

การปรับปรุงสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยขยะพลาสติกชนิด

HDPE, PP และ PET โดยวิธีการของมาร์แชลล์บนพื้นฐาน

การออกแบบงานทางประเทศไทย

IMPROVEMENT OF ASPHALT CONCRETE PROPERTIES USING HDPE, PP, AND PET PLASTIC WASTES VIA MARSHALL MIX DESIGN BASED ON THAILAND'S PAVEMENT DESIGN

พิชเยศ มารศรี, ปรีวัฒน์ มั่นทอง*, ภาณุวัตร ตุ่นแก้ว, ศศิประภา วัยวุฒิ, วรณิกา ชันคำนัน๊ะ
Pichayet Marasri, Pariwat Manthong*, Panuwat Tunkeaw, Sasiprapha Waiyawut,

Wannika Kancomnanta

คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏพิบูลสงคราม อ.เมือง จ.พิษณุโลก ประเทศไทย 65000

Faculty of Industrial Technology, Pibulsongkram Rajabhat University, Muang, Phitsanulok, Thailand, 65000

*Corresponding author e-mail: pariwat.m@psru.ac.th

วันที่เข้ารับ 21 กรกฎาคม 2569

วันที่แก้ไขบทความ 30 สิงหาคม 2569

วันที่ตอบรับบทความ 31 สิงหาคม 2569

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยพิจารณาพลาสติก 3 ประเภท ได้แก่ HDPE จากขวดบรรจุภัณฑ์และถุงขยะ PP จากภาชนะพลาสติกและสายน้ำหยดทางการเกษตร และ PET จากขวดน้ำดื่ม งานวิจัยนี้มีความใหม่ในการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพลาสติกทั้งสามประเภทภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน ซึ่งต่างจากงานวิจัยส่วนใหญ่ที่มักศึกษาพลาสติกเพียงชนิดเดียว การออกแบบส่วนผสมดำเนินการตามวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532 โดยใช้มวลรวมหินปูนจากจังหวัดสุโขทัยและแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 อัตราส่วนมวลรวม 50:25:13:12 ปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 4.8 โดยน้ำหนักมวลรวม จากนั้นเติมขยะพลาสติกขนาด 2-4 มิลลิเมตร ในสัดส่วนร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนักของยางแอสฟัลต์ ทดสอบค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าช่องว่างอากาศ ผลการทดลองพบว่าการเติมพลาสติกร้อยละ 3 ให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและร้อยละ 1 อย่างชัดเจน โดยเฉพาะกลุ่ม HDPE และ PP ขณะที่ค่าการไหลของกลุ่มดังกล่าวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติก และค่าช่องว่างอากาศทุกส่วนผสมยังอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน (ร้อยละ 3.7-4.4) ส่วนผสมที่เติมพลาสติกจึงมีแนวโน้มให้ความแข็งแรงและความทนทานสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตทั่วไป อีกทั้งลดปริมาณการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ได้บางส่วน แสดงถึงศักยภาพของการนำขยะพลาสติกมาใช้ในการงานทางเพื่อการจัดการทรัพยากรอย่างยั่งยืน

คำสำคัญ: ขยะพลาสติกรีไซเคิล, ความทนทานของผิวทาง, วิธีมาร์แชลล์, แอสฟัลต์คอนกรีต

Abstract

This study aimed to investigate the use of recycled plastic waste as an additive in asphalt concrete mixtures. Three types of plastic waste were examined: high-density polyethylene (HDPE) obtained from packaging bottles and garbage bags, polypropylene (PP) obtained from plastic containers and agricultural drip irrigation tubing, and polyethylene terephthalate (PET) obtained from drinking water bottles. The novelty of this study lies in its comparison of the performance of these three plastic types under identical experimental conditions, whereas most previous studies have focused on only one type of plastic. The mixtures were designed using the Marshall method in accordance with the Department of Highways Standard No. DOH-M. 408/2532. Limestone aggregate from Sukhothai Province and AC 60/70 penetration-grade asphalt cement were used, with an aggregate blend ratio of 50:25:13:12. The optimum asphalt content was determined to be 4.8% by weight of the aggregate. Plastic waste with particle sizes ranging from 2 to 4 mm was then incorporated at dosages of 1% and 3% by weight of the asphalt cement. Marshall stability, flow, and air voids were evaluated. The results indicated that the mixtures containing 3% plastic exhibited substantially higher Marshall stability than both the control mixtures and those containing 1% plastic, particularly in the HDPE- and PP-modified mixtures. Meanwhile, the flow values of these mixtures decreased as the plastic content increased. The air void contents of all mixtures remained within the specified range of 3.7–4.4%. Overall, the plastic-modified mixtures demonstrated the potential to provide greater strength and durability than conventional asphalt concrete while partially reducing asphalt cement consumption. These findings demonstrate the potential of utilizing plastic waste in pavement applications as a sustainable approach to resource management.

Keywords: Asphalt concrete, Marshall mix design, Pavement durability, Recycled plastic waste

1. บทนำ

ปัจจุบันประเทศไทยประสบปัญหาการสะสมของขยะพลาสติกและทวีความรุนแรงขึ้นอย่างต่อเนื่องจากการขยายตัวของภาคอุตสาหกรรมและการบริโภค ส่งผลให้เกิดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งในดิน น้ำ และอากาศ เนื่องจากพลาสติกเป็นวัสดุที่ย่อยสลายได้ยากและมีอายุการใช้งานยาวนาน การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ประโยชน์ในงานวิศวกรรมโยธา โดยเฉพาะในงานทางหลวงจึงเป็นแนวทางที่ได้รับความสนใจอย่างแพร่หลาย เนื่องจากสามารถช่วยลดปริมาณของเสียควบคู่กับการเพิ่มประสิทธิภาพของวัสดุก่อสร้าง แอสฟัลต์คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่ใช้ในงานผิวทางเนื่องจากมีคุณสมบัติด้านความยืดหยุ่นและสามารถรองรับน้ำหนักจราจรได้ดี อย่างไรก็ตามปัญหาความเสียหายของผิวทาง เช่น การเกิดร่องล้อ (Rutting) และการเสียรูปถาวร ยังคงเป็นข้อจำกัดสำคัญของวัสดุชนิดนี้ ทำให้มีการศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวัสดุพอลิเมอร์และวัสดุรีไซเคิล โดยเฉพาะพลาสติกประเภทเทอร์โมพลาสติก เช่น High Density Polyethylene (HDPE), Polypropylene (PP) และ Polyethylene Terephthalate (PET) ซึ่งสามารถหลอมรวมกับแอสฟัลต์ได้และช่วยเพิ่มความต้านทานต่อการเสียรูปของวัสดุ (Ma *et al.*, 2021) ทั้งนี้ ข้อมูลของกรมการเปลี่ยนแปลงสภาพภูมิอากาศและสิ่งแวดล้อม (2566) รายงานว่าประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 26.95 ล้านตันต่อปี แต่สามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้เพียง 9.31 ล้านตัน โดยขยะพลาสติกเป็นองค์ประกอบสำคัญที่ยังคงมีอัตราการนำกลับมาใช้ใหม่อยู่ในระดับต่ำ

การเติมขยะพลาสติกในแอสฟัลต์คอนกรีตช่วยเพิ่มค่าเสถียรภาพ Marshall Stability และลดค่าการไหล Flow ซึ่งเป็นการเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการรับน้ำหนักของส่วนผสม (Mashaan *et al.*, 2021) นอกจากนี้ยังสามารถช่วยเพิ่มความต้านทานความชื้นและการใช้งานระยะยาวได้ (Pan *et al.*, 2025; Biswas *et al.*, 2025) สำหรับปริมาณและประเภทของพลาสติกที่เหมาะสมยังคงเป็นประเด็นที่สำคัญ เนื่องจากการเติมขยะพลาสติกในปริมาณที่สูงเกินไปอาจส่งผลต่อสมบัติด้านความยืดหยุ่นและการเสียรูปของแอสฟัลต์ (Bilema *et al.*, 2024) การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทย นิยมใช้วิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล.-ม. 408/2532) ซึ่งเป็นวิธีเชิงทดลองที่สามารถประเมินสมบัติสำคัญ ได้แก่ ค่าเสถียรภาพและค่าการไหล งานวิจัยในประเทศรายงานว่า การเติมพลาสติก โดยเฉพาะ PET สามารถเพิ่มค่าเสถียรภาพของส่วนผสมได้อย่างมีนัยสำคัญ และยังเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง (Thienthong *et al.*, 2025)

งานวิจัยส่วนใหญ่มุ่งเน้นศึกษาพลาสติกเพียงชนิดเดียว หรือศึกษาในช่วงอัตราส่วนที่จำกัด โดยยังขาดการเปรียบเทียบประสิทธิภาพของพลาสติกหลายประเภทภายใต้เงื่อนไขเดียวกัน โดยเฉพาะ HDPE, PP และ PET ซึ่งเป็นพลาสติกที่พบได้ทั่วไปในขยะชุมชนและภาคการเกษตร ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาผลของการเติมขยะพลาสติกทั้งสามประเภtdังกล่าวในอัตราส่วนร้อยละ 1

และร้อยละ 3 ต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยออกแบบส่วนผสมตามวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล.-ม. 408/2532) และประเมินผลผ่านค่าความเสถียรภาพ ค่าการไหล และค่าช่องว่างอากาศ เพื่อพิจารณาประสิทธิภาพการใช้งาน ในการพัฒนาวัสดุผิวทางที่มีสมรรถนะสูง และสอดคล้องกับแนวทางการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน ผลจากการเปรียบเทียบดังกล่าวจะช่วยตอบช่องว่างงานวิจัยข้างต้นได้โดยตรง และเป็นข้อมูลพื้นฐานสำหรับการเลือกชนิดและปริมาณพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับงานถนนต่อไป

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

2.1 เพื่อศึกษาผลของการนำขยะพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PET มาใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยออกแบบส่วนผสมตามวิธีมาร์แชลล์ (Marshall mix design) ตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล.-ม. 408/2532)

2.2 เพื่อเปรียบเทียบผลของปริมาณขยะพลาสติกที่ร้อยละ 1 และร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของยางแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่อสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต และประเมินสมบัติทางวิศวกรรม ได้แก่ ค่าเสถียรภาพ (Marshall stability) ค่าการไหล (Flow) และค่าช่องว่างอากาศ (Air voids)

2.3 เพื่อประเมินศักยภาพของการนำขยะพลาสติกมาใช้ในการผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทั้งในด้านสมรรถนะทางวิศวกรรมและการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาเชิงทดลอง (Experimental study) เพื่อประเมินผลของการนำขยะพลาสติกมาใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยศึกษาผลกระทบของพลาสติกประเภท High Density Polyethylene (HDPE), Polypropylene (PP) และ Polyethylene Terephthalate (PET) ต่อสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผิวทาง การดำเนินงานวิจัยครอบคลุมตั้งแต่การคัดเลือกและเตรียมวัสดุ การออกแบบส่วนผสม การผลิตตัวอย่างทดสอบ และการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยมีรายละเอียด ดังนี้

3.1 วัสดุ (Material)

3.1.1 วัสดุมวลรวมหินปูน (Limestone aggregate)

สำหรับงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยได้เลือกใช้วัสดุมวลรวมหินปูน จากแหล่งโรงโม่หิน จังหวัดสุโขทัย โดยได้คัดขนาดเพื่อนำมาทำการออกแบบอัตราส่วนผสม ได้แก่ 3/4", 1/2", 3/8" และหินฝุ่นเป็นวัสดุมวลรวมสำหรับออกแบบ Cold Bin



ภาพที่ 1 วัสดุมวลรวมหินปูน (Limestone)

3.1.2 วัสดุประสาน (Asphalt cement)

วัสดุประสานที่เลือกใช้ในงานวิจัยนี้เป็นแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70



ภาพที่ 2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ (AC 60/70)

3.1.3 ขยะพลาสติก

ผู้วิจัยเลือกใช้ขยะพลาสติกประเภท High Density Polyethylene (HDPE) จากขวดบรรจุภัณฑ์และถุงขยะ, Polypropylene (PP) จากภาชนะพลาสติกและสายน้ำหยดทางการเกษตร และ Polyethylene Terephthalate (PET) จากขวดน้ำดื่ม ย่อยขยะพลาสติกให้มีขนาด 2-3 มิลลิเมตร



ภาพที่ 3 ขยะพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PET



3.2 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

3.2.1 ทำการทดสอบหาคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม เพื่อนำค่าข้อมูลไปออกแบบอัตราส่วนผสม สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ดังนี้

- การทดสอบการหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง อ้างอิงตามมาตรฐาน ทล.-ท. 204/2516 เพื่อหาขนาดเม็ด (Particle size distribution) ของ Aggregate ทั้งชนิดเม็ดละเอียดและหยาบ โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ ถึงขนาดเล็ก มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่าง ที่ผ่านหรือค้างตะแกรงขนาดต่างๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง
- การทดสอบดัชนีความแบนและความยาวของมวลรวมตามมาตรฐาน ASTM D4791-19 ใช้เพื่อประเมินรูปร่างของเม็ดหิน โดยตรวจสอบสัดส่วนของเม็ดที่มีลักษณะแบนและยาวซึ่งอาจส่งผลกระทบต่อความแข็งแรงของวัสดุผิวทาง ผลการทดสอบแสดงเป็นร้อยละของน้ำหนักมวลรวมทั้งหมด โดยค่าที่ต่ำบ่งชี้ถึงคุณภาพมวลรวมที่เหมาะสมต่อการใช้งานในแอสฟัลต์คอนกรีต
- การทดสอบหาการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่อง Los Angeles วิธีการทดสอบนี้ครอบคลุมถึงการหาค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่องทดสอบหาความสึกหรอ ลอสแอนเจลิส
- การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบที่มีขนาดเม็ดโตกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) มาตรฐานอ้างอิงตามมาตรฐาน ทล.-ท. 207/2517
- การทดสอบความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบ วิธีการทดสอบนี้เป็นวิธีการทดสอบเพื่อหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมหยาบที่มีขนาดเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) มาตรฐานอ้างอิงตามมาตรฐาน ทล.-ท. 209/2518

3.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

นำข้อมูลจากการทดสอบวัสดุมวลรวม มาออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ดำเนินการตามวิธีมาร์แชล (Marshall mix design) ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม. 408/2532 โดยได้เตรียมตัวอย่างสำหรับทดสอบทั้งหมด 6 ชนิด ได้แก่ ตัวอย่างควบคุม (Virgin), HDPE 1 (ขูดบรรจุภัณฑ์), HDPE 2 (ถุงขยะ), PP1 (ภาชนะพลาสติก), PP2 (สายน้ำหยดทางการเกษตร) และ PET (ขวดน้ำดื่ม) ในอัตราส่วนผสมร้อยละ 1 และร้อยละ 3

3.4 การเตรียมตัวอย่างและการผสมพลาสติก

ในการเตรียมตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต นำมวลรวมหินอบในเตาอบที่อุณหภูมิ 160–180°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง จากนั้นเตรียมขยะพลาสติก 5 ชนิด ได้แก่ HDPE 1 จากขวดบรรจุภัณฑ์ HDPE 2 จากถุงขยะ PP 1 จากภาชนะต่าง ๆ PP 2 จากสายน้ำหยดการเกษตร และ PET โดยควบคุมขนาดเศษพลาสติกให้อยู่ในช่วง 2–4 มิลลิเมตร และใช้ในสัดส่วนร้อยละ 1 และ 3 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ นำพลาสติกผสมกับมวลรวมหินร้อนด้วยวิธีผสมแบบแห้ง (Dry process) แล้วอบที่อุณหภูมิ 160–180°C เป็นเวลา 4 ชั่วโมง เพื่อให้พลาสติกอ่อนตัวและเคลือบผิวมวลรวมอย่างทั่วถึง จากนั้นเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่อุณหภูมิ 150–160°C และผสมจนเป็นเนื้อเดียวกัน ก่อนนำไปขึ้นรูปด้วยเครื่องมาร์แชล โดยทำ 75 ครั้งต่อด้าน (75 blows/side) ตามมาตรฐานงานทางสำหรับงานจราจรหนัก และนำตัวอย่างไปทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมต่อไป

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

ทดสอบประสิทธิภาพของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ม. 408/2532 โดยประกอบด้วยการทดสอบหาค่าเสถียรภาพ (Marshall stability) เพื่อประเมินความสามารถในการรับแรง และค่าการไหล (Flow) เพื่อประเมินการเปลี่ยนรูปของวัสดุภายใต้แรงกด

4. ผลการวิจัย

4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุ

4.1.1 การทดสอบการกระจายขนาดเม็ดของวัสดุโดยวิธีร่อนผ่านตะแกรงแบบไม่วาง พบว่าส่วนผสมมีลักษณะเป็น ขนาดละเอียดต่อเนื่อง (Dense gradation) ที่มีการกระจายตัวของขนาดเม็ดอย่างต่อเนื่องและสมดุล โดยมีสัดส่วนมวลรวมส่วนละเอียดอยู่ในระดับที่เหมาะสม

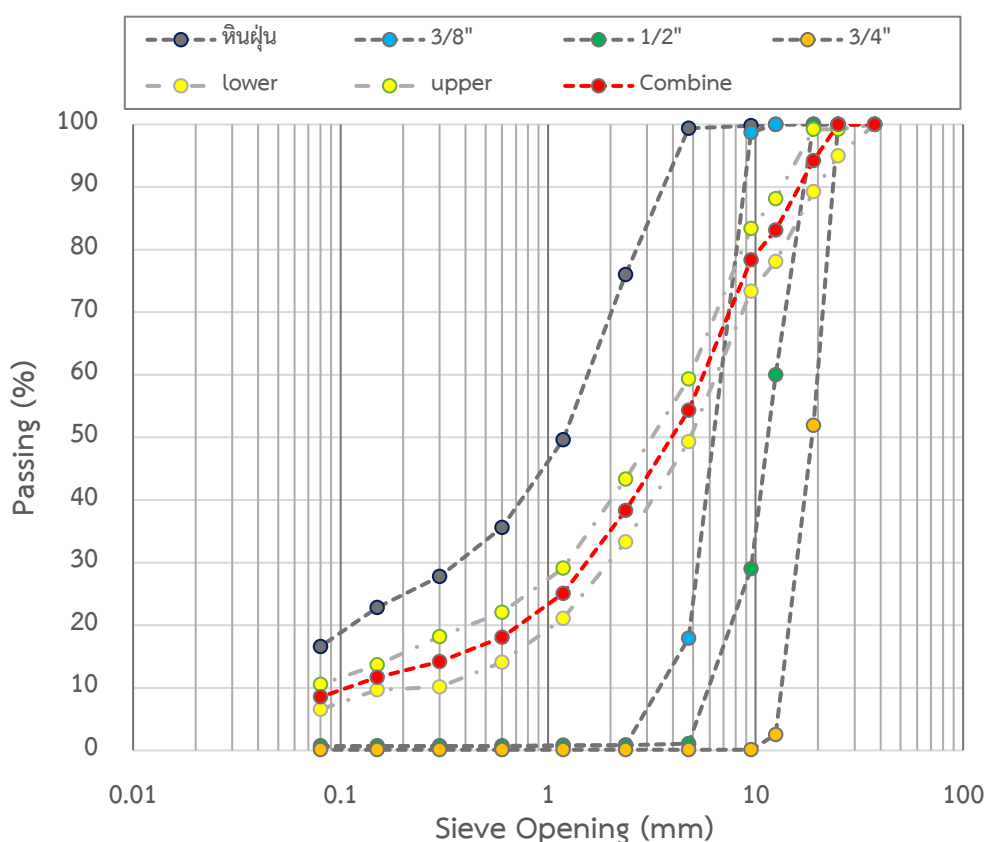
4.1.2 การทดสอบดัชนีความแบนและความยาวของมวลรวมเพื่อใช้ประเมินรูปร่างของเม็ดหิน พบว่า มวลรวมมีค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index: F.I.) เท่ากับร้อยละ 42.25 และค่าดัชนีความยาว (Elongation Index: E.I.) เท่ากับร้อยละ 36.27 ซึ่งสะท้อนให้เห็นว่ามวลรวมมีส่วนประกอบของอนุภาคที่มีรูปร่างแบนและยาวในสัดส่วนที่ค่อนข้างสูง

4.1.3 การทดสอบค่าการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่อง Los Angeles พบว่า มีค่าการสึกหรอเท่ากับร้อยละ 24.25 ซึ่งอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ตามมาตรฐานงานทาง แสดงให้เห็นว่ามวลรวมมีความสามารถในการต้านทานการขัดสีและการเสียดสีระหว่างการใช้งานได้ดี อันเป็นปัจจัยสำคัญที่ส่งผลต่อความคงทนและอายุการใช้งานของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

4.1.4 การทดสอบค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม พบว่า วัสดุมวลรวมหยาบขนาด 3/4 นิ้ว, 1/2 นิ้ว และ 3/8 นิ้ว มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.668, 2.699 และ 2.640 ตามลำดับ ขณะที่วัสดุมวลรวมละเอียดมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.687 ซึ่งอยู่ในช่วงที่

เหมาะสมสำหรับงานแอสฟัลต์คอนกรีต และสะท้อนถึงคุณภาพของมวลรวมที่มีความหนาแน่นดีและสามารถใช้เป็นส่วนประกอบในส่วนผสมได้อย่างเหมาะสม

4.2 การออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าเมื่อเปรียบเทียบการกระจายขนาดของมวลรวมกับเกณฑ์มาตรฐานกรมทางหลวง (ทล. -ม. 408/2532) สำหรับผิวทางประเภท Wearing Course ส่วนผสมที่ออกแบบมีค่าการผ่านตะแกรงอยู่ภายในช่วงเกณฑ์ที่กำหนดในทุกขนาดเม็ด แสดงให้เห็นว่าการออกแบบมวลรวมมีความเหมาะสมและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด ลักษณะการกระจายขนาดของมวลรวมเป็นแบบ dense gradation ซึ่งมีการกระจายตัวอย่างต่อเนื่อง ส่งผลให้โครงสร้างภายในของแอสฟัลต์คอนกรีตมีความหนาแน่นและสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งนี้ ปริมาณวัสดุที่ผ่านตะแกรง #200 เท่ากับร้อยละ 8.5 มีบทบาทสำคัญในการเพิ่มแรงยึดเกาะระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวม รวมถึงช่วยลดช่องว่างอากาศภายในส่วนผสม ดังนั้น gradation ที่ได้จึงเหมาะสมสำหรับการนำไปใช้ร่วมกับการปรับปรุงด้วยขยะพลาสติก และเป็นปัจจัยสนับสนุนให้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีสมบัติด้านความแข็งแรงและความทนทานที่ดีขึ้น โดยใช้อัตราส่วนมวลรวมเท่ากับ 50 : 25 : 13 : 12 ดังแสดงในภาพที่ 4



ภาพที่ 4 Aggregate mix combination

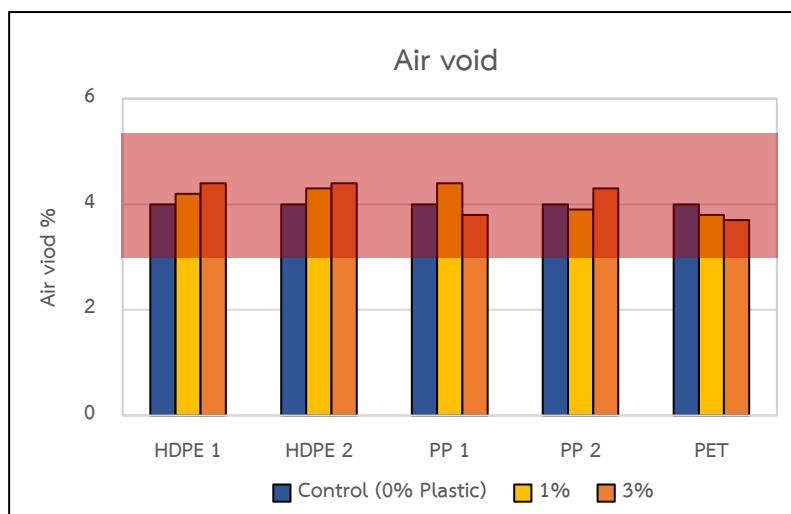
4.3 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

ตารางที่ 1 สรุปผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ ค่าการไหลและค่าช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีต

ตัวอย่าง (Sample)	Stability (lb)	Flow (0.01 in.)	Air Voids (%)
Control (0%)	3623	14.2	4.0
HDPE 1 (1%)	3732	14.2	4.2
HDPE 2 (1%)	3384	15.9	4.3
PP 1 (1%)	3526	15.6	4.4
PP 2 (1%)	3718	15.7	3.9
PET (1%)	3485	13.7	3.8
HDPE 1 (3%)	3989	14.0	4.4
HDPE 2 (3%)	3538	13.5	4.4
PP 1 (3%)	3938	11.7	3.8
PP 2 (3%)	3906	12.5	4.3
PET (3%)	3834	15.7	3.7

4.3.1 ผลการทดสอบช่องว่างอากาศ (Air Voids)

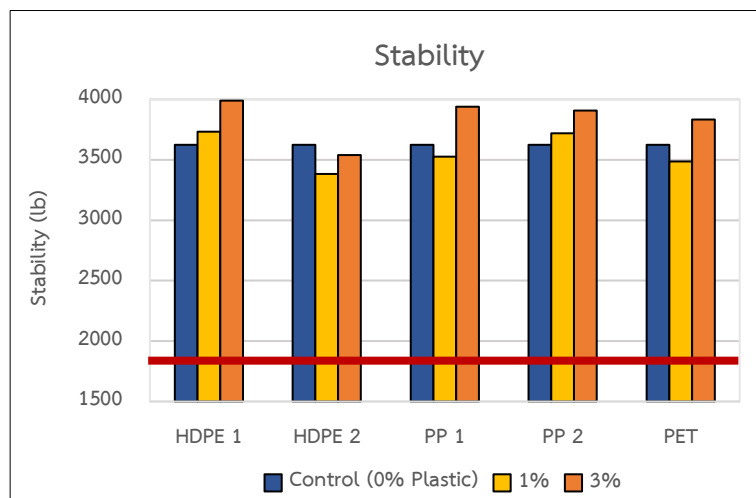
จากภาพที่ 5 ผลการทดสอบค่าช่องว่างอากาศ (Air voids) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมขยะพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PET พบว่าค่าช่องว่างอากาศของทุกตัวอย่างอยู่ในช่วงประมาณ 3.5–4.5% ซึ่งอยู่ภายในช่วงเกณฑ์มาตรฐานสำหรับงานแอสฟัลต์คอนกรีตผิวทาง (โดยทั่วไปประมาณ 3–5%) เมื่อพิจารณาผลของปริมาณพลาสติก พบว่าแนวโน้มของค่า Air Voids มีการเปลี่ยนแปลงเพียงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกจากร้อยละ 1 เป็นร้อยละ 3 โดยในบางกรณีค่าช่องว่างอากาศมีแนวโน้มลดลง เช่น ในกลุ่ม PP และ PET ซึ่งอาจเกิดจากการที่พลาสติกช่วยเติมเต็มช่องว่างภายในโครงสร้าง ทำให้ส่วนผสมมีความแน่นมากขึ้น ค่า Air Voids ของทุกส่วนผสมยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แสดงให้เห็นว่าการเติมขยะพลาสติกไม่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างปริมาตรของแอสฟัลต์คอนกรีต และยังสามารถรักษาสมดุลระหว่างความแน่นและช่องว่างอากาศได้อย่างเหมาะสม ซึ่งส่งผลต่อความทนทานและอายุการใช้งานของผิวทาง



ภาพที่ 5 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างอากาศ (Air voids) กับชนิดและปริมาณขยะพลาสติก

4.3.2 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Marshall stability)

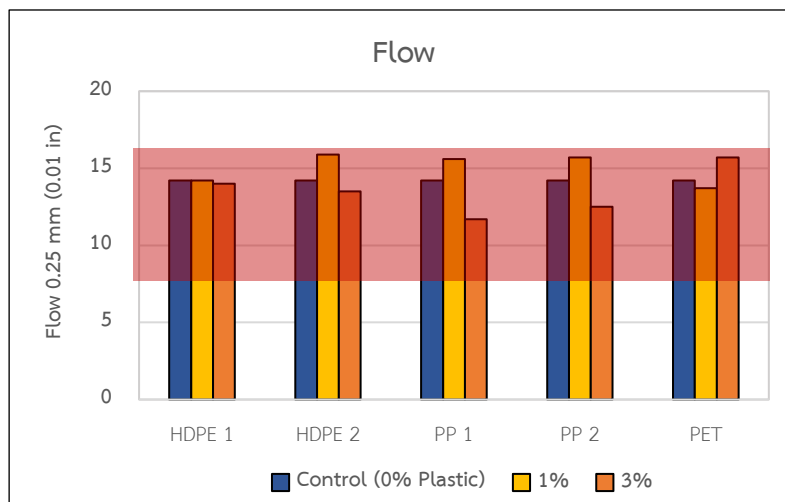
แสดงผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Marshall stability) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมขยะพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PET พบว่าทุกส่วนผสมมีค่าเสถียรภาพสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 1,800 ปอนด์ แสดงถึงความสามารถในการรับแรงและความแข็งแรงของส่วนผสมที่อยู่ในระดับดี เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบระหว่างอัตราส่วนการเติมพลาสติก พบว่าการเติมพลาสติกในอัตราร้อยละ 3 ให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าทั้งตัวอย่างควบคุมและการเติมที่ร้อยละ 1 โดยเฉพาะในกลุ่ม HDPE และ PP ซึ่งแสดงให้เห็นว่าการเพิ่มปริมาณพลาสติกสามารถช่วยเพิ่มความแข็งแรงและความสามารถในการรับน้ำหนักของแอสฟัลต์คอนกรีตได้ ผลดังกล่าวสอดคล้องกับกลไกที่พลาสติกเทอร์โมพลาสติกอ่อนตัวและเคลือบผิวมวลรวมในกระบวนการผสมแบบแห้ง ทำให้เกิดฟิล์มพลาสติกที่ช่วยเพิ่มความหนืดและความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุประสานรอบมวลรวม (Bualuang *et al.*, 2025) โดย HDPE และ PP ซึ่งมีโครงสร้างโมเลกุลแบบกึ่งผลึก (Semi-crystalline) และมีความแข็งแรงเชิงกลสูงกว่า PET ในสถานะอุณหภูมิผสมที่ใช้ จึงให้ผลเพิ่มค่าเสถียรภาพได้ชัดเจนกว่า สอดคล้องกับผลการศึกษาการผสมขยะพลาสติกแบบแห้งในแอสฟัลต์ผสมร้อนที่พบว่าชนิดของพอลิเมอร์ มีผลโดยตรงต่อระดับการยึดเกาะและความแข็งแรงของส่วนผสม (Bualuang *et al.*, 2025) ในขณะที่การศึกษาเปรียบเทียบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนทั่วไป กับที่ปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกยังชี้ให้เห็นว่าประสิทธิภาพที่เพิ่มขึ้นแปรผันตามชนิดและปริมาณของพลาสติกที่ใช้เช่นกัน (Lohatepanont *et al.*, 2026)



ภาพที่ 6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพ (Marshall stability) กับชนิดและปริมาณขยะพลาสติก

4.3.3 ผลการทดสอบการไหล (Flow)

จากภาพที่ 7 ผลการทดสอบค่าการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมขยะพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PET พบว่าค่าการไหลของทุกส่วนผสมอยู่ในช่วงประมาณ 11–16 หน่วย (0.25 mm) ซึ่งอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐานที่กำหนดไว้ที่ 8–16 หน่วย แสดงให้เห็นว่าส่วนผสมทั้งหมดมีความสามารถในการเสียรูปภายใต้แรงกดที่เหมาะสม เมื่อพิจารณาผลของปริมาณพลาสติกพบว่า การเติมพลาสติกในอัตราร้อยละ 1 มีแนวโน้มทำให้ค่าการไหลสูงขึ้นเล็กน้อยในบางชนิด โดยเฉพาะในกลุ่ม PP และ PET ซึ่งสะท้อนถึงการเพิ่มความสามารถในการเปลี่ยนรูปของส่วนผสม อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกเป็นร้อยละ 3 พบว่าค่าการไหลมีแนวโน้มลดลงในหลายกรณี โดยเฉพาะใน HDPE และ PP ซึ่งแสดงถึงการเพิ่มความแข็ง (stiffness) ของส่วนผสมและความสามารถในการต้านทานการเสียรูปที่ดีขึ้น ทั้งนี้ ค่า Flow ของทุกส่วนผสมยังคงอยู่ภายในช่วงมาตรฐานที่กำหนด แสดงให้เห็นว่าการเติมขยะพลาสติกไม่ส่งผลกระทบต่อพฤติกรรมการเสียรูปของแอสฟัลต์คอนกรีต และยังสามารถควบคุมสมดุลระหว่างความแข็งแรงและความยืดหยุ่นของวัสดุได้อย่างเหมาะสม



ภาพที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหล (Flow) กับชนิดและปริมาณขยะพลาสติก

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

จากการศึกษาการนำขยะพลาสติกประเภท HDPE, PP และ PET มาใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยออกแบบส่วนผสมตามวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐานกรมทางหลวง (ทล.-ม. 408/2532) สามารถสรุปผลได้ดังนี้

5.1 การออกแบบอัตราส่วนมวลรวมที่ 50: 25: 13: 12 ให้ลักษณะการกระจายขนาดแบบ dense gradation ซึ่งมีความต่อเนื่องและอยู่ภายในเกณฑ์มาตรฐานทุกขนาดเม็ด ส่งผลให้โครงสร้างของแอสฟัลต์คอนกรีตมีความหนาแน่นดีและสามารถถ่ายแรงได้อย่างมีประสิทธิภาพ โดยเฉพาะปริมาณวัสดุผ่านตะแกรง #200 ที่ร้อยละ 8.5 ซึ่งช่วยเพิ่มแรงยึดเกาะและลดช่องว่างอากาศภายในโครงสร้างมวลรวมที่ดีเป็นปัจจัยสำคัญที่ช่วยเสริมให้ผลของการเติมพลาสติกแสดงออกได้อย่างมีประสิทธิภาพ เนื่องจากทำหน้าที่เป็นโครงสร้างหลักที่รองรับแรง

5.2 ผลการทดลองพบว่า ส่วนผสมทุกชุดมีค่าเสถียรภาพสูงกว่าค่ามาตรฐาน 1,800 ปอนด์อย่างชัดเจน และการเติมพลาสติกในอัตราร้อยละ 3 ให้ค่าความเสถียรสูงกว่าตัวอย่างควบคุมและการเติมที่ร้อยละ 1 โดยเฉพาะในกลุ่ม HDPE และ PP การเพิ่มขึ้นของค่าเสถียรภาพเกิดจากคุณสมบัติของพลาสติกที่ช่วยเพิ่มความแข็ง (Stiffness) ของวัสดุประสาน ส่งผลให้ส่วนผสมสามารถรับน้ำหนักและต้านทานการเสียรูปได้ดีขึ้น โดย HDPE และ PP ให้ผลชัดเจน เนื่องจากมีพฤติกรรมเป็นพอลิเมอร์ที่ช่วยเสริมความแข็งแรงของระบบแอสฟัลต์

5.3 ค่าการไหลของทุกส่วนผสมอยู่ในช่วงมาตรฐานที่กำหนด (8-16 หน่วย) โดยพบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติกเป็นร้อยละ 3 ค่าการไหลมีแนวโน้มลดลงในหลายกรณี โดยเฉพาะใน HDPE และ PP แนวโน้มการลดลงของค่า Flow สะท้อนถึงการเพิ่มความแข็งของส่วนผสม ทำให้ความสามารถในการ

เสียรูปภายใต้แรงกดลดลง ซึ่งสอดคล้องกับแนวโน้มของค่า Stability ที่เพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตาม ค่า Flow ยังคงอยู่ในช่วงที่เหมาะสม แสดงว่าวัสดุยังไม่เกิดความเปราะ (Brittleness)

5.4 ค่าช่องว่างอากาศของทุกส่วนผสมอยู่ในช่วงประมาณ 3.5–4.5% ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน โดยมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อเพิ่มปริมาณพลาสติก การลดลงของค่า Air Voids อาจเกิดจากการที่พลาสติกช่วยเติมเต็มช่องว่างในโครงสร้าง ทำให้ส่วนผสมมีความแน่นมากขึ้น ซึ่งส่งผลดีต่อความทนทานและลดความเสี่ยงต่อการแทรกซึมน้ำ

5.5 ถึงวัสดุผสมจะมีค่าดัชนีความแบนและความยาวค่อนข้างสูง แต่ค่าการสึกหรอ (Los Angeles abrasion) และค่าความถ่วงจำเพาะอยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสม ผลการทดลองแสดงให้เห็นว่าการเติมพลาสติกสามารถช่วยชดเชยข้อจำกัดบางประการของมวลรวม เช่น รูปร่างที่ไม่เหมาะสม โดยช่วยเพิ่มความแข็งแรงของส่วนผสมโดยรวม ทั้งนี้ ผู้วิจัยได้ตรวจสอบค่าดัชนีความแบนและความยาวที่รายงานอีกครั้ง เพื่อยืนยันความถูกต้องและความสอดคล้องของค่าที่ใช้อ้างอิงในบทความ กับผลการทดสอบจริงของมวลรวมแต่ละขนาดก่อนสรุปเป็นค่าที่ใช้เป็นตัวแทนของส่วนผสม

การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเฉพาะที่อัตราส่วนร้อยละ 3 สามารถช่วยเพิ่มสมรรถนะทางวิศวกรรมของวัสดุได้อย่างมีประสิทธิภาพ ทั้งในด้านความแข็งแรงและความทนทาน โดยยังคงรักษาคุณสมบัติด้านปริมาตรให้อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน จึงมีศักยภาพสูงในการนำไปประยุกต์ใช้ในงานถนน เพื่อส่งเสริมการใช้ทรัพยากรอย่างยั่งยืน

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ควรศึกษาผลกระทบในระยะยาวของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมขยะพลาสติก เช่น ความต้านทานต่อการแตกร้าวจากความล้า (Fatigue resistance) และความต้านทานต่อการลอกตัว (Stripping resistance) เพื่อประเมินอายุการใช้งานจริงของผิวทาง

6.2 ควรมีการทดสอบเพิ่มเติมในระดับสนาม (Field test) เพื่อยืนยันผลการทดลองในห้องปฏิบัติการ และศึกษาพฤติกรรมของวัสดุภายใต้สภาพจราจรและสภาพอากาศจริง

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงไปได้ด้วยดี คณะผู้วิจัยขอขอบพระคุณ บริษัท ทรัพย์ ส.ประทีป จำกัด ที่กรุณาอนุเคราะห์วัสดุขยะพลาสติกแปรรูปสำหรับใช้ในการทดลอง รวมทั้งให้ความอนุเคราะห์ในการถ่ายทอดความรู้ทางวิชาการ และเปิดโอกาสให้เข้าเยี่ยมชมกระบวนการผลิตภายในโรงงาน

ขอขอบพระคุณ บริษัท ทิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) ที่กรุณาอนุเคราะห์วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งเป็นวัสดุสำคัญในการดำเนินงานวิจัยครั้งนี้



ขอขอบพระคุณ คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนเรศวร ที่กรุณาอนุเคราะห์สถานที่
ห้องปฏิบัติการ รวมถึงเครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ต่าง ๆ สำหรับใช้ในการทดสอบและวิเคราะห์ผล
คณะผู้วิจัยใคร่ขอขอบพระคุณทุกหน่วยงานที่ได้ให้การสนับสนุนงานวิจัยนี้เป็นอย่างยิ่งมา ณ
โอกาสนี้

8. เอกสารอ้างอิง

- กรมทางหลวง. (2516). **วิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง (ทล.-ท. 204/2516)**. กองวิเคราะห์และวิจัย กรมทางหลวง.
- กรมทางหลวง. (2517). **การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวม หยาบ (ทล.-ท. 207/2517)**. กรมทางหลวง.
- กรมทางหลวง. (2518). **การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุมวลรวมละเอียด (ทล.-ท. 209/2518)**. กรมทางหลวง.
- กรมทางหลวง. (2531). **วิธีการทดสอบหาการสึกหรอของวัสดุมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่อง ลอสแอนเจลิส (ทล.-ท. 202/2531)**. กรมทางหลวง.
- กรมทางหลวง. (2532). **มาตรฐานการออกแบบส่วนผสมตามวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Mix Design) (ทล.-ม. 408/2532)**. กรมทางหลวง.
- ฐานทัพ เทียนทอง, สุขสันต์ หอพิบูลสุข, อภิชาติ สุดดีพงษ์, และคงศักดิ์ อัครวงศ์วัฒนา. (2568). **สมบัติมาร์แชลล์ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเย็นที่ปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกประเภทโพลีเอทิลีนเทรฟทาเลต**. การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 30, ประจวบคีรีขันธ์.
- ASTM International. (2019). **Standard test method for flat particles, elongated particles, or flat and elongated particles in coarse aggregate (ASTM D4791-19)**. West Conshohocken, PA: Author.
- Bilema, M., Mohamed, A., Atiq, I., Maftah, S., & Alsaiti, A. M. (2024). Incorporating waste plastic bottles as an additive in asphalt mixtures through a dry method. **Slovak Journal of Civil Engineering**, 32(4), 42–49. Doi: 10.2478/sjce-2024-0024
- Bualuang, T., Jitsangiam, P., Jakrawatana, N., Teeratitayangkul, P., Vongruang, P., Thienchai, C., Wongchana, P., & Prommarin, J. (2025). Utilization of plastic waste in hot mix asphalt using dry mixing processes: Laboratory assessment of airborne microplastics. **Results in Engineering**, 25, 104464. Doi: 10.1016/j.rineng.2025.104464

- Lohatepanont, M., Thienchai, C., Jitsangiam, P., Nusit, K., Pansuk, W., Wongweeranimit, W., . . . Bualuang, T. (2026). **A comparative performance study of conventional hot mix asphalt concrete and plastic waste-modified hot mix asphalt concrete**. Cham, Switzerland: Springer. Doi: 10.1007/978-3-032-08476-7_72
- Mashaan, N., Chegenizadeh, A., & Nikraz, H. (2021). Laboratory properties of waste PET plastic-modified asphalt mixes. **Recycling**, 6(3), 49. Doi: 10.3390/recycling6030049
- Pan, J., Li, J., Shan, B., Yao, Y., & Huang, C. (2025). A comprehensive review of applications and environmental risks of waste plastics in asphalt pavements. **Materials (Basel)**, 18(15), 3441. Doi: 10.3390/ma18153441
- Polaczyk, P., Huang, Q., Shu, X., & Habib, A. (2021). The utilization of waste plastics in asphalt pavements: A review. **Cleaner Materials**, 2, 100031. Doi: 10.1016/j.clema.2021.100031