

การปรับปรุงผิวทางแอสฟัลท์นำกลับมาใช้ใหม่ผสมหินคลุกด้วยซีเมนต์

Improvement of Reclaimed Asphalt Pavement with Crushed Rock Aggregate by Cement

Received : April 1, 2023

Revised : June 7, 2023

Accepted : June 14, 2023

ศิริชัย ห่วงจรัส, ปร.ด. วิศวกรรมโยธา (Sirichai Huangjing, Ph.D. Civil Eng.)^{1*}

บทคัดย่อ

วัตถุประสงค์ : เพื่อศึกษาการใช้ซีเมนต์ปรับปรุงผิวทางแอสฟัลท์นำกลับมาใช้ใหม่ผสมหินคลุกโดยไม่มีการคัดทิ้งวัสดุ เพื่อเป็นแนวทางการลดขั้นตอนการเตรียมวัสดุในการก่อสร้างทาง

วิธีการวิจัย : ผลศึกษาที่ผ่านมาไม่สามารถนำอัตราส่วนมาใช้ได้เพราะวัสดุที่นำกลับมาใช้ใหม่มีการคัดวัสดุส่วนละเอียดทิ้งบางส่วน การศึกษาครั้งนี้จึงต้องปรับอัตราส่วนใหม่ตามมาตรฐานการกระจายขนาด แล้วนำไปใช้เตรียมตัวอย่างทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขตและซีบีอาร์เพื่อหาปริมาณซีเมนต์ที่พอเหมาะ โดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและใช้ปริมาณน้ำที่ความหนาแน่นแห้งสูงสุด โดยเติมซีเมนต์ร้อยละ 3, 5, 7, และ 9 ทดสอบที่ระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 14, และ 28 วัน

ผลการวิจัย : การใช้อัตราส่วนวัสดุผสม 1 ต่อ 3 ทำให้ขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐานและนำไปใช้เตรียมตัวอย่างทดสอบกำลังโดยใช้น้ำร้อยละ 6.7 ที่ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด 2.4 ก./ลบ.ซม. ตัวอย่างที่ไม่ได้เติมซีเมนต์มีค่ากำลังรับแรงอัดเฉลี่ย 9.23 กก./ตร.ซม. และมีการพัฒนากำลังเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ โดยอัตราการพัฒนา กำลังในช่วง 3-7 วันจะสูงกว่าหลัง 14 วัน เมื่อพิจารณาที่อายุบ่ม 7 วันพบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเฉลี่ย 17.63 และ 25.00 กก./ตร.ซม. สำหรับปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3.0 และ 7.5 ตามลำดับ ซึ่งสูงกว่าเกณฑ์ที่มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทและกรมทางหลวงกำหนดไว้ 17.5 และ 24.5 กก./ตร.ซม. และที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3 ค่าซีบีอาร์เท่ากับร้อยละ 82.37 สูงกว่าที่มาตรฐานกำหนดไว้ร้อยละ 80 ดังนั้นการนำผิวทางแอสฟัลท์คอนกรีตกลับมาใช้ใหม่โดยไม่คัดทิ้งวัสดุผสมกับหินคลุกควรใช้อัตราส่วน 1 ต่อ 3 และเติมซีเมนต์ร้อยละ 3 และ 7.5 เพื่อให้เป็นไปตามมาตรฐานวัสดุพื้นทางของกรมทางหลวงชนบทและกรมทางหลวงตามลำดับ

คำสำคัญ : ผิวทางแอสฟัลท์นำกลับมาใช้ใหม่, การปรับปรุงคุณสมบัติด้วยซีเมนต์,
กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขต, การทดสอบซีบีอาร์

¹อาจารย์ประจำคณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุล จังหวัดนครราชสีมา

(Lecturer at the Faculty of Engineering, Vongchavalitkul University, Nakhon Ratchasima Province)

*ผู้เขียนหลัก(Corresponding author)

E-mail : sirichai_hua@vu.ac.th

Abstract

Objective: To study the use of cement to improve the strength properties of reclaimed asphalt pavement with crushed rock without disposal for a guideline to reduce the process of preparing materials for road construction.

Methods: The ratio of the previous studies could not be applied because some of the fine aggregate was discarded from recycled materials. Therefore, this study had to adjust the ratio of mixed material using to the size distribution standard. Then it was used to prepare unconfined compressive strength and CBR samples to determine the appropriate amount of cement by modified compaction and using the water content at the maximum dry density, added 3, 5, 7, and 9 percent cement, tested at 3, 7, 14, and 28 days of curing times.

Results: Using a ratio of 1 to 3 mixed materials would optimize the mix size according to the standard criteria and used to prepare strength test samples using 6.7% water that gave the maximum dry density of 2.4 g/cm^3 . The non-cemented samples had an average compressive strength of 9.23 kg/cm^2 and increasing cement in mix developed strength higher. The rates of increase strength curing 3-7 days will be higher than after 14 days for all cement volume ratio. Considering that at 7 days of curing, the average compressive strength was 17.63 and 25.00 kg/cm^2 for cement content 3.0% and 7.5%, respectively, which was higher than the standard of the Department of Rural Roads and the Department of Highways at 17.5 and 24.5 kg/cm^2 . The CBR test results found that the 3% cement content sample had a CBR of 82.37%, was higher than the criteria set by both standards of 80%. The guideline to reuse of asphalt concrete surface materials without discarding materials mixed with crushed rock should be used in the ratio of 1: 3 and adding cement 3.0% and 7.5% for the strength of the material accordingly to the standards of pavement materials according to the standards set by the Department of Rural Roads and the Department of Highways, respectively.

Keywords: Reclaimed Asphalt Pavement, Cement Stabilization,
Unconfined compressive strength, California Bearing Ratio Test

1. ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

การซ่อมบำรุงความเสียหายของผิวจราจรของถนนผิวจราจรแบบยืดหยุ่น ที่เกิดจากการใช้งานและการเสื่อมสภาพของวัสดุที่ต้องทำขุดลอกส่วนที่เสียหายออกก่อนดำเนินการซ่อมบำรุง ซึ่งที่ผ่านมาได้มีการศึกษาการนำวัสดุแอสฟัลท์ของผิวทาง

เดิมที่ขุดลอกออกกลับมาใช้ใหม่ (reclaimed asphalt pavement, RAP) โดยนำไปผสมกับวัสดุหินคลุกมาตรฐาน (crushed rock aggregate, CR) แล้วนำมาใช้ในการก่อสร้างเพื่อลดต้นทุนและรักษาสีสิ่งแวดล้อมจากการลดปริมาณขยะและการใช้งานวัสดุใหม่ให้น้อยลง อย่างไรก็ตามวัสดุผสมระหว่าง

RAP กับ CR จำเป็นต้องออกแบบสัดส่วนให้วัสดุผสมมีคุณสมบัติที่ดีเพียงพอและเหมาะสมกับการนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างในงานประเภทต่าง ๆ เช่น ชั้นพื้นทางหรือรองพื้นทางในโครงสร้างของถนน หรือใช้เป็นวัสดุซ่อมบำรุงผิวจราจร เป็นต้น

การนำวัสดุผสมไปใช้เป็นวัสดุซ่อมบำรุงทางสามารถพิจารณาคุณสมบัติของวัสดุที่จะนำมาใช้งานได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.ม.410/2542 แต่หากต้องการนำไปใช้เป็นวัสดุพื้นทางหรือชั้นโครงสร้างทางอื่น ๆ อาจเลือกใช้สารผสมเพิ่มเติมลงไปในวัสดุผสมเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติให้เหมาะกับการใช้งาน เพราะใน RAP ที่ได้จากผิวทางเดิมจะมีทั้งวัสดุที่นำกลับมาใช้ได้ใหม่ และวัสดุย่อยคุณภาพที่ต้องคัดแยกทิ้งไป อีกทั้งคุณสมบัติของ RAP ที่ได้จะมีคุณสมบัติที่แตกต่างกันในแต่ละพื้นที่ จึงจำเป็นต้องมีการทดสอบและออกแบบก่อนนำไปใช้งาน เพื่อให้ได้คุณสมบัติของวัสดุผสมดีเพียงพอต่อการนำไปใช้งาน

การศึกษาที่ผ่านมาเกี่ยวกับอัตราส่วนผสมของ RAP กับ CR พบว่า มีอัตราส่วนที่แนะนำและเป็นไปในทิศทางเดียวกันคือ ปริมาณการใช้ RAP ไม่ควรเกินร้อยละ 40 เช่น การศึกษาของ Al-Qadi et al. (2007) พบว่าอัตราส่วน 40:60 ของ RAP กับ CR เป็นอัตราส่วนที่แนะนำสำหรับการพัฒนา กำลังเพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นผิวทาง

อาทิตย์ อินทรา (2556) ได้ศึกษาอิทธิพลปริมาณผิวทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อกำลังอัดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์ โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงโดยวิธีซีบีอาร์ (California Bearing Ratio Test, CBR) พบว่าค่า CBR จะลดลงตามปริมาณ RAP ที่เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วน RAP : CR โดยค่า CBR จะลดลงจากร้อยละ 90.4 เป็น 85.1, 79.4, 64.7, และ 60.1

สำหรับปริมาณ RAP ร้อยละ 20, 40, 60, และ 80 ตามลำดับ เช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัดและค่าความคงทนในสภาวะเปียกสลับแห้งจะลดลงตามปริมาณ RAP ที่เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน อย่างไรก็ตาม การศึกษานี้พบว่าที่อัตราส่วนผสมระหว่าง RAP : CR เท่ากับ 40:60 และปริมาณซีเมนต์ไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 จะทำให้วัสดุผสมมีความสามารถในการรับแรงเพียงพอต่อการนำไปใช้งานตามมาตรฐานกรมทางหลวง

พงษ์พัฒน์ วังโน (2560) ได้ศึกษาการปรับปรุงคุณภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย สำหรับใช้เป็นวัสดุพื้นทางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบท พบว่าการใช้สารโซเดียมซิลิเกตเป็นสารตัวเติมในวัสดุผสมทดแทนการใช้น้ำในการทดสอบการบดอัด ปริมาณความชื้นที่พอเหมาะของโซเดียมซิลิเกตจะต้องใช้มากกว่าน้ำ 3 เท่า และปริมาณกากแคลเซียมคาร์ไบด์จะช่วยเพิ่มกำลังรับแรงอัดจนถึงร้อยละ 12 หลังจากนั้นปริมาณที่เพิ่มจะมีผลให้กำลังลดลง และถึงแม้ว่าเถ้าลอยส่งผลต่อกำลังรับแรงไม่มากนัก กำลังรับแรงอัดของวัสดุผสมกากแคลเซียมคาร์ไบด์ก็ให้ค่ากำลังที่เพียงพอต่อการนำไปใช้งานเป็นวัสดุพื้นทางของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทที่ต้องการเพียง 24.5 และ 17.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ

ชลัท ทิพากรเกียรติ(2562) ได้ศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ในการออกแบบพาราเมตริกส์ พบว่าการใช้วัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่มากกว่าร้อยละ 40 จะทำให้สัดส่วนขนาดผลไม่เป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน และ การใช้ RAP ในการก่อสร้างพาราเมตริกส์ ไม่ควรใช้มากกว่าร้อยละ 20

สรารุจ จริตงามและคณะ (2565) ได้ศึกษาการใช้แอสฟัลท์คอนกรีตเก่าผสมกับหินคลุกและซีเมนต์ในงานก่อสร้างถนน โดยแปรเปลี่ยนอัตราส่วนระหว่าง RAP กับ CR พบว่ากำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขตของวัสดุผสมจะลดลงตามปริมาณ CR และอัตราส่วนระหว่าง RAP : CR ที่ให้ค่ากำลังสูงกว่ามาตรฐานไม่ควร เกิน 40:60 นอกจากนี้ยังพบว่าชนิดและคุณสมบัติของ CR จะมีผลต่อคุณสมบัติของวัสดุผสม

Ullah, et al. (2018) ได้ศึกษาอัตราส่วนการผสมที่พอเหมาะระหว่าง RAP กับหินคลุก (virgin aggregate, VA) ด้วยการทดสอบการกระจายขนาดและการรับแรง พบว่าการกระจายขนาดของวัสดุผสมจะเป็นไปตามมาตรฐานที่อัตราส่วนร้อยละ RAP:VA เท่ากับ 20:80 และการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบสามแกนแล้วพิจารณาการเสียรูปโดยการนำน้ำหนักกระทำซ้ำที่ 10000 รอบของการให้น้ำหนัก การเสียรูปของวัสดุผสมจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณ RAP สอดคล้องกับการทดสอบการเสียรูป (Permanent deformation Tests, PD Tests) และที่ปริมาณการเสียรูปร้อยละ 0.4 ของ VA จะพบว่าที่การเสียรูปที่เทียบเท่ากัน ปริมาณ RAP ในวัสดุผสมมีค่าระหว่างร้อยละ 20-30 อย่างไรก็ตาม แม้ว่าวัสดุผสมมีส่วนละเอียดไม่เกินมาตรฐานเพราะการเตรียมวัสดุจะกำหนดให้มีส่วนละเอียดใน RAP ไม่เกินร้อยละ 1.5 แต่ปริมาณส่วนละเอียดของวัสดุผสมจะทำให้การเสียรูปมีค่าเพิ่มขึ้น นอกจากนี้ในการทดสอบยังพบว่า RAP จากตัวอย่างที่เก็บจากสถานที่ต่างกัน แม้ผลการทดสอบจะเท่ากันแต่จะให้ผลเป็นไปในทิศทางเดียวกัน

อัครพัฒน์ สว่างสุรีย์ และคณะ (2561) ได้ศึกษาวัสดุสร้างทาง 3 ชนิด ได้แก่ พื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ พื้นทางวัสดุหินฝุ่น และรองพื้นทางดินซีเมนต์ ในการประเมินสมการทำนายค่ากำลังรับแรงอัดของวัสดุสร้างทางผสมซีเมนต์ พบว่าพื้นทางวัสดุหินฝุ่นเป็นวัสดุที่ไม่มีความเป็นพลาสติกเช่นเดียวกับพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ แต่มีส่วนละเอียดหรือส่วนที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 มากกว่าพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์ซึ่งส่งผลต่อสมการทำนายค่ากำลังของวัสดุ และรองพื้นทางดินซีเมนต์เป็นวัสดุที่มีความเป็นพลาสติกและมีส่วนละเอียดมากกว่าพื้นทางหินคลุกผสมซีเมนต์และพื้นทางวัสดุหินฝุ่น จึงต้องมีการปรับค่าโดยสัมประสิทธิ์ในสมการทำนายค่ากำลังมากกว่าวัสดุอีกสองชนิด

การศึกษาในลักษณะเดียวกันของ Plati, et al. (2023) พบว่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดจากการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานมีค่าระหว่าง 2.041-2.196 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และปริมาณความชื้นที่พอเหมาะ ร้อยละ 5.9-6.9 สำหรับวัสดุผสมระหว่าง RAP กับ VA ผลการทดสอบ CBR พบว่าค่า CBR ลดลงตามปริมาณ RAP ที่เพิ่มขึ้น โดยเฉพาะที่ปริมาณ RAP ร้อยละ 20 ค่า CBR ลดลงเหลือเพียงร้อยละ 50 สำหรับการทดสอบการรับแรงอัดสามแกนพบว่าค่าโมดูลัสแบบน้ำหนักกระทำซ้ำมีค่าสูงสุดที่อัตราส่วนร้อยละ 20 RAP : 80 VA ส่วนการทดสอบ PD ค่าการเสียรูปต่ำสุดที่อัตราส่วนร้อยละ 40 RAP : 60 VA

ส่วนหนึ่งในรายงานคำแนะนำการใช้งานวัสดุในงานก่อสร้างทางของกระทรวงคมนาคมสหรัฐอเมริกา(Federal Highway Administration, (FHWA), 1997) ได้ให้ข้อเสนอแนะการปรับปรุง

คุณสมบัติการใช้ RAP ผสม CR สำหรับใช้ในชั้นรองพื้นทางและพื้นทาง วัสดุ RAP และ CR ควรทำการคัดแยกวัสดุก่อนใช้สารตัวเติมต่าง ๆ เพื่อพัฒนา

กำลัง การศึกษาที่ผ่านมาดังกล่าว จะเห็นได้ว่า อัตราส่วนของ RAP : VA หรือ CR ควรใช้ในอัตราส่วนไม่เกิน 40 : 60 แต่ RAP ต้องคัดวัสดุส่วนละเอียดบางส่วนทิ้งให้มีปริมาณไม่เกินร้อยละ 1.5 เพื่อให้มีการพัฒนากำลังที่ดี แต่เนื่องจากตัวอย่างในการศึกษานี้ได้จากการเก็บตัวอย่าง RAP จากสถานที่ก่อสร้างที่ขุดหรือผิวทางแอสฟัลท์เดิมโดยไม่มีการคัดแยกหรือคัดทิ้งวัสดุ เพื่อการลดขั้นตอนและระยะเวลาในการก่อสร้าง รวมถึงต้องการลดปริมาณวัสดุที่คัดทิ้ง ทำให้ตัวอย่าง RAP ที่ได้จึงมีทั้งขนาดเม็ดหยาบและละเอียดผสมปนกันอยู่ การศึกษาวิจัยครั้งนี้จึงพิจารณาอัตราส่วนวัสดุผสมระหว่าง RAP : CR ให้มีการกระจายขนาดเป็นไปตามมาตรฐาน และพิจารณาปริมาณซีเมนต์ที่ต้องเติมเพื่อเพิ่มความสามารถในการรับกำลังให้ได้ตามที่มาตรฐานกำหนด ซึ่งมาตรฐานทางหลวงได้กำหนดไว้ว่า หากการกระจายขนาดของ RAP มีส่วนละเอียดเกินกว่าที่กำหนดไว้ต้องพิจารณากำลังรับ

แรงให้เป็นไปตามที่กำหนด ผลที่ได้จากการศึกษาทดลองในห้องปฏิบัติการในการศึกษาวิจัยนี้จะถูกนำไปใช้สำหรับการเตรียมวัสดุในสถานที่ก่อสร้างให้มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานเพื่อทำการก่อสร้างต่อไป

คุณสมบัติของวัสดุพื้นทางที่มาตรฐานต่าง ๆ กำหนดไว้มีดังนี้

1) สัดส่วนขนาดคละ : วัสดุที่ใช้สำหรับชั้นพื้นทางต้องมีการกระจายขนาดตามมาตรฐานดังแสดงในตารางที่ 1 โดยมาตรฐานกรมโยธาธิการและผังเมือง (กรมโยธาธิการและผังเมือง, 2557) กรมทางหลวงชนบท (กรมทางหลวงชนบท, 2557) และกรมทางหลวง (กรมทางหลวง, 2565) เป็นไปในทิศทางเดียวกัน จึงแสดงเฉพาะมาตรฐานของกรมทางหลวงเท่านั้น

2) ร้อยละความสึกหรอ : ร้อยละความสึกหรอจากการทดสอบแบบลอสมองเจลีสต้องมีย่านไม่เกินร้อยละ 40

3) ร้อยละ CBR : ต้องมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 80 เมื่อทดสอบตัวอย่างที่บดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 1 สัดส่วนขนาดคละของวัสดุก่อสร้างชั้นพื้นทางตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม 410/2542

ขนาดของตะแกรง มิลลิเมตร	ร้อยละที่ผ่านตะแกรงโดยมวล			
	A	B	C	D
50 (2 นิ้ว)	100	100	-	-
25.0 (1 นิ้ว)	-	75-95	100	100
9.5 (3/8 นิ้ว)	30-65	40-75	50-85	60-100
4.75 (เบอร์ 4)	25-55	30-60	35-65	50-85
2.00 (เบอร์ 10)	15-40	20-45	25-50	40-70
0.425 (เบอร์ 40)	8-20	15-30	15-30	25-45
0.075 (เบอร์ 200)	2-8	5-20	5-15	10-25

2. วัตถุประสงค์การวิจัย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติวัสดุผิวทางแอสฟัลท์นำกลับมาใช้ใหม่ผสมหินคลุกด้วยซีเมนต์ เพื่อนำไปใช้เป็นวัสดุก่อสร้างชั้นพื้นทาง

3. ขอบเขตการศึกษา

3.1 ผิวทางแอสฟัลท์นำกลับมาใช้ใหม่ได้จากการขุดลอกผิวจราจรทางหลวงหมายเลข นม. 4011 แยกทล.2068 - บ้านมะค่า อำเภอกาฬสินธุ์ จังหวัดนครราชสีมา โดยไม่มีการแยกและคัดทิ้งวัสดุ

3.2 อัตราส่วนระหว่างผิวทางแอสฟัลท์นำกลับมาใช้ใหม่กับหินคลุก พิจารณาจากการจัดสัดส่วนการกระจายขนาดให้เป็นไปตามมาตรฐานวัสดุพื้นทางกรมทางหลวงที่ ทล.-ม 410/2542

3.3 สารตัวเติมเพื่อพัฒนากำลังรับแรงของวัสดุผสมจะใช้ซีเมนต์ ชนิดที่ 1 ในอัตราร้อยละ 3, 5, 7, และ 10 ของน้ำหนักแห้งของวัสดุผสม

3.4 การศึกษาจะดำเนินการทดสอบหาคุณสมบัติต่าง ๆ ตามเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม.203/2556 และ ทล.ม.410/2542 ดังนี้

3.4.1 คุณสมบัติพื้นฐาน

- 1) การกระจายขนาด ของวัสดุผสม (ไม่เติมซีเมนต์)
- 2) ความถ่วงจำเพาะ ของวัสดุผสม (ไม่เติมซีเมนต์)
- 3) การบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน ของวัสดุผสม (ไม่เติมซีเมนต์)

3.4.2 คุณสมบัติทางวิศวกรรม

1) กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขต ของวัสดุผสมเมื่อเติมซีเมนต์ตามอัตราส่วน และทดสอบตามระยะเวลาการบ่ม 3, 7, 15, และ 28 วัน

2) กำลังรับแรงแบกทานโดยวิธี CBR ของวัสดุผสมเมื่อเติมซีเมนต์ตามอัตราส่วนที่กำลังเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ที่อายุการบ่ม 28 วัน

4. วิธีดำเนินการวิจัย

การศึกษามีขั้นตอนการทดสอบดังนี้ หลังจากเก็บตัวอย่างแบบสุ่มจากสถานที่ก่อสร้างนำมาหาอัตราส่วน RAP : CR โดยการจัดสัดส่วนจากผลการทดสอบการกระจายขนาดของ RAP กับ CR โดยให้การกระจายขนาดเป็นไปตามมาตรฐานทางหลวง และใช้อัตราส่วนวัสดุผสมนี้ทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานเพื่อหาปริมาณน้ำที่ต้องใช้ในการเตรียมตัวอย่างทดสอบกำลังจากความชื้นที่พอเหมาะที่ให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด

การทดสอบกำลังของตัวอย่างเติมซีเมนต์ที่อายุบ่มต่าง ๆ มีรายละเอียดดังนี้ ตัวอย่างวัสดุผสมสำหรับการทดสอบกำลังรับแรงแบบไม่จำกัดขอบเขตเป็นการทดสอบตัวอย่างที่เติมซีเมนต์ในปริมาณร้อยละ 3, 5, 7, และ 10 ของน้ำหนักแห้งของวัสดุผสม โดยเตรียมตัวอย่างด้วยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและใช้น้ำปริมาณที่ให้ความหนาแน่นแห้งสูงสุด แล้วบ่มตัวอย่างด้วยการหุ้มตัวอย่างแต่ละก้อนด้วยพลาสติกโดยรอบ เพื่อนำไปทดสอบตามช่วงเวลาอายุของการบ่มที่ 3, 7, 14, และ 28 วัน โดยตัวอย่างในแต่ละชุดทดสอบของปริมาณซีเมนต์จะเตรียมโดยการผสมและบดอัดให้

ได้ตัวอย่างจำนวน 12 ตัวอย่างต่อชุด เพื่อทดสอบ 3 ตัวอย่างต่อช่วงเวลาอายุการบ่ม และใช้ขั้นตอนกระบวนการเดียวกันกับการเตรียมตัวอย่างสำหรับปริมาณซีเมนต์อื่น ๆ เพื่อให้คุณสมบัติของตัวอย่างไม่มีความแตกต่างกันมากเกินไป

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของตัวอย่างตามปริมาณซีเมนต์และอายุการบ่มจะนำไปใช้พิจารณาปริมาณซีเมนต์ที่เพียงพอต่อการพัฒนากำลังให้ได้ตามที่มาตรฐานวัสดุพื้นทางกำหนดไว้คือ 17.5 และ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร สำหรับมาตรฐานกรมทางหลวงชนบท และมาตรฐานกรมทางหลวงตามลำดับ

การทดสอบ CBR เพื่อพิจารณาการรับแรงและการเสียรูปของวัสดุปรับปรุงเมื่อรับแรง เตรียมตัวอย่างที่ใช้ทดสอบโดยการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานและทดสอบที่อายุการบ่ม 28 วันทุกอัตราส่วนปริมาณซีเมนต์ และทดสอบตัวอย่างทั้งแบบแช่น้ำและไม่แช่น้ำเพื่อดูลักษณะการรับแรงที่เปลี่ยนไปตามสภาวะ และอัตราการบวมตัวของตัวอย่างซึ่งจะมีผลต่อการใช้งาน

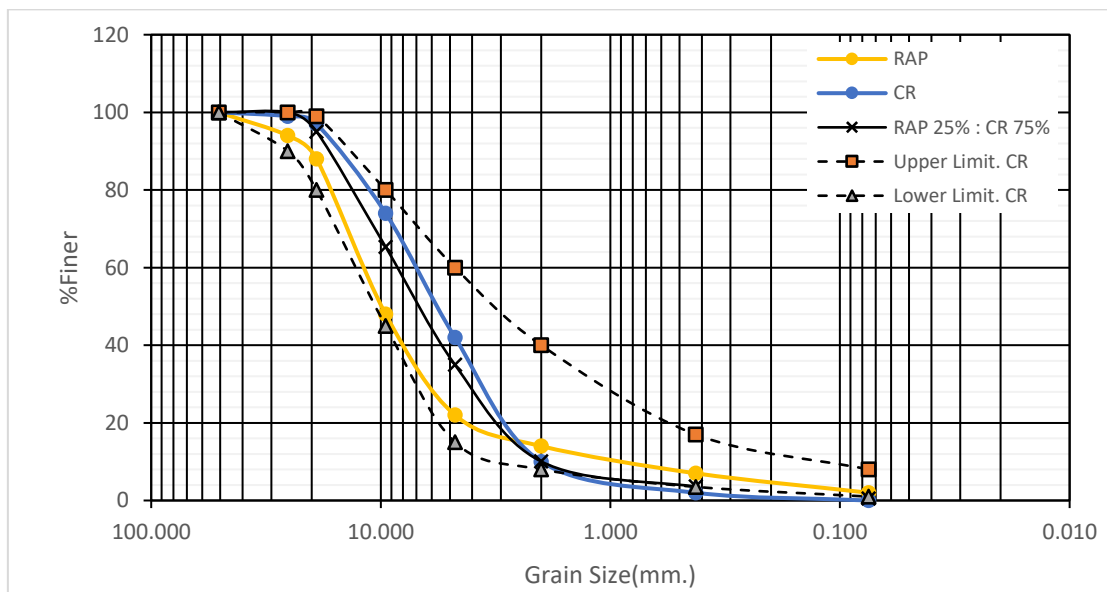
5. ผลการวิจัย

ผลการศึกษาคุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสมและหินคลุก

5.1 สัดส่วนขนาดคละและการกระจาย

ขนาด

การทดสอบการกระจายขนาดตัวอย่างผิวทางเดิมโดยไม่มีการคัดแยกวัสดุ และหินคลุกมาตรฐาน ดังแสดงในรูปที่ 1 เมื่อนำมาหาอัตราส่วนที่ทำให้การกระจายขนาดเป็นไปตามมาตรฐานของกรมทางหลวง ทล.-ม 410/2542 คือ RAP 1 ส่วน ต่อ CR 3 ส่วน จะทำให้วัสดุผสมมีการกระจายขนาดอยู่ในเกณฑ์เพื่อนำไปใช้งานเป็นวัสดุชั้นพื้นทางได้ แม้ว่าวัสดุผสมจะมีปริมาณวัสดุผ่านตะแกรงขนาด 0.475 มิลลิเมตรต่ำกว่าเกณฑ์ขั้นต่ำของมาตรฐานเล็กน้อย แต่ยังคงสามารถนำไปใช้เป็นวัสดุพื้นทางได้หากวัสดุผสมมีกำลังรับแรงเพียงพอต่อการใช้งาน เพราะมาตรฐานทางหลวงที่ ทล.-ม. 204/2564 ได้กำหนดให้พิจารณาค่าความสามารถในการรับกำลังเป็นเกณฑ์ในการพิจารณาเลือกใช้วัสดุ



รูปที่ 1 การกระจายขนาดของวัสดุ

5.2 การสูญเสียน้ำหนัก

ผลการทดสอบตัวอย่างวัสดุผสมพบว่าร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการทดสอบแบบลอสแอนเจลีส มีค่าเฉลี่ยเท่ากับ 5.3 ซึ่งต่ำกว่าที่มาตรฐานที่กำหนดไว้ต้องไม่เกินร้อยละ 40 ดังนั้นวัสดุผสมจะมีความทนทานต่อการสึกหรอจากการใช้งานได้ตามมาตรฐาน

5.3 ความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำ

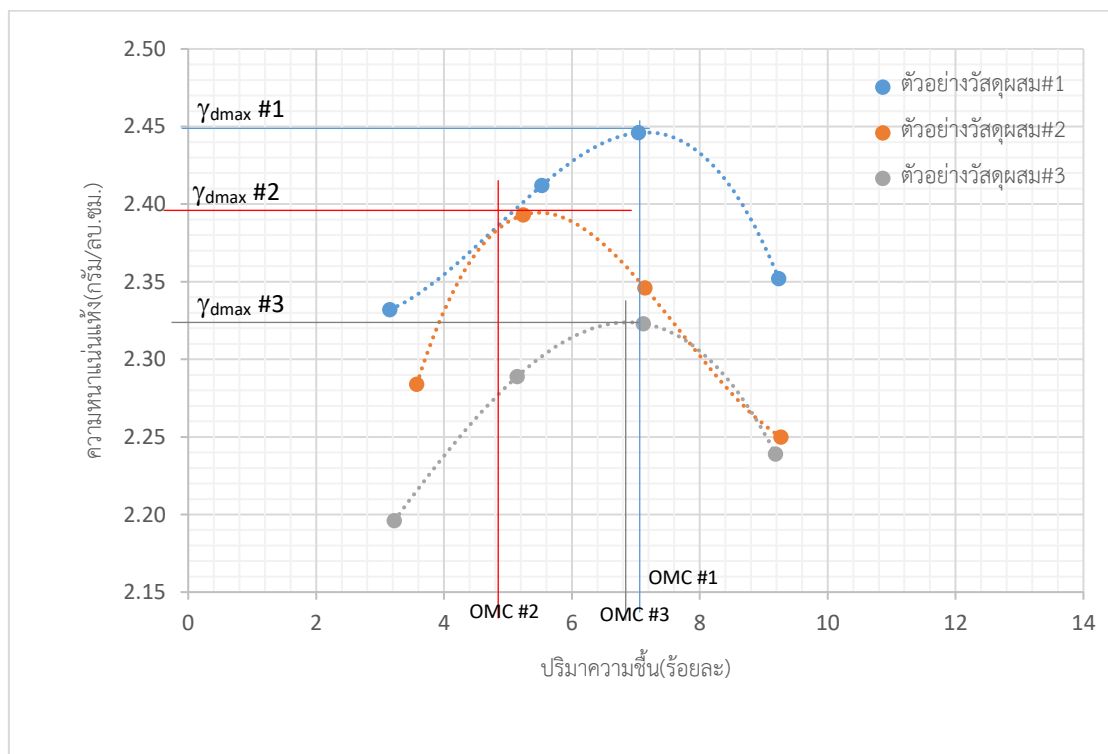
วัสดุผสมมีค่าความถ่วงจำเพาะปรากฏเฉลี่ย 2.24 ค่าถ่วงจำเพาะเฉลี่ยของหินคลุกมาตรฐานเท่ากับ 2.67 และค่าความถ่วงจำเพาะของ RAP เท่ากับ 2.19

5.4 การบดอัดแบบพลังงานสูงกว่ามาตรฐาน

ผลการทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐานของวัสดุผสมแสดงดังรูปที่ 2 พบว่าความ

หนาแน่นแห้งสูงสุดมีค่าระหว่าง 2.32-2.45 กรัม/ลบ.ซม. ปริมาณความชื้นที่พอเหมาะมีค่าระหว่างร้อยละ 5.2-7.3 ซึ่งค่าเฉลี่ยของความหนาแน่นแห้งสูงสุดและความชื้นที่พอเหมาะเท่ากับ 2.4 กรัม/ลบ.ซม. และร้อยละ 6.7 ตามลำดับ ซึ่งค่าเฉลี่ยปริมาณความชื้นที่พอเหมาะนำไปใช้ในการเตรียมตัวอย่างวัสดุผสมเดิมซีเมนต์สำหรับการทดสอบกำลังต่อไป

ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการสามารถนำมาใช้กำหนดและตรวจสอบการก่อสร้างในสนามได้ โดยตามข้อกำหนดมาตรฐานชั้นพื้นทางต้องมีค่าความหนาแน่นแห้งในสนามไม่น้อยกว่าร้อยละ 95 ของค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุดในห้องปฏิบัติการ นั่นคือการบดอัดในสนามต้องมีความหนาแน่นแห้งไม่น้อยกว่า 2.28 กรัม/ลบ.ซม.



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณความชื้นกับความหนาแน่นแห้งของวัสดุผสมจากการทดสอบการบดอัดแบบพลังงานสูงกว่ามาตรฐาน

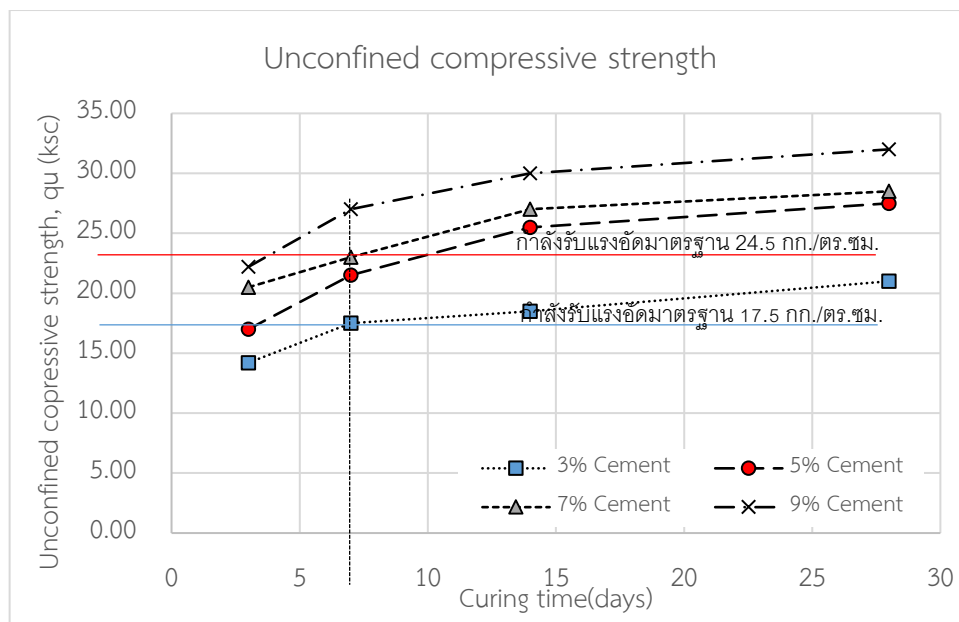
5.5 กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัด ขอบเขต

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแบบ
ไม่จำกัดขอบเขต แสดงดังตารางที่ 2 และรูปที่ 3

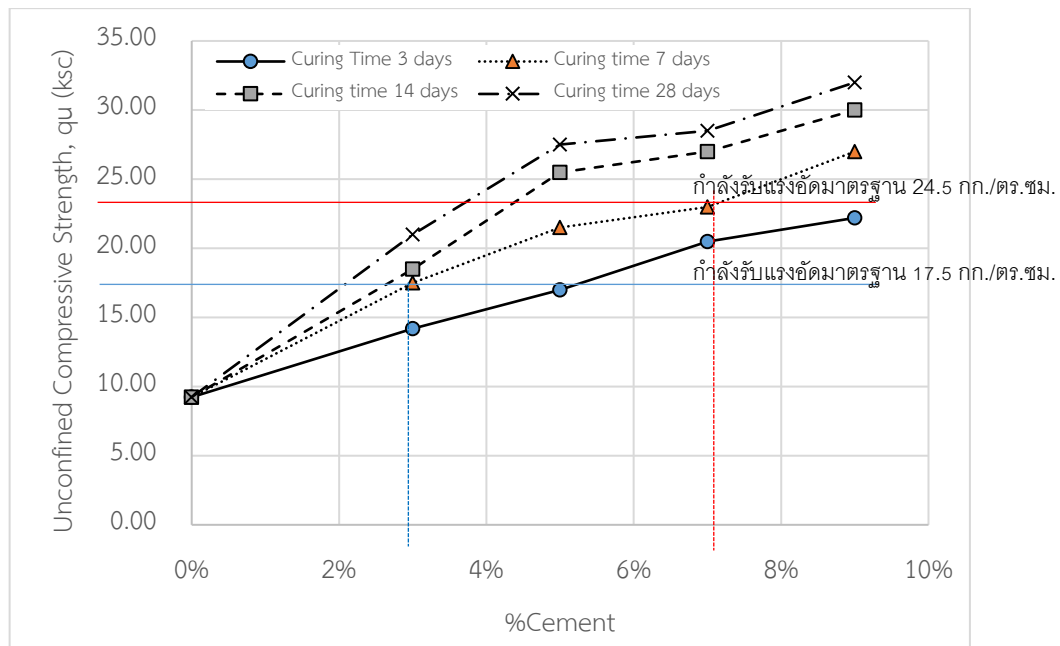
พบว่า กำลังรับแรงจะเพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์
และอายุการบ่มตัวอย่าง ซึ่งอัตราการเพิ่มกำลัง
ในช่วง 3-7 วันจะสูงอัตราการเพิ่มหลังจาก 14 วัน
ทุกอัตราส่วนปริมาณซีเมนต์

ตารางที่ 2 กำลังรับแรงอัดจากการทดสอบแบบไม่จำกัดขอบเขตที่ระยะเวลาการบ่มต่าง ๆ

อายุการบ่ม (วัน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)				
	ซีเมนต์ 3%	ซีเมนต์ 5%	ซีเมนต์ 7%	ซีเมนต์ 9%	ซีเมนต์ 3%
3	9.23	14.20	17.00	20.50	22.20
7	9.23	17.50	21.50	23.00	27.00
14	9.23	18.50	25.50	27.00	30.00
28	9.23	21.00	27.50	28.50	32.00



รูปที่ 3 กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขตเทียบกับระยะเวลาการบ่ม



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดแบบไม่จำกัดขอบเขตเทียบกับปริมาณซีเมนต์

จากรูปที่ 4 เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดที่อายุการบ่ม 7 วันตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทและมาตรฐานกรมทางหลวง ซึ่งกำหนดกำลังรับแรงจากการทดสอบการรับแรงอัดแบบไม่จำกัดของเขตสำหรับวัสดุพื้นทางต้องมีค่าไม่ต่ำกว่า 17.5 และ 24.5 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรตามลำดับ จากผลการทดสอบที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 3.0 มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 17.63 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และที่ปริมาณซีเมนต์ร้อยละ 7.5 มีค่ากำลังรับแรงอัด 25.0 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร นั่นคือ ปริมาณซีเมนต์ที่พอเหมาะสำหรับปรับปรุงวัสดุผสมให้มีค่ากำลังรับแรงเป็นไปตามมาตรฐานวัสดุพื้นทางต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 3 และ 7.5 สำหรับ

มาตรฐานกรมทางหลวงชนบทและมาตรฐานกรมทางหลวงตามลำดับ

5.6 ผลการทดสอบ CBR

ผลการทดสอบ CBR พบว่าตัวอย่าง RAP มีค่า CBR เฉลี่ยร้อยละ 25.1 และค่า CBR ของวัสดุผสมที่เติมซีเมนต์แสดงดังตารางที่ 3 จะเห็นได้ว่าค่า CBR แบบไม่แช่น้ำ (Unsoak) กับแบบแช่น้ำ (Soak) แตกต่างกันเพียงเล็กน้อย และมีค่าการบวมตัวน้อยกว่าร้อยละ 0.1 ทุกตัวอย่าง แสดงว่าวัสดุผสมสามารถรับกำลังในสภาวะแช่น้ำได้ดีในทุกปริมาณซีเมนต์ นอกจากนั้นยังพบว่าค่า CBR เพิ่มขึ้นตามปริมาณซีเมนต์ในการทดลองทั้งสองแบบและมากกว่าร้อยละ 80 ซึ่งเป็นค่า CBR ที่มาตรฐานกำหนดไว้สำหรับวัสดุพื้นทางหินคลุก

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบ CBR วัสดุผสมที่เติมซีเมนต์

ประเภทการทดสอบ	ค่า CBR (ร้อยละ)			
	ซีเมนต์ 3%	ซีเมนต์ 5%	ซีเมนต์ 7%	ซีเมนต์ 9%
แบบไม่แช่น้ำ	82.48	87.12	90.11	94.28
แบบแช่น้ำ	82.37	86.95	89.47	93.26

6. สรุปผลการวิจัย

การนำผิวทางแอสฟัลท์กลับมาใช้ใหม่ผสมหินคลุกมาตรฐานสามารถใช้อัตราส่วนที่แนะนำคือ 40 : 60 ตามผลการวิจัยที่ผ่านมาได้โดยต้องทำการคัดแยกวัสดุส่วนละเอียดออก เพื่อให้ผลที่ดีสำหรับการพัฒนา กำลังด้วยสารตัวเติม หากต้องการใช้วัสดุทั้งหมดโดยไม่มีการคัดแยกวัสดุ ผลการศึกษาวิจัยครั้งนี้พบว่า การนำวัสดุผิวทางแอสฟัลท์กลับมาใช้ใหม่ผสมหินคลุกมาตรฐานในอัตราส่วน 1 ต่อ 3 สามารถนำไปใช้เป็นวัสดุพื้นทางได้ โดยต้องเติมซีเมนต์อย่างน้อยร้อยละ 3 และ 7.5 โดยน้ำหนักแห้งของวัสดุผสม เพียงพอต่อการพัฒนา กำลังรับแรงวัสดุผสมให้ได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวงชนบทและกรมทางหลวงตามลำดับ ทั้งนี้หากมีความต้องการพัฒนา กำลังวัสดุผสมให้ได้ตามมาตรฐานเร็วขึ้นสามารถเพิ่มปริมาณการใช้ซีเมนต์ให้มากขึ้นได้ แต่ควรพิจารณาความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการก่อสร้างประกอบด้วย

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณมหาวิทยาลัยวงษ์ชวลิตกุลที่สนับสนุนและให้โอกาสในการทำงานวิจัย ขอคุณนายภัทรพล ปัญญาดี และนายชลธินันท์ ธัชจิราวรรณ นักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธาที่ช่วยดำเนินการทดสอบวัสดุต่าง ๆ ในงานวิจัยจนแล้วเสร็จและขอขอบคุณ รศ.ดร.อนุชิต อุทัยภักดี ที่ได้ให้คำแนะนำและข้อเสนอแนะแนวทางการเขียนบทความให้มีความสมบูรณ์มากยิ่งขึ้น

8. เอกสารอ้างอิง

1. กรมทางหลวง. (2565, 18 กุมภาพันธ์). *มาตรฐานงานทาง (ทล.-ม.) : ทล.-ม. 203/2556, ทล.-ม. 204/2564, ทล.-ม. 410/2542.*
<http://www.doh.go.th/content/page/page/5623>
2. กรมทางหลวงชนบท. (2557). *มาตรฐานวัสดุพื้นทาง : มทข. 203-2557.*
<https://research.drr.go.th/wp-content/uploads/2020/03/203-2557.pdf>
3. กรมโยธาธิการและผังเมือง. (2557). *มาตรฐานงานชั้นพื้นทาง : มยผ. 2117-57.*
http://subsites.dpt.go.th/edocument/images/pdf/sd_work/std2100.pdf
4. ชลัท ทิพากรเกียรติ. (2562). คุณสมบัติของวัสดุผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ในการออกแบบพาราสเรอส์ซีล. *วิศวกรรมสารเกษมบัณฑิต*, 9(2), 183-200.
5. พงษ์พัฒน์ วังโน. (2560). *การปรับปรุงคุณภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลด้วยกากแคลเซียมคาร์ไบด์และเถ้าลอย.* [วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี]. <http://sutir.sut.ac.th:8080/sutir/bitstream/123456789/7977/2/Fulltext.pdf>

6. สราวุธ จริตงาม, โอภาส สมใจนิก และพิษณุ ช่วยเวท. (2565, 24-26 สิงหาคม). การใช้ แอสฟัลต์คอตกริตเก่า ผสมกับหินคลุก และซีเมนต์ในงานก่อสร้างถนน. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธา แห่งชาติ ครั้งที่ 27: เรื่องวิศวกรรมโยธา เพื่อความเข้มแข็งของชุมชน (INF04-1-5)*. เชียงราย: มหาวิทยาลัยพะเยา.
<https://conference.thaince.org/index.php/ncce27/article/view/1711>
7. อัครพัฒน์ สว่างสุรีย์, อธิภัทร ศิริรัตนฉัตร และ จิรโรจน์ ศุกลรัตน์. (2561). การศึกษา ประเมินสมการทำนายค่ากำลังรับแรงอัด ของวัสดุสร้างทางผสมซีเมนต์. *วิศวกรรมสาร มก.* 31(103), 65-76.
<https://ph01.tci-thaijo.org/index.php/kuengj/article/view/145469/107447>
8. อาทิตย์ อินทรา. (2556). *อิทธิพลปริมาณผิว ทางแอสฟัลต์ติกคอนกรีตที่นำกลับมา ใช้ใหม่ต่อกำลังอัดของวัสดุชั้นพื้นทางที่ ปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์*. [วิทยานิพนธ์ ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี].
<http://sutir.sut.ac.th:8080/jspui/bitstream/123456789/4767/2/Fulltext.pdf>
9. Al-Qadi, I. L., Elseifi, M., & Carpenter, S. H. (2007). *Reclaimed asphalt pavement – A literature review*. Illinois Center for Transportation, Research Report FHWA-ICT-07-001.
<https://www.ideals.illinois.edu/items/46016>
10. Federal Highway Administration. (1997). *Reclaimed Asphalt Pavement-User Guidelines for Waste and Byproduct Materials in Pavement Construction*. (Research Report FHWA-RD-97-148). Washington, DC: U.S.
11. Plati, C., Tsakoumaki, M., & Gkyrtis, K. (2023). Physical and Mechanical Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Incorporated into Unbound Pavement Layers. *Applied Science*, 13(1), 362.
<https://doi.org/10.3390/app13010362>
12. Ullah, S., Tanyu, B. F., & Hoppe, E. J. (2018). Optimizing the Gradation of Fine Processed Reclaimed Asphalt Pavement and Aggregate Blends for Unbound Base Courses. *Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board*, 2672(52), 57-66.
<https://doi.org/10.1177/0361198118758683>