



วารสารวิศวกรรมศาสตร์และนวัตกรรม Journal of Engineering and Innovation

บทความวิจัย

อิทธิพลของขยะพลาสติกต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

Influence of plastic waste on engineering properties of asphalt concrete pavement

เคนส์ อูไรโคตร¹ เสริมศักดิ์ ดิยะแสงทอง^{1*} เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงศ์¹ ณัฐญา วงละคร² วิศิษฐ์ศักดิ์ ทับยัง³

¹ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

² สาขาเทคโนโลยีสารสนเทศและการสื่อสาร คณะวิทยาศาสตร์และศิลปศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน จังหวัดนครราชสีมา 30000

³ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัย จังหวัดสงขลา 90000

Khanet Uraikhot¹ Sermsak Tiyasangthong^{1*} Cherdak Suksiripattanapong¹ Nattiya Wonglakorn^{2*} Wisitsak Tabyang³

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000

² Department of Information and Communication Technology, Faculty of Sciences and Liberal Arts, Rajamangala University of Technology Isan, Nakhon Ratchasima 30000

³ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Srivijaya, Songkhla 90000

* Corresponding author.

E-mail: sermsak.ti@gmail.com; Telephone: 089 717 9398

วันที่รับบทความ 23 กรกฎาคม 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 1 22 พฤศจิกายน 2564; วันที่แก้ไขบทความ ครั้งที่ 2 2 ธันวาคม 2564

วันที่ตอบรับบทความ 2 มีนาคม 2565

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) มาแทนที่แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ตัวแปรควบคุมของงานวิจัยนี้ได้แก่ มวลรวม วัสดุเชื่อมประสาน (แอสฟัลต์ซีเมนต์) และปริมาณขยะพลาสติก งานวิจัยนี้ทดสอบเสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength) และโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus) ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าเสถียรภาพ ความต้านทานแรงดึงทางอ้อม และโมดูลัสคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีค่าสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับทุกปริมาณขยะพลาสติก ปริมาณขยะพลาสติกมีผลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติก ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อม และโมดูลัสคืนตัวของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่ม งานวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมากในการนำขยะพลาสติกมาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งช่วยลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์

คำสำคัญ

ขยะพลาสติก ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม โมดูลัสคืนตัว

Abstract

This research investigates the probability of using high-density polyethylene (HDPE) plastic waste to replace asphalt cement for asphalt concrete pavement. Factors influencing this research were aggregate, binder (asphalt cement), and HDPE plastic waste content. This research investigated stability, flow, indirect tensile strength, and resilient modulus of samples. Test results showed that the stability, indirect tensile strength, and resilient modulus of asphalt concrete improved with HDPE plastic waste were higher than those of asphalt concrete for all HDPE plastic waste content. The

HDPE plastic waste content affected the engineering properties of asphalt concrete improved with HDPE plastic waste. The indirect tensile strength and resilient modulus of asphalt concrete improved with HDPE plastic waste increased as HDPE plastic waste content increased. This research is beneficial for using HDPE plastic waste as an additive to enhance the engineering properties of asphalt concrete pavement, reducing environmental pollution and the use of waste materials.

Keywords

plastic waste; asphalt concrete pavement; Indirect tensile strength; resilient modulus

1. คำนำ

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นผิวจราจรแบบยืดหยุ่น (Flexible pavement) ที่นิยมใช้ในประเทศไทย ผิวทางชนิดนี้เป็นส่วนที่อยู่บนสุดของผิวจราจร ซึ่งจะต้องมีความแข็งแรงเพื่อป้องกันความเสียหายของผิวจราจรจากยานพาหนะต่าง ๆ ผิวจราจรที่ดีจะต้องมีพื้นผิวเรียบ มีความผิดที่ผิวสูง มีความคงทนต่อการใช้งาน มีความซึมผ่านน้ำต่ำ และสามารถรองรับน้ำหนักของยานพาหนะได้ในทุกสภาวะอากาศ ผิวจราจรทำหน้าที่กระจายน้ำหนักจากล้อลงสู่ชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทาง ซึ่งทำให้วัสดุชั้นพื้นทาง และชั้นรองพื้นทางรับน้ำหนักน้อยลง เพื่อทำให้เกิดความปลอดภัยในการใช้ยานพาหนะสัญจร ส่วนประกอบหลักของแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยหิน วัสดุเติมเต็ม และวัสดุเชื่อมประสาน ในปัจจุบัน วัสดุเชื่อมประสานที่ใช้ในผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตคือ แอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิดเกรด 60/70 (AC 60/70) ซึ่งได้จากการกลั่นน้ำมันปิโตรเลียมคุณภาพของวัสดุเชื่อมประสานชนิดนี้จะต้องเป็นไปตามมาตรฐานที่ มอก.851/2533 และก่อนที่จะทำการก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตนั้นจำเป็นต้องอย่างยั้งที่จะต้องมีการออกแบบอัตราส่วนผสม รวมไปถึงการทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีตให้เป็นไปตามมาตรฐานที่ ทล-ม. 408/2532 อย่างไรก็ตาม ปริมาณจราจร และน้ำหนักบรรทุกที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้เกิดความเสียหายแบบร่องล้อ (Rutting) การแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue cracking) และ การแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิ (Thermal cracking) บนผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

จากปัญหาดังกล่าวจึงทำให้นักวิจัยหลายท่านได้ศึกษาการปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์โดยใช้วัสดุผสมเพิ่ม เช่น เถ้าลอย (Fly ash) [1] พอลิเมอร์ (Polymer) [2-6] และ ยางครัมป์ (Crumb rubber) [7,8] ประเทศไทยมีขยะจากพลาสติกและโฟมประมาณปีละ 2.7 ล้านตันต่อปี ซึ่งเป็นถุงพลาสติก

มากถึงร้อยละ 80 หรือ 5,300 ตันต่อวัน (ข้อมูลจากกรมควบคุมมลพิษ) วัตถุดิบที่สำคัญที่ใช้สำหรับการผลิตพลาสติกคือ ปิโตรเลียม ก๊าซธรรมชาติ ถ่านหิน และแร่ธาตุต่าง ๆ ส่วนประกอบหลักของพลาสติกเป็นสารไฮโดรคาร์บอน เทอร์โมพลาสติกส่วนใหญ่มักจะได้จากการทำปฏิกิริยาแอตติวชันพอลิเมอไรเซชัน พลาสติกในกลุ่มนี้ (พอลิเอทิลีน พอลิโพรไพลีน พอลิไวนิลคลอไรด์ พอลิสไตรีน) จะอ่อนนิ่มจนไหลได้ เมื่อได้รับความร้อนเพียงพอ และเมื่อเย็นลงจะเปลี่ยนสถานะเป็นของแข็งคงรูปเช่นเดิม การนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ต้องผ่านการคัดแยก และหลอมละลาย ซึ่งกระบวนการดังกล่าวทำให้ต้องใช้พลังงานจำนวนมาก และเป็นสาเหตุหลักก่อให้เกิดภาวะโลกร้อน (Greenhouse effect) อย่างไรก็ตามพลาสติกและแอสฟัลต์ซีเมนต์มีส่วนประกอบหลักที่เหมือนกันคือสารไฮโดรคาร์บอน ดังนั้นการนำขยะจากพลาสติกมาแทนที่หรือปรับปรุงคุณภาพของแอสฟัลต์ซีเมนต์จึงเป็นการลดปริมาณขยะได้อีกทางหนึ่ง

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ในการนำขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) มาแทนที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ และประยุกต์ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยพิจารณาตัวแปรควบคุมได้แก่ มวลรวม วัสดุเชื่อมประสาน (แอสฟัลต์ซีเมนต์) และปริมาณขยะพลาสติก เพื่อประยุกต์ใช้ในชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยการทดสอบเสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength) และโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus) งานวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมากในการนำขยะพลาสติกมาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งช่วยลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม และยังเป็นการนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์

2. วัสดุและวิธีการทดสอบ

2.1 วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

มวลรวมที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นหินปูน ซึ่งได้จากโรงโม่หิน อำเภอกุฉินารายณ์ จังหวัดขอนแก่น คุณสมบัติทางกายภาพของหินแสดงในตารางที่ 1 พบว่าคุณสมบัติของหินปูนผ่านเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง เนื่องจากค่าการสึกหรอ (Los angeles abrasion) และ ความ คง ทน ของ มวล รว ม (Soundness) ไม่เกินร้อยละ 40 และ 9 ตามลำดับ ตารางที่ 2 แสดงอัตราส่วนผสมของมวลรวม พบว่าขนาดคละของมวลรวมอยู่ในขอบเขตของชั้นทาง wearing course ที่ความหนา 40-70 มิลลิเมตร วัสดุเชื่อมประสานเป็นแอสฟัลต์ AC 60/70 ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02 ขยะพลาสติกได้จากฝาขวดน้ำดื่ม ซึ่งเป็นพอลิเมอร์ชนิดพอลิเอทิลีนแบบความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของหิน

Properties	Aggregate
Bulk specific gravity	2.661
Apparent specific gravity	2.707
Effective specific gravity	2.643
Flakiness index (%)	42
Elongation index (%)	28
Asphalt Absorption (%)	0.26
Los Angeles Abrasion (%) Aggregate ¾"	23.4
Soundness (% WT loss) Aggregate ¾"	1.1
Soundness (% WT loss) Fine Aggregate	3.2

2.2 การเตรียมตัวอย่างและวิธีการทดสอบ

งานวิจัยนี้ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532 ชั้นทาง Wearing course (12.5 มิลลิเมตร) โดยเริ่มจากการเตรียมมวลรวม ดังตารางที่ 2 จากนั้นนำมวลรวมมาผสมเข้ากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 ที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่าง ๆ แล้วนำตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตเทลงในแบบบดอัดที่ขนาดความสูง 3 นิ้ว (76.2 มิลลิเมตร) และเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (101.6 มิลลิเมตร) จากนั้นบดอัดตัวอย่างด้วยค้อน 75 ครั้ง/ด้าน จากนั้นก่อนตัวอย่างจะถูกนำไปทดสอบความหนาแน่น การสอบเสถียรภาพ

และค่าการไหล เพื่อหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum asphalt content, OAC) ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 5 หลังจากได้ OAC แล้ว ส่วนผสมดังกล่าวจะถูกนำมาบดอัดเพื่อเตรียมก้อนตัวอย่างโดยการเพิ่มปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักมวลรวม ซึ่งมีขนาดความสูง 2.5 นิ้ว (63.5 มิลลิเมตร) และเส้นผ่านศูนย์กลาง 4 นิ้ว (101.6 มิลลิเมตร) ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกจะถูกนำมาทดสอบเสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ความต้านแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D6931 [9] และ โมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus) ตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D4123-82 [10]

3. ผลการวิจัย

ตารางที่ 3 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเท่ากับร้อยละ 5 ซึ่งสอดคล้องกับมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532 ที่ระบุปริมาณแอสฟัลต์ระหว่างร้อยละ 3.0-7.0 เมื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบกับข้อกำหนดการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่าค่าเสถียรภาพและค่าอัตราส่วนเสถียรภาพต่อการไหลของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าสูงกว่ามาตรฐานร้อยละ 15.28 และ 18.13 ตามลำดับ ในขณะที่ค่า VMA และดัชนีกำลังของตัวอย่างมีค่ามากกว่าข้อกำหนดเท่ากับ 0.6 และร้อยละ 14.8 ตามลำดับ จากข้อมูลข้างต้นจึงสามารถสรุปได้ว่าตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตมีคุณสมบัติต่าง ๆ ผ่านมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532

ตารางที่ 4 แสดงค่าเสถียรภาพ และการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกที่ปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ของน้ำหนักมวลรวม พบว่าค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 2075, 2100, 2225, 2290 และ 2320 lbs สำหรับปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ตามลำดับ ค่าเสถียรภาพที่เพิ่มขึ้นนี้เนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งแรงเพิ่มขึ้น [3] ในทางตรงกันข้าม ค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีค่าลดลงกับการเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติก จนกระทั่งปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ

ละ 5 จากนั้นค่าการไหลของตัวอย่างมีค่าคงที่ ค่าการไหลที่ลดลงนี้เกิดจากความแข็งของตัวอย่างเพิ่มขึ้น [4]

รูปที่ 1 แสดงค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกที่ปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 พบว่าปริมาณขยะพลาสติกมีผลต่อกำลังรับแรงดึงทางอ้อมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติก ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น ซึ่งมีค่าเท่ากับ 751, 1052, 1142, 1317 และ 1411 kPa สำหรับปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ตามลำดับ เนื่องจากขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ [5,6] ซึ่งทำให้เกิดโครงข่ายพอลิเมอร์ในแอสฟัลต์ซีเมนต์ [1] เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ South Carolina Department of Transportation (SC DOT) ที่ระบุกำลังรับแรงดึงทางอ้อมต้องไม่น้อยกว่า 448 kPa พบว่าทุกสัดส่วนผสมผ่านเกณฑ์

มาตรฐาน ซึ่งมีค่าสูงกว่าร้อยละ 167.6, 234.8, 254.9, 293.9 และ 321.7 สำหรับปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ตามลำดับ

รูปที่ 2 แสดงค่าโมดูลัสการคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกที่ปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 0, 1, 3, 5 และ 7 ค่าโมดูลัสการคืนตัวสูงสุดพบที่ปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4654 MPa และมีค่าสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตประมาณ 1.89 เท่า เนื่องจากตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีความยืดหยุ่นสูงกว่า อย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณขยะพลาสติกเท่ากับร้อยละ 7 โมดูลัสการคืนตัวของตัวอย่างมีค่าลดลง เนื่องจากปริมาณขยะพลาสติกที่มากเกินไปส่งผลให้เกิดโครงข่ายพอลิเมอร์ในแอสฟัลต์ซีเมนต์มากขึ้น [2] ซึ่งอาจจะทำให้พฤติกรรมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกเปลี่ยนจากวัสดุ visco-elastic เป็นวัสดุเปราะ (Brittle)

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของมวลรวม

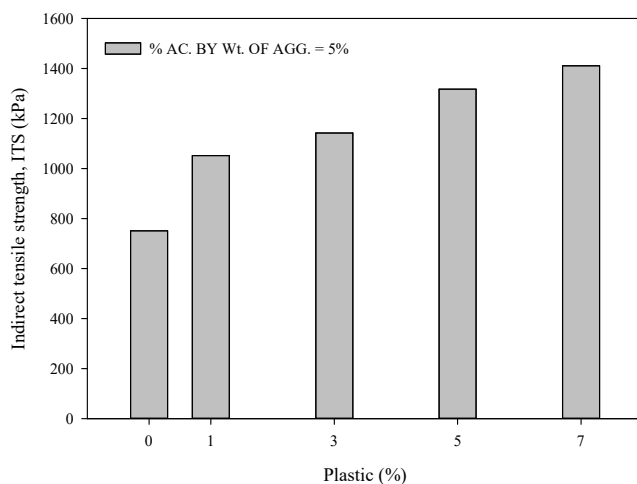
Sieve Size	% Passing						DH-S408/2532
	Filler	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Combined	
1"						-	-
3/4"					100	100	100
1/2"				100	12.5	84.3	80 - 100
3/8"			100	46.6	1.0	74.2	-
# 4		100	51.5	2.9		55.3	44 - 74
# 8		91.0	7.5	0.4		40.2	28 - 58
# 16		61.4	2.0			26.3	-
# 30		39.7	1.0			16.9	-
# 50		26.6				11.2	5 - 21
# 100		18.1				7.6	-
# 200		12.4				5.2	2 - 10
Mix Proportion	-	42	25	15	18	-	-

ตารางที่ 3 คุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต

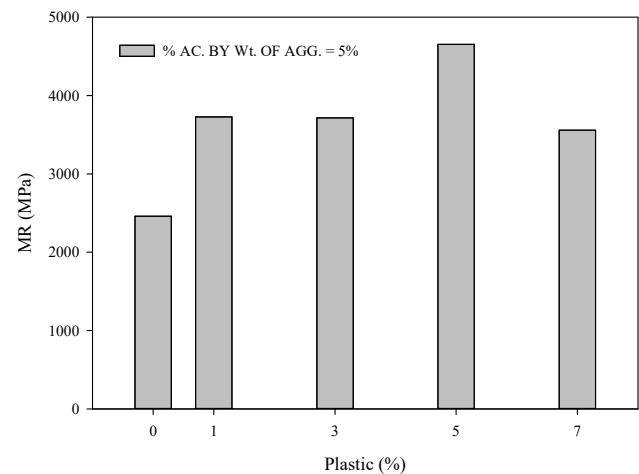
Item	Mixture	DH-S408/2532
Asphaltic content (%)	5.0	7-3
Marshall air void (%)	4.1	5-3
Marshall density (gm./ml.)	2.385	-
Void in mineral aggregate (VMA) (%)	14.6	>14
Void filled with bitumen (%)	71.9	-
Marshall stability (lbs.)	2075	1800
Marshall flow (0.01")	11	8-16
Stability/Flow ratio (lbs./0.01")	189	>160
Strength Index (%)	89.8	>75

ตารางที่ 4 ค่าเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติก

Item	Plastic waste content (%)				
	0	1	3	5	7
Marshall stability (lbs.)	2075	2100	2225	2290	2320
Marshall flow (0.01")	11	10	9	8	8
Stability/Flow ratio (lbs./0.01")	189	210	247	286	290



รูปที่ 1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณปูนซีเมนต์ของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย จีโอโพลีเมอร์ที่ปริมาณความชื้น 1.5LL



รูปที่ 2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดและปริมาณปูนซีเมนต์ของตัวอย่างดินเหนียวอ่อนปรับปรุงด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าลอย จีโอโพลีเมอร์ที่ปริมาณความชื้น 2.0LL

4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE) มาแทนที่แอสฟัลต์ซีเมนต์สำหรับงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ค่าเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้นเนื่องจากน้ำหนักโมเลกุลที่สูงขึ้นส่งผลให้ตัวอย่างมีความแข็งเพิ่มขึ้น ในทางตรงกันข้าม ค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีค่าลดลงกับการเพิ่มขึ้นของขยะพลาสติก จนกระทั่งปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 5 จากนั้นค่าการไหลของตัวอย่างมีค่าคงที่ ค่าการไหลที่ลดลงนี้เกิดจากความแข็งของตัวอย่างเพิ่มขึ้น

2. ค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมของตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามปริมาณขยะพลาสติกที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากขยะพลาสติกประเภทพอลิเอทิลีนชนิดความหนาแน่นสูง (HDPE) สามารถปรับปรุงคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งทำให้เกิดโครงข่ายพอลิเมอร์ในแอสฟัลต์ซีเมนต์

3. เมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานของ South Carolina Department of Transportation (SC DOT) ที่ระบุกำลังรับแรงดึงทางอ้อมต้องไม่น้อยกว่า 448 kPa พบว่าค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกทุกสัดส่วนผสมผ่านเกณฑ์มาตรฐาน

4. ค่าโมดูลัสการคืนตัวของตัวอย่างที่มีปริมาณขยะพลาสติกร้อยละ 5 ซึ่งมีค่าเท่ากับ 4654 MPa และมีค่าสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตประมาณ 1.89 เท่า เนื่องจากตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกมีความยืดหยุ่นสูงกว่าอย่างไรก็ตาม เมื่อเพิ่มปริมาณขยะพลาสติกเท่ากับร้อยละ 7 โมดูลัสการคืนตัวของตัวอย่างมีค่าลดลง เนื่องจากพฤติกรรมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตปรับปรุงด้วยขยะพลาสติกอาจเปลี่ยนจากวัสดุ visco-elastic เป็นวัสดุเปราะ (Brittle)

5. งานวิจัยนี้มีประโยชน์อย่างมากในการนำขยะพลาสติกมาใช้เป็นส่วนผสมเพิ่มในการปรับปรุงคุณภาพวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งช่วยลดมลภาวะสิ่งแวดล้อม และยังเป็น การนำวัสดุเหลือทิ้งมาใช้ประโยชน์

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบคุณมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี และมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลศรีวิชัยที่ให้ความอนุเคราะห์ในการใช้สถานที่ และเครื่องมือในการทดสอบ

เอกสารอ้างอิง

- [1] Mazumder M, Ahmed R, Ali AW, Lee SJ. SEM and ESEM techniques used for analysis of asphalt binder and mixture: A state of the art review. *Construction and Building Materials*. 2018;186: 313–329.
- [2] Karmakar S, Roy TK. Influence of plastic waste on chemical and mechanical properties of modified bitumen used in the bituminous mix for flexible pavement. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2021;33(2).
- [3] Appiah JK, Berko-Boateng VN, Tagbor TA. Use of waste plastic materials for road construction in Ghana. *Case Studies in Construction Materials*. 2017;6: 1-7.
- [4] Yousefi AA, Ait-Kadi A, Roy C. Composite asphalt binders: effects of modified RPE on asphalt. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2000; 12(2): 113–123.
- [5] Al-Hadidy AI, Yi-qiu T. Effect of polyethylene on life of flexible pavements. *Construction and Building Materials*. 2009; 23(3): 1456–1464.
- [6] Moatasim A. Cheng PF, Al-Hadidy AI. Laboratory evaluation of HMA with high density polyethylene as a modifier. *Construction and Building Materials*. 2011;25(5): 2764–2770.
- [7] Karmakar S, Roy TK. Effect of waste plastic and waste tires ash on mechanical behavior of bitumen. *Journal of Materials in Civil Engineering*. 2016;28(6).
- [8] Karakurt C. Microstructure properties of waste tire rubber composites: an overview. *Journal of Material Cycles and Waste Management*. 2014;17(3).

- [9] ASTM Standard Book. *ASTM D6931 Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures*. 2007.
- [10] ASTM Standard Book. *ASTM D4123-82 Standard Test Method for Indirect Tensile Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures*. 2007.