuously when the amount of natural rubber increased. The elastic modulus of soil-cement mixed with natural rubber tended to decrease with amount of natural rubber increased for both test samples at 7 days and at 28 days, indicating that the brittleness of the cement soil was reduced. The tensile strength of soil-cement at 7 days tended to decrease as the amount of natural rubber increased. while the 28-day aging test at 5% latex gave the highest tensile strength. The flexural strength of the soil-cement at the age of 7 and 28 days at 5% para rubber has provided highest flexural strength. After that the flexural strength will decrease as the amount of latex increases.

Keywords: soil cement, natural rubber latex, compressive strength, split tensile strength, flexural strength

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมอันได้แก่ กำลังรับแรงอัด อีลาสติกโมดูลัส กำลังรับแรงดึงผ่าซีกและค่ากำลังรับแรงดัดของดินลูกรังผสมปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 โดยการผสมน้ำยางพาราที่ร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20 โดยบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ผลการทดสอบพบว่าค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 วันมีแนวโน้มลดลงอย่างต่อเนื่องเมื่อปริมาณยางพาราเพิ่มขึ้น ค่าอีลาสติกโมดูลัสของดินซีเมนต์ผสมยางพารามีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมยางพาราเพิ่มขึ้นสำหรับตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7 วันและที่การทดสอบที่อายุ 28 วันแสดงให้เห็น

เห็นว่าดินซีเมนต์มีความเปราะลดลงเมื่อผสมน้ำยางพารา กำลังรับแรงดึงผ่าซีกของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ปูนซีเมนต์ 5% ที่อายุ 7 วัน มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางพารามากขึ้น ในขณะที่การทดสอบอายุ 28 วัน ที่น้ำยางพารา 5% ให้ค่ากำลังรับดึงผ่าซีกสูงสุด และค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีกจะค่อยๆลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มมากขึ้น กำลังรับแรงดัดแบบคานของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่อายุ 7 และ 28 วัน ที่น้ำยางพารา 5% ให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุด แล้วจึงให้ค่ากำลังรับแรงดัดลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น

คำสำคัญ: ดินซีเมนต์, น้ำยางพารา, กำลังรับแรงอัด, กำลังรับแรงดึงผ่าซีก, กำลังรับแรงดัด

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นผู้ผลิตและส่งออกยางธรรมชาติมากเป็นอันดับหนึ่งของโลกสามารถผลิตยางพาราได้มากกว่า 4 ล้านตันต่อปีโดยมีเกษตรกรผู้เกี่ยวข้องกับอุตสาหกรรมยางพารามากกว่าหนึ่งล้านครัวเรือน อย่างไรก็ตามราคายางพาราค่อนข้างผันผวนตามความต้องการและเศรษฐกิจโลกโดยเฉพาะในช่วงการระบาดของโรคโควิด 9 ระหว่างปีพ.ศ. 2560 ถึงปีพ.ศ. 2564 (สำนักงานเศรษฐกิจอุตสาหกรรม, 2565) ราคายางพาราทกตัวอย่างมากส่งผลต่อเกษตรกรชาวสวนยางพาราและผู้เกี่ยวข้องโดยตรง การนำยางธรรมชาติหรือยางพารามาใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้างถนนเพื่อปรับปรุงคุณภาพของพื้นทางและชั้นรองพื้นทางถือเป็นทางเลือกหนึ่งที่จะมีส่วนช่วยเพิ่มปริมาณการใช้ยางธรรมชาติภายในประเทศในปริมาณมากและช่วยพยุงราคายางพาราได้

ยางพาราจัดเป็นสารโพลิเมอร์ไฮโดรคาร์บอนมีโครงสร้างทางเคมี CIS 1,4 และมีสูตรทางเคมี C_5H_8 มีสายโซ่ไฮโซพรีนที่ซับซ้อน พันธะโมเลกุลที่แข็งแรงทำให้มีคุณสมบัติมีความยืดหยุ่นสูง (Elasticity) สามารถรับความเครียด (Strain) ได้ดี และสามารถรับแรงกระทำซ้ำ (Resilience) ได้ดี (สุตนิรันดร์ เพชรรัตน์, 2559) ด้วยเหตุนี้จึงมีการนำยางพารามาปรับปรุงคุณภาพชั้นดินพื้นทางหรือรองพื้นทางในงานก่อสร้างถนนดินลูกรังผสมซีเมนต์เพื่อเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมโดยเฉพาะคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงดึงและกำลังรับแรงดึงของดินซีเมนต์ซึ่งเป็นวัสดุที่แข็งแรง เพื่อเพิ่มความยืดหยุ่นของพื้นถนนลดการเกิดความล้าและการเกิดรอยร้าว (Fatigue and Crack) ของถนนในระยะยาวได้

งานวิจัยนี้ศึกษาความสามารถรับแรงดัด ค่าอิลาสติกโมดูลัส แรงดึงผ่าซีกและแรงดัดของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราเพื่อใช้ในงานชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางของถนนด้วยการปรับเปลี่ยนปริมาณของน้ำยางพาราตั้งแต่ 0% ถึง 20% โดยผสมดินซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในสัดส่วนร้อยละ 5 โดยเลือกใช้ดินลูกรังชนิด ค ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท เพื่อหาอัตราส่วนยางพาราที่เหมาะสมสำหรับดินซีเมนต์ลูกรังเพื่อให้ได้ชั้นพื้นทางและชั้นรองพื้นทางที่มีความสามารถในการต้านทานแรงดัดและแรงดึงต่อไป

2. งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้น้ำยางพาราเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของดินซีเมนต์ ผู้วิจัยได้ทำการศึกษาทฤษฎีและงานวิจัยต่าง ๆ ที่เกี่ยวข้อง ดังนี้

จตุรงค์ เสาวภาคย์ไพบุลย์ และคณะ (2553) ศึกษาเกี่ยวกับการเพิ่มคุณสมบัติทางวิศวกรรมของดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และน้ำยาโพลิเมอร์เคมีโรด โดยทำการทดสอบตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ 0% และเคมีโรด 0% , ซีเมนต์ 5% และ เคมีโรด 0% , ซีเมนต์ 5% และเคมีโรด 5% ตามลำดับที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ที่ 5% และปูนซีเมนต์กับ น้ำยาโพลิเมอร์เคมีโรดที่ร้อยละ 5 จะมีค่ามากกว่าตัวอย่างดินลูกรังที่ไม่มีการปรับปรุงคุณภาพอยู่ไม่ต่ำกว่า 1,200 และ 1,300% ตามลำดับ

พีรวัฒน์ ปลาเงิน (2557) ได้ประยุกต์ใช้น้ำยางพาราผสมดินซีเมนต์พัฒนาสระน้ำด้านภัยแล้ง โดยมีการศึกษาคุณสมบัติชั้นพื้นฐานและทางวิศวกรรมของดินลูกรังผสมน้ำยางพารา โดยใช้อัตราส่วนของดินลูกรัง : ปูนซีเมนต์ : น้ำและน้ำยางเท่ากับ 5 : 2 : 1 และใช้ ปริมาณน้ำยางพาราร้อยละ 5, 7.5, 10 และ 12.5 ของปริมาณน้ำที่ใช้ผสมดินซีเมนต์ ทำการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัด แรงดัด และแรงดึง ที่ระยะการบ่มแห้งในอากาศ ที่อายุ 3,7 และ 28 วัน พบว่าอัตราส่วนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพารา เท่ากับ 5 : 2 : 1 และปริมาณน้ำยาง ร้อยละ 7.5 ของปริมาณน้ำให้ค่าที่ดีที่สุดในระยะเวลาการบ่ม 28 วัน

กาญจนา ปิ่นวิเศษ (2560) ศึกษาเรื่อง การพัฒนาถนนดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราโดยการวิจัยเป็นการนำยางพาราชนิด 60% HA มาผสมกับสารผสมเพิ่มและน้ำ จากนั้นจึงนำไปผสมบนถนนดินลูกรังซีเมนต์และทำการบดอัดตามมาตรฐานถนนดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงชนบท พบว่าอัตราส่วนที่เหมาะสมคือคือปูนซีเมนต์ร้อยละ 8 ของน้ำหนักดินลูกรังน้ำยางพาราชั้นร้อยละ 5 ของน้ำหนักปูนซีเมนต์สารผสมเพิ่มร้อยละ 2 ของน้ำหนักน้ำยางพาราชั้นเมื่อทำการบ่มตัวอย่างที่ 7 วันซึ่งผ่านมาตรฐานงานพื้นทางดินซีเมนต์ของกรมทางหลวงชนบท

มงคล ดัชนี (2553) ทำการศึกษาการเพิ่มคุณสมบัติถนนดินลูกรังด้วยปูนซีเมนต์พบว่า ปริมาณซีเมนต์ส่งผลถึงกำลังอัดของดินซีเมนต์อย่างมีนัยสำคัญนอกจากนี้ชนิดของดินก็มีผลต่อกำลังอัดของดินซีเมนต์ด้วยเช่นกัน โดยขึ้นอยู่กับความแข็งแรงและแรงเชื่อมแน่นของเม็ดดิน ดังนั้นจึงจำเป็นต้องทำการหาปริมาณซีเมนต์ที่เหมาะสมจากการทดลองในห้องปฏิบัติการ

พีรวัฒน์ ปลาเงิน และ ชวน จันทวาลย์ (2562) ได้ศึกษาและพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมน้ำยางพาราสำหรับใช้ในระบบชลประทานไร่นาซึ่งได้ทำการศึกษาคุณสมบัติทางกายภาพและทางกลของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา (พรีวลคาไนซ์) ในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ โครงสร้างจุลภาคคอนกรีตผสมน้ำยางพารา ความสามารถในการเทได้ กำลังรับแรงอัด กำลังรับแรงดึง ค่าโมดูลัสความยืดหยุ่น และการดูด ซึม น้ำของคอนกรีตผสมน้ำยางพารา โดยกำหนดอัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 0% 1% 3% 5% 10% และ 15% (โดยน้ำหนัก) และทำการทดสอบคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตระยะเวลา 28 วัน พบว่าคอนกรีตผสมน้ำยางพาราที่อัตราส่วนเนื้อยางต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 1% มีคุณสมบัติการรับแรงต่างๆ ดีที่สุด ได้แก่ กำลังรับแรงอัด 244 กก./ซม² กำลังรับแรงดึง 35 กก./ซม²

โมดูลัสความยืดหยุ่น 46 กก./ซม² การดูดซึมน้ำร้อยละ 1.0 จากผลการศึกษาในห้องปฏิบัติการจึงแนะนำให้ใช้อัตราส่วนผสมคอนกรีตสำหรับนำไปใช้งานในการหล่อคูล่งน้ำโดยใช้น้ำยางต่อปูนซีเมนต์ (P/C) เท่ากับ 1% (โดยน้ำหนัก) สำหรับปูนซีเมนต์ 50 กก

ศาสน์ สุขประเสริฐ และคณะ (2560) ได้ศึกษาการประยุกต์ใช้น้ำยางพาราและดินซีเมนต์สำหรับงานก่อสร้างถนน โดยเตรียมแท่งตัวอย่างดินซีเมนต์จากวัสดุมวลรวมดินที่มีสมบัติไม่ตรงตามมาตรฐานรองพื้นทางวัสดุมวลรวมปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1 ร้อยละ 5 โดยน้ำหนักปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารา ร้อยละ 5 ร้อยละ 7.5 และร้อยละ 10 โดยน้ำหนักทำการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและบ่มตัวอย่าง 7 วัน จากนั้นทดสอบแรงอัดแบบไม่ถูกจำกัดด้านข้างและเปรียบเทียบผลการทดสอบกับดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลิเมอร์ดินซีเมนต์ที่ไม่ปรับปรุงคุณภาพและมาตรฐานกรมทางหลวง พบว่าดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก มีกำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเท่ากับ 19.58 กก./ตร.ซม. และโมดูลัสความยืดหยุ่นเพิ่มขึ้น เท่ากับ 1,116.2 กก./ตร.ซม. ซึ่งมากกว่าดินซีเมนต์คิดเป็นร้อยละ 16.67 และ 8.80 ตามลำดับ ทั้งนี้ เมื่อเปรียบเทียบกับดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยาโพลิเมอร์ ซึ่งมีกำลังรับแรงอัด เท่ากับ 21.25 กก./ตร.ซม. และโมดูลัสความยืดหยุ่น เท่ากับ 1,278.8 กก./ตร.ซม. พบว่า ดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารามีกำลังรับแรงอัดลดลง ร้อยละ 7.89 และโมดูลัสความยืดหยุ่นลดลง ร้อยละ 12.44

สุวัฒน์ พาหุสุวัฒน์ และคณะ (2561) ศึกษาการก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ผสมยางพารา โดยทำการทดสอบกับตัวอย่างดินลูกรังอัตราส่วนผสม 0% ปูนซีเมนต์ และ 0% น้ำยางพาราชั้น, 4% ปูนซีเมนต์และ 0%, 5%, 8%, 10% น้ำยางพาราชั้น, 5% ปูนซีเมนต์ และ 0%, 5%, 8%, 10% น้ำยางพาราชั้น และ 8% ปูนซีเมนต์ และ 0%, 5%, 8%, 10% น้ำยางพาราชั้น ตามลำดับที่อายุการบ่ม 7 วัน และ 28 วัน ทำการทดสอบแรงอัดแบบไม่จำกัดเพื่อหาค่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างดินลูกรังอัตราส่วนผสมต่างๆ พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมยางพาราอัตราส่วนผสม 8% ปูนซีเมนต์ และ 10% น้ำยางพาราชั้น มีกำลังอัดสูงสุด 22.08 ksc มากกว่า 17.5 ksc (มทข.-2-307) ดังนั้นอัตราส่วนนี้เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราสำหรับถนนดินซีเมนต์

3. วัสดุและวิธีดำเนินการ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยยางพาราธรรมชาติ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ที่ 5% ของน้ำหนักดินและน้ำยางพาราเข้มข้น 60% ที่รักษาสภาพด้วยแอมโมเนียที่ 0 , 5 , 10, 15 และ 20% ของน้ำหนักน้ำตามลำดับ จากนั้นทำการบดอัดดินซีเมนต์แบบมาตรฐาน (Standard Compaction Test) ตามมาตรฐานการทดสอบ มทข.(ท) 501.1-2545 โดยการผสมน้ำยางพาราผสมรวมกับน้ำให้ได้เท่ากับปริมาณน้ำที่ความแน่นแห้งสูงสุด (OMC) ที่ร้อยละ 12.5 ของน้ำหนักมวลรวม ผู้วิจัยได้เตรียมตัวอย่างดินซีเมนต์บดอัดอย่างน้อย 3 ก้อนตัวอย่างต่อหนึ่งสัดส่วนผสม หลังจากนั้นห่อตัวอย่างในถุงพลาสติกและบ่มเป็นเวลา 7 และ 28 วัน ที่อุณหภูมิห้อง เพื่อหาอัตราส่วนของปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมสำหรับใช้เป็นวัสดุผิวทางเชื่อมประสานและเพื่อศึกษาอิทธิพลของการเติมน้ำยางพารารองต่อกำลังอัด กำลังดึง และกำลังดัดของดินซีเมนต์ ดังภาพที่ 3.1

3.1 วัสดุ

3.1.1 ดินลูกรัง

ในการศึกษานี้ได้ใช้วัสดุดินลูกรังจากแหล่งดินบ้านคำพอก ต.หนองญาติ อ.เมือง จ.นครพนม ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์ความสม่ำเสมอ (Cu) และค่าสัมประสิทธิ์ความโค้ง Coefficient of Concavity (Cc) ได้เท่ากับ 6.90 และ 2.30 ตามลำดับ โดยที่ค่า Coefficient of Uniformity (Cu) มีค่ามากกว่า 4 และค่า Cc อยู่ระหว่าง 1 ถึง 3 แสดงว่าดินมีขนาดคละกัันดี (Well-Graded Gravel, SW) และค่า Liquid Limit (LL) มีค่า 37.2% Plastic Limit (PL) และ Plasticity Index (PI) มีค่า 9.44 %

3.1.2 ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้เป็นส่วนผสมใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ตามมาตรฐาน มอก.15 ประเภท 1 เป็นปูนบรรจุถุง

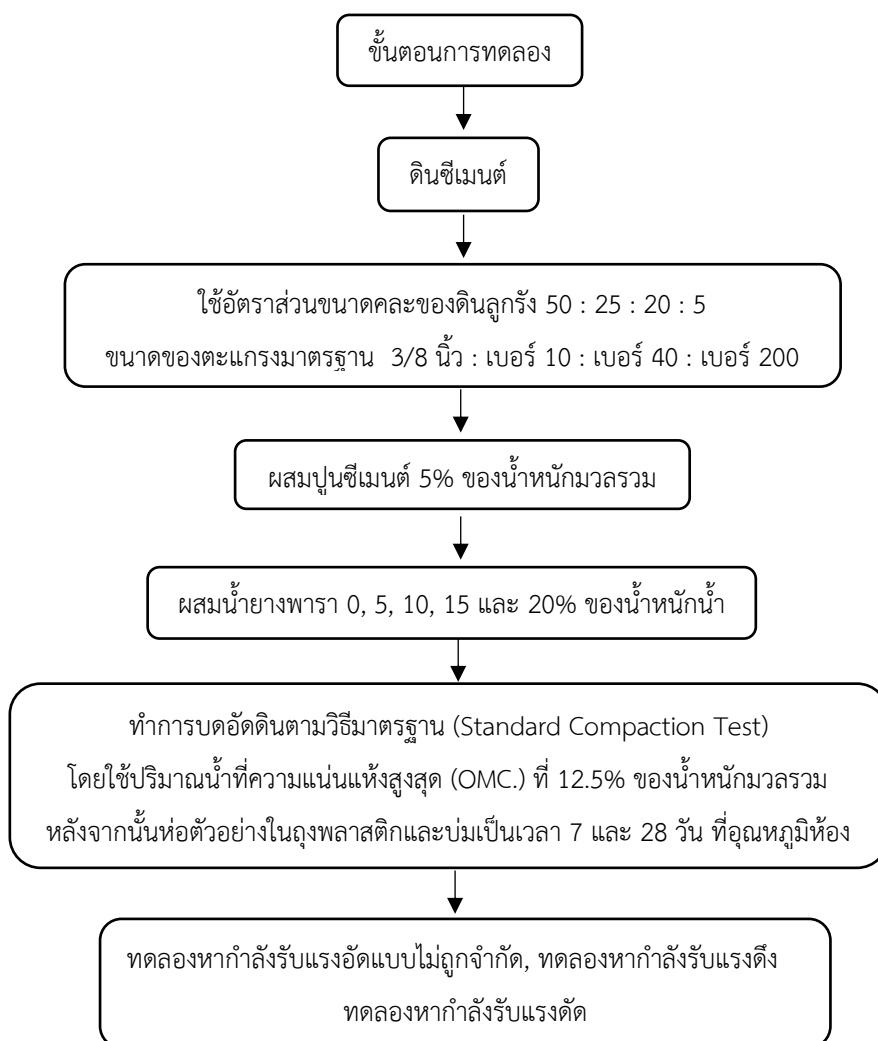
3.1.3 น้ำยางพารา

น้ำยางพาราที่ใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพของดินซีเมนต์สำหรับการวิจัยครั้งนี้ใช้น้ำยางชั้นรักษาสภาพด้วย แอมโมเนีย (High Ammonia Latex) ความเข้มข้น 60% ทั้งนี้เมื่ออบน้ำยางพาราจนแห้งซึ่งมีคุณสมบัติตามบริษัทผู้ผลิตดังตารางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 สมบัติทางกายภาพของน้ำยางชั้นรักษาสภาพด้วยแอมโมเนียเข้มข้น 60%

Contents Name	น้ำยางชั้นรักษาสภาพด้วยแอมโมเนีย (High Ammonia Latex; HA)
Total Solids Content %	61.50 Min
Dry Rubber Content %	60.00 Min
Non-Rubber Content %	2.00 Max
Ammonia Content (on total weight) %	0.65-0.75
pH Value	11.00 Max
KOH Number	0.85 Max
Volatile Fatty Acid Number	0.05 Max
M.S.T. @ 55% TS., Sec.	650 Min
Specific Gravity at 25° C	0.94 Min
Magnesium Content (on solids), ppm	60.00 Max

ที่มา: ผลิตภัณฑ์น้ำยางชั้น ไทยรับเบอร์ลาเท็กซ์คอร์ปอเรชั่นประเทศไทย



ภาพที่ 3.1 ขั้นตอนการทดสอบดินซีเมนต์

3.2 การเตรียมตัวอย่าง

การเตรียมตัวอย่างเป็นการผสมดินกับปูนซีเมนต์และน้ำยางพารา ซึ่งอัตราส่วนผสมที่ใช้เป็นไปตามตารางที่ 3.2 และตารางที่ 3.3 และมีขั้นตอนในการผสมดังต่อไปนี้

3.2.1 การเตรียมตัวอย่างกำลังรับแรงอัด

ทำการเตรียมดินลูกรัง น้ำ น้ำยางพารา และปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนตามที่ออกแบบไว้จากนั้นทำการผสมดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน แล้วจึงทำการเติมน้ำและน้ำยางพาราลงไปจากนั้นผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ทำการเตรียม Mold สำหรับตัวอย่างกำลังรับแรงอัดเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.14 ซม. และสูง 11.80 ซม. จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดที่ผสมเข้ากันแล้วใส่ลงไปใน Mold แล้วทำการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน (Standard Compaction Test) หลังจากทำการบดอัดเป็นที่เรียบร้อยแล้วนำตัวอย่างออกจาก Mold โดยใช้แม่แรงดันก้อนตัวอย่างออกและทำการห่อก้อนตัวอย่างด้วยถุงพลาสติกหรือไว้นิลป้องกันความชื้น แล้วนำก้อนตัวอย่างที่ห่อแล้วไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7

และ 28 วัน โดยการก่อนทดสอบต้องมีการแช่น้ำก่อนเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ตามมาตรฐานการทดสอบ ทล-ม. 206/2532

3.2.2 การเตรียมตัวอย่างกำลังรับแรงดึง

ทำการเตรียมดินลูกรัง น้ำ นํ้ายางพารา และปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนตามที่ออกแบบไว้จากนั้นทำการผสมดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน แล้วจึงทำการเติมนํ้าและนํ้ายางพาราลงไปจากนั้นผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ทำการเตรียม Mold สำหรับตัวอย่างกำลังรับแรงดึงเส้นผ่านศูนย์กลาง 10.14 ซม. และสูง 7.95 ซม. จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดที่ผสมเข้ากันแล้วใส่ลงไปใน Mold แล้วทำการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน (Standard Compaction Test) หลังจากทำการบดอัดเป็นที่เรียบร้อยแล้วนำตัวอย่างออกจาก Mold โดยใช้แม่แรงดันก้อนตัวอย่างออกและทำการห่อก้อนตัวอย่างด้วยถุงพลาสติกหรือไวนิลป้องกันความชื้น แล้วนำก้อนตัวอย่างที่ห่อแล้วไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 และ 28 วัน จึงจะนำไปทดสอบหากล้างรับแรงดึงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C496

3.2.3 การเตรียมตัวอย่างกำลังรับแรงดัด

ทำการเตรียมดินลูกรัง น้ำ นํ้ายางพารา และปูนซีเมนต์ในอัตราส่วนตามที่ออกแบบไว้จากนั้นทำการผสมดินลูกรังกับปูนซีเมนต์ให้เข้ากัน แล้วจึงทำการเติมนํ้าและนํ้ายางพาราลงไปจากนั้นผสมทั้งหมดให้เข้ากัน ทำการเตรียมแบบเหล็กรูปสี่เหลี่ยมผืนผ้าสำหรับตัวอย่างกำลังรับแรงดัดขนาด 10x10x50 ซม. จากนั้นนำส่วนผสมทั้งหมดที่ผสมเข้ากันแล้วใส่ลงไปในแบบแล้วทำการบดอัดตามวิธีมาตรฐาน (Standard Compaction Test) หลังจากทำการบดอัดเป็นที่เรียบร้อยแล้วนำตัวอย่างออกจากแบบ และทำการห่อแท่งตัวอย่างด้วยถุงพลาสติกหรือไวนิลป้องกันความชื้น แล้วนำแท่งตัวอย่างที่ห่อแล้วไปบ่มที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 7 และ 28 วัน จึงจะนำไปทดสอบหากล้างรับแรงดัดตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM C78-94

ตารางที่ 3.2 อัตราส่วนผสมของดินต่อซีเมนต์

เปอร์เซ็นต์ซีเมนต์	ปูนซีเมนต์ (g)	ดินลูกรัง (g)	น้ำ (g)
0%	0	8000	1000
3%	240	8000	1000
5%	400	8000	1000

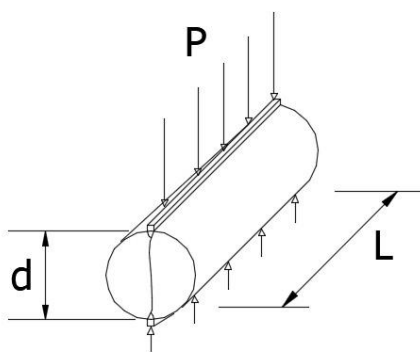
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของดินซีเมนต์ผสมน้ำยางพาราชั้นกับปริมาณน้ำ

เปอร์เซ็นต์น้ำยางพาราชั้น ในน้ำยางพาราเจือจาง	ปริมาณน้ำที่ใช้ (g)	ปริมาณน้ำยางพาราชั้นที่ใช้ (g)
0%	1000	0
5%	950	50
10%	900	100
15%	850	150
20%	800	200

หมายเหตุ ปริมาณปูนซีเมนต์ หมายถึง ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของวัสดุมวลรวมดิน
ปริมาณน้ำยางพารา หมายถึง ค่าร้อยละโดยน้ำหนักของน้ำที่เป็นส่วนผสม

3.3 การเตรียมการทดลองกำลังรับแรงดึง (Splitting tensile strength)

การทดสอบการรับแรงดึงแบบผ่าซีก Splitting tensile test ตามมาตรฐาน ASTM C496 ความต้านทานในด้านรับแรงดึงของคอนกรีตมีต่ำมากคือประมาณ 10 % ของกำลังอัด ถึงในการคำนวณออกแบบโครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กคอนกรีตจะไม่ได้รับแรงดึงโดยตรงก็ตาม แต่การทราบค่ากำลังดึงนี้จะช่วยการควบคุมการแตกร้าวของคอนกรีตจากผลกระทบต่าง ๆ เช่น อุณหภูมิการหดตัวและมีประโยชน์อย่างมากในงานคอนกรีตอัดแรงงานสิ่งก่อสร้างเกบของเหลว เป็นต้น วิธีการวัดค่าแรงดึงในคอนกรีตทำได้ 3 วิธีคือ 1. Direct Tensile Test. 2. Flexural Strength Test. 3. Splitting Test สำหรับการทดสอบครั้งนี้จะใช้วิธี Splitting Test ซึ่งเป็นที่นิยมแพร่หลายเนื่องจากให้ค่าสม่ำเสมอ มากกว่า 2 วิธีข้างต้นแต่ไม่ได้ค่ากำลังที่แท้จริงเพราะบริเวณปลายทั้งสองข้างจะเป็นบริเวณแรงอัด (Compression Zone) ค่าที่ได้จะสูงกว่าแรงดึงโดยตรงของคอนกรีตประมาณ 15 % ผลการทดสอบทั้ง 3 วิธีให้ค่ากำลังที่แตกต่างกันโดย Flexural Strength ให้ค่าสูงสุดและ Direct Tensile จะให้ค่าต่ำสุดใช้ตัวอย่างรูปทรงกระบอกถูกแรงกระทำโดยแรงกดอัดแรงกดอัดนี้ทำให้เกิด arch action ทำให้เกิดแรงดึงในแนวราบมีผลทำให้เกิดการแตกร้าวในแท่งตัวอย่างทดสอบในแนวตั้งและการจำลองการเกิดพฤติกรรมของแรง ดังภาพที่ 3.2



ภาพที่ 3.2 แสดงแรงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบกำลังดึงแบบผ่าซีก Splitting tensile test

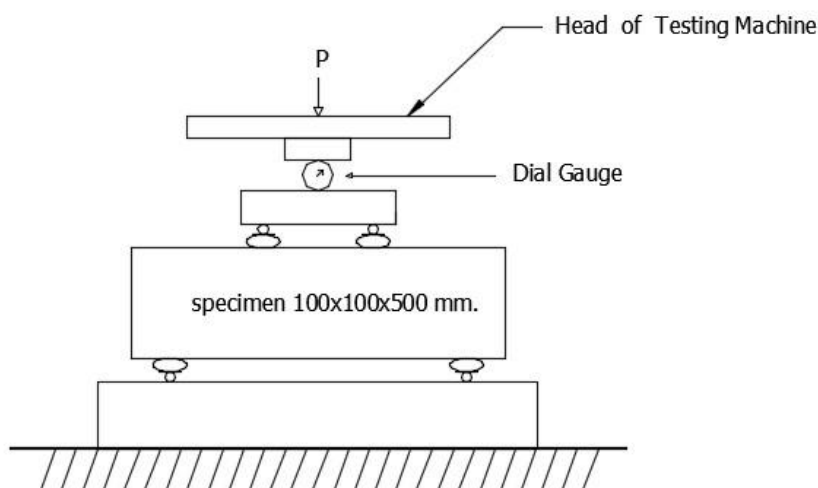
แรงดึงแบบผ่าซีก Splitting tensile strengths ค่า σ_t คำนวณได้จาก

$$\sigma_t = \frac{2P}{\pi dL} \quad (3.1)$$

เมื่อ σ_t = Split tensile strength
P = applied maximum load
L = length
d = diameter

3.4. การเตรียมการทดลองกำลังรับแรงดัด (Flexural strength)

การทดสอบการรับแรงดัดด้วยวิธีแรงกดคาน 2 จุด ตามมาตรฐาน ASTM C78-94 โดยให้ตำแหน่งของจุดทั้งสองเป็น ตำแหน่งที่แบ่งคานออกเป็น 3 ส่วนเท่า ๆ น้ำหนักที่กระทำทั้ง 4 จุด (Four-point loading) ก่อให้เกิดหน่วยแรงดัด ซึ่งเทียบได้กับแรงดัดเนื่องจากน้ำหนักบรรทุก การขยายตัว การบวมตัวของดินเดิม การเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างกลางวัน และกลางคืน ทำให้แผ่นพื้น โกงงอก่อให้เกิดหน่วยแรงดัดของแผ่นพื้นในทิศทางตรงข้ามกัน การทดสอบหาค่าหน่วยแรงดัดทำการทดสอบโดยวิธี (Four-point loading test) ให้น้ำหนักกระทำบนคานช่วงเดียว (Simple Beam) เป็นจุดที่ระยะ 1/3 ของ ความยาวประสิทธิผล เพื่อหาค่าโมดูลัสแตกร้าว (R) ของตัวอย่างทดสอบดังรูปที่ 3.3 และแรงที่เกิดขึ้นจากการทดสอบกำลังดัด



ภาพที่ 3.3 แสดงการจำลองการทดสอบด้วยเครื่องมือการทดสอบหาค่ากำลังความสามารถในการรับแรงดัด (Flexural Strength) ด้วยวิธี Four-point loading

ถ้ารอยแตกของคานตัวอย่างอยู่ในช่วงกลางหรือช่วงที่ 2 ค่า R คำนวณได้จาก

$$R = PL/(bd)^2 \quad (3.2)$$

ถ้ารอยแตกของคานตัวอย่างอยู่นอกช่วงที่ 2 วัดระยะได้ไม่มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของความ ยาวคาน ค่า R คำนวณได้จาก

$$R = 3Pa/(bd^2) \quad (3.3)$$

ถ้ารอยแตกของคานตัวอย่างอยู่นอกช่วงที่ 2 วัดระยะได้มากกว่า 5 เปอร์เซ็นต์ ของความยาว คาน จะไม่นำค่า Applied Load ที่ได้มาคำนวณค่า R

เมื่อ $R = \text{Modulus of Rupture (kg/cm}^2\text{)}$

$P = \text{Maximum Applied Load (kg)}$

$L = \text{Span Length (cm)}$

$b = \text{Average Width Specimen (cm)}$

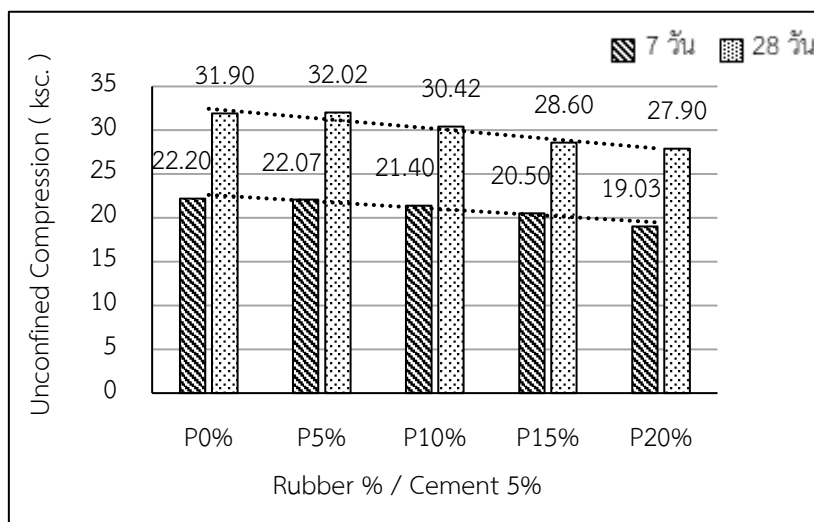
$d = \text{Average Depth of Specimen (cm)}$

$a = \text{Distance between line of fracture and the nearest support, measured along the center line of the bottom surface of the beam. (cm)}$

4. ผลการทดสอบและวิเคราะห์ผล

4.1. กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมยางพารา

กำลังรับแรงอัดของดินถือเป็นคุณสมบัติสำคัญของวัสดุชั้นพื้นทาง ดินซีเมนต์ที่มีค่ารับแรงอัดสูงจะช่วยให้ถนนมีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจากจราจรได้มากขึ้น จากการศึกษาเมื่อทดลองรับแรงกำลังรับแรงอัดด้วยวิธี Unconfined compression test ที่การทดสอบดินซีเมนต์อายุ 7 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์มีลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น โดยค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราร้อยละ 0 มีค่าเท่ากับ 22.20 ksc. และที่อายุ 28 วัน พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเล็กน้อยจากเดิมที่น้ำยางพาราร้อยละ 5 เมื่อเทียบกับส่วนผสมที่ไม่ผสมน้ำยางพาราและให้ค่ากำลังรับแรงอัดสูงสุดที่ 32.02 ksc. ก่อนที่ค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงเมื่อปริมาณยางพารามากกว่าร้อยละ 5 ดังแสดงในภาพที่ 4.1 ซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัย (พิรวัฒน์ ปลาเงิน, 2557) และ (พิรวัฒน์ ปลาเงิน, ขวน จันทวาลย์, 2562) สามารถสรุปได้ว่าเมื่อปริมาณยางพาราที่เพิ่มมีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในตอนต้นเนื่องจากยางพาราจะเข้าไปปรับสภาพทำให้การการยึดตัวของเม็ดดินดีขึ้น แต่หากเพิ่มยางพารามากเกินไปจะทำให้ยางพาราไปหน่วงปฏิกิริยาการเชื่อมประสานของซีเมนต์ได้ (Yaowarat et al, 2018; 2019) อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุทดสอบมีค่าเกินมาตรฐานกรมทางหลวงสำหรับดินซีเมนต์เพื่อใช้ในงานพื้นทางที่กำหนดให้ต้องมีกำลังรับแรงอัดไม่น้อยกว่า 17.5 ksc เมื่อผสมสารน้ำยางพาราจาก 0% ถึง 20% ภาพที่ 4.2 แสดงตัวอย่างอุปกรณ์และการทดลองกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined compression test)



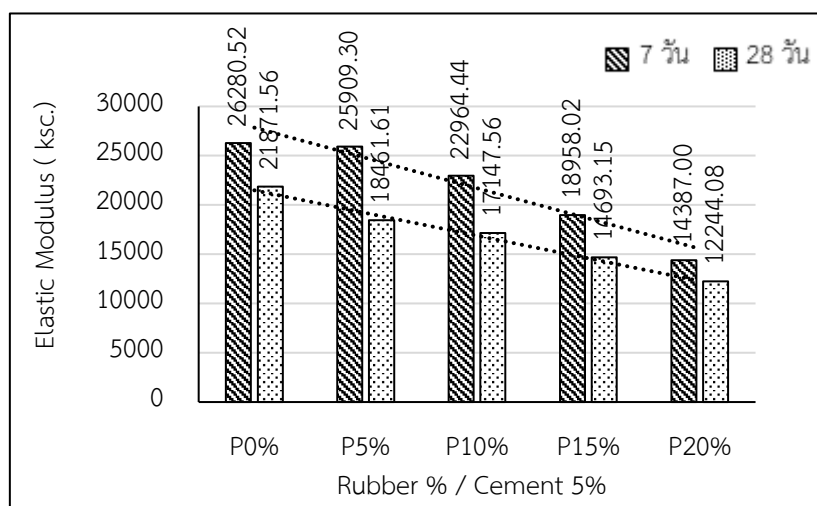
ภาพที่ 4.1 กราฟกำลังรับแรงอัดดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 4.2 การทดลองกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด (Unconfined Compression Test)

4.2. ความสัมพันธ์ปริมาณยางพาราต่ออัตราตอกโมดูลัสของกำลังรับแรงอัด

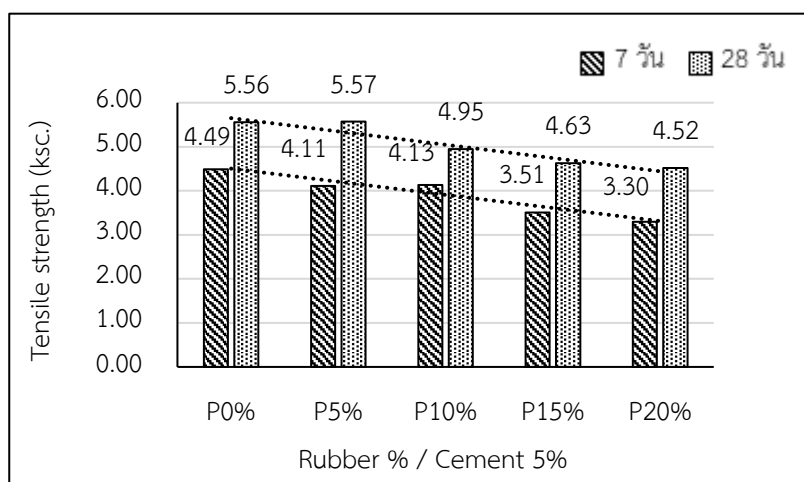
ค่าอัตราตอกโมดูลัสของดินซีเมนต์สะท้อนถึงความสามารถในการคืนตัวของพื้นทางเมื่อได้รับแรงจากน้ำหนักบรรทุกจรจร ดินซีเมนต์ที่มีค่าอัตราตอกโมดูลัสสูงจะแสดงถึงวัสดุมีความเปราะมาก ซึ่งได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นและความเครียด โดยค่าที่ได้จะได้จากผลการทดสอบ Unconfined Compression Test โดยตรงจากการทดสอบพบว่า ค่าอัตราตอกโมดูลัสของดินซีเมนต์มีแนวโน้มลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้น ซึ่งให้ค่าอัตราตอกโมดูลัสสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราร้อยละ 0 ทั้งอายุ 7 และ 28 วัน ซึ่งมีค่าเท่ากับ 26280.52 และ 21871.56 ksc. ตามลำดับ ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่าดินซีเมนต์ที่ผสมยางพารามากยิ่งขึ้นจะลดความเปราะของเนื้อดินลง รายละเอียดผลการทดสอบค่าอัตราตอกโมดูลัสของดินที่อายุ 7 วันและ 28 วัน สามารถแสดงได้ในภาพที่ 4.3



ภาพที่ 4.3 อีลาสติโกมอดุลัสดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน

4.3. กำลังรับแรงดึงผ่าซีกของดินซีเมนต์ผสมยางพารา

กำลังรับแรงดึงของดินซีเมนต์มีความสัมพันธ์กับความต้านทานการล้าและการเกิดรอยแตกของถนน ดินซีเมนต์ที่มีกำลังรับแรงดึงจะส่งผลให้ความคงทนระยะยาวของถนนเพิ่มขึ้น จากการทดลองพบว่า ค่ากำลังรับแรงดึงของดินซีเมนต์ มีค่าลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราเพิ่มขึ้นซึ่งให้ค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดที่เปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราร้อยละ 0 ที่อายุ 7 วันซึ่งมีค่าเท่ากับ 4.49 ksc. และที่อายุ 28 วัน ที่เปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราร้อยละ 0 และ 5 มีค่ากำลังรับแรงดึงสูงสุดใกล้เคียงกันที่ 5.56 และ 5.57 ksc. และเมื่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพารามากกว่าร้อยละ 5 จะทำให้ค่ากำลังรับแรงดึงมีแนวโน้มลดลงตามลำดับซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยของ (พีรวัฒน์, 2562) ที่พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นจนถึงที่เปอร์เซ็นต์ยางพารา 7.5% และหลังจากนั้นจะค่อยลดลงเมื่อผสมยางพารามากเพิ่มขึ้น ของการทดสอบกำลังรับแรงดึงผ่าซีกของดินซีเมนต์แสดงได้ดังภาพที่ 4.4 และภาพผลการทดลองกำลังรับแรงดึงผ่าซีกสามารถแสดงได้ดังภาพที่ 4.5



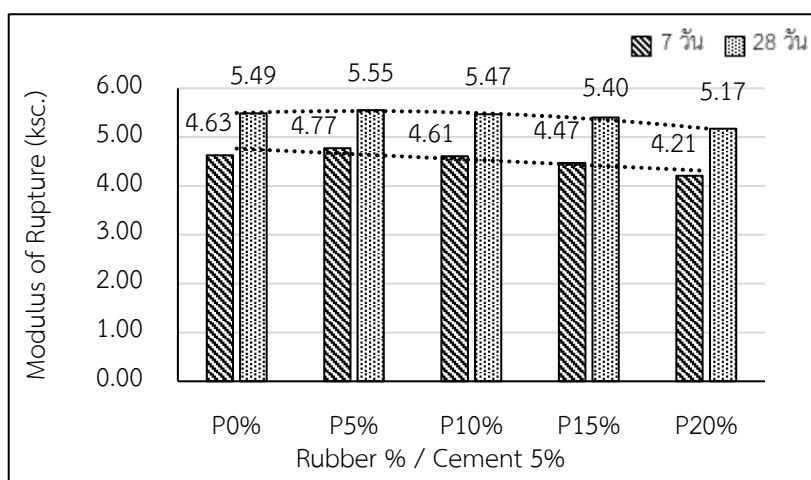
ภาพที่ 4.4 กำลังรับแรงดึงดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 4.5 การทดลองกำลังรับแรงดึง (Splitting tensile strength)

4.4 กำลังรับแรงดัดของดินซีเมนต์ผสมยางพารา

กำลังรับแรงดัดของดินซีเมนต์สามารถสามารถคำนวณได้จากค่า Modulus of Rupture ดินซีเมนต์ที่มีค่ากำลังรับแรงดัดสูงจะช่วยส่งเสริมให้ถนนมีอายุใช้งานยาวนานขึ้น ภาพที่ 4.6 แสดงกำลังรับแรงดัดดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน พบว่า ค่ากำลังรับแรงดัดที่ 7 วันและที่ 28 วัน จะเพิ่มขึ้นเมื่อผสมน้ำยางพารา 5% โดยให้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดที่ 4.77 และ 5.55 ksc. ตามลำดับและหลังจากนั้นค่ากำลังรับแรงดัดจะลดลงเมื่อเปอร์เซ็นต์ของน้ำยางพาราเพิ่มสูงขึ้นซึ่งผลการทดสอบสอดคล้องกับงานวิจัยของ (พีรวัฒน์, 2562) ที่พบว่าค่ากำลังรับแรงดัดของดินซีเมนต์จะเพิ่มขึ้นจนถึงที่เปอร์เซ็นต์ยางพารา 7.5% และหลังจากนั้นจะค่อยลดลงเมื่อผสมยางพารามากเพิ่มขึ้น ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่าการผสมน้ำยางพาราในปริมาณที่เหมาะสมในดินซีเมนต์ จะสามารถช่วยให้การรับกำลังรับแรงดัดได้ดีขึ้นเพราะคุณสมบัติของน้ำยางพารามีความยืดหยุ่นสูง ภาพที่ 4.7 แสดงการทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural strength) และตัวอย่างผลการทดสอบพบว่าคานจะแตกหักบริเวณใกล้จุดกึ่งกลางของตัวอย่างทดสอบ



ภาพที่ 4.6 กำลังรับแรงดัดดินซีเมนต์ที่ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 5 ที่อายุบ่ม 7 และ 28 วัน



ภาพที่ 4.7 การทดสอบกำลังรับแรงดัด (Flexural strength) และตัวอย่างการทดสอบ

5. สรุปผลการวิจัย

จากการศึกษาพฤติกรรมทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ที่ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพาราธรรมชาติ พบว่า

1. กำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ผสมยางพารามีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมยางพาราเพิ่มขึ้นสำหรับตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7 วัน แต่จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อยที่การทดสอบที่อายุ 28 วันเมื่อผสมน้ำยางพารา 5% อย่างไรก็ตามค่ากำลังรับแรงอัดที่ได้ยังสูงกว่ามาตรฐานทางหลวง (ทล.-ท.105/2515) ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดของดินซีเมนต์ปรับปรุงคุณภาพด้วยน้ำยางพารา มีค่าไม่น้อยกว่า 17.50 ksc ทุกตัวอย่างการทดสอบ

2. ค่าอิลาสติกโมดูลัสของดินซีเมนต์ผสมยางพารามีแนวโน้มลดลงเมื่อผสมยางพาราเพิ่มขึ้นสำหรับตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7 วันและที่การทดสอบที่อายุ 28 วันซึ่งแสดงให้เห็นว่าดินซีเมนต์มีความเปราะลดลงเมื่อผสมน้ำยางพารา

3. กำลังรับแรงดึงผ่าซีกของดินซีเมนต์ผสมยางพาราที่ปูนซีเมนต์ 5% ที่อายุ 7 วัน มีแนวโน้มลดลงเมื่อปริมาณยางพารามากขึ้น ในขณะที่การทดสอบอายุ 28 วัน ที่น้ำยางพารา 5% ได้ให้ค่ากำลังรับดึงสูงสุด และค่ากำลังรับแรงดึงผ่าซีกจะค่อยๆลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางพาราเพิ่มมากขึ้น

4. กำลังรับแรงดัดแบบคานของดินซีเมนต์ผสมยางพารา ที่อายุ 7 และ 28 วัน ที่น้ำยางพารา 5% ได้ค่ากำลังรับแรงดัดสูงสุดและจะลดลงเมื่อปริมาณน้ำยางที่เพิ่มขึ้น

ข้อเสนอแนะการวิจัยครั้งต่อไป

วัสดุดินลูกรังปรับปรุงคุณภาพด้วย ซีเมนต์ และน้ำยางพารา สามารถรับกำลังแรงอัดได้ดี ในปริมาณเปอร์เซ็นต์น้ำยางที่ทดสอบ 5-20 เปอร์เซ็นต์ ควรศึกษาเพิ่มเติมอย่างละเอียดในช่วงปริมาณน้ำยาง 0% - 10% เนื่องจากเป็นช่วงที่กำลังทางวิศวกรรมของดินซีเมนต์ยางพารามีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้น อีกทั้งควรศึกษา คุณสมบัติของ

วัสดุอื่นเพิ่มเติม เช่น ดินที่ไม่ได้มาตรฐาน ดินเหนียว และพื้นทางเก่า มาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ และยางพารา เพื่อใช้เป็นแนวทางก่อสร้างถนนดินซีเมนต์ผสมยางพาราสำหรับก่อสร้างชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทาง

อ้างอิง

- [1] Norting & Peckard. (1958). Effect of coarse aggregate remaining on sieve No. 4 on compressive strength of soil cement.
- [2] Pheerawat Plangoen. (2018). Application of rubber latex and soil cement develop drought relieving water pond. *Eng.J.CMU*, 25(2), 170-180.
- [3] Jaturonk Saowapakpiboon et al. (2553). *Increasing engineering properties of laterite soil by using Portland cement type 1 and Chemroad*. The Thailand Research Fund (TRF)
- [4] kanchana Pinwiset. (2017). *The development of para soil cement road*. Engineering Department of Civil Engineering Faculty of Engineering Thammasat University.
- [5] Massachusetts Institute of Technology (1954). *The use of cement type 3 and type 1 was mixed with cement soil samples*. Engineering Massachusetts Institute of Technology.
- [6] Mongkol Muchanee. (2010). *Compressive strength of repaired road by recycling technique of pavement materials*. Master degree of Engineering of Construction and Public Utilities Management in Civil Engineering School of Engineering, Suranaree University of Technology.
- [7] Teeracharti Ruenkairergsa and Sombatkasae Jaratkorn. (2000). *Compressive strength of cement soil with different densities*. Report No. RD 188 road Research and Development Center Department of highways, Ministry of Transport.
- [8] Pheerawat Plangoen and Chuan Chuntavan. (2019). Research and Development of Concrete Ditch Mixed with Rubber Latex for Farm Irrigation System. *CRMA Journal*, 17(1), 100-116.
- [9] Sart Sukprasert et al. (2016). *Applications of natural rubber and soil-cement for highway construction*. Received a research grant from Suranaree University of Technology, fiscal year 2016.
- [10] Suwat Pahusuwananno et al. (2018). *A study of para soil cement road construction*. The 11th Conference on Irrigation and Drainage of Thailand.
- [11] The Office of Industrial Economics & Plastics Institute of Thailand. (2022). *Report on the condition of rubber and rubber wood products industry in Thailand*. In-depth database system development project for rubber and rubber wood products industry.
- [12] Bureau of testing research and development. (1989). Standard No. DH-S 206/2532
- [13] Yaowarat, T., Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Mirzababaei, M., and A Rashid, A.S. (2018). Compressive and flexural strength of polyvinyl alcohol–modified pavement concrete using recycled concrete aggregates. *J. Mater. Civ. Eng.*, 30(4): 04018046.

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

[14] Yaowarat, T, Horpibulsuk, S., Arulrajah, A., Mohammadinia, A., and Chinkulkijniwat, A. (2019). Recycled concrete aggregate modified with polyvinyl alcohol and fly ash for concrete pavement applications. *J. Mater. Civ. Eng.*, 31(7): 04019103.

[15] Karn Kantatham, Suksun Horpibulsuk, Apichat Suddeepong, Apinun Buritatum, Menglim Hoy and Thaworn Takaikaew. (2020). Effect of natural rubber latex on the compressive strength and durability of cement stabilized soil. *Suranaree J. Sci. Technol*, 28(3):030054 (1-5).