คุณสมบัติด้านกำลังของดินตะกอนขุดจากทะเลสาบ ที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล

Mechanical properties of lake sediment stabilized by cement and recycled concrete for pavement material

ศุภากร แต้ศิลปชัย[1] อนุพงศ์ คำปลอด[2] ธนกฤต เทพอุโมงค์[2*] และธนกร ชมภูรัตน์[3]

[1] นิสิตปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[2] อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
[3] รองศาสตราจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยพะเยา จ.พะเยา
**Corresponding author; E-mail address: thanakit.th@up.ac.th*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงอัดของดินตะกอนที่ขุดลอกจากทะเลสาบปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล ดินตะกอนที่ใช้ในงานวิจัยคือ ดินตะกอนกว๊านพะเยา ที่ได้มาจากการขุดเก็บที่ระดับผิวดินบริเวณจุดกองทิ้งรอบทะเลสาบ และวัสดุประสานที่ใช้คือ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง และคอนกรีตรีไซเคิลที่ได้จากการรื้อถอนอาคาร วิธีการปรับปรุงคุณภาพดินจะทำการผสมดินตะกอนด้วยปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 0 3 5 7 และ 10 และปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยน้ำหนักดิน การเตรียมตัวอย่างของแต่ละส่วนผสมจะเตรียมที่ระดับปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุดที่ได้จากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ตัวอย่างทดสอบถูกเตรียมในแบบหล่อขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 2 นิ้ว สูง 4 นิ้ว และนำไปบ่มที่ 7 และ 28 วัน เมื่อครบอายุการบ่มตัวอย่างทดสอบจะถูกนำไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว สุดท้ายงานวิจัยนี้จะนำเสนอสัดส่วนผสมที่เหมาะสมของดินดินตะกอน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทหนึ่ง และคอนกรีตรีไซเคิล สำหรับนำไปประยุกต์ใช้สำหรับงานวิศวกรรมผิวทางต่อไป

คำสำคัญ: การปรับปรุงคุณภาพดิน, ดินตะกอนขุด, ปูนซีเมนต์, คอนกรีตรีไซเคิล, กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว

Abstract

This research purpose was to study the cement and recycled concrete for pavement improved the mechanical properties of lake sediment. The sediment which used in this research is from Kwan Phayao (Phayao lake), gained by digging at the surface in the dumping areas around the lake and the solder materials were the ordinary Portland cement and recycled concrete from the building demolition. The way of soil improvement was mixing the sediment with cement in ratio as 0%, 3%, 5%, 7%, and 10% and the volume of recycled concrete in ratio as 0%, 5%, 10%, 15% and 20% upon the soil weight. The preparation of each mixture was in the appropriate humidity and the driest density from compaction test higher than the standard. The samples were prepared in the molds with diameter 2 inches and height 4 inches. Then, mature at 7 and 28 days. As the maturity in defined periods, the samples were bought into unconfined compression test. Finally, this research is going to present the appropriate ratio of sediment and the ordinary Portland cement and recycled concrete for applying in highway engineering later.

Keywords: Soil improvement, Dredged sediment, Cement, Recycled concrete, Unconfined compressive strength

1. บทนำ

ปัจจุบันกว๊านพะเยาเป็นแหล่งทะเลสาบน้ำจืดขนาดใหญ่ประสบปัญหาด้านปริมาตรกักเก็บน้ำที่ลดลงเนื่องจากการตื้นเขินของน้ำเนื่องจากการทับถมของดินตะกอนที่ไหลมาพร้อมกับแหล่งน้ำต่างๆที่เข้าสู่กว๊านพะเยา ส่งผลให้ปริมาตรกักเก็บน้ำลดลง ทำให้ปริมาณน้ำที่เพิ่มมากขึ้นในช่วงฤดูฝนเกิดปัญหาด้านอุทกภัย (จังหวัดพะเยา, 2564) [1] จากเหตุข้างต้นจังหวัดพะเยามีนโยบายเกี่ยวกับการขุดลอกกว๊านพะเยาเพื่อนำดินตะกอนที่สะสมออกทำให้ในปัจจุบันพบว่ามีดินตะกอนกว๊านพะเยากองทิ้งอยู่บริเวณกว๊านพะเยาเป็นจำนวนมาก

งานวิจัยนี้จึงเล็งเห็นว่าปริมาณของดินตะกอนกว๊านพะเยามีจำนวนมากและเป็นวัสดุเหลือใช้ที่สามารถนำมาใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมการทางได้ Chompoorat T. (2021) [2] กล่าวไว้ว่า ถ้าหากนำเอาดิน

ตะกอนมาใช้ในงานก่อสร้างนั้นดินตะกอนต้องถูกทำการปรับปรุงคุณภาพของดินก่อนเนื่องจากภายในดินตะกอนนั้น มีน้ำค่อนข้างสูง การทดสอบในห้องปฏิบัติการ ได้แก่ Scanning electron microscope (SEM) และenergy-dispersive X-ray spectroscopy (EDX) ทำการตรวจสอบการเปลี่ยนแปลงโครงสร้างจุลภาคในดินตะกอน เก็บตัวอย่างรูปร่างหลังจากการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว และการทดสอบ X-Ray Diffractometer (XRD) ใช้วิเคราะห์และระบุชนิดสารประกอบ การปรับปรุงคุณภาพของดินตะกอนนั้นต้องอาศัยปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปริมาณมาก เพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ จึงศึกษาการนำเอาปูนซีเมนต์ที่ใช้แล้วนำกลับมาใช้ใหม่เรียกว่า คอนกรีตรีไซเคิล (Recycled concrete)

กมล ตรีผอง และรณกร เทพวงษ์ (2020) [3] ได้กล่าวไว้ว่า การนำเศษซากอาคารหรือสิ่งก่อสร้างที่ถูกรื้อถอนเพื่อมารีไซเคิลใหม่เป็นกระบวนการที่มีประสิทธิภาพมากในการกำจัดเศษซากคอนกรีตรื้อถอนและคอนกรีตรีไซเคิลที่นำมาใช้นั้นกระบวนการทำจะนำวัสดุมาทำการบดอัดคอนกรีตให้เป็นผงมีลักษณะคล้ายกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อประหยัดค่าใช้จ่ายการประยุกต์ใช้ดินตะกอนกว๊านพะยาเป็นวัสดุชั้นทางจึงเป็นทางเลือกในการศึกษา Circeo, Davidson and David (1962) [4] ได้กล่าวไว้ว่า การใส่ปูนซีเมนต์ผสมลงไปในดินเป็นการเปลี่ยนคุณสมบัติ และโครงสร้างของดินไปด้วย โดยดินเกือบทุกชนิดสามารถปรับปรุงคุณภาพได้ แต่จะให้ผลที่แตกต่างกัน แม้ว่าดินจะมีสมบัติทางฟิสิกส์ (Physics) ที่เหมือนกัน และใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ ที่มาผสมเท่ากัน เพราะว่าในดินแต่ละชนิดนั้นจะมีคุณสมบัติทางเคมี (Chemical property) ที่แตกต่างกัน การปรับปรุงคุณภาพดินเพื่อเพิ่มกำลังแบกทานที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งาน โดยมีวิธีการทดสอบการบดอัดดิน (Compaction) กระบวนการปรับปรุงคุณภาพดินหรือการทำให้ดินแน่นขึ้น ตามมาตรฐาน ASTM D 1557 [5] โดยการลดช่องว่าง และทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compressive strength, UCS) ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D 2166 [6] เพื่อหาค่าความสามารถในการรับแรงของดินที่ทำการปรับปรุงคุณภาพแล้วเพื่อให้มีคุณสมบัติและข้อกำหนดสำหรับชั้นพื้นทาง (Base layer)

2. การเตรียมวัสดุและการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่นำมาใช้ในการทดสอบนั้นประกอบด้วย ดินตะกอนกว๊านพะเยา ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary portland cement, OPC) และคอนกรีตรี-ไซเคิล (Recycled concrete aggregate, RCA) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 แสดงในรูปที่ 1 โดยตัวอย่างที่นำมาศึกษาเป็นดินตะกอนที่เก็บได้จากการขุดทะเลสาบกว๊านพะเยา อำเภอเมืองพะเยา จังหวัดพะเยาดังแสดงในรูปที่ 2

ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานแบบทางวิศวกรรมของดินตะกอนกว๊านพะเยา ตามมาตรฐาน ASTM D4318 [7], ASTM D 427 [8], ASTM D 854 [9], ASTM D 442 [10] มีค่าความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) เท่ากับ 2.71 ค่าขีดพิกัดเหลว (Liquid limit, LL) มีค่าเท่ากับ 43 % ขีดจำกัดพลาสติก (Plastic Limit, PL) มีค่าเท่ากับ 15.29 % และ มีค่าดัชนีพลาสติกซิตี้ (Plasticity index, PI) เท่ากับ 27.71 % ดังตารางที่ 1 และการกระจายของขนาดเม็ดดินจะดังแสดงรูปที่ 3

ถนนเป็นโครงสร้างพื้นฐานที่มีราคาแพงมาก และใช้ทรัพยากรธรรมชาติอย่างมาก การใช้คอนกรีตมวลรวมรีไซเคิล (RCA) สำหรับการก่อสร้างถนนสามารถ ก่อให้เกิดประโยชน์หลายประการต่อความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม เศรษฐกิจ และสังคม สิ่งนี้จะลดคาร์บอนของ อุตสาหกรรมการก่อสร้าง ส่งผลให้เกิดการอนุรักษ์ทรัพยากรธรรมชาติลดการปล่อยมลพิษที่เป็นอันตราย และ ลดต้นทุนการก่อสร้างถนน



(a)



(b)



(c)

รูปที่ 1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (a) ดินตะกอนกว๊านพะเยา (b) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (c) คอนกรีตรีไซเคิล (RCA) ที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200



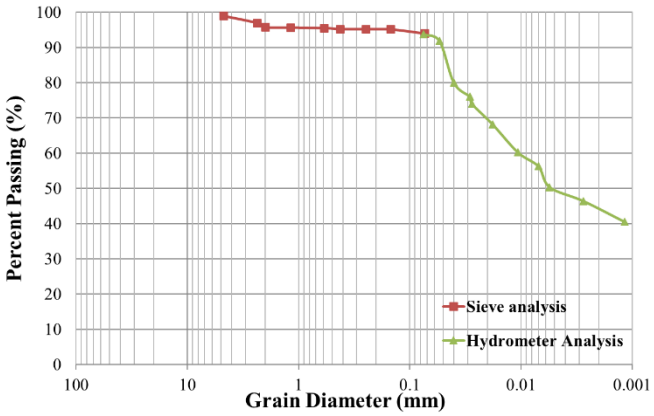
รูปที่ 2 กองดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ถูกกองทิ้งไว้

Olorunsogo and Padayachee, (2002) [11] ได้กล่าวไว้ว่า คุณสมบัติการรับกำลังจะลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณมวลรวมรีไซเคิลมากขึ้นในส่วนผสม แต่การเพิ่มอายุช่วงการบ่มยังส่งผลให้การรับกำลังดีขึ้นตามอายุของการบ่ม

จากงานวิจัยของ Lorenzo and Bergado (2004) [12], Jongpradist et al. (2011, 2018, 2019) [13] [14] [15] และ Jamsawang et al. (2017) [16] แสดงให้เห็นว่า ปริมาณปูนซีเมนต์และเวลาในการบ่มตัวส่งผลกระทบต่อคุณสมบัติทางกายภาพของดินเหนียวผสมปูนซีเมนต์

ตารางที่ 1 ผลการทดสอบหาคุณสมบัติพื้นฐานและการจำแนกชนิดดินตะกอนกว๊านพะเยาในทางวิศวกรรม

การทดสอบ	ผลการทดสอบ	หน่วย
ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity)	2.71	-
ปริมาณความชื้นของดินในธรรมชาติ (Natural water content)	10.44	%
ขีดจำกัดเหลว (Liquid limit)	43	%
ขีดจำกัดพลาสติก (Plasticity limit)	15.29	%
ขีดจำกัดหดตัว (Shrinkage limit)	16.91	%
ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4	99.00	%
ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 200	94.01	%
หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (Maximum dry unit weight)	16.160	kN/m^3
ปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum water content)	16.70	%
การจำแนกตามเกณฑ์ของ ASSHTO	A-7-6	-
การจำแนกตามเกณฑ์ของ USCS	CL	-



รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบหาขนาดคละของดินตะกอนกว๊านพะเยา

Vilson Abreu, luis Evangelista and Jorge de brito, (2018) [17] ได้กล่าวไว้ว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงเมื่อรอบของการรีไซเคิลมวลรวมหยาบนั้นมากขึ้น ซึ่งปัจจัยที่ส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดนั้นเกิดจากคุณสมบัติเชิงกลของมวลรวมหยาบ ซึ่งความหนาแน่นมีค่าลดลงเมื่อรอบ(เมื่อเพิ่มจำนวนครั้งของการรีไซเคิลมวลรวมหยาบ)ของการรีไซเคิลมวลรวมหยาบนั้นมากขึ้น อาจเป็นเพราะมวลรวมหยาบรีไซเคิลมีโพรงภายในมากกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติ ค่าการดูดซึมน้ำมีค่ามากขึ้นเมื่อรอบของการรีไซเคิลมวลรวมหยาบนั้นมากขึ้น ส่งผลให้เมื่อจำนวนรอบของการรีไซเคิลเพิ่มมากขึ้นจำเป็นต้องใช้น้ำมากขึ้นตามไปด้วย ดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดี่ยว

ตัวอย่าง	UCS		
	7 วัน	28 วัน	56วัน
Normal concrete	46.2	55.9	63.8
RAC1-25	47.6	59.7	65
RAC1-100	44	54.1	59
RAC2-25	47	55.9	60.7
RAC2-100	43.3	53.3	57.6
RAC3-25	45.2	55.9	62.7
RAC3-100	40.3	48.6	56.2

ที่มา : Vilson Abreu, luis Evangelista and Jorge de brito (2018)

3. ผลการทดสอบ

3.1 การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (Modified compaction test)

สำหรับผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานจากทั้งหมด 25 ส่วนผสมของ ดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมกับปูนซีเมนต์และ

คอนกรีตรีไซเคิล พบว่ามีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด (Maximum dry unit weight, $\gamma_{d\,max}$) อยู่ระหว่าง 16.06-16.83 kN/m^3 และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม (Optimum moisture content, OMC) นั้นมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 12.97–19.16% โดย หลังจากการทดสอบเสร็จสิ้นจะพบว่า ปริมาณของปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลที่ผสมเข้าไปกับดินตะกอนกว๊านพะเยานั้นล้วนส่งผลต่อค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมของดินตะกอนกว๊านพะเยา

เมื่อวิเคราะห์สัดส่วนดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมคอนกรีตรีไซเคิลอย่างเดียว ที่ปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลเท่ากับ 0 5 10 15 และ 20% โดยน้ำหนักดินแห้ง ดังแสดงในรูปที่ 4(a) พบว่าค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด จะมีค่าอยู่ประมาณ 16.06-16.16 kN/m^3 ส่วนค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมนั้น มีค่าอยู่ที่ประมาณ 15.48-16.70 % โดยตัวอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ไม่ผสมปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล (ปูนซีเมนต์ 0 เปอร์เซ็นต์ คอนกรีตรีไซเคิล 0 เปอร์เซ็นต์) จะพบว่ามีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งที่สูงที่สุดและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมที่มากที่สุด และเมื่อไหร่ก็ตามที่ดินตะกอนกว๊านพะเยามีการใส่คอนกรีตรีไซเคิลเพิ่มเข้าไป ก็จะส่งผลให้มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดลดลง และปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก็ลดลงเช่นกัน ยิ่งมีปริมาณของสารผสมเพิ่มอย่างคอนกรีตรีไซเคิลที่ใส่เข้าไปเยอะขึ้น ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดก็จะลดลงและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก็จะลดลง ตามปริมาณของคอนกรีตรีไซเคิลที่ใส่เข้าไป

ส่วนในตัวอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์เพียงอย่างเดียว ดังแสดงในรูปที่ 4(f) พบว่าสัดส่วนดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ไม่ผสมปูนซีเมนต์ และคอนกรีตรีไซเคิลหรือดินตะกอนกว๊านเพียงอย่างเดียวจะมีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงที่สุด และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่ามากที่สุด เมื่อไหร่ที่ตัวอย่างดินตะกอนกว๊านพะเยามีการใส่สารผสม เพิ่มอย่างปูนซีเมนต์เข้าไปค่าหน่วยน้ำหนักก็จะมีค่าที่ลดลงและปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก็จะลดลง เช่นเดียวกันกับตัวอย่างดินตะกอนที่ผสมกับคอนกรีตรีไซเคิลเพียงอย่างเดียว

จากตัวอย่างที่กลุ่มสัดส่วนดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมด้วยคอนกรีตรีไซเคิลกับกลุ่มสัดส่วนดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์นั้น พบว่าทั้งการใส่สารผสมเพิ่มทั้งปูนซีเมนต์ และคอนกรีตรีไซเคิลต่างส่งผลต่อค่าหน่วยน้ำหนักและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม โดยผลลัพธ์ต่าง เป็นไปในทางเดียวกันคือ ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งจะลดลงและค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมจะมีค่าลดลงตามปริมาณของสารผสมเพิ่มที่ใส่เข้าไป ดังนั้นจากสัดส่วนดินตะกอนกว๊านพะเยา ที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ที่ 3 5 7 และ 10% ดังในรูปที่ 4(b) 4(c) 4(d) และ 4(e) ซึ่งในแต่ละปริมาณปูนซีเมนต์ดังกล่าวที่มีการผสมคอนกรีตรีไซเคิลเข้าไปพบว่ามีแนวโน้มการเปลี่ยนของเส้นกราฟการบดอัดเช่นเดียวกันกับดินตะกอนที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ และดินตะกอนที่ผสมด้วยคอนกรีตรีไซเคิล ทั้งหมดทุกตัวอย่าง เช่น เส้นกราฟการบดอัดที่ผสมปูนซีเมนต์ 5% ดังในรูปที่ 4(c) พบว่า เมื่อปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลที่ใส่เพิ่มเข้าไปมากขึ้นก็จะพบว่าค่าหน่วยน้ำหนักแห้งลดลง และค่าปริมาณน้ำก็ลดลงเช่นกัน

เทอดศักดิ์, (2559) [19] Kang and Weibin, (2018) [20] ได้กล่าวไว้ว่าเมื่อไหร่ก็ตามที่มีการเติมปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลเข้าไปมากขึ้นก็จะส่งผลให้ค่า หน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดมีค่าลดน้อยลง และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมก็จะลดลงตามไปด้วย ดังแสดงในรูปที่ 4 ที่แสดงข้อมูลผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ดังนั้นในการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานกับดินตะกอนกว๊านพะเยาที่มีการใส่ปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลเข้าไป จะทำให้เส้นกราฟการบดอัดของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ประกอบด้วยปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลเปลี่ยนแปลงไปตามปริมาณสารผสมเพิ่มที่ใส่เข้าไป โดยจะทำให้ค่าหน่วยน้ำหนักแห้งลดลงและปริมาณน้ำที่เหมาะสมก็ลดลง เนื่องจากตัวอย่างในแต่ละสัดส่วนมีการดูดซึมและอุ้มน้ำที่น้อยลง ประกอบกับค่าหน่วยน้ำหนักของน้ำที่มีค่าต่ำกว่าค่าหน่วยน้ำหนักของดิน จึงเป็นเหตุผลที่มาของการลดลงของค่าหน่วยน้ำหนักในแต่ละสัดส่วนนั่นเอง

ในส่วนผลการทดสอบ EDS ของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 และคอนกรีตรีไซเคิล พบว่า ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 มีสารประกอบ Calcium (Ca) และ Copper (Cu) อยู่ในปริมาณ 77.12 และ 14.90% ตามลำดับ ส่วนคอนกรีตรีไซเคิล พบว่ามี สารประกอบ Calcium (Ca) และ Aluminum (Al) ประกอบอยู่ในปริมาณ 111.71 และ 3.23% ตามลำดับ ข้อมูลองค์ประกอบธาตุของดินตะกอนกว๊านพะเยา ปูนซีเมนต์ และคอนกรีตรีไซเคิล ที่ได้จากการทดสอบ EDS จะแสดงในตารางที่ 3

3.1 การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compression test)

การทดสอบหาค่ากำลังรับแกนเดี่ยวของดินตะกอนที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์ และคอนกรีตรีไซเคิล นั้นพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Unconfined compressive strength, UCS) จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใส่เข้าไป แต่การที่ใส่คอนกรีตรีไซเคิลเข้าไปพบว่า เมื่อมีการเติมปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลเข้าไปก็จะส่งผลให้ค่า UCS เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับปูนซีเมนต์ แต่ว่าการใส่คอนกรีตรีไซเคิลเข้าไปผสมในปริมาณที่มากเกินไปก็จะส่งผลให้ค่า UCS มีค่าลดลงได้ ดังนั้นในงานวิจัยนี้พบว่าปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลที่เพิ่มเข้าไปนั้นจะทำให้ค่า UCS ลดลงอย่างมาก

ดังนั้นสาเหตุของการเพิ่มขึ้นของค่า UCS จะพบว่าในส่วนของการผสมปูนซีเมนต์เข้าไปนั้นส่งผลให้เกิดเป็นปฏิกิริยาไฮเดรชั่น ที่เป็นตัวทำ

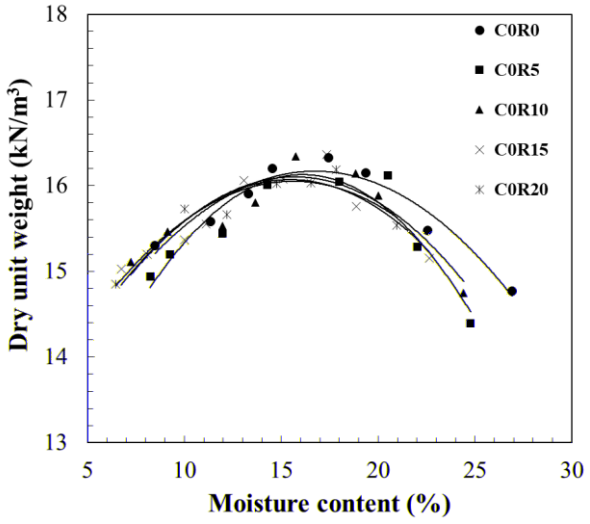
ให้ดินตะกอนกว้านพะเยามีค่า UCS ที่สูงขึ้น มีความเสถียรภาพมากขึ้น เนื่องจากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่เกิดขึ้นนี้เป็นผลทำให้ตัวอย่างดินตะกอนกว้านพะเยามีค่า UCS ที่สูงขึ้นตามไปด้วย แต่ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นนี้จะเกิดขึ้นได้ดีคือในช่วงระยะเวลาที่อายุการบ่มที่ 28 วัน ซึ่งเมื่อสังเกตดูจากรูปที่ 5 ก็จะพบว่ามีความสอดคล้องตรงกันกับการเพิ่มขึ้นของค่า UCS ในช่วงอายุการบ่มที่ 28 วัน

การนำคอนกรีตรีไซเคิลมาทำการผสมกับดินตะกอนกว้านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ นั้นพบว่ามีการลดลงของค่า UCS เนื่องจาก Wangwen Huo et al. (2021) [21] ได้กล่าวว่าปฏิกิริยาหลักที่เกิดจากการสังเคราะห์จีโอโพลีเมอร์ที่ใช้คอนกรีตรีไซเคิล คือแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและอะลูมิเนียมซิลิเกตที่มีสภาพที่สารยังคงไม่มีโครงสร้างผลึก เนื่องจากฤทธิ์ทางชีวภาพต่ำและปริมาณแคลเซียมสูงผลึกส่วนใหญ่และที่ไม่ทำปฏิกิริยาบางส่วนในวัสดุ อีกทั้งยังมีความเป็นวัสดุเฉื่อยจึงส่งผลให้ค่า UCS ลดลง ซึ่งเมื่อเติมปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลเข้าไปมาก ๆ ยิ่งทำให้ค่า UCS ลดลงอย่างมากเห็นได้ชัดจากรูปที่ 5 จะเห็นได้ว่าเมื่อมีปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลเยอะ ค่า UCS ยิ่งน้อยลงตามไปด้วย แสดงให้เห็นว่าเมื่อเพิ่มปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลส่งผลให้ค่า UCS ลดลง

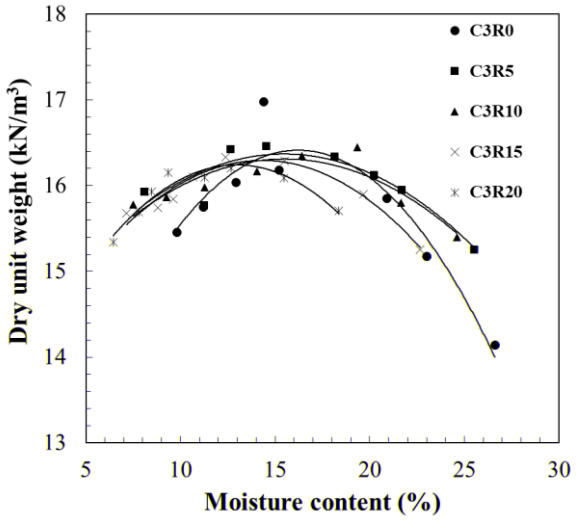
ข้อมูลค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว (Modulus elastic at 50% of maximum compressive strength, E_{50}) ที่ได้จากการทดสอบหาค่า UCS นั้นพบว่ามีพฤติกรรมที่คล้ายคลึงกันกับค่า UCS โดยค่า E_{50} จะแปรผันตามปริมาณของปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลด้วยเช่นกัน เมื่อใส่ปริมาณของปูนซีเมนต์หรือคอนกรีตรีไซเคิลลงไปในตัวอย่างดินตะกอนกว้านพะเยามากขึ้น ทั้งนี้ก็จะทำให้ค่า UCS เพิ่มขึ้นและลดลงแล้วก็จะส่งผลไปถึงการเพิ่มขึ้นและลดลงของค่า E_{50} ด้วยเช่นกัน ดังแสดงในรูปที่ 6

ตารางที่ 3 องค์ประกอบธาตุของดินตะกอนกว้านพะเยา ปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล

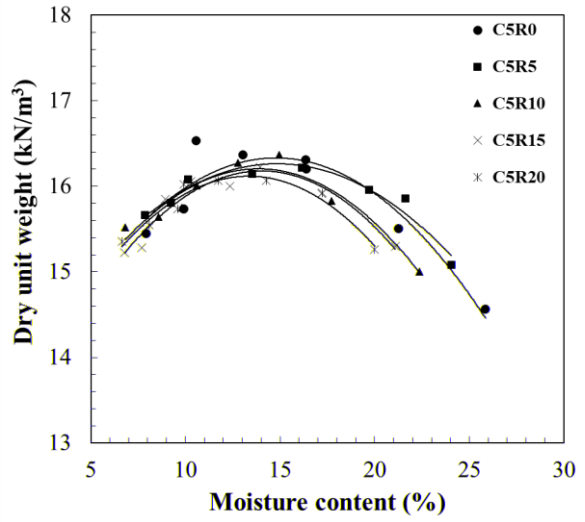
องค์ประกอบ	ปริมาณ (เปอร์เซ็นต์โดยน้ำหนัก)		
	ดินตะกอนกว้านพะเยา	ปูนซีเมนต์	คอนกรีตรีไซเคิล
Sodium (Na)	ไม่พบ	0.94	ไม่พบ
Magnesium (Mg)	0.61	1.79	0.61
Aluminum (Al)	30.80	6.64	3.23
Silicon (Si)	94.79	13.81	2.73
Phosphorus (P)	ไม่พบ	ไม่พบ	ไม่พบ
Potassium (K)	7.91	3.11	0.93
Calcium (Ca)	1.62	77.12	111.71
Copper (Cu)	10.20	14.90	0.99



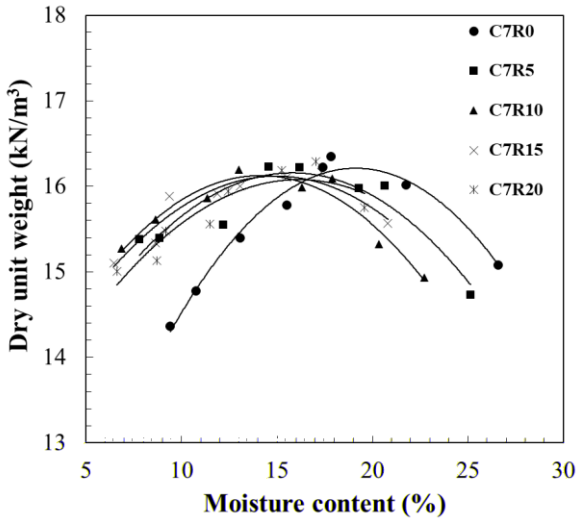
(a) ปูนซีเมนต์ 0%



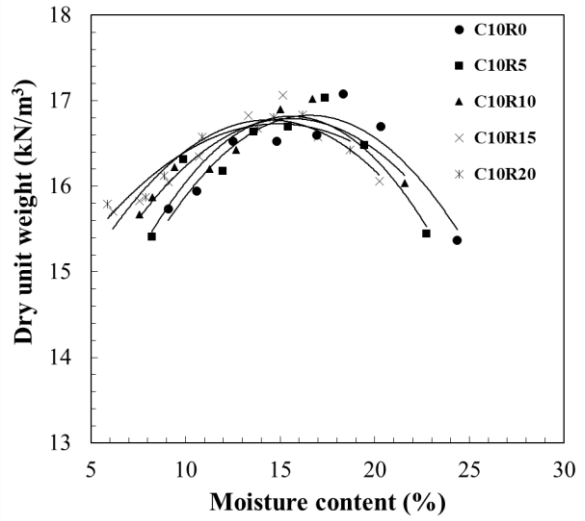
(b) ปูนซีเมนต์ 3%



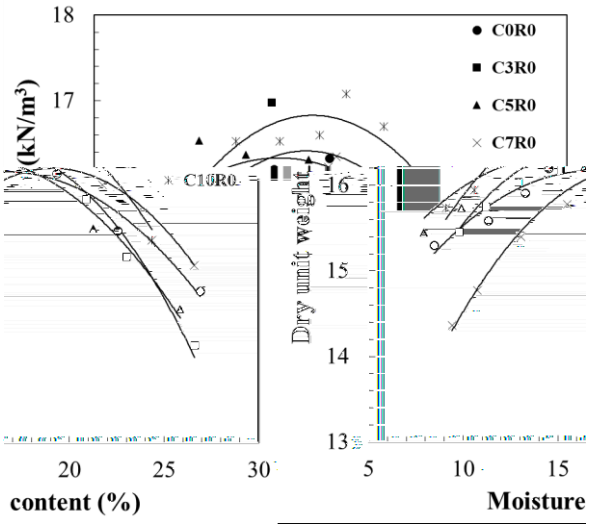
(c) ปูนซีเมนต์ 5%



(d) ปูนซีเมนต์ 7%

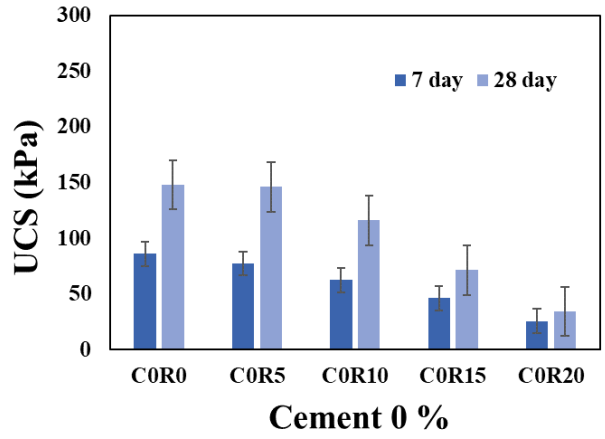


(e) ปูนซีเมนต์ 10%

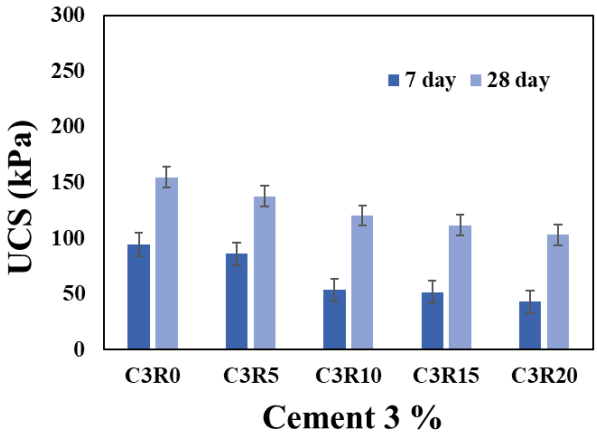


(f) ปูนซีเมนต์ในแต่ละสัดส่วน

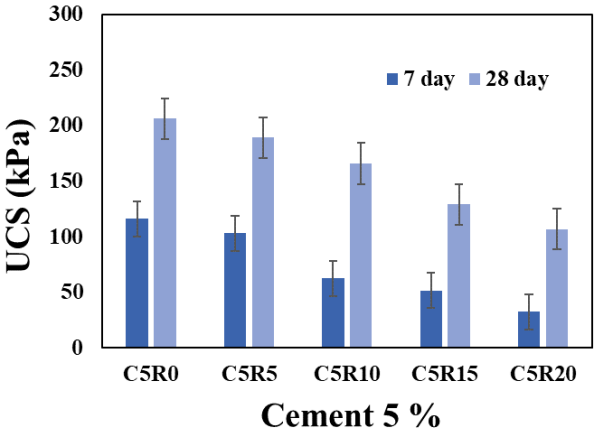
รูปที่ 4 กราฟการบดอัดของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล



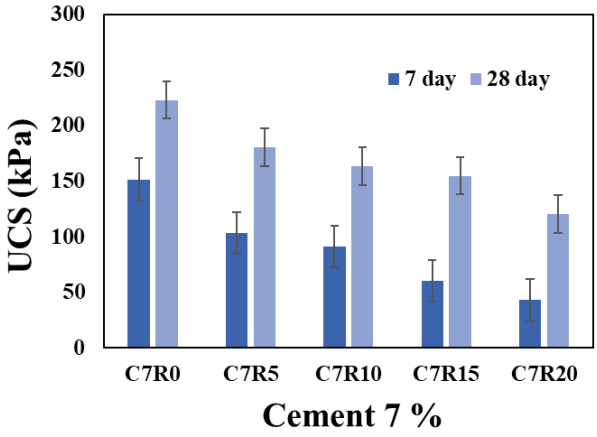
(a) ปูนซีเมนต์ 0%



(b) ปูนซีเมนต์ 3%



(c) ปูนซีเมนต์ 5%

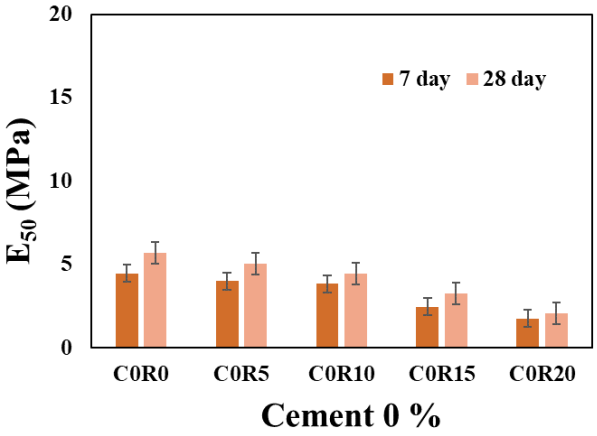


(d) ปูนซีเมนต์ 7%



(e) ปูนซีเมนต์ 10%

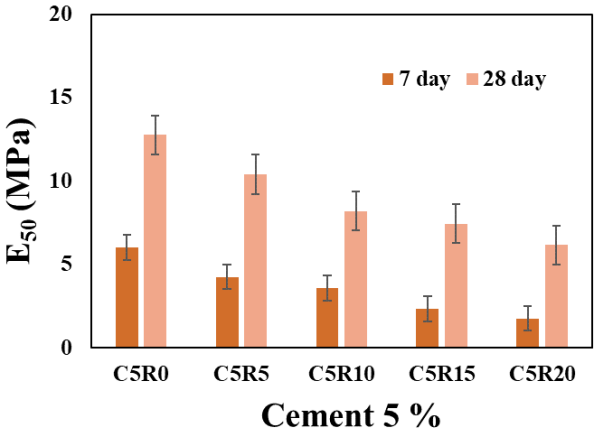
รูปที่ 5 ค่า UCS ของดินตะกอนกว๊านพะเยาที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล



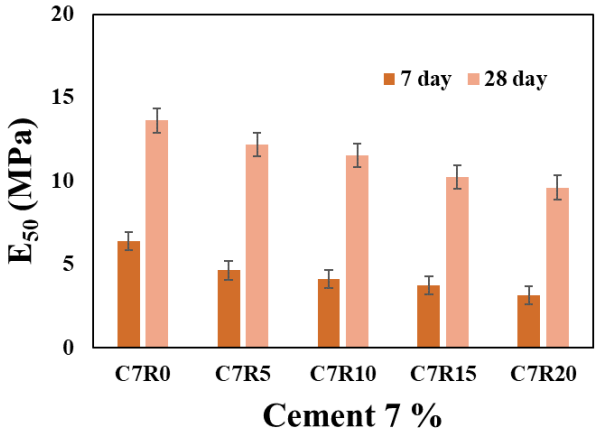
(a) ปูนซีเมนต์ 0%



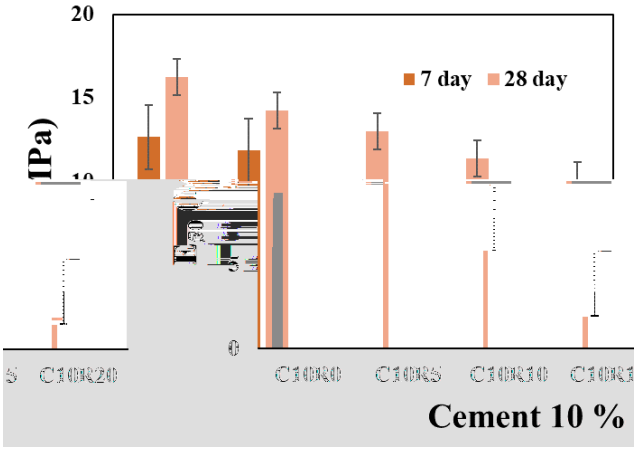
(b) ปูนซีเมนต์ 3%



(c) ปูนซีเมนต์ 5%



(d) ปูนซีเมนต์ 7%



(e) ปูนซีเมนต์ 10%

รูปที่ 6 ค่า E_{50} ของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ผสมด้วยปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิล

4.สรุป

งานวิจัยเรื่องคุณสมบัติเชิงกลของดินตะกอนขุดจากทะเลสาบที่ปรับปรุงด้วยซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลสำหรับใช้เป็นวัสดุผิวทาง สามารถสรุปผลได้ว่า

1. คุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนกว้านพะเยา ด้วยการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานทางวิศวกรรม พบว่า การทดสอบหาขีดพิกัดอัตเตอร์เบิร์กของดินตะกอนกว้านพะเยามีค่าขีดจำกัดเหลว ขีดจำกัดพลาสติก และขีดจำกัดหดตัวเท่ากับ 43, 15.29 และ 16.91% ตามลำดับ การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะพบว่ามีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.71 และการทดสอบหาขนาดคละ พบว่า เม็ดดินมีขนาดผ่านตระแกรงเบอร์ 10 (2.00 mm) เบอร์ 40 (0.425 mm) และเบอร์ 200 (0.075 mm) เท่ากับ 95.80, 95.28 และ 94.01% ตามลำดับ

2. การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของดินตะกอนกว้านพะเยาที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 0, 3, 5, 7 และ 10% ของน้ำหนักดินแห้ง และคอนกรีตรีไซเคิลในปริมาณร้อยละ 0, 5, 10, 15 และ 20% ของน้ำนักดินแห้ง พบว่า มีค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดอยู่ที่ระหว่าง 16.06 - 16.83 kN/m^3 และค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสมมีค่าอยู่ที่ระหว่าง 12.97 – 19.16% โดยในการนำปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลมาผสมกับดินตะกอนกว้านพะเยานั้น พบว่า มีการส่งผลต่อการลดลงของค่าหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุดและการลดลงของค่าปริมาณความชื้นที่เหมาะสม ดังนั้นสามารถสรุปได้ว่า ปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลมีผลต่อการลดลงของหน่วยน้ำหนักแห้งสูงสุด และปริมาณความชื้นที่เหมาะสม

3. กำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวของดินตะกอนกว้านพะเยา โดยเป็นการทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว ตามสัดส่วนผสมปูนซีเมนต์และคอนกรีตรีไซเคิลในการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน โดยผลค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวที่ได้นั้น จะมีค่าสูงขึ้นตามปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ใส่เข้าไป พบว่า ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีกำลังมากกว่าที่อายุการบ่ม 7 วัน แต่เมื่อปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลที่มากทำให้กำลังลดลง นอกจากในการทดสอบนี้ที่ให้ผลค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวแล้ว ยังทำให้ทราบค่า โมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวด้วย

โดยได้มาจาก ความสัมพันธ์ระหว่างความเค้นครึ่งนึงของกำลังรับแรงอัดสูงสุด และความเครียดที่จุดเดียวกันกับความเค้นครึ่งนึงของกำลังรับแรงอัดสูงสุด ซึ่งค่าโมดูลัสอีลาสติกที่ 50% ของกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวที่ได้นั้น พบว่า มีแนวโน้มแบบเดียวกันกับค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยว โดยจะมีค่าเพิ่มขึ้นและลดลงตามปริมาณของปูนและคอนกรีตรีไซเคิลที่ใส่เข้าไปเช่นกัน

4. เนื่องจากผลการทดสอบที่ได้นั้นมีความคล้ายคลึงงานวิจัยของ Vilson Abreu, luis Evangelista and Jorge de brito (2018) [11] เป็นอย่างมากโดยสามารถสรุปได้เลยว่า ยิ่งเติมปริมาณคอนกรีตรีไซเคิลเข้าไป ยิ่งทำให้กำลังมีค่าลดลง

5. เมื่อนำข้อมูลผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดี่ยวมาเทียบกับ Department of Highway,(1989) [18] แล้วได้ผลสรุปว่า กำลังที่ได้จากการทดสอบนั้นมีค่ากำลังไม่ถึงมาตรฐานที่กำหนดไว้ ทำให้ไม่สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุผิวทางได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยฉบับนี้สำเร็จลงได้ด้วยดี เนื่องจากได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยพะเยา และอาจารย์ที่ปรึกษางานวิจัย ที่กรุณาให้คำแนะนำปรึกษาตลอดจนปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ด้วยความเอาใจใส่อย่างดียิ่ง ผู้วิจัยตระหนักถึงความตั้งใจจริงและความทุ่มเทของอาจารย์และขอกราบขอบพระคุณเป็นอย่างสูงไว้ ณ ที่นี้

เอกสารอ้างอิง

[1] จังหวัดพะเยา. (28 กุมภาพันธ์ 2556) พย 0017.2/ว 1106. การประชุมโครงการพัฒนากว๊านพะเยาอันเนื่องมาจากพระราชดำริ

[2] Thanakorn Chompoorat, Thanakit Thepumong, Supakorn Taesinlapachai and Suched Likitlersuang (2021) Repurposing of stabilised dredged lakebed sediment in road base construction

[3] กมล ตรีผอง และรณกร เทพวงษ์ (2020) การศึกษาการซึมผ่านน้ำในคอนกรีตพรุนโดยใช้มวลรวมหยาบรีไซเคิล

[4] Circeo, Davidson and David (1962) STRENGTH-MATURITY RELATIONS OF SOIL-CEMENT MIXTURES

[5] American Society for Testing and Materials. (2007). ASTM D1557-07: Standard Test Methods for Laboratory Compaction Characteristics of Soil Using Modified Effort. West Conshohocken, Pennsylvania: n.p.

[6] American society for testing and material. (2006a). ASTM D 2166-06: Standard test method for unconfined compressive strength of cohesive soils. West Conshohocken, Pennsylvania: n.p.

[7] American Society for Testing and Material. (1995b). ASTM D4318-95: Standard Test Method for Liquid Limit Plastic Limit and Plasticity Index of Soils. West Conshohocken, Pennsylvania: n.p.

[8] American Society for Testing and Material. (1995a). ASTM D427-95: Test Method for Shrinkage Factor of Soil by the Mercury Method. West Conshohocken, Pennsylvania: n.p.

[9] American Society for Testing and Materials. (1997). ASTM D 854-92: Standard Test Method for specific gravity of soils. West Conshohocken, Pennsylvania: n.p.

[10] American Society for Testing and Materials. (1989). ASTM D 422-63: Standard Test Method for particle size analysis of soils. West Conshohocken, Pennsylvania: n.p

[11] Olorunsogo and Padayachee, (2002) Performance of recycled aggregate concretemonitoring by durability indexes, Cement andConcrete Research 32(2), 179-185.

[12] Lorenzo, G. A., & Bergado, D. T. (2004). Fundamental parameters of cement-admixed clay: New approach. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 130(10) ,1042-1050

[13] Jongpradist, P., Youwai, S., & Jaturapitakkul, C. (2011). Effective void ratio for assessing the mechanical properties of cement-clay admixtures at high water content. Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, 137(6), 621–627.

[14] Jongpradist, P., Homtragoon, W., Sukkarak, R., Kongkitkul, W., & Jamsawang, P. (2018). Efficiency of Rice husk ash as cementitious material in high strength cement-admixed clay. Advances in Civil Engineering, 2018, 1–11.

[15] Jongpradist, P., Jamsawang, P., & Kongkitkul, W. (2019). Equivalent void ratio controlling the mechanical properties of cementitious material-clay mixtures with highwater content.Marine Georesources & Geotechnology, 37(10), pp. 1151–1162.

[16] Jamsawang, P., Poorahong, H., Yoobanpot, N., Songpiriyakij, S., & Jongpradist, P. (2017). Improvement of softclay with cement and bagasse ash waste. Construction and Building Materials, 154, 61–71.

[17] Vilson Abreu, luis Evangelista and Jorge de brito, (2018) The effect of multi-recycling on the mechanical performance of coarse recycled aggregates concrete

[18] กรมทางหลวง ทล.-ม. 206. (2532) มาตรฐานรองพื้นทางดินซีเมนต์. กองวิเคราะห์และวิจัยกรมทางหลวง

[19] เทอดศักดิ์ สายสุทธิ์.2559.RCA จากส่วนที่เหลือของเสาเข็มคอนกรีต RCA การประชุมวิชาการแห่งชาติมหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์ วิทยาเขตกำแพงแสน ครั้งที่ 9.125-134.

[20] Kang, M.and Weibin, L.,2018.Effect of the Aggregate Size on Strength Properties of Recycled Aggregate Concrete, Advances in Materials Science and Engineering Journal, Volume 2018, Article ID 2428576, 8 pages.

[21] Huo, W., Zhu, Z., Chen, W., Zhang, J., Kang, Z., Pu, S. and Wan, Y. (2021). Effect of synthesis parameters on the development of unconfined compressive strength of recycled waste concrete powder-based geopolymers. Construction and Building Materials, 292(2), pp. 123264.