



การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

วิกานต์ เรือนสุข และ นีรชร นกแก้ว*

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

* ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทรศัพท์ 08 9054 9529 อีเมล: nirachorn.n@en.rmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.12.002

รับเมื่อ 17 กุมภาพันธ์ 2565 แก้ไขเมื่อ 20 เมษายน 2565 ตอรับเมื่อ 5 พฤษภาคม 2565 เผยแพร่ออนไลน์ 14 ธันวาคม 2565

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้มวลรวมหินปูนจำนวน 1 แหล่ง ขยะพลาสติกทั้งสองชนิด (Plastic Waste; PW) ผสมกัน คือ พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิโพรพิลีน (PP) ร้อยละเท่ากับ 70 : 30 ส่วนผสมมี 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรก เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete; AC) อัตราส่วนผสมมวลรวมของยู้งหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 48 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของมวลรวม และกลุ่มที่สองเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก (Plastic Waste Asphalt Concrete; PWAC) อัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยู้งหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion PW : 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของมวลรวม และใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 เท่ากับ ร้อยละ 5.0 โดยมวลของมวลรวม ทั้งในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง การเตรียมก่อนตัวอย่างเป็นกระบวนการผสมแบบแห้ง โดยใช้วิธีมาร์แชลล์และเกณฑ์ชั้น Wearing Course ขนาด 12.5 มิลลิเมตร ทดสอบสมบัติด้านความหนาแน่น เสถียรภาพ ค่าการไหล ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และดัชนีความแข็งแรงพบว่า ปริมาณขยะพลาสติกที่เหมาะสม ร้อยละเท่ากับ 70:30 อัตราส่วนผสมมวลรวมของยู้งหินร้อนและอัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยู้งหินร้อน ทั้งในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลองมีสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

คำสำคัญ: แอสฟัลต์คอนกรีต ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน ขยะพลาสติกพอลิโพรพิลีน

การอ้างอิงบทความ: วิกานต์ เรือนสุข และ นีรชร นกแก้ว, “การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต,” *วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ*, ปีที่ 34, ฉบับที่ 1, หน้า 1-13, เลขที่บทความ 241-055808, ม.ค.-มี.ค. 2567.



The Use of Polyethylene and Polypropylene Plastic Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate in Asphalt Concrete Pavement Design

Wikarn Ruensook and Nirachorn Nokkaew*

Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi, Pathum Thani, Thailand

* Corresponding Author, Tel. 08 9054 9529, E-mail: nirachorn.n@en.rmutt.ac.th DOI: 10.14416/j.kmutnb.2022.12.002

Received 17 February 2021; Revised 20 April 2022; Accepted 5 May 2022; Published online: 14 December 2022

© 2022 King Mongkut's University of Technology North Bangkok. All Rights Reserved.

Abstract

This research studied the use of polyethylene and polypropylene plastic waste as a partial replacement of fine aggregate in asphalt concrete pavement design, in which one limestone aggregate source was used. The two types of Plastic Waste (PW) mixed with Polyethylene (PE) and Polypropylene (PP) percentage equal to 70 : 30. There are 2 groups of mixtures : the first group was Asphalt Concrete mix (AC), the mix proportion of hot bin 1 : 2 : 3 : 4 was 48 : 14 : 20 : 18 by mass of aggregate and the second group was a mixture of Plastic Waste Asphalt Concrete mix (PWAC) , the mixing proportion of hot bin PW : 1 : 2 : 3 : 4 was 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 by mass of aggregate and using the amount of asphalt cement grade AC 60–70 equal to 5 . 0 percent by mass of aggregate both in the laboratory and field. The specimens were prepared using dry process and Marshall method and the 12. 5 mm wearing course criteria by testing their properties for density, stability, flow, air voids, voids in mineral aggregate, voids filled with bitumen and strength index. The test results showed that the mechanical properties of Asphalt Concrete mix (AC) and Plastic Waste Asphalt Concrete mix comply with the standards of Thailand Department of Highways.

Keywords: Asphalt Concrete, Polyethylene Plastic Waste, Polypropylene Plastic Waste

Please cite this article as: W. Ruensook and N. Nokkaew, "The use of polyethylene and polypropylene plastic waste as partial replacement of fine aggregate in asphalt concrete pavement design," vol. 34, no. 1, pp. 1–13, ID. 241-055808, Jan.–Mar. 2024 (in Thai).

1. บทนำ

ขยะพลาสติก จัดว่าเป็นขยะของเสียบรรจุภัณฑ์หรือวัสดุเหลือใช้ซึ่งสามารถนำกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่ได้ โดยการนำมาแปรรูปเป็นวัตถุดิบในขบวนการผลิตหรือใช้สำหรับผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ [1] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย รายงานว่า ช่วง “โควิด-19” ระบาดเมื่อต้น พ.ศ. 2563 ทำให้ปริมาณ “ขยะพลาสติก” พุ่งสูงขึ้นร้อยละ 15 จากเฉลี่ยวันละ 5,500 ตันต่อวัน เป็น 6,300 ตันต่อวัน ซึ่งไม่รวมถึงขยะอันตรายที่เกิดจาก “หน้ากากอนามัย” ที่ใช้แล้ว ที่คาดว่าจะมีอัตราการทิ้งหน้ากากอนามัยประมาณ 1.5-2 ล้านชิ้นต่อวัน ซึ่งส่วนใหญ่ทิ้งปะปนรวมกับขยะมูลฝอยทั่วไป ขณะที่สถานการณ์ พ.ศ. 2564 เกิด “โควิด-19” ระบาดรอบใหม่ แม้ภาครัฐไม่ได้สั่งล็อกดาวน์แต่หน่วยงานต่างๆ ให้ทำงานที่บ้านทำให้การเติบโตของฟู้ดเดลิเวอรี่ที่เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 200 ส่งผลให้ “ขยะพลาสติก” กลับมาเพราะการสั่ง 1 ออเดอร์ สร้างขยะอย่างน้อย 7 ชิ้น จากการประเมินล่าสุดไทยมี “ขยะพลาสติก” จากฟู้ด เดลิเวอรี่ เพิ่มขึ้น 550 ล้านชิ้นต่อปี [2]

ประเทศไทยเป็นอันดับ 6 ของโลก ที่มีการทิ้งขยะพลาสติกสูงที่สุด 1.03 ล้านตัน และพบปัญหาขยะลอยในแม่น้ำ ลำคลอง โดยเฉพาะปัญหาขยะพลาสติก ลอยสู่ท้องทะเลส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม [3] ขยะของเสียบรรจุภัณฑ์ชนิดพอลิเอทิลีน (Polyethylene) และพอลิโพรพิลีน (Polypropylene) ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นเวลานาน แต่ยังสามารถนำไปใช้ประโยชน์เป็นวัตถุดิบทดแทน (Alternative Raw Material) โดยประเภทอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการรีไซเคิล เป็นโรงงานประกอบกิจการเกี่ยวกับการผลิตยางรถยนต์ยางสังเคราะห์ ยางอีลาสโตเมอร์ พลาสติก หรือเส้นใยสังเคราะห์ซึ่งมีใยแก้ว การทำพลาสติกเป็นเม็ด แท่ง ท่อ หลอด แผ่น ชิ้น ผง หรือรูปทรงต่างๆ การอัดพลาสติกหลายๆ ชั้น เป็นแผ่น และการล้าง บด หรือย่อยพลาสติก [1]

วิกฤติขยะพลาสติกยังเป็นปัญหารุนแรงต้องเร่งแก้ไขอย่างจริงจัง นำมาสู่การเดินทางหน้าทำแผนการจัดการขยะให้ถูกต้องและมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งได้มีนโยบายเร่งด่วนของรัฐบาลให้กระทรวงคมนาคมพิจารณา กำหนดแนวทาง

การนำขยะพลาสติกมาใช้ในการสร้างถนน โดยให้นำรูปแบบโครงการต้นแบบถนนพลาสติกรีไซเคิลตามหลักการ “เศรษฐกิจหมุนเวียน” หรือ “Circular Economy” ของภาคเอกชน มาต่อยอดและปรับใช้กับการดำเนินโครงการต่างๆ ของกระทรวงคมนาคมให้เหมาะสมต่อไป [4] Sultana และคณะ [5] ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกเป็นวัสดุทดแทนพลาสติก เช่น โพรพิลีน (PP) พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (LDPE) และพอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (HDPE) และแอสฟัลต์เกรด 80/100 โดยวิธีมาร์แชลล์พบว่า แอสฟัลต์คอนกรีตผสม LDPE มีค่าเสถียรภาพ มากกว่า PP Moghaddam และคณะ [6] พบว่า ปริมาณขวดพลาสติกบดย่อยมีผลต่อเสถียรภาพ ค่าการไหล ความถ่วงจำเพาะและความแข็ง ส่วนผสมที่มีขวดพลาสติกบดย่อยมีความทนทานต่อความล้าสูงกว่าส่วนผสมธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ Jan และคณะ [7] พบว่า การผสมด้วยพอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (PET) ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้สมบัติของค่าเพนิเทรชันลดลง จุดอ่อนตัว จุดวาบไฟและจุดติดไฟสูงขึ้น มีผลกระทบต่อค่าเสถียรภาพและความแข็งแรงเป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัดต้นทุน Sojobi และคณะ [8] รีไซเคิลขวดพลาสติก PET ในการก่อสร้างถนนลาดยาง ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 กระบวนการผสมแบบแห้งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นโมดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต ผลการทดสอบมีค่าช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวมและค่าเสถียรภาพเพิ่มขึ้น วุฒินันท์ และคณะ [9] การใช้ขยะถุงพลาสติกขนาดประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ผสมลงในแอสฟัลต์คอนกรีตพบว่า ปริมาณขยะถุงพลาสติกที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ทำให้เสถียรภาพ ดัชนีความแข็งแรง ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตเวซสุวรรณค์ และคณะ [10] พบว่า ขยะถุงพลาสติกสามารถเพิ่มเสถียรภาพของถนนแอสฟัลติกคอนกรีตได้สูงกว่าถนนแอสฟัลติกคอนกรีตธรรมดา Ahmad และคณะ [11] พบว่า การใช้ขยะพลาสติก PET ในส่วนผสมโมดิฟายด์แอสฟัลต์ของการก่อสร้างผิวทาง สามารถปรับปรุงสมบัติด้านเสถียรภาพ ความแข็ง และความหนืดที่เพิ่มขึ้น มีผลต่อการหลุดลอก การแตกร้าวจากความร้อน ความไวต่ออุณหภูมิ ความเสียหาย

จากการลำและความต้านทานร่องล้อที่ดีขึ้น Ali และคณะ [12] การนำขยะพลาสติกขนาด 2.76–4 มิลลิเมตร มีเสถียรภาพและความสามารถในการกั้นน้ำเพิ่มขึ้น Awad และคณะ [13] พบว่า อัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้ขยะพลาสติกเท่ากับร้อยละ 4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตกับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก รายงานว่า การใช้ขยะพลาสติกมีผลในเชิงบวกอย่างมากต่อสมบัติของส่วนผสมร้อน ประสิทธิภาพ และคณะ [14] พบว่า เมื่อใช้ปริมาณขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนเท่ากับร้อยละ 5 โดยมวลของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ร้อยละ 4.75 โดยมวลของมวลรวม สมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์อยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้

งานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกขนาด 3–5 มิลลิเมตร โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ศึกษาค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล ดัชนีความแข็งแรง และค่าแรงดึงทางอ้อมมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต [9] งานวิจัยนี้จึงศึกษาการใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยกระบวนการผสมแบบแห้ง [15] เพื่อเป็นแนวทางในการนำขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนไปใช้ในงานถนนแอสฟัลต์ได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการก่อสร้างชั้นผิวทางให้มีคุณภาพที่ดีได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

2. วัสดุ อุปกรณ์และวิธีการวิจัย

2.1 วัสดุที่ใช้

2.1.1 มวลรวมหินปูน จากโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ของโครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า-ท่าคล้อ

2.1.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ใช้เกรด 60–70 เป็นไปตามคุณลักษณะที่ต้องการของแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภทเพนิเทรชัน [16]

2.1.3 ขยะพลาสติกทั้งสองชนิด (Plastic Waste; PW)



รูปที่ 1 ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนที่ผ่านการตัดย่อย

ผสมกันใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต คือ พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิโพรพิลีน (PP) สัดส่วนเท่ากับร้อยละ 70:30 ขยะพลาสติกที่นำมาใช้ผ่านกระบวนการดังนี้ [17]

รับขยะสู่สายพานลำเลียง แยกขยะอินทรีย์ กำจัดด้วยระบบไอโซน แยกโลหะออก ทำความสะอาดด้วยน้ำยา เข้าเครื่องสับเศษพลาสติก เครื่องชกพลาสติก เครื่องล้างพลาสติก เครื่องสับตัดหมาดพลาสติก เครื่องเป่าลมแห้งพลาสติก และขั้นตอนการสับบดตามขนาดที่ต้องการ

ผลของการตัดย่อยขนาดคละเมื่อร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4, 8, 16, 30, 50, 100 และ 200 เท่ากับ ร้อยละ 100, 39.9, 8.4, 1.9, 0.4, 0, 0 และ 0 ดังรูปที่ 1

2.2 การเตรียมตัวอย่าง

2.2.1 เก็บตัวอย่างมวลรวมหินปูนจากถังหินร้อน (Hot Bin) ที่ได้จากการทำงานของโรงงานผสมทั้ง 4 ถัง (4 Bins) หาสมบัติของมวลรวมจากถังหินร้อน ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ค่าความดูดซึมน้ำ ค่าดัชนีความแบน ค่าดัชนีความยาว ค่าการดูดซึมแอสฟัลต์ ค่าการสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ค่าความคงทนโดยใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ค่ามวลผสมเทียบเป็นทราย ตามมาตรฐาน

ของกรมทางหลวง [18] โดยตารางที่ 1 แสดงสมบัติของมวลรวมจากยุงหินร่อน

ตารางที่ 1 สมบัติของมวลรวมจากยุงหินร่อน

Description	Total
Bulk Specific Gravity	2.651
Apparent Specific Gravity	2.699
Effective Specific Gravity	2.699
Water Absorption (%)	-
Flakiness Index (%)	21
Elongation Index (%)	16
Asphalt Absorption (%)	0.26
Los Angeles Abrasion (%)	19.4
Soundness (% Wt. Loss), - Aggregate 3/4"	0.7
- Fine Aggregate	1.8
Sand Equivalent (%), - Fine Aggregate	67
- Hot Bin 1	76

2.2.2 หาขนาดคละของมวลรวม ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ท.204/2516 [18] (ตารางที่ 2) และให้มวลรวมผสมมีขนาดคละของมวลรวมอยู่ในเกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาด 12.5 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 408/2532 [19] แสดงดังตารางที่ 3 และ 4

ตารางที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมหินปูน

Sieve Size	% Passing			
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4
3/4"			100	100
1/2"			92.5	5.5
3/8"	100	100	60.6	1.1
#4	96.3	42.3	14.3	0.4
#8	75.5	9.6	0.7	
#16	51.3	1.9		
#30	33.0	0.8		
#50	20.1			
#100	13.3			
#200	10.4			

ตารางที่ 3 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้

Nominal Size (mm)	12.5
(in.)	(1/2)
Class	Wearing Course
Thickness (mm)	40-70
Sieve Size	%Passing by Mass
3/4"	100
1/2"	80-100
3/8"	-
#4	44-74
#8	28-58
#16	-
#30	-
#50	5-21
#100	-
#200	2-10
ปริมาณแอสฟัลต์ร้อยละโดยมวลของมวลรวม	3.0-7.0

ตารางที่ 4 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต

Class	
Description	Wearing Course
Blows	75
Stability Min. N	8006
lb	(1800)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)	8-16
Percent Air Voids	3-5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.	14
Stability/Flow Min.	
N/0.25 mm	712
(lb/0.01 in.)	(160)
Percent Strength Index (Min.)	75

2.2.3 ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517 [18] แบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นส่วนผสมระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า แอสฟัลต์คอนกรีต

(Asphalt Concrete; AC) อัตราส่วนผสมมวลรวมของยัง หินร้อน (Hot Bin Mix Proportion 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 48 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของมวลรวม และกลุ่มที่สอง เป็น ส่วนผสมระหว่างมวลรวม ขยะพลาสติก (PW) และแอสฟัลต์ ซีเมนต์ เรียกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก (Plastic Waste Asphalt Concrete; PWAC) แอสฟัลต์คอนกรีตผสม ขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน โดยแทนที่ PW ใน Bin 1 เพราะมีขนาดใกล้เคียงกับมวลรวมละเอียด และใช้ PW ร้อยละ 0.3 เพราะค่าความถ่วงจำเพาะของ PW มีค่าเท่ากับ 0.910 [1] เมื่อนำมาผสมกับมวลรวมที่มี ค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมาก ถ้าใช้ PW ปริมาณมาก จะมีผลต่อขนาดคละของมวลผสมทั้งหมดไม่อยู่ในเกณฑ์ ดัง ตารางที่ 3 และจะทำให้การผสมกันระหว่างมวลรวมและ แอสฟัลต์ซีเมนต์เคลือบไม่ทั่วถึง มีผลต่อสมบัติของแอสฟัลต์ คอนกรีต อัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของ ยังหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion PW : 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของมวลรวม และใช้ ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5.0 โดยมวลของมวล รวม ทั้งในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 2 และในแปลงทดลอง ดัง รูปที่ 3 ส่วนผสมดังกล่าวนี้เป็นสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน (Job Mix Formula; JMF) ที่ได้ออกแบบไว้

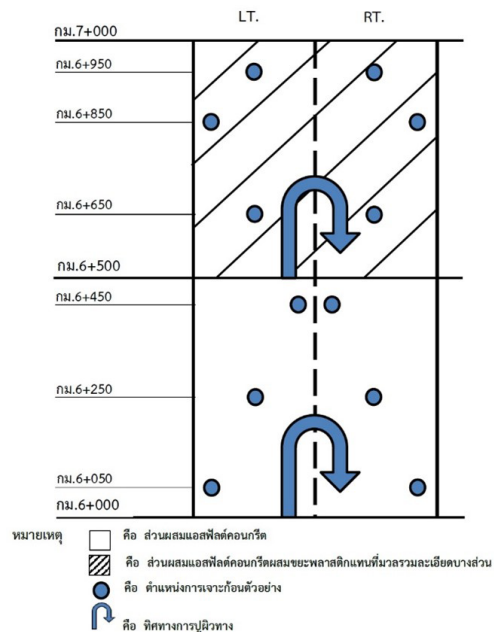
การเตรียมตัวอย่างเป็นกระบวนการผสมแบบแห้ง [9], [15] เป็นการนำ PW มาผสมกับอัตราส่วนผสมของหินร้อน และใส่แอสฟัลต์ลงผสมไปภายหลัง การเตรียมก่อนกลุ่มละ 15 ก้อน บดอัดก้อนตัวอย่างทดสอบที่อุณหภูมิ 150 องศา เซลเซียส ดังรูปที่ 2 และ รูปที่ 4 ทดสอบค่าความหนาแน่น (Density) เสถียรภาพ (Stability) ค่าการไหล (Flow) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen) และดัชนีความแข็งแรง (Strength Index)

2.2.4 การทำแปลงทดลองของแอสฟัลต์คอนกรีต และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกแทนที่มวลรวม ละเอียดบางส่วน ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม.408/2532 [19] โดยทำแปลงทดลองจำนวน 1 แปลง ระหว่าง กม.6+000-



(ก) (ข) (ค) (ง)

รูปที่ 2 ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตในห้องปฏิบัติการ (ก) Hot Bin 1 2 3 4 และ PW (ข) มวลรวม PW แอสฟัลต์ซีเมนต์ (ค) คลุกเคล้ามวลรวมผสมให้เข้ากัน และ (ง) ก้อนตัวอย่างหลังผ่านการบดอัดแล้ว



รูปที่ 3 ผังตำแหน่งการเจาะก้อนตัวอย่างจากผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างเสร็จในแปลงทดลอง

กม.7+000 รวมระยะทาง 1 กิโลเมตร ดังรูปที่ 3 มีการ ตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีต 2 ชั้นตอนดังนี้

ชั้นตอนแรก เป็นการตรวจสอบก่อนการบดอัดในสนาม ให้ทำการเก็บตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากโรงงานผสม โดย แบ่งออกเป็น 2 ส่วน คือ ตัวอย่างส่วนแรก ข้อมูลที่ได้จะบันทึก เป็นค่า Lab เพื่อหาค่า Marshall Density, Air Voids (%), Voids in Mineral Aggregate (%), Voids Filled with Bitumen (%), Marshall Stability (lb), Marshall Flow



รูปที่ 4 การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

(1/100”) และ Stability/Flow (lb/0.01”) ตัวอย่างส่วนที่สอง %AC by Mass of Aggregate ที่ใช้ผสม และ Gradation ของมวลรวมที่ใช้ผสม

ขั้นตอนที่สอง เป็นการตรวจสอบหลังการบดอัดในสนาม โดยการเจาะก้อนตัวอย่างจากผิวทางที่ก่อสร้างเสร็จและเย็นตัวลงแล้ว ด้วยเครื่องเจาะที่ถูกต้อง [19] ในลักษณะของการสุ่มเจาะตัวอย่างทุกๆ ระยะ 200 เมตร ต่อช่องจราจรที่ปู เริ่มเจาะทั้งซ้ายทาง (LT.) และขวาทาง (RT.) ที่ กม.6+050 กม.6+250 กม.6+450 กม.6+650 กม.6+850 และ กม.6+950 ดังรูปที่ 3 ข้อมูลที่ได้จะบันทึกเป็นค่า Field ก่อนตัวอย่างที่เจาะแล้วจะทำการตรวจสอบหาค่า %AC by Mass of Aggregate, Gradation, Field Density, Air Voids (%), Voids in Mineral Aggregate (%), Voids Filled with Bitumen (%), Thickness (cm) และ Compaction $\geq 98\%$

3. ผลการทดลอง

3.1 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

3.1.1 ความหนาแน่นและช่องว่างอากาศ

รูปที่ 5 (ก) และ (ข) พบว่า ความสัมพันธ์ของความหนาแน่น ช่องว่างอากาศและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมระหว่าง AC และ PWAC ของ JMF เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยมีผลต่อการเคลือบผิวเม็ดมวลรวมไม่ทั่วถึง การบดอัดทำให้

ความหนาแน่นมีค่าน้อยและช่องว่างอากาศมีค่ามาก เมื่อปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเคลือบผิวเม็ดมวลรวมได้ดีขึ้น จะมีความหนาแน่นมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งการดูดซึมแอสฟัลต์ซีเมนต์ถึงจุดที่เหมาะสมจะให้ความหนาแน่นมากที่สุดและช่องว่างอากาศลดลง เมื่อเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้การยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคลดลง ความหนาแน่นจึงลดลงและช่องว่างอากาศน้อยที่สุด [9]

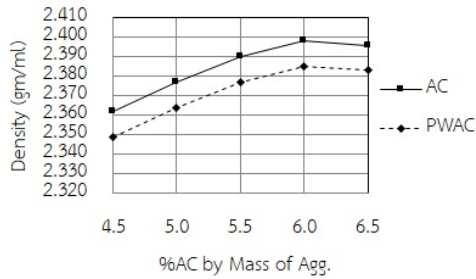
PWAC จะให้ความหนาแน่นที่น้อยกว่าและช่องว่างอากาศที่มากกว่า AC เพราะแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคของมวลรวมทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมแต่ละอนุภาคให้ยึดเหนี่ยวติดกัน การเคลือบของแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ทั่วถึง ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะลดลงส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง ช่องว่างอากาศจะเพิ่มขึ้น และอาจเป็นผลมาจาก PW ที่มีควาหนาแน่นน้อยกว่ามวลรวม เมื่อผสมแทนที่มวลรวมจึงทำให้ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้มีความหนาแน่นลดลงด้วย [1]

3.1.2 ช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์

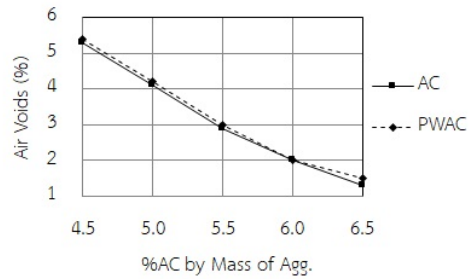
รูปที่ 5 (ค) และ (ง) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ JMF เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากช่องว่างระหว่างมวลรวมเป็นปริมาตรของช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละก้อนของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้วซึ่งเท่ากับค่าช่องว่างอากาศรวมกับช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ซึ่งเป็นส่วนที่แอสฟัลต์ประสิทธิผลบรรจุอยู่ จึงไม่รวมปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม เมื่อแอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างอากาศลดลง ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาตรช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน [16]

3.1.3 เสถียรภาพและค่าการไหล

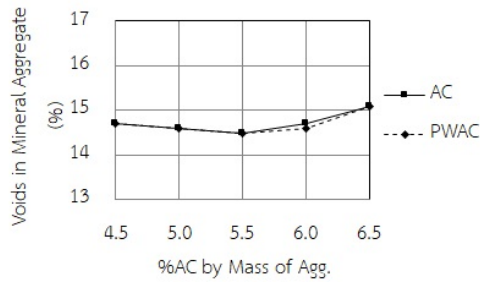
รูปที่ 5 (จ) และ (ฉ) พบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพ ค่าการไหล และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ JMF เป็นไปใน



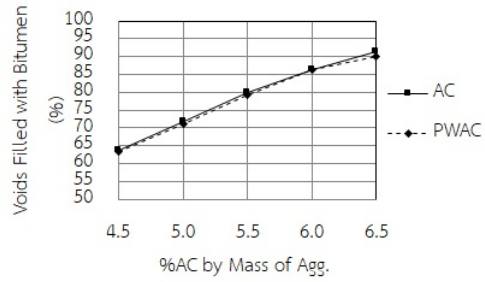
(ก) ความหนาแน่น



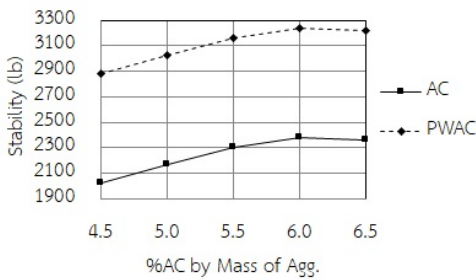
(ข) ช่องว่างอากาศ



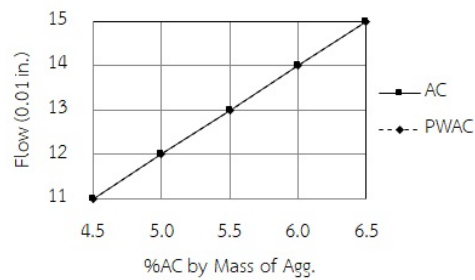
(ค) ช่องว่างระหว่างมวลรวม



(ง) ช่องว่างที่ถูกรับด้วยแอสฟัลต์



(จ) เสถียรภาพ



(ฉ) ค่าการไหล

รูปที่ 5 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ระหว่าง AC และ PWAC ของ JMF

ทิศทางเดียวกัน การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดมวลรวมลดลง ทำให้เสถียรภาพลดลงและค่าการไหลเพิ่มขึ้นด้วย [9]

การควบคุมอุณหภูมิก่อนการผสมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต มวลรวมต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 163±8 องศาเซลเซียส แอสฟัลต์ซีเมนต์ในถังเก็บแอสฟัลต์ต้องมีอุณหภูมิไม่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และเมื่อผสมกับมวลรวมที่โรงงานผสมจะต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ

159±8 องศาเซลเซียส จากนั้นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อผสมเสร็จ ก่อนนำออกจากโรงงานผสมจะต้องมีอุณหภูมิระหว่าง 121–168 ผลการทดลอง อุณหภูมิในขณะบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีตอยู่ในช่วง 120–150 องศาเซลเซียส [19] อุณหภูมิมีผลต่อสมบัติทางกายภาพของขยะพลาสติก PE และ PP คือ เมื่ออุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition Temperature) ของ HDPE และ LLPE เท่ากับ (-110) -110 องศาเซลเซียส และ PP เท่ากับ -10 องศาเซลเซียส ในขณะที่อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature) ของ HDPE เท่ากับ 108–134 องศาเซลเซียส LLPE เท่ากับ

วิภาณต์ เรือนสุข และ นิรชร นกแก้ว, “การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต .”

125-136 องศาเซลเซียส และ PP เท่ากับ 160-165 องศาเซลเซียส [1] แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้วของ PE และอุณหภูมิหลอมเหลวของ PE และ PP อยู่ในช่วงของอุณหภูมิการผสมและการบดอัดแอสฟัลต์ คอนกรีต ซึ่งอุณหภูมิในช่วงดังกล่าวจึงมีผลต่อสมบัติทาง วิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต

เหตุผลของเสถียรภาพ PWAC มีค่ามากกว่า AC เนื่องจากอุณหภูมิของกระบวนการผลิตส่วนผสมแอสฟัลต์ คอนกรีตทำให้ PE และ PP มีการหลอมเหลว ซึ่งวัสดุ PE มีสมบัติการหลอมเหลวและเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วในช่วง อุณหภูมิการผสม ในขณะที่ PP มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่สูง แต่ยังคงอยู่ในช่วงอุณหภูมิการผสมและไม่ได้เปลี่ยนสถานะ คล้ายแก้ว เนื่องจากอุณหภูมิกัดในสนามมีค่าสูงกว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PP ด้วยสัดส่วนของ PE : PP เท่ากับ 70 : 30 ทำให้ PE เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ที่เคลือบเม็ดมวลรวมเป็นผลให้เกิดความเสียดทานและ แรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมวลรวมเพิ่มขึ้น ผลรวมของความ เสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมวลรวมจะช่วยป้องกัน ไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักรถกระทำ [16] ทำให้เสถียรภาพเพิ่มขึ้นเมื่อ PW เปลี่ยน สถานะคล้ายแก้ว เคลือบผิวมวลรวม เพิ่มแรงเสียดทานและ แรงยึดเกาะ ถึงแม้ว่า PWAC จะมีเสถียรภาพที่มากกว่า AC แต่ยังมีความหยุ่นตัวได้ดี เนื่องจาก PWAC มีช่องว่างอากาศ มากกว่า AC จึงทำให้ค่าการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ AC

3.2 เปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์ คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิ เอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง

สูตรส่วนผสมเฉพาะงาน (JMF) ของการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ในห้องปฏิบัติการทั้ง 2 กลุ่ม คือ AC อัตราส่วนผสมมวลรวมของยู้งหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 48 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของมวลรวม และ PWAC อัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยู้งหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion

PW : 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของ มวลรวม ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5.0 โดย มวลของมวลรวม และในแปลงทดลองใช้อัตราส่วนผสมของ ยู้งหินร้อนและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปริมาณเดียวกัน ความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของส่วนผสม AC และ PWAC รูปที่ 6 (ก) และ (ข) พบว่า ค่าความหนาแน่นทั้ง LT. และ RT. มีค่าลดลงไปในทิศทางเดียวกัน [9] ส่วนผสมที่ได้จาก โรงงานผสมทำให้ความหนาแน่นก่อนและหลังบดอัดในสนาม ลดลง อาจจะมีหลายปัจจัย เช่น อัตราการผลิตที่มากกว่า การควบคุมอุณหภูมิของวัสดุก่อนการผสมและอุณหภูมิของ ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต การขนส่ง การปู และการบดอัด รูปที่ 6 (ค) และ (ง) พบว่า ช่องว่างอากาศทั้ง LT. และ RT. ของ ส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสมแสดงถึง ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของ ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ช่องว่างอากาศจะมีค่าลดลง

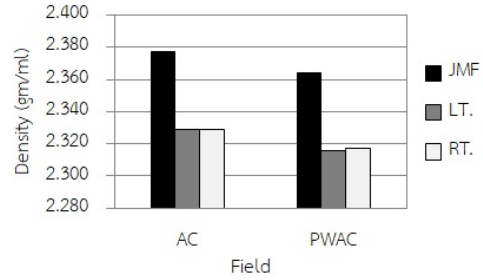
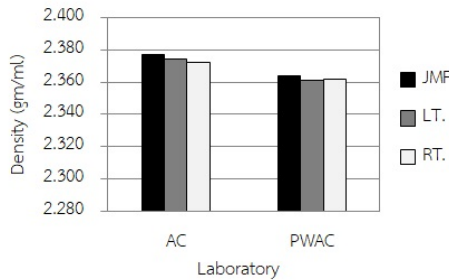
ช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วย แอสฟัลต์ของส่วนผสม AC และ PWAC รูปที่ 6 (จ) และ (ฉ) พบว่า ช่องว่างระหว่างมวลรวมทั้ง LT. และ RT. มีค่าเพิ่ม ขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน รูปที่ 6 (ซ) และ (ฅ) พบว่า ช่องว่าง ที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ทั้ง LT. และ RT. มีค่าลดลงไปใน ทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวมและ ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของส่วนผสมแอสฟัลต์ คอนกรีต เมื่อช่องว่างระหว่างมวลรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ช่องว่าง ที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่าลดลง

เสถียรภาพและค่าการไหลของส่วนผสม AC และ PWAC รูปที่ 6 (ณ) และ (น) พบว่า เสถียรภาพและค่าการ ไหลทั้ง LT. และ RT. มีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน [9] เมื่อ เปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม แสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพและค่าการไหลของส่วนผสม แอสฟัลต์คอนกรีต เสถียรภาพของ PWAC มีค่ามากกว่า AC และ PWAC ยังคงสภาพความหยุ่นตัวเทียบเท่ากับ AC สังเกต ค่าการไหลมีค่าเท่ากัน



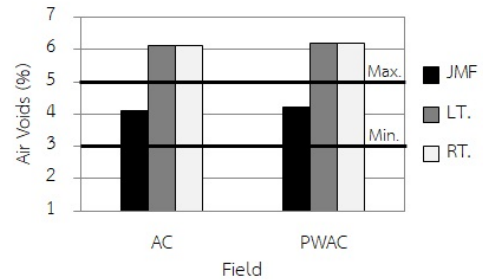
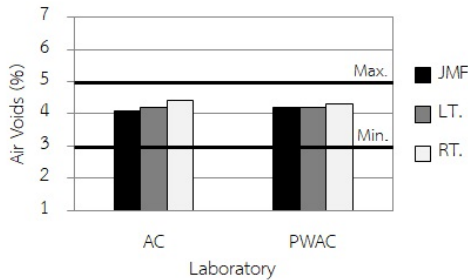
สมบัติของการบดอัดของส่วนผสม AC และ PWAC รูปที่ 6 (ก) พบว่า สำหรับชั้นผิวทางทั้ง LT. และ RT. มีความแน่นของชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตในสนามมีค่าไม่น้อยกว่า

ร้อยละ 98 ของความแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างจากห้องทดลองที่ใช้เปรียบเทียบประจำวัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม



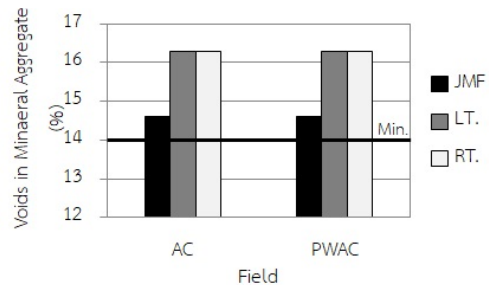
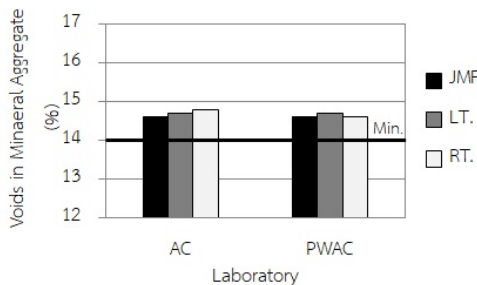
(ก) ความหนาแน่น ก่อนการบดอัดในสนาม

(ข) ความหนาแน่น หลังการบดอัดในสนาม



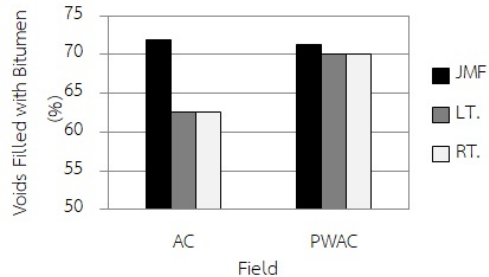
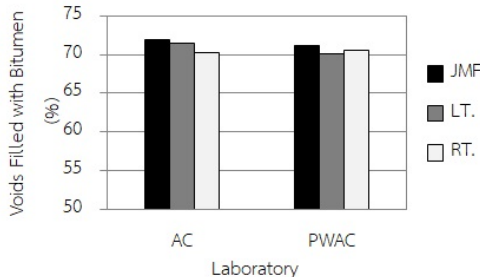
(ค) ช่องว่างอากาศ ก่อนการบดอัดในสนาม

(ง) ช่องว่างอากาศ หลังการบดอัดในสนาม



(จ) ช่องว่างระหว่างมวลรวม ก่อนการบดอัดในสนาม

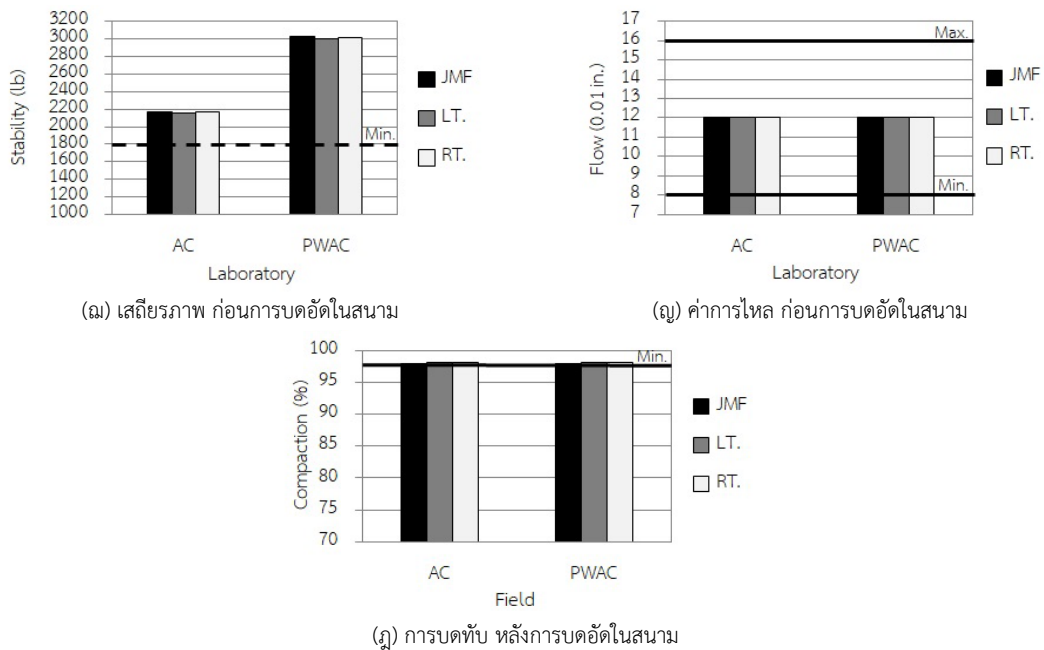
(ฉ) ช่องว่างระหว่างมวลรวม หลังการบดอัดในสนาม



(ช) ช่องว่างที่ถูกลบที่ด้วยแอสฟัลต์ ก่อนการบดอัดในสนาม

(ซ) ช่องว่างที่ถูกลบที่ด้วยแอสฟัลต์ หลังการบดอัดในสนาม

รูปที่ 6 เปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง



รูปที่ 6 เปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง (ต่อ)

4. สรุป

จากการศึกษาการใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนสัดส่วนร้อยละเท่ากับ 70 : 30 แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนเท่ากับร้อยละ 0.3 โดยมวลของมวลรวมในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่ออัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยุงหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion PW : 1 : 2 : 3 : 4) เท่ากับ 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 โดยมวลของมวลรวม และใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5.0 โดยมวลของมวลรวม สามารถสรุปได้ดังนี้

PWAC จะให้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าและช่องว่างอากาศที่มากกว่า AC

PWAC จะให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมากกว่าและช่องว่างที่ถูกแทนที่แอสฟัลต์น้อยกว่า AC

PWAC จะให้ค่าเสถียรภาพมากกว่า AC และค่าการไหลที่เท่ากัน

AC และ PWAC มีค่าความหนาแน่นของชั้นทาง

แอสฟัลต์คอนกรีตในสนามมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างจากห้องทดลองที่ใช้เปรียบเทียบประจำวัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

ค่าความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดทับในสนาม) ทั้ง LT. และ RT. และค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และร้อยละการบดอัด ทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม

สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลองของโครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า-ท่าคล้อ อยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง เป็นอีกแนวทางหนึ่งในการนำขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนไปใช้งานก่อสร้างผิวทาง



5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ แขนงทางหลวงสระบุรี สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี) และส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ที่ให้ความอนุเคราะห์เครื่องมือ วัสดุ และสถานที่ในการทดสอบแก่นักศึกษาระดับปริญญาโท สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

เอกสารอ้างอิง

- [1] *Renewable Resources Accounting Handbook*, Department of Primary Industries and Mines, Household Group, n.p., 2013.
- [2] Bangkokbiznews. (2021, May). *So sad Covid poisoning causes plastic waste to overflow the city*. [Online] (in Thai). Available: <https://www.bangkokbiznews.com/social/939188>
- [3] Bangkokbiznews. (2018, December). *Plastic waste, global problems*. [Online] (in Thai). Available: <https://www.bangkokbiznews.com/news/detail/820466>
- [4] The Secretariat of the Council of Ministers, "The propulsion mechanism of abstinence using plastic bags," n.p., 2019.
- [5] A. Sultana and K. S. B. Prasad, "Utilization of waste plastic and rigid pavements," *International Journal of Engineering Research and Applications*, vol. 2, no. 4, 2012.
- [6] T. B. Moghaddam, M. R. Karim, and M. Solthani, "Utilization of waste plastic bottles in asphalt mixture," *Journal of Engineering Science and Technology*, vol. 8, no. 3, pp. 264–271, 2013.
- [7] H. Jan, M. Y. Aman, S. Khan, and F. Karim, "Performance of hot asphalt mixtures containing plastic bottles as additive," in *Proceeding ISCEE*, 2016, pp. 1–7.
- [8] A. O. Sojobi, S. E. Nwobodo, and O. J. Aladgegboye, "Recycling of polyethylene terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete," *Cogent Engineering*, vol. 3, no. 1, Article. 1133480, 2016.
- [9] W. Jongjit, O. Somchinuek, and C. Thipakornkiat, "Asphaltic concrete pavement using recycled material," in *Proceeding NCCE*, 2017, pp. 1–9 (in Thai).
- [10] W. Lakas, W. Setthapun, and K. Lucksiri, "Process of asphaltic concrete pavement construction to reduce plastic waste problems in the community," *Academic Journal Uttaradit University*, vol. 12, no. 1, pp. 41–53, 2017 (in Thai).
- [11] A. F. Ahmad, A. R. Razali, and I. S. Razelan, "Utilization of polyethylene terephthalate (PET) in asphalt pavement," in *Proceeding IOP*, 2017, pp. 1–7.
- [12] S. S. Ali, N. Ijaz, N. Aman, and E. Noor, "Feasibility study of low density waste plastic in non-load bearing asphalt pavement in district faisalabad," *Earth Sciences Pakistan*, vol. 1, no. 2, pp. 17–18, 2017.
- [13] A. Awad, and F. A. Adday, "Utilization of waste plastics to enhance the performance of modified hot mix asphalt," *International Journal of GEOMATE*, vol. 13, no. 40, pp. 132–139, 2017.
- [14] P. Chuensiri, and N. Nokkaew, "Engineering properties of asphalt concrete mixed with polyethylene plastic waste," *The Journal of KMUTNB*, vol. 32, no. 3, 2022 (in Thai).
- [15] *Guidelines for The Use of Waste Plastic in Hot Bituminous Mixes (Dry Process) in Wearing Courses*, 1st Ed., Indian Roads Congress, Delhi,



- 2014, pp. 1–13.
- [16] N. Nokkaew, *Highway Materials Testing*, Bangkok: Technology Promotion Association (Thailand-Japan), 2016.
- [17] Technologychaoban. (2021, March). *TISTR joins hands with partners to transfer knowledge on community waste management and adding value*. [Online] (in Thai). Available: http://www.technologychaoban.com/uncategorized/article_174100
- [18] Bureau of Materials, Research and Development, “Standard test methods,” Express Transportation Organization of Thailand, Bangkok, Thailand, 2000, pp. 94–184.
- [19] Bureau of Materials, Research and Development, “Standards for highway construction,” The Agricultured Co-operative Federation of Thailand, Ltd., Bangkok, Thailand, 1996, pp. 263–312.

