การศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์สำหรับงานทาง

THE STUDY OF THE PROPERTIES OF THE CEMENT POLYMER-STABILIZED ROAD MATERIALS

ไอรดาภรณ์. หาดแก้ว[1], ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.กรกฎ นุสิทธิ์[1] , รองศาสตราจารย์ ดร.พีรพงศ์ จิตเสงี่ยม[2]
ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.สุริยาวุธ ประอ้าย[3] , ณัฐนนท์ คุ้มครุฑ[1],ดร.ธนวัฒน์ พลพิทักษ์ชัย[1]
[1] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร จ.พิษณุโลก
[2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ จ.เชียงใหม่
[3] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
*Corresponding author address: Iradapron@gmail.com

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันการจราจรที่มากขึ้น ส่งผลให้โครงสร้างชั้นทางมีการรับน้ำหนักเพิ่มขึ้นอายุการใช้งานจึงสั้นลง อีกทั้งบางพื้นที่ถนนอาจมีน้ำท่วมขังทำให้เกิดความชื้น (Moisture) และเป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ชั้นทางเกิดการทรุดตัว โครงการนี้จึงได้ทำการศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ โดยการทดสอบนี้ใช้มวลรวมคือ หินคลุก และวัสดุผิวทางเก่า นำมาปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนอะคริลิค (SA) และพอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) จากนั้นทำการทดสอบด้านกำลังรับแรงได้แก่ การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (UCS) และการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (IDT) และการทดสอบด้านทนทานความชื้นได้แก่ การทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน และการทดสอบความทนทาน (Durability Test) โดยวิธีเปียกสลับแห้ง ผลทดสอบพบว่า กำลังรับแรงอัดของวัสดุที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ทั้งสองประเภทของหินคลุกมีค่าสูงกว่าวัสดุผิวทางเก่า ตรงกันข้ามผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อมของวัสดุที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ทั้งสองประเภทของวัสดุผิวทางเก่ามีค่าสูงหินคลุก อีกทั้งผลการทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน และการทดสอบความทนทานของทั้งสองวัสดุ พบว่าการปรับปรุงมวลรวมด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดพอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน (SBR) ส่งผลดีในด้านการทนทานความชื้น

คำสำคัญ: *วัสดุงานทาง ,วัสดุผิวทางเก่า , พอลิเมอร์ผสมสไตรีนอะคริลิค , พอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน*

Abstract

The increased traffic nowadays results in the increase in loads on the road pavement structures; therefore, the service life of these pavements is shortened. Moreover, some roads can be flooded during the rainy season, causing moisture ingress, which reduces the material performance and causes the pavements to collapse. To increase the pavement structure lifetime, the road pavement materials are required an improvement. Therefore, the properties of aggregates improved with cement polymer were studied in this research. This research employs two polymer types for pavement material modification, including styrene-acrylic (SA) and styrene-butadiene rubber (SBR). The pavement materials used in this research are standard crushed rock and Reclaimed Asphalt Pavement (RAP). The Unconfined Compressive Strength Test (UCS) and Indirect Tensile Strength Test (IDT) were conducted to investigate the primary performance characteristics. The moisture sensitivity tests were also performed in this research, which are the capillary rise test and the durability test. The results show that the compressive strength of cement-polymer stabilised crushed rock is higher than that obtained from the cement-polymer stabilized RAP. In contrast, the IDT of cement-polymer modified RAP is generally higher than the value measured from cement-polymer modified crushed rock sample. In addition, the results from moisture sensitivity tests obtained from both pavement materials revealed that, the SBR polymer could effectively improve the moisture resistance of both crushed rock and RAP in the laboratory.

Keywords*: Road materials, Reclaimed Asphalt Pavement, Styrene-Acrylic Polymer, Styrene-Butadiene Polymer*

1. คำนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยได้มีการพัฒนาทางด้านระบบคมนาคมเพิ่มมากขึ้น เพื่อเป็นการส่งเสริมด้านเศรษฐกิจ และการท่องเที่ยว เมื่อปริมาณการใช้งานบนถนนเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้อายุการใช้งานของถนนสั้นลง อีกทั้งประเทศไทยมีสภาพภูมิอากาศที่ร้อน สลับกับฝนตกซึ่งในบางพื้นที่ จึงมีน้ำท่วมขังทำให้เกิดความชื้น (Moisture) เป็นอีกหนึ่งสาเหตุที่ทำให้ชั้นทางเกิดการทรุดตัว ทำให้ต้องมีบำรุงรักษาอยู่บ่อยครั้ง รวมไปถึงการก่อสร้างถนนใหม่เพื่อซ่อมแซมบริเวณที่เกิดความเสียหาย มีการนำวัสดุจากทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดมาใช้ในการก่อสร้างเพิ่มขึ้น

จึงนำมาสู่แนวคิดการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุงานทางเพื่อมุ่งเน้นลดผลกระทบของความชื้นที่ส่งผลเสียต่อโครงสร้างชั้นทาง อีกทั้งผู้วิจัยนั้นได้มีการทบทวนงานวิจัย [1]–[2] ที่เกี่ยวกับการปรับปรุงคุณสมบัติดินด้วยพอลิเมอร์ดังนี้

[1] การศึกษานี้เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติทรายและดินเหนียวด้วยพอลิเมอร์ผสมสไตรีนอะคริลิค จากนั้นทำการศึกษาการบ่มโดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว พบว่าความแข็งแรงของทรายจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณพอลิเมอร์ อีกทั้งปริมาณพอลิเมอร์ที่สูงขึ้นนั้น จะช่วยลดการบวมของดินเหนียวได้อีกด้วย

[2] การศึกษานี้เป็นการปรับปรุงคุณสมบัติดินทรายด้วยพอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน ในอัตราส่วนร้อยละของน้ำหนัก 0 1 2 และ 3 พบว่า ทำให้ปริมาณความชื้นที่เหมาะสมและ ความหนาแน่นแห้งสูงสุดลดลง ผลการการทดสอบ California Bearing Ratio เพิ่มขึ้นที่พอลิเมอร์ร้อยละ 1 และ 2 เท่านั้น อีกทั้งผลกำลังรับแรงเฉือน ค่าแรงเชื่อมแน่นระหว่างเม็ดดิน และ ค่ามุมเสียดทานภายใน เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนพอลิเมอร์เช่นกัน

จากการศึกษางานวิจัยข้างต้น ดังนั้นจึงทำให้ผู้วิจัยมีแนวคิดการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุด้วยพอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิดได้แก่ พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนอะคริลิค และ พอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน อีกทั้งมีการนำวัสดุผิวทางเก่าที่เป็นวัสดุเหลือทิ้ง นำมาหมุนเวียนพัฒนาให้เกิดประโยชน์ เพื่อเป็นแนวทางในการทดแทนการใช้วัสดุหินจากธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัดในการก่อสร้าง และซ่อมแซมโครงสร้างชั้นทาง

โดยงานวิจัยนี้ มีการปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุงานทางโดยมุ่งเน้นทำการศึกษาเกี่ยวกับด้านกำลังรับน้ำหนักของวัสดุ และการศึกษาผลกระทบของความชื้นที่ส่งผลความทนทาน (Durability)

2. วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

2.1. วัสดุมวลรวม

2.1.1. วัสดุหินคลุก

รูปที่ 1 วัสดุมวลรวมหินคลุก

หินคลุกเป็นวัสดุที่ได้จากกการระเบิดหินซึ่งจะทำการย่อยหินในโรงโม่หิน ชนิดของหินพบได้มากมีอยู่ 3 ชนิด เมื่อจำแนกตามหินต้นกำเนิด ได้แก่ หินปูน (Limestone) หินแกรนิต (Granite) และหินบะซอลต์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วัสดุมวลรวมประเภท หินปูนจากจังหวัดสุโขทัย และแสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดินดังรูปที่ 3

ตารางที่ 1 คุณสมบัติพื้นฐานของหินคลุก

วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าพิกัดเหลว (Liquid limit L.L): %	24.96
พิกัดพลาสติก (Plastic limit P.L): %	22.01
ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plastic index P.I)	2.95
Optimum Moisture Content (OMC): %	5.7
Maximum Dry Density: g/m^3	2.3
% CBR	93.91
AASHTO Classification	A-1
USCS Classification	GM

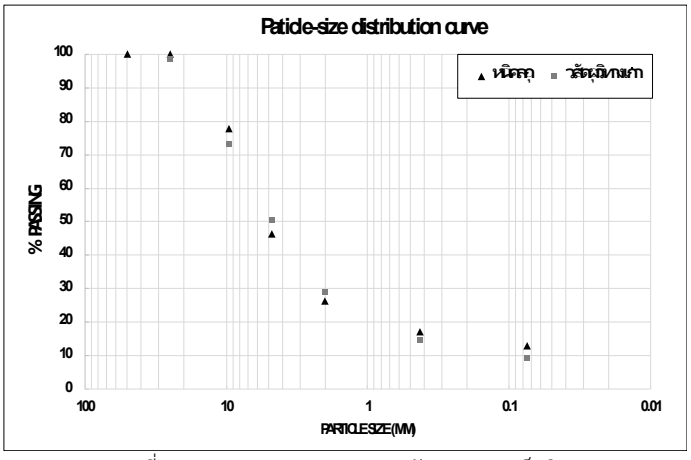
2.1.2. วัสดุผิวทางเก่า (Reclaimed Asphalt Pavement : RAP)

รูปที่ 2 วัสดุผิวทางเก่า

วัสดุผิวทางเก่าเป็นวัสดุที่ได้จากการรื้อหรือตัดชั้นทางแอสฟัลต์ โดยในงานวิจัยนี้ได้ใช้วัสดุมวลรวมประเภท วัสดุผิวทางเก่าจากถนนทางหลวง บริเวณเลี่ยงเมืองพิษณุโลก จังหวัดพิษณุโลก

ตารางที่ 2 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุผิวทางเก่า

วิธีการทดสอบ	ผลการทดสอบ
ค่าพิกัดเหลว (Liquid limit L.L) :%	N/A
พิกัดพลาสติก (Plastic limit P.L) :%	N/A
ค่าดัชนีความเป็นพลาสติก (Plastic index P.I)	Non-plastic
Optimum Moisture Content (OMC) :%	6
Maximum Dry Density : g/m^3	2.12
% CBR	45.02



รูปที่ 3 กราฟแสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ดดิน

ในงานวิจัยนี้มีการปรับปรุงวัสดุผิวทางเก่าด้วยดินปกติ เพื่อใช้สำหรับการทดสอบดังนี้ อัตราส่วนวัสดุผิวทางเก่าต่อดินปกติจะใช้อัตราส่วนร้อยละ 2 ต่อ 1 ตามลำดับ จึงทำให้การกระจายตัวของขนาดเม็ดดินใกล้เคียงกับวัสดุหินคลุกดังรูปที่ 3

2.2. ปูนซีเมนต์

ปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ซึ่งเป็นปูนซีเมนต์ที่ใช้ในงานก่อสร้าง งานโครงสร้างทั่วไป

2.3. พอลิเมอร์

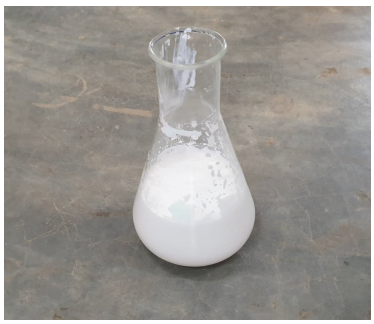
2.3.1. พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนอะคริลิค (SA)

[10] เป็นสารเติมแต่งเพื่อใช้เป็นกาวยึดประสานผสมคอนกรีต ผสมสารเคลือบผิว ประยุกต์และปรับปรุงเพื่อป้องกันความร้อน หรือเพิ่มความยืดหยุ่น ทนทานต่อเกลือและป้องกันการซึมผ่านของน้ำ

รูปที่ 4 พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนอะคริลิค

2.3.2. พอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน (SBR)

[10] เป็นยางสังเคราะห์ชนิดหนึ่งซึ่งผลิตโดยการเตรียมโคโพลิเมอร์ระหว่างสไตรีนและบิวตาไดอีนด้วยวิธีโพลิเมอไรเซชั่นแบบอิมัลชัน (Emulsion polymerization) เป็นยางที่ใช้ในงานทั่วไป ราคาไม่แพง มีหลายเกรดขึ้นกับกระบวนการสังเคราะห์ สามารถนำไปใช้งานได้หลากหลาย เช่น การผลิตสายพาน พื้นรองเท้า ฉนวนหุ้มสายไฟ และส่วนมากจะถูกนำไปใช้ในอุตสาหกรรมผลิตยางล้อยานพาหนะขนาดเล็กโดยใช้ผสมกับยางชนิดอื่น ๆ

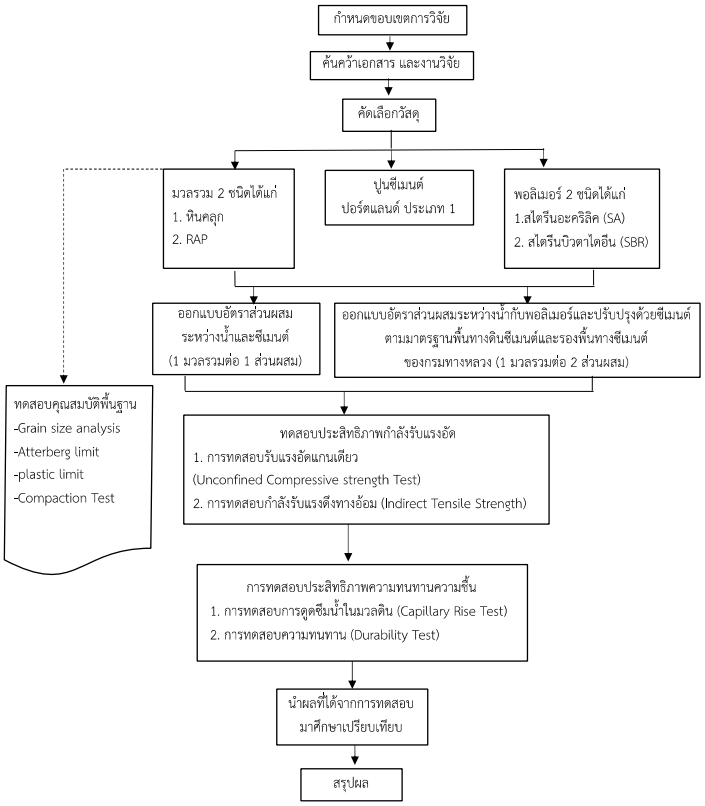


รูปที่ 5 พอลิเมอร์สไตรีนบิวตาไดอีน

2.1. น้ำ

น้ำที่นำมาใช้จะต้องสะอาด ปราศจากสารต่าง ๆ เช่น เกลือ น้ำมัน กรด ด่าง และอินทรีย์วัตถุ เป็นต้น

3. การทดสอบในห้องปฏิบัติการ



รูปที่ 6 ขั้นตอนการดำเนินการทดสอบ

3.1. อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุมวลรวมใช้ 2 ประเภทได้แก่ หินคลุกและวัสดุผิวทางเก่า โดยมีอัตราส่วนดังตารางที่ 3

ตารางที่ 3 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการทดสอบ

ประเภทตัวอย่าง	มวลรวม ผสมซีเมนต์	มวลรวมผสม ซีเมนต์ พอลิเมอร์ SA	มวลรวมผสม ซีเมนต์ พอลิเมอร์ SBR
ซีเมนต์ (ต่อน้ำหนักดินแห้ง)	ร้อยละ 2	ร้อยละ 2	ร้อยละ 2
พอลิเมอร์ SA (ต่อน้ำหนักดินแห้ง)	-	ร้อยละ 4	-
พอลิเมอร์ SBR (ต่อน้ำหนักดินแห้ง)	-	-	ร้อยละ 4
น้ำ (ต่อน้ำหนักดินแห้ง)	ร้อยละ 6	ร้อยละ 4	ร้อยละ 4

3.2. การทดสอบกำลังรับน้ำหนัก

3.2.1. การทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

การทดสอบแรงอัดแกนเดียวนั้นทดสอบตามมาตรฐาน ทล.ท 105/2517

1) การเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบแรงอัดแกนเดียว

ก. ทำการบดอัดดินแบบสูงกว่ามาตรฐานตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบ หลังจากนั้นทำการบ่มตัวอย่างเป็นเวลา 7 วัน ต้องทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับการทดสอบอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ข. วัดขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางและความสูงของตัวอย่าง

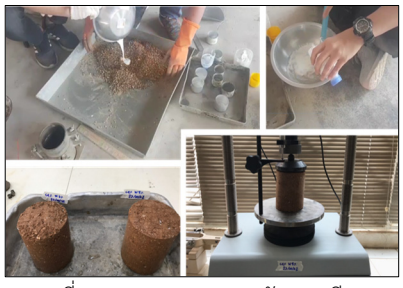
ค. หลังจากนั้นนำตัวอย่างแช่น้ำเป็นเวลา 2 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ

2) การทดสอบแรงอัดแกนเดียว

ก. ติดตั้งตัวอย่างและเครื่องมือโดยวางแท่นตัวอย่างไว้ตรงกลางฐานของเครื่องหลังจากนั้นทำการเลื่อนฐานกดด้านบนให้สัมผัสกับตัวอย่างพอดี

ข. เริ่มทำการกดตัวอย่างโดยให้อัตราการเคลื่อนที่ในแนวดิ่งของเป็นร้อยละ 2 ของความสูงตัวอย่างต่อนาที

ค. ทำการบันทึกน้ำหนักกดและระยะทางเคลื่อนที่ลงในแนวดิ่งทุก ๆ 10 วินาที เมื่อค่าแรงกดลดลงจึงหยุดทำการทดสอบ



รูปที่ 7 การทดสอบแรงอัดแกนเดียว

3.2.2. การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength)

การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม นั้นทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D6931-17

รูปที่ 8 การทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม

1) นำตัวอย่างวางบน Steel loading strip ที่อยู่ด้านล่าง แล้วปรับ Steel loading strip ที่อยู่ด้านบนลงมาสัมผัสกับผิวตัวอย่างและตรวจสอบว่า Steel loading strip ต้องอยู่ตรง

2) เดินเครื่องโดยให้น้ำหนักกดในแนวดิ่งด้วยอัตราเร็ว 50 ± 5 มิลลิเมตรต่อนาที อย่างต่อเนื่อง จนกระทั่งตัวอย่างพังทลายบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด

3.3. การทดสอบด้านประสิทธิภาพความทนทาน

3.3.1. การทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน (Capillary Rise Test)

การทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน ทดสอบตามมาตรฐาน AS 1141.53 (Standards Australia)

1. ทำการขึ้นก้อนตัวอย่างแบบ Modified Proctor Test จากนั้นทำการบ่มตัวอย่าง 7 วันจากนั้นเข้าตู้อบที่ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 3 วัน

2. นำตัวอย่างออกจากตู้อบ รอให้เย็นใช้เวลาประมาณ 1-2 ชั่วโมง

3. แช่น้ำในอ่างหรือถาดก้นแบน ความสูง 1 เซนติเมตร (น้ำคงที่) ที่อุณหภูมิห้องเป็นเวลา 3 วัน

4. วัดค่าความสูงของระดับน้ำที่ 5 10 15 20 30 นาที และ 1 2 4 8 16 32 64 72 ชั่วโมง

5. การคำนวณการดูดซึมน้ำในมวลดิน (Capillary rise test , CR %) ดังสมการที่ 1

$$CR\ ,\ \% = \left(\frac{\text{ความสูงของน้ำที่ดูดซึม ณ เวลานั้น}}{\text{ความสูงทั้งก้อนตัวอย่าง}}\right) \times 100 \qquad (1)$$

รูปที่ 9 การทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน

3.3.2. การทดสอบความทนทาน (Durability Test)

การทดสอบความทนทาน เป็นวิธีการทดสอบโดยวิธีเปียกสลับแห้ง (Wetting and drying) ตามมาตรฐาน ASTM D559

รูปที่ 10 การทดสอบความทนทาน

1. ตัวอย่างเมื่อมีอายุการบ่มตามต้องการแล้ว นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิห้องทดลองเป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วนำขึ้นมาชั่งน้ำหนัก

2. นำตัวอย่างไปอบที่อุณหภูมิ 71 องศาเซลเซียส นาน 42 ชั่วโมงแล้วนำไปชั่งน้ำหนัก

3. ถูตัวอย่างด้วยแปรงลวด โดยตั้งตัวอย่างในแนวดิ่งแล้วนำแปรงลวดมาถูขึ้นและลงให้รอบตัวอย่าง จำนวนประมาณ 18-20 ครั้ง ส่วนที่ผิวบนและล่างถูด้านละ 2-4 ครั้งให้ทั่วผิว การถูใช้แรงประมาณ 1.33 กิโลกรัม เสร็จแล้วนำตัวอย่างไปชั่งน้ำหนัก

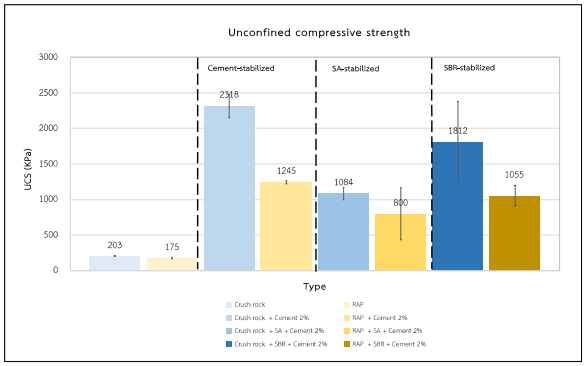
4. วิธีการจากข้อ 1 ถึงข้อ 3 เป็นการทำครบ 1 รอบต้องทำการทดลองให้ครบ 12 รอบ แล้วนำตัวอย่างไปอบให้แห้งที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ชั่งน้ำหนักของตัวอย่างแห้งอีกครั้ง

5. คำนวณร้อยละความสูญเสียน้ำหนักของตัวอย่าง

4. ผลการทดสอบ

4.1. ผลการทดสอบแรงอัดแกนเดียว (Unconfined Compression Test)

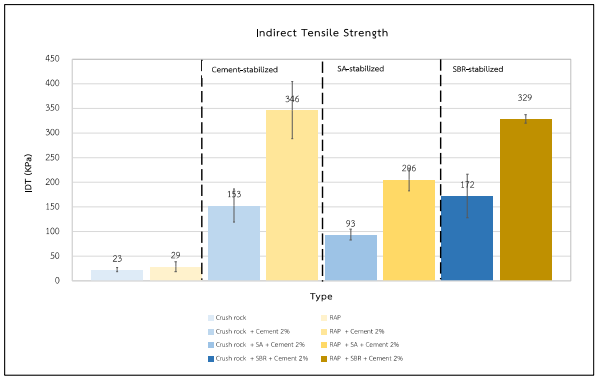
จากรูปที่ 11 ผลการทดสอบนั้นจะพบว่า วัสดุหินคลุกนั้นจะมีกำลังรับแรงอัดได้ดีกว่าและวัสดุผิวทางเก่า โดยมีค่าสูงที่สุดคือหินคลุกที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์ และรองลงมาคือหินคลุกที่ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีน และ ชนิดสไตรีนอะคริลิค ซึ่งมีค่า 2318 1812 และ 1084 กิโลพาสคาล ตามลำดับ



รูปที่ 11 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว

4.2. ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength)

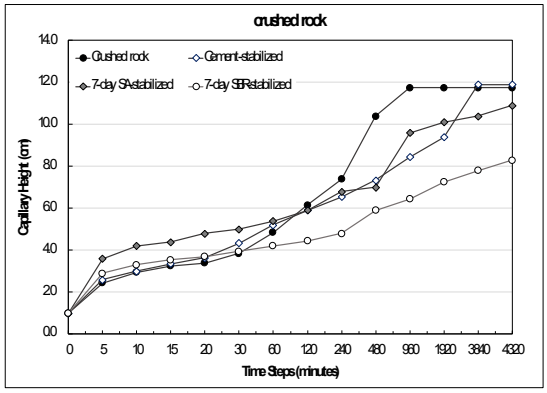
จากรูปที่ 12 นั้นแสดงให้เห็นถึงผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อมแสดงให้เห็นว่า วัสดุผิวทางเก่านั้นสามารถรับแรงดึงทางอ้อมได้ดีกว่าหินคลุก โดยค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมจะสูงที่สุดวัสดุผิวทางเก่าที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์ รองลงมาคือวัสดุผิวทางเก่าที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีน และชนิดสไตรีนอะคริลิค ซึ่งมีค่า 346 329 และ 206 กิโลพาสคาล ตามลำดับ



รูปที่ 12 ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม

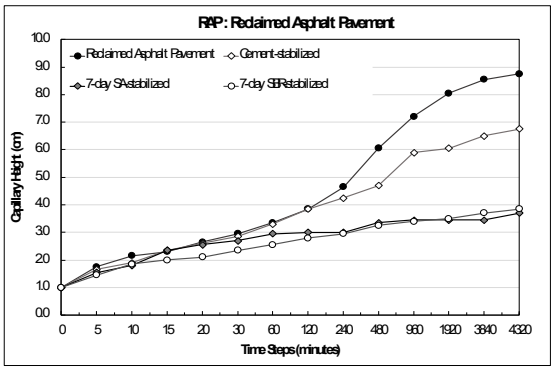
4.3. ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน (Capillary Rise Test)

จากรูป 13 นั้นจะเห็นได้ว่าการดูดซึมน้ำในวัสดุหินคลุกที่ยังไม่ได้ปรับปรุงด้วยคุณสมบัตินั้น มีการพังทลายของก้อนตัวอย่างก่อนระยะเวลา 72 ชั่วโมง และการปรับปรุงหินคลุกด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีน นั้นใช้ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำช้าที่สุด



รูปที่ 13 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำในมวลดินกับเวลาของวัสดุหินคลุก

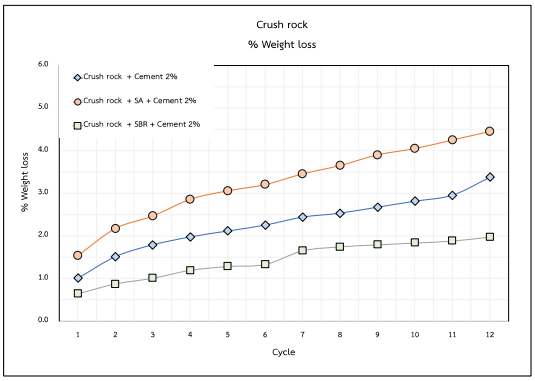
จากรูปที่ 14 พบว่า วัสดุผิวทางเก่านั้นใช้ระยะเวลาในการดูดซึมที่ช้าวัสดุหินคลุก และยังพบว่า การปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุผิวทางเก่าด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีนใช้ระยะเวลาในการดูดซึมน้ำช้าที่สุด เช่นเดียวกับวัสดุหินคลุก



รูปที่ 14 ความสัมพันธ์ระหว่างความสูงของน้ำในมวลดินกับเวลาของวัสดุผิวทางเก่า

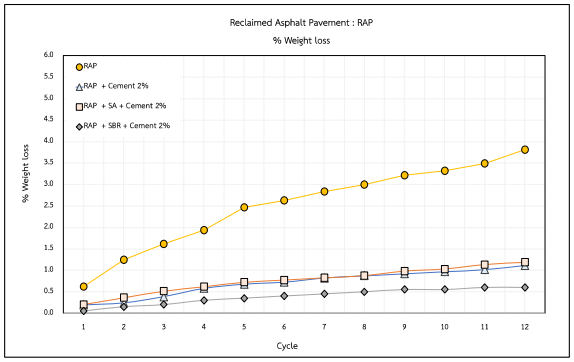
4.4. ผลการทดสอบความทนทาน (Durability Test)

จากรูปที่ 15 พบว่า ตัวอย่างหินคลุกปกติที่ยังไม่ได้ปรับปรุงคุณสมบัตินั้นพังทลาย อีกทั้งหินคลุกที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์นั้นมีค่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนัก สูงกว่าหินคลุกที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด



รูปที่ 15 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและจำนวนรอบทานของหินคลุก

จากรูปที่ 16 นั้นผลการทดสอบ พบว่าตัวอย่างวัสดุผิวทางเก่าที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิด ซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีน นั้นมีร้อยละการสูญเสียน้ำหนักต่ำที่สุด



รูปที่ 16 ความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละการสูญเสียน้ำหนักและจำนวนรอบของวัสดุผิวทางเก่า

5. สรุป

จากผลการทดสอบนั้น ผู้วิจัยสามารถสรุปได้ดังนี้

1. การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียวนั้น พบว่าจะลดลงเมื่อวัสดุมวลปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด และจะต่ำที่สุดเมื่อปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนอะคริลิค

ในทางตรงกันข้าม เมื่อพิจารณาดังตารางที่ 4 นั้นพบว่าการทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อมนั้นจะเพิ่มขึ้นวัสดุมวลปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด และจะสูงที่สุดคือวัสดุมวลปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีน

2. การทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดินนั้นพบว่า วัสดุมวลรวมปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ทั้ง 2 ชนิด จะมีอัตราการดูดซึมน้ำที่ต่ำลงเมื่อเปรียบเทียบกับวัสดุมวลรวมที่ปรับปรุงเพียงซีเมนต์ และอัตราการดูดซึมน้ำในมวลดินจะที่ต่ำที่สุด คือวัสดุมวลรวมที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์ชนิดสไตรีนบิวตาไดอีนดังตารางที่ 4

3. การทดสอบความทนทานนั้นพบว่า วัสดุมวลรวมปรับปรุงด้วยซีเมนต์พอลิเมอร์นิดสไตรีนบิวตาไดอีน ส่งผลให้ร้อยละการสูญเสียของน้ำหนักลดต่ำลงเช่นเดียวกัน

ตารางที่ 4 ตารางสรุปเปรียบเทียบกับประสิทธิภาพผลการทดสอบกับประเภทมวลรวมที่ปรับปรุงชนิดแตกต่างกัน

ประเภทตัวอย่างมวลรวมที่ปรับปรุงดังนี้	ซีเมนต์	ซีเมนต์และพอลิเมอร์ SA	ซีเมนต์และพอลิเมอร์ SBR
ผลทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว	สูง	ต่ำ	ปานกลาง
ผลทดสอบกำลังรับแรงดึงทางอ้อม	ปานกลาง	ต่ำ	สูง
ผลทดสอบการดูดซึมน้ำในมวลดิน	ปานกลาง		ช้า
ผลการทดสอบความทนทาน	ปานกลาง		สูง

6. กิตติกรรมประกาศ

ในการทดสอบนี้สำเร็จลุล่วงด้วยดี ข้าพเจ้าขอขอบคุณ นายพงศกร ปาละ นายปฐมพร สุกัลทะ และ นายวิทวัส จันต๊ะ สำหรับการทดสอบในงานวิจัยนี้

อีกทั้งขอบพระคุณทุนสนับสนุนการนำเสนอผลงานวิจัยของ รองศาสตราจารย์ ดร.วิชาญ ภู่พัฒน์ เนื่องในโอกาสครบรอบ 25 ปี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ในการนำเสนอผลงานวิจัยในครั้งนี้

7. การอ้างอิง

[1] Rezaeimalek, S., Nasouri, R., Huang, J., & Bin-Shafique, S. (2018). Curing Method and Mix Design Evaluation of a Styrene-Acrylic Based Liquid Polymer for Sand and Clay Stabilization. *Journal of Materials in Civil Engineering, 30*(9). doi:10.1061/(asce)mt.1943-5533.0002396

[2] Radhia, M., & Ahmed, L. A. J. (2019). *Sandy Soil Stabilization with Polymer*.

[3] **กรมทางหลวง**. (2515). **ทดลองค่า** Liquid Limits (L.L.). In **ทล-ท***102/2515*.

[4] **กรมทางหลวง**. (2516). **วิธีการทดลองหาค่า** Unconfined Compressive Strength **ของดิน**. In **ทล.ท** *105/2515*.

[5] กรมทางหลวง. (2517). วิธีการทดลอง Compaction Test แบบสูงกว่ามาตรฐาน. In ทล.ท *108/2517*.

[6] กรมทางหลวง. (2532). มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Subbase). In ทล.ม *206/2532*.

[7] **กรมทางหลวง.** (2556). **มาตรฐานหินคลุกผสมซีเมนต์** (Cement Modified Crushed Rock Base). In **ทล.ม** *203/2556*.

[8] กรมทางหลวง. (2556). มาตรฐานพื้นทางดินซีเมนต์ (Soil Cement Base). In ทล.ม *204/2556*.

[9] **สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ.** (2555). **คู่มือการปฏิบัติงาน** *ASPHALT HOT–MIX RECYCLING*. **กรมทางหลวง.**

[10] นายธราวิชญ์ ช่วงชิด และคณะ. (2562). การปรับปรุงดินสำหรับงานทางด้วยพอลิเมอร์ เพื่อลดผลกระทบจากความชื้นและเพิ่มอายุการใช้งาน. (ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์บัณฑิต). มหาวิทยาลัยนเรศวร.