

# การศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น Properties of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) Stabilized with Crushed Rock and Stone Dust

เขมาภรณ์ ชันเงิน<sup>1</sup> สราวุธ จริตงาม<sup>1\*</sup> และโอภาส สมใจนึก<sup>2</sup>  
Khemaporn Khan-ngern<sup>1</sup>, Saravut Jaritngam<sup>1\*</sup> and Opas Somchainuek<sup>2</sup>

## บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (reclaimed asphalt pavement: RAP) ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น เพื่อพัฒนาวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างและปรับปรุงถนน โดยนำวัสดุหินคลุกและหินฝุ่นมาประยุกต์ใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อเสริมกำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ วัสดุหินคลุกและหินฝุ่นถูกนำไปทดสอบหาขนาดผลของมวลรวมก่อนนำมาใช้ในการออกแบบส่วนผสม และดำเนินการออกแบบการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิม (pavement in-place recycling) ตามมาตรฐาน ทล.-ม.213/2543 เรื่องมาตรฐานการหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่ การออกแบบส่วนผสมทำการผสมวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับวัสดุผสมเพิ่ม 2 ชนิด ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ในอัตราส่วนวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่ม 3 อัตราส่วน คือ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก โดยนำส่วนผสมที่ได้ไปทดสอบหาค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียว จากผลการศึกษาพบว่าวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่นมีศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างหรือปรับปรุงถนน โดยให้ค่ากำลังรับแรงอัดเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวงสำหรับชั้นรองพื้นทางหินคลุกผสมปูนซีเมนต์ ซึ่งกำหนดให้ค่ากำลังรับแรงอัดแกนเดียวไม่น้อยกว่า 24.50 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ksc) ที่อายุการบ่ม 7 วัน

**คำสำคัญ:** วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ หินคลุก หินฝุ่น

<sup>1</sup> สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์

<sup>2</sup> สำนักงานทางหลวงที่ 18 กรมทางหลวง

<sup>1</sup> Department of Civil and Environmental Engineering, Faculty of Engineering, Prince of Songkla University

<sup>2</sup> Office of Highways 18, Department of Highways

\* Corresponding author e-mail: jaritngam@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.65217/wichchajnstu.2026.v45i1.266057>

Received: 22 January 2025, Revised: 3 March 2025, Accepted: 11 March 2025

## Abstract

This research investigated the properties of reclaimed asphalt pavement (RAP) stabilized with crushed rock and stone dust for use as an alternative pavement material. Crushed rock and stone dust were employed as stabilizing additives to enhance the compressive strength of RAP. Both additives were first subjected to gradation analysis, and materials meeting the specification were selected for mix design. Pavement in-place recycling mixtures were designed in accordance with the Thai Department of Highways standard DH-S 213/2543 for reclaimed asphalt pavement (RAP). The mixtures were prepared by combining RAP with two types of additives crushed rock and stone dust at three RAP-to-additive ratios of 25:75, 50:50, and 75:25 by weight. Unconfined compressive strength tests were conducted on the prepared mixtures. The results indicated that stabilized RAP has potential for use as an alternative material in road construction and rehabilitation. In particular, the mixture with a RAP-to-additive ratio of 25:75 satisfied the Department of Highways requirement for a cement-treated gravel subbase layer, achieving a minimum unconfined compressive strength of 24.50 kgf/cm<sup>2</sup> (ksc) after 7 days of curing.

**Keywords:** Reclaimed asphalt pavement, Crushed rock, Stone dust

## บทนำ

ในปัจจุบันประเทศไทยมีการก่อสร้างและปรับปรุงถนนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตอย่างต่อเนื่อง เพื่อตอบสนองต่อปริมาณการจราจรที่เพิ่มขึ้นจากจำนวนยานพาหนะที่มากขึ้น อย่างไรก็ตามเมื่อถนนถูกใช้งานไปเป็นระยะเวลาหนึ่ง มักเกิดความเสียหายจากการรับน้ำหนักบรรทุกของยานพาหนะที่สูงเกินกว่าที่ออกแบบไว้ รวมถึงการเสื่อมสภาพของวัสดุผิวทางและผลกระทบจากสภาพภูมิอากาศ ส่งผลให้เกิดลักษณะความเสียหายต่าง ๆ เช่น การหลุดร่อน การทรุดตัว การเกิดร่องล้อ และการแตกร้าวของผิวทาง หากไม่มีการซ่อมแซมหรือบำรุงรักษาอย่างเหมาะสม ความเสียหายดังกล่าวจะทวีความรุนแรงมากขึ้น ส่งผลกระทบต่อความสะดวกและความปลอดภัยในการสัญจรของผู้ใช้ถนน รวมถึงเพิ่มค่าใช้จ่ายในการซ่อมแซมในระยะยาว โดยทั่วไปเมื่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ วัสดุผิวทางเดิมมักถูกขุดรื้อและนำไปทิ้งโดยไม่ได้ใช้ประโยชน์ (จิระยุทธ และคณะ, 2559) อย่างไรก็ตามในปัจจุบันได้มีการพัฒนาแนวทางการนำวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ โดยการขุดรื้อและปรับปรุงวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่เสื่อมสภาพให้นำกลับมาใช้งานได้อีกครั้ง ซึ่งเรียกว่า วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (reclaimed asphalt pavement: RAP) การนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มาใช้จำเป็นต้องมีการปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุที่เหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของชั้นทางให้มีคุณภาพและความสามารถในการรับน้ำหนักที่เพียงพอ ทั้งยังช่วยลดระยะเวลาในการก่อสร้าง ลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติใหม่ และลดการสูญเสียวัสดุ แนวทางการปรับปรุงผิวทางถนนเดิมโดยการ

หมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ มักอาศัยการผสมวัสดุเพิ่มเพื่อทำหน้าที่เสริมกำลังและปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทาง โดยทั่วไปการใช้ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสานนิยมใช้เพื่อเพิ่มกำลังรับแรง อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์เป็นแหล่งกำเนิดก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ในปริมาณสูง ซึ่งส่งผลต่อภาวะโลกร้อน ดังนั้นจึงมีความพยายามในการแสวงหาวัสดุทดแทนจากธรรมชาติที่สามารถนำมาใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มเพื่อลดการใช้ปูนซีเมนต์ วัสดุจากธรรมชาติ เช่น หินคลุกและหินฝุ่น เป็นวัสดุที่มีศักยภาพในการนำมาใช้ปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เนื่องจากสามารถช่วยปรับปรุงโครงสร้างส่วนคละและเพิ่มความสามารถในการรับแรงของวัสดุชั้นทางได้ ปัจจุบันแนวทางดังกล่าวได้รับความสนใจและเริ่มมีการนำมาใช้งานมากขึ้น โดยมีการอ้างอิงมาตรฐานของกรมทางหลวงและกรมทางหลวงชนบทเพื่อสนับสนุนการนำวัสดุเหล่านี้ไปใช้ในงานก่อสร้างถนนจริง (กนกพล และคณะ, 2566) ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งศึกษาคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้เป็นวัสดุทางเลือกสำหรับงานก่อสร้างและปรับปรุงถนนให้เป็นไปตามมาตรฐานที่เกี่ยวข้อง

แนวคิดพื้นฐานของการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งได้จากการขุดหรือการซ่อมแซมถนนแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมกลับมาใช้ในการก่อสร้างถนน เป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถช่วยลดต้นทุนการก่อสร้างและลดปริมาณขยะจากงานก่อสร้างได้อย่างมีนัยสำคัญ (Ma *et al.*, 2022) งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ส่วนใหญ่มุ่งเน้นการศึกษาและทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ เช่น ความแข็งแรง ความทนทาน และความสามารถในการรับแรงเฉือน เพื่อประเมินศักยภาพในการนำไปใช้งานเป็นชั้นทางในโครงสร้างถนน (Wu *et al.*, 2020) นอกจากนี้การนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มาใช้ยังช่วยลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติใหม่ เช่น หินคลุกและยางมะตอยใหม่ ซึ่งเป็นวัสดุที่มีต้นทุนสูงและอาจขาดแคลนในบางพื้นที่ (Plati *et al.*, 2019) ส่งผลให้การใช้วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เป็นทางเลือกที่สอดคล้องกับแนวคิดการพัฒนาอย่างยั่งยืนและการอนุรักษ์ทรัพยากร วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถนำมาปรับปรุงและใช้งานได้ด้วยวิธีการที่หลากหลาย เช่น การรีไซเคิลภายใต้อุณหภูมิสูง (hot mix recycling) และการรีไซเคิลแบบผสมเย็น (cold mix recycling) โดยมักมีการผสมร่วมกับวัสดุอื่น ๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติทางกลศาสตร์ของวัสดุ เช่น การใช้ปูนซีเมนต์หรือหินฝุ่นเป็นวัสดุผสมเพิ่ม เพื่อเสริมกำลังและเพิ่มเสถียรภาพของชั้นทาง (Singh *et al.*, 2019)

การใช้หินคลุกและหินฝุ่นในการปรับปรุงวัสดุผิวทาง หินคลุกและหินฝุ่นเป็นวัสดุที่ใช้กันอย่างแพร่หลายในการเสริมกำลังให้กับวัสดุของผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ เพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของชั้นพื้นทาง (Chakravarthi and Shankar, 2018) การใช้หินคลุกทำให้สามารถเพิ่มความต้านทานการสึกกร่อนและความแข็งแรงต่อแรงอัดของวัสดุผิวทาง (Saed *et al.*, 2022; พิษณุ และคณะ, 2568) ในขณะที่หินฝุ่นช่วยในการเติมเต็มช่องว่างและเพิ่มความแน่นของโครงสร้าง (Fedrigo *et al.*, 2019) จากการศึกษาวิจัยหลายฉบับยังชี้ให้เห็นว่าการผสมหินฝุ่นกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ช่วยให้วัสดุที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมกับการใช้งานเป็นวัสดุชั้นพื้นทาง เช่น ทนต่อการเกิดการแตกร้าวและช่วยลดการซึมผ่านของน้ำ (Jahanbakhsh *et al.*, 2019) นอกจากนี้การเลือกใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างหินคลุก หินฝุ่น และวัสดุของผิวทางที่นำกลับมาใช้ใหม่ ยังช่วยให้

สามารถพัฒนาโครงสร้างชั้นพื้นทางให้มีความแข็งแรงและทนทานมากขึ้น (Debbarma *et al.*, 2021) จากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการปรับปรุงวัสดุผิวทางในประเทศไทย มีการวิจัยเกี่ยวกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เป็นเรื่องที่ได้รับ ความสนใจในวงการวิศวกรรมโยธา เนื่องจากมีถนนที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษาจำนวนมาก กรมทางหลวงได้ออกมาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ (ทล.-ม.213/2543) ซึ่งกำหนดวิธีการออกแบบและการทดสอบ เพื่อให้ความมั่นใจในคุณภาพของวัสดุ (กรมทางหลวง, 2544) มีการศึกษาทดลองใช้เถ้าลอยและหินฝุ่น ในการผสมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสามารถเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุได้ ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐานของกรมทางหลวง (Hoy *et al.*, 2016) นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุท้องถิ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ สามารถช่วยลดต้นทุนในการผลิตและยังช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการก่อสร้างถนนได้อย่างมีนัยสำคัญ

หินคลุกและหินฝุ่นเป็นวัสดุที่ถูกนำมาใช้อย่างแพร่หลายในการปรับปรุงและเสริมกำลังวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของชั้นพื้นทางได้อย่างมีประสิทธิภาพ (Chakravarthi and Shankar, 2018) การใช้หินคลุกเป็นวัสดุผสมเพิ่ม มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มความต้านทานต่อการสึกกร่อนและเพิ่มกำลังรับแรงอัดของวัสดุผิวทาง ส่งผลให้โครงสร้างชั้นทางมีเสถียรภาพมากขึ้น (Saed *et al.*, 2022) ในขณะที่หินฝุ่นมีคุณสมบัติช่วยเติมเต็มช่องว่างระหว่างมวลรวม ทำให้โครงสร้างวัสดุมีความแน่นและลดช่องว่างภายใน ซึ่งส่งผลให้วัสดุมีความแข็งแรงและลดการซึมผ่านของน้ำได้ดีขึ้น (Fedrigo *et al.*, 2019) งานวิจัยหลายฉบับ รายงานว่า การผสมหินฝุ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถปรับปรุงคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุให้เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นวัสดุชั้นพื้นทาง โดยช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการแตกร้าวและเพิ่มความทนทานต่อสภาพแวดล้อมในระยะยาว (Jahanbakhsh *et al.*, 2019) นอกจากนี้การเลือกใช้อัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ หินคลุก และหินฝุ่น มีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการพัฒนาโครงสร้างชั้นพื้นทางให้มีความแข็งแรงและทนทาน โดยอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมจะช่วยให้วัสดุมีโครงสร้างส่วนคละที่ดี เพิ่มความสามารถในการรับแรง และลดการเสีรูปร่างภายใต้ภาระการใช้งาน (Debbarma *et al.*, 2021) สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องในประเทศไทย การปรับปรุงวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ได้รับความสนใจอย่างต่อเนื่องในวงการวิศวกรรมโยธา เนื่องจากมีถนนที่ต้องการซ่อมแซมและบำรุงรักษาเป็นจำนวนมาก กรมทางหลวงได้กำหนดมาตรฐานงานทางที่เกี่ยวข้องกับการนำวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ (ทล.-ม.213/2543) ซึ่งระบุแนวทางการออกแบบส่วนผสมและการทดสอบ เพื่อให้มั่นใจว่าวัสดุที่นำมาใช้ มีคุณภาพและเหมาะสมต่อการใช้งานจริง (กรมทางหลวง, 2544) มีรายงานการศึกษาทดลองการใช้วัสดุผสมเพิ่ม เช่น เถ้าลอยและหินฝุ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ พบว่าสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความทนทานของวัสดุได้ และให้ผลเป็นไปตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง (Hoy *et al.*, 2016) ผลการศึกษาดังกล่าวยิ่งแสดงให้เห็นว่าการใช้วัสดุท้องถิ่นร่วมกับวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สามารถช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง และเพิ่มประสิทธิภาพในการพัฒนา งานโครงสร้างถนนได้อย่างมีนัยสำคัญ

การประเมินคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น สามารถดำเนินการได้โดยใช้วิธีการทดสอบหลายรูปแบบ เพื่อประเมินความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทาง การทดสอบที่สำคัญ ได้แก่ การทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว (unconfined compressive strength: UCS) ซึ่งใช้ในการประเมินความสามารถในการรับแรงอัดของวัสดุ และเป็นตัวชี้วัดสำคัญในการพิจารณาความเหมาะสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่สำหรับงานโครงสร้างถนน นอกจากนี้การทดสอบขนาดส่วนคละของวัสดุมีบทบาทสำคัญในการวิเคราะห์การกระจายตัวของขนาดมวลรวม ซึ่งส่งผลต่อโครงสร้างภายใน ความแน่น และความสามารถในการรับแรงของวัสดุ อีกทั้งยังมีการทดสอบคุณสมบัติด้านความทนทานต่อสภาพแวดล้อม เช่น ความต้านทานต่อการกัดกร่อนและการซึมผ่านของน้ำ เพื่อประเมินพฤติกรรมของวัสดุภายใต้สภาพการใช้งานจริง (Singh *et al.*, 2019) การทดสอบดังกล่าวเป็นเครื่องมือสำคัญในการวิจัยที่ช่วยสนับสนุนการออกแบบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทาง การวิเคราะห์ผลการทดสอบทางวิศวกรรมสามารถนำไปใช้ในการปรับปรุงอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่เมื่อผสมร่วมกับวัสดุผสมเพิ่มต่าง ๆ เพื่อเพิ่มคุณภาพและประสิทธิภาพของชั้นพื้นทาง ทั้งในด้านความแข็งแรง ความคงทน และอายุการใช้งานของโครงสร้างถนน โดยแนวทางดังกล่าวยังสอดคล้องกับแนวคิดการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืนและการลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

จากเหตุผลดังกล่าวงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นการศึกษาการปรับปรุงคุณภาพและการกำหนดอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมของชั้นพื้นทาง โดยการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่มาผสมร่วมกับวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุก หินฝุ่น และปูนซีเมนต์ เพื่อพัฒนาวัสดุชั้นพื้นทางให้มีความแข็งแรง ความทนทาน และมีอายุการใช้งานที่ยาวนานขึ้น

### วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ได้ดำเนินการศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วยวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น (ภาพที่ 1) โดยวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งใช้ในการทดลองได้มาจากการขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตบนทางหลวงหมายเลข 4273 ตอนตะบิงตึง-สันกาหลง ระหว่างกิโลเมตรที่ 5+000 ถึง 9+800 ในพื้นที่จังหวัดยะลา รวมระยะทาง 100 กิโลเมตร

วัสดุหินคลุกและหินฝุ่นถูกนำมาจัดเตรียมและคัดเลือกเพื่อใช้เป็นวัสดุผสมเพิ่มสำหรับการออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่ม 2 ชนิด ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ใน 3 อัตราส่วน คือ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก สำหรับแต่ละอัตราส่วนทำการเตรียมขึ้นตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง รวมทั้งสิ้น 15 ตัวอย่าง

ขึ้นตัวอย่างที่เตรียมได้ถูกนำไปทดสอบคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุตามมาตรฐานของกรมทางหลวง เพื่อใช้ในการประเมินความเหมาะสมของวัสดุสำหรับการใช้งานเป็นชั้นพื้นทาง การทดสอบที่ดำเนินการประกอบด้วย การทดสอบความถ่วงจำเพาะ (specific gravity) การทดสอบขนาดส่วนคละของวัสดุ (sieve analysis) การทดสอบการบดอัดแบบสูงกว่ามาตรฐาน (modified compaction test) การทดสอบค่ากำลังรับน้ำหนักแบบ CBR (California bearing ratio) ของวัสดุ

ผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ และการทดสอบกำลังรับแรงอัดแกนเดียว หลังจากนั้นนำผลการทดสอบที่ได้มาวิเคราะห์ข้อมูลและสรุปผลเพื่อประเมินคุณสมบัติและศักยภาพของวัสดุที่ศึกษา

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยวัสดุทั้งหมด 5 ประเภท ได้แก่

- (1) วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่
- (2) หินคลุก
- (3) หินฝุ่น
- (4) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1
- (5) น้ำสะอาด

การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ (ภาพที่ 2) ซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ชุดอัตราส่วนผสม ได้แก่ อัตราส่วนผสมที่ 1 ประกอบด้วยหินคลุกและปูนซีเมนต์ และอัตราส่วนผสมที่ 2 ประกอบด้วยหินฝุ่นและปูนซีเมนต์ โดยกำหนดอัตราส่วนผสมของวัสดุ เป็น 3 ระดับ คือ 25:75 50:50 และ 75:25 โดยน้ำหนัก ดังตารางที่ 1



ภาพที่ 1 วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ (ก) หินคลุก (ข) และหินฝุ่น (ค)



ภาพที่ 2 ขั้นตอนการออกแบบวัสดุผสมเพิ่มและการทดสอบ

**ตารางที่ 1** การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุ

อัตราส่วนผสม (วัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ : วัสดุผสมเพิ่ม)	วัสดุผสมเพิ่ม	
	อัตราส่วนผสมที่ 1 หินคลุก : ปูนซีเมนต์	อัตราส่วนผสมที่ 2 หินฝุ่น : ปูนซีเมนต์
25:75	25:75	25:75
50:50	50:50	50:50
75:25	75:25	75:25

**ผลการวิจัย**

ผลการทดสอบขนาดส่วนคละของหินคลุกและหินฝุ่น พบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 มีค่าร้อยละผ่านตะแกรงต่ำที่สุดในเกือบทุกขนาดตะแกรง แสดงถึงลักษณะวัสดุที่มีความหยาบมากกว่า เมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสม 50:50 และ 75:25 ซึ่งมีค่าร้อยละผ่านตะแกรงเพิ่มขึ้นตามลำดับ ทั้งนี้ อัตราส่วนผสม 50:50 ให้การกระจายตัวของขนาดวัสดุที่อยู่ในช่วงกึ่งกลาง และมีแนวโน้มเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทาง ดังแสดงในตารางที่ 2 และตารางที่ 3

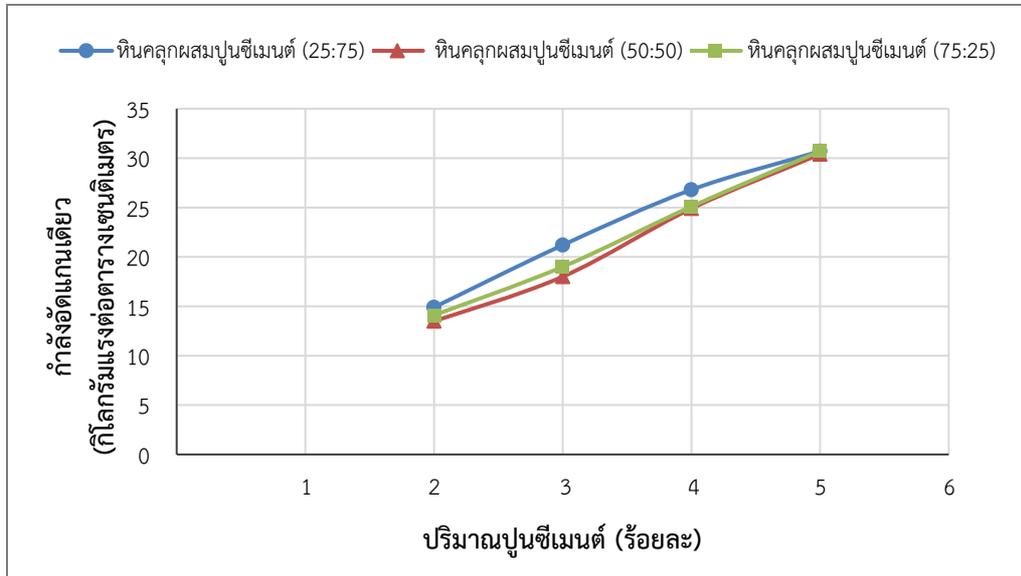
**ตารางที่ 2** การเปรียบเทียบขนาดส่วนคละของหินคลุก

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร (นิ้ว))	ปริมาณผ่านตะแกรง (ร้อยละ)		
	25:75	50:50	75:25
50.000 (2")	100.0	100.0	100.0
25.000 (1")	78.3	96.3	98.3
19.000 (3/4")	62.8	89.3	92.3
9.500 (3/8")	62.8	67.2	74.7
4.750 (เบอร์ 4)	36.4	44.4	48.4
2.000 (เบอร์ 10)	25.7	29.4	36.4
0.425 (เบอร์ 40)	16.8	19.4	25.9
0.075 (เบอร์ 200)	10.9	11.9	18.9

**ตารางที่ 3** การเปรียบเทียบขนาดส่วนคละของหินฝุ่น

ขนาดตะแกรง (มิลลิเมตร (นิ้ว))	ปริมาณผ่านตะแกรง (ร้อยละ)		
	25:75	50:50	75:25
50.000 (2")	100.0	100.0	100.0
25.000 (1")	100.0	100.0	100.0
19.000 (3/4")	85.7	93.4	96.8
9.500 (3/8")	49.4	51.1	67.7
4.750 (เบอร์ 4)	21.5	29.4	41.2
2.000 (เบอร์ 10)	19.7	20.2	31.4
0.425 (เบอร์ 40)	11.2	16.5	23.8
0.075 (เบอร์ 200)	6.7	13.1	13.7

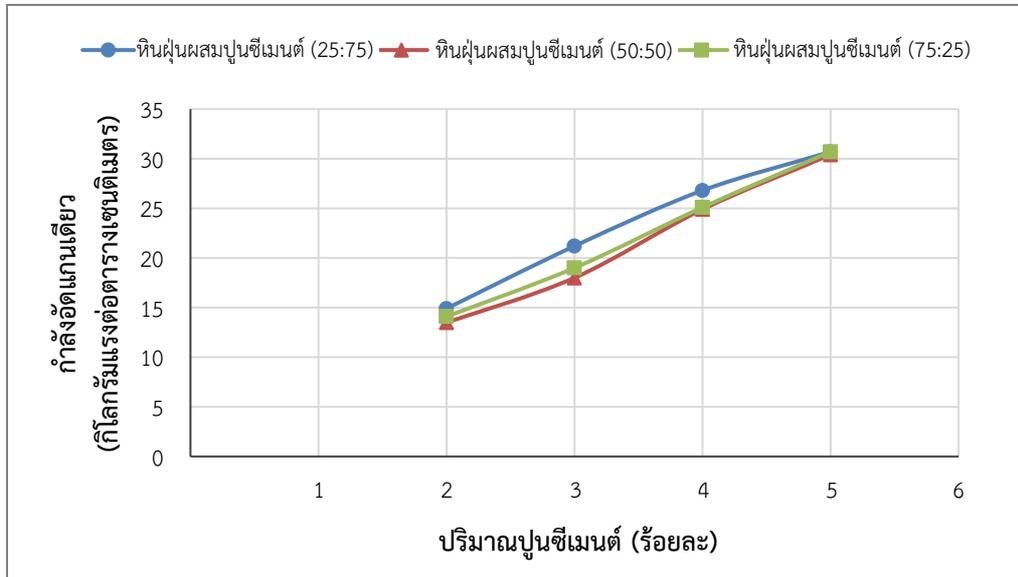
ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วย หินคลุกและปูนซีเมนต์ พบว่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในทุกอัตรา ส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับปูนซีเมนต์เดียวกัน อัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วนผสม 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 3



ภาพที่ 3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปูนซีเมนต์ผสมในหินคลุก

ผลการทดสอบกำลังอัดแกนเดียวของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ซึ่งปรับปรุงด้วย หินฝุ่นและปูนซีเมนต์ พบว่าค่ากำลังอัดมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นในทุกอัตรา ส่วนผสม เมื่อเปรียบเทียบที่ระดับปูนซีเมนต์เดียวกัน อัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว สูงที่สุด รองลงมา คือ อัตราส่วนผสม 50:50 และ 75:25 ตามลำดับ ดังภาพที่ 4

ผลการทดสอบปริมาณความชื้นเหมาะสม (optimum moisture content: OMC) และความหนาแน่นแห้งสูงสุด (maximum dry density: MDD) ของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น ที่อัตราส่วนผสม 25:75 50:50 และ 75:25 (ตารางที่ 4) นอกจากนี้ ตารางยังแสดงปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่เหมาะสมซึ่งให้ค่ากำลังอัดแกนเดียว 24.5 และ 28.2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ksc) เพื่อใช้ประกอบการพิจารณาในการออกแบบชั้นพื้นทางตาม เกณฑ์มาตรฐาน



ภาพที่ 4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปูนซีเมนต์ผสมในหินฝุ่น

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบความชื้นเหมาะสม ความหนาแน่นแห้งสูงสุด และปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวตามเกณฑ์มาตรฐาน

วัสดุผสม	อัตราส่วนผสม	ความชื้นเหมาะสม (ร้อยละ)	ความหนาแน่นแห้งสูงสุด (กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร)	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้แรงอัด 24.5 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ร้อยละ)	ปริมาณปูนซีเมนต์ที่ให้แรงอัด 28.2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร (ร้อยละ)
วัสดุผิวทาง	25:75	6.4	2.156	3.7	4.3
แอสฟัลต์ที่น้ำ	50:50	8.1	2.081	3.9	4.5
กลับมาใช้ใหม่	75:25	8.2	2.019	4.0	4.7
ผสมหินคลุก					
วัสดุผิวทาง	25:75	6.3	2.144	3.7	4.4
แอสฟัลต์ที่น้ำ	50:50	8.4	2.052	4.0	4.6
กลับมาใช้ใหม่	75:25	8.6	1.989	3.9	4.6
ผสมหินฝุ่น					

#### การอภิปรายผลการวิจัย

ผลการศึกษาครั้งนี้แสดงให้เห็นถึงศักยภาพในการนำวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่น้ำกลับมาใช้ใหม่ มาปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ซึ่งสามารถช่วยเพิ่มคุณสมบัติด้านกำลังรับแรงของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ผลการทดสอบทางวิศวกรรมบ่งชี้ว่าวัสดุผิวทางที่ได้รับ

การปรับปรุงดังกล่าวมีความเหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางหรือชั้นรองพื้นทางได้ โดยให้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนด

จากผลการวิจัย คณะผู้วิจัยสามารถนำข้อมูลที่ได้ไปใช้เป็นแนวทางในการพิจารณาเลือกวิธีการซ่อมบำรุงและปรับปรุงผิวทางที่ชำรุดเสียหาย โดยเฉพาะการใช้เทคนิคการหมุนเวียนวัสดุผิวทางเดิมกลับมาใช้ใหม่ ซึ่งสามารถเลือกปรับอัตราส่วนผสมของวัสดุผสมเพิ่ม เช่น หินคลุกและหินฝุ่น ให้เหมาะสมกับสภาพวัสดุและข้อกำหนดทางวิศวกรรม นอกจากนี้ยังสามารถประยุกต์ใช้วัสดุอื่นที่มีอยู่ในท้องถิ่นเป็นวัสดุผสมเพิ่ม เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ให้เหมาะสมกับการใช้งานในโครงสร้างชั้นทาง อีกทั้งข้อมูลจากการศึกษานี้สามารถนำไปใช้ประกอบการวิเคราะห์ด้านต้นทุนในการก่อสร้างและบำรุงรักษาทางหลวงได้ โดยการออกแบบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่กับวัสดุผสมเพิ่ม จะช่วยลดปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ ซึ่งไม่เพียงแต่ช่วยลดต้นทุนการก่อสร้าง แต่ยังช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและการปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ อันเป็นแนวทางที่สอดคล้องกับการพัฒนางานก่อสร้างถนนอย่างยั่งยืน

### สรุปผลการวิจัย

การศึกษาครั้งนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินคุณสมบัติของวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยปรับปรุงคุณภาพด้วยวัสดุผสมเพิ่ม ได้แก่ หินคลุกและหินฝุ่น ร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ เพื่อนำไปใช้ในการพัฒนาวัสดุชั้นพื้นทาง โดยกำหนดอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่มออกเป็น 3 อัตราส่วน คือ 25:75 50:50 และ 75:25 ผลการทดสอบขนาดส่วนคละของวัสดุผสมพบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ปริมาณผ่านตะแกรงอยู่ในช่วงที่เหมาะสมมากที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับอัตราส่วนผสมอื่น การทดสอบกำลังอัดแกนเดียว แสดงให้เห็นว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่ากำลังอัดสูงสุด ทั้งในกรณีที่ปรับปรุงด้วยหินคลุกและหินฝุ่น สำหรับการทดสอบปริมาณความชื้นเหมาะสมและความหนาแน่นแห้งสูงสุด พบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่าความชื้นเหมาะสมต่ำที่สุด และให้ค่าความหนาแน่นแห้งสูงสุด ซึ่งสะท้อนถึงโครงสร้างเม็ดวัสดุที่มีความแน่นและประสิทธิภาพในการถ่ายแรงที่ดีกว่าอัตราส่วนผสมอื่น ทั้งนี้สามารถสังเกตได้ว่าปริมาณความชื้นมีผลต่อค่าความหนาแน่นแห้งอย่างมีนัยสำคัญ นอกจากนี้เมื่อพิจารณาปริมาณปูนซีเมนต์ที่ใช้เพื่อให้ได้ค่ากำลังอัดแกนเดียวเท่ากับ 28.2 กิโลกรัมแรงต่อตารางเซนติเมตร พบว่าอัตราส่วนผสม 25:75 ให้ค่าปริมาณการใช้ปูนซีเมนต์ที่ใกล้เคียงกันทั้งสองกรณี โดยการผสมกับหินคลุกใช้ปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 4.3 และการผสมกับหินฝุ่นใช้ปูนซีเมนต์ประมาณร้อยละ 4.4 ตามลำดับ จากผลการศึกษาทั้งหมดสามารถสรุปได้ว่า อัตราส่วนผสมวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ต่อวัสดุผสมเพิ่มที่ 25:75 เป็นอัตราส่วนที่เหมาะสมที่สุดในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุผิวทางแอสฟัลต์ที่นำกลับมาใช้ใหม่ เนื่องจากให้คุณสมบัติด้านการจัดเรียงเม็ดวัสดุ กำลังอัด ความหนาแน่น และประสิทธิภาพการใช้ปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมต่อการนำไปใช้เป็นวัสดุชั้นพื้นทางตามเกณฑ์มาตรฐานงานทาง

## กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณส่วนตรวจสอบและวิเคราะห์ทางวิศวกรรม สำนักงานทางหลวงที่ 18 ที่ให้ความช่วยเหลือและสนับสนุน

## เอกสารอ้างอิง

- กนกพล จันทรา ชยภฤต เพชรช่วย วรวิทย์ โพธิ์จันทร์ วีระวัฒน์ วรรณกุล และชินะวัฒน์ มุกตพันธ์. (2566). การปรับปรุงคุณภาพผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตไร้โซลิตผสมหินคลุกด้วยเถ้าลอย จีโอโพลิเมอร์แบบผง. ใน *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 28* (หน้า GTE22-1 - GTE22-6). กรุงเทพฯ: วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ร่วมกับมหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.
- กรมทางหลวง. (2544). *มาตรฐานพื้นทางหินคลุก (ทล.-ม 213/2543)*. สืบค้นเมื่อ 22 มกราคม 2567, จาก: <https://doh.go.th/doh/images/aboutus/standard/01/dhs213-43.pdf>.
- จิระยุทธ สืบสุข เบญจพล ขุนวิเศษ อนิรุทธิ์ สุขแสน เขียดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์ และคมกร ไชยเดชาธร. (2559). กำลังอัดแกนเดียวและโครงสร้างจุลภาคของดินลูกรังเกือบตกชั้นคุณภาพปรับปรุงด้วยผิวทางแอสฟัลต์ไร้โซลิตและซีเมนต์. *วิศวกรรมลาดกระบัง*, 33(2), 111-116.
- พิษณุ ช่วยเวช สราวุธ จริตงาม ปฐเมศ ภาณีตพจมาน และโอภาส สมใจนิก. (2568). การใช้ดินซีเมนต์แทนหินคลุกในการก่อสร้างถนน. *วารสารวิชา มหาวิทยาลัยราชภัฏนครศรีธรรมราช*, 44(1), 122-134, doi: <https://doi.org/10.65217/wichchajSTRU.2025.v44i1.264030>.
- Chakravarthi, S. and Shankar, S. (2018). Effect of age on reclaimed asphalt pavement mixes. *Indian Highways*, 46(7), 25-36.
- Debbarna, S., Ransinchung, G.D.R.N. and Singh, S. (2021). Suitability of various supplementary cementitious admixtures for RAP inclusive RCCP mixes. *International Journal of Pavement Engineering*, 22(12), 1568-1581, doi: <https://doi.org/10.1080/10298436.2019.1703981>.
- Fedrigò, W., Núñez, W.P., Schreinert, G.G., Kleinert, T.R., Matuella, M.F., López, M.A.C. and Ceratti, J.A.P. (2019). Flexural strength, stiffness, and fatigue of cement-treated mixtures of reclaimed asphalt pavement and lateritic soil. *Road Materials and Pavement Design*, 22(5), 1004-1022, doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2019.1660207>.
- Hoy, M., Horpibulsuk, S., Rachan, R., Chinkulkijniwat, A. and Aeulrajah, A. (2016). Recycled asphalt pavement-fly ash geopolymers as a sustainable pavement base material: Strength and toxic leaching investigations. *Science of the Total Environment*, 573, 19-26, doi: <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2016.08.078>.
- Jahanbakhsh, H., Karimi, M.M., Naseri, H. and Nejad, F.M. (2019). Sustainable asphalt concrete containing high reclaimed pavements and recycling agents: Performance assessment, cost analysis, and environmental impact. *Journal of Cleaner Production*, 244, 118837, doi: <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2019.118837>.

- Ma, X., Wang, J. and Xu, Y. (2022). Investigation on the effects of RAP proportions on the pavement performance of recycled asphalt mixtures. *Frontiers in Materials*, 8, 842809, doi: <https://doi.org/10.3389/fmats.2021.842809>.
- Plati, C. and Cliatt, B. (2019). A sustainability perspective for unbound reclaimed asphalt pavement (RAP) as a pavement base material. *Sustainability*, 11(1), 78, doi: <https://doi.org/10.3390/su11010078>.
- Saed, S.A., Karimi, H.R., Rad, S.M., Aliha, M.R.M., Shi, X. and Haghightpour, P.J. (2022). Full range I/II fracture behavior of asphalt mixtures containing RAP and rejuvenating agent using two different 3-point bend type configurations. *Construction and Building Materials*, 314(part B), 125590, doi: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2021.125590>.
- Singh, S., Ransinchung, G.D.R.N. and Kumar, P. (2019). Feasibility study of RAP aggregates in cement concrete pavements. *Road Materials and Pavement Design*, 20(1), 151-170, doi: <https://doi.org/10.1080/14680629.2017.1380071>.
- Wu, Z., Zhang, C., Xiao, P., Li, B. and Kang, A. (2020). Performance characterization of hot mix asphalt with high RAP content and basalt fiber. *Materials*, 13(14), 3145, doi: <https://doi.org/10.3390/ma13143145>.