

การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียด
บางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

UTILIZATION OF POLYETHYLENE AND POLYPROPYLENE PLASTIC
WASTE AS PARTIAL REPLACEMENT OF FINE AGGREGATE
IN ASPHALT CONCRETE PAVEMENT DESIGN

วิกานต์ เรือนสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวม
ละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

วิกานต์ เรือนสุข

วิทยานิพนธ์นี้เป็นส่วนหนึ่งของการศึกษาตามหลักสูตร
ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา

คณะวิศวกรรมศาสตร์

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

ปีการศึกษา 2565

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

หัวข้อวิทยานิพนธ์	การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต
ชื่อ – นามสกุล	นายวิกันต์ เรือนสุข
สาขาวิชา	วิศวกรรมโยธา
อาจารย์ที่ปรึกษา	รองศาสตราจารย์นิรชร นกแก้ว, วศ.ม.
ปีการศึกษา	2565

บทคัดย่อ

กระทรวงคมนาคมมีนโยบายของการนำขยะพลาสติกมาใช้ในก่อสร้างชั้นผิวทางให้มีคุณภาพที่ดีได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวง จึงได้มีแนวความคิดนำขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยกระบวนการผสมแบบแห้งช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกในสิ่งแวดล้อมได้อีกทางหนึ่งด้วย

งานวิจัยนี้ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้มวลรวมหินปูนจำนวน 1 แห่ลง ขยะพลาสติกทั้งสองชนิด (PW) ผสมกัน คือ พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิโพรพิลีน (PP) ร้อยละเท่ากับ 70:30 ส่วนผสมมี 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรก เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (AC) อัตราส่วนผสมมวลรวมของยังหินร้อน 1:2:3:4 เท่ากับ 48:14:20:18 โดยมวลของมวลรวม และกลุ่มที่สอง เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก (PWAC) อัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยังหินร้อน PW:1:2:3:4 เท่ากับ 0.3:47.7:14:20:18 โดยมวลของมวลรวม และใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 เท่ากับ ร้อยละ 5.0 โดยมวลของมวลรวม ทั้งในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง การเตรียมก้อนตัวอย่างเป็นกระบวนการผสมแบบแห้ง โดยใช้วิธีมาร์แชลล์และเกณฑ์ชั้น Wearing Course ขนาด 12.5 มิลลิเมตร ทดสอบสมบัติด้านความหนาแน่น เสถียรภาพ ค่าการไหล ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และดัชนีความแข็งแรง

ผลการศึกษาพบว่า ปริมาณขยะพลาสติกที่เหมาะสมร้อยละเท่ากับ 70:30 อัตราส่วนผสมมวลรวมของยังหินร้อนและอัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยังหินร้อนทั้งในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลองมีสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐานของกรมทางหลวง

คำสำคัญ : แอสฟัลต์คอนกรีต ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน ขยะพลาสติกพอลิโพรพิลีน

Thesis Title Utilization of Polyethylene and Polypropylene Plastic Waste as Partial Replacement of Fine Aggregate in Asphalt Concrete Pavement Design

Name-Surname Mr. Wikarn Ruensook

Program Civil Engineering

Thesis Advisor Associate Professor Nirachorn Nokkaew, M.Eng.

Academic Year 2022

ABSTRACT

The Ministry of Transport has a policy of using plastic waste in the construction of pavement layers to ensure quality that meets the standards of the Department of Highways. Therefore, the idea was to replace polyethylene and polypropylene plastic waste from fine aggregate in asphalt concrete pavement design by using a dry mixing process which also reduces the amount of plastic waste in the environment as well.

This research investigated the utilization of polyethylene and polypropylene plastic waste to replace some fine aggregate in asphalt concrete pavement design using one source of limestone aggregate, both plastic waste (PW). Mixture of polyethylene (PE) and polypropylene (PP) percentage was 70:30. There were 2 groups of mixtures: the first group was asphalt concrete mix (AC): the mixture proportion of hot bin 1:2:3:4 was 48:14:20:18 by the mass of aggregate. The second group was a mixture of plastic waste asphalt concrete mix (PWAC): the mixture ratio of plastic waste mix aggregates PW:1:2:3:4 was 0.3:47.7:14:20:18 by the mass of aggregate and used asphalt cement grade AC 60-70 equal to 5.0% by the mass of aggregate both in the laboratory and in the field. The preparation of specimens used 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 research result revealed that the appropriate percentage of plastic waste (PW) was a 70:30 mixture ratio. The aggregate of asphalt concrete mix (AC) and plastic waste asphalt concrete mix (PWAC) both in the laboratory and in the field were in accordance with the standards of the Department of Highways, Thailand.

Keywords: asphalt concrete, polyethylene plastic waste, polypropylene plastic waste

กิตติกรรมประกาศ

วิทยานิพนธ์ฉบับนี้ สำเร็จลุล่วงอย่างสมบูรณ์ได้ด้วยความกรุณาและความอนุเคราะห์ของ รองศาสตราจารย์นิรชร นกแก้ว อาจารย์ที่ปรึกษา ที่ได้กรุณาเสียสละเวลาให้คำปรึกษา คำแนะนำ และ ให้ข้อเสนอแนะในการปรับปรุงแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ จนสำเร็จลุล่วงไปได้ด้วยดี ผู้ทำการศึกษาวิจัย ขอกราบขอบพระคุณอย่างสูงมา ณ ที่นี้

ขอขอบพระคุณ รองศาสตราจารย์ ดร.ปิติสานต์ กร้ามาตร ประธานกรรมการสอบ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร.จตุพล ตั้งปกาศิต และ รองศาสตราจารย์ ดร.ทวีชัย สำราญวานิช กรรมการสอบ ที่ได้ให้ความกรุณาในการแก้ไขข้อบกพร่องต่าง ๆ ของงานวิจัย รวมทั้งเสียสละเวลาในการเป็นกรรมการ สอบในครั้งนี้

ขอขอบพระคุณ เจ้าหน้าที่และวิศวกร แขวงทางหลวงสระบุรี สำนักงานทางหลวงที่ 11 (ลพบุรี) ส่วนตรวจสอบและออกแบบผิวทางแอสฟัลต์ และผู้อำนวยการสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง ให้ความอนุเคราะห์ทางด้านเครื่องมือ อุปกรณ์ วัสดุ และสถานที่ในการทดสอบตัวอย่าง

ขอขอบพระคุณ และมอบความดีทั้งหมดนี้ให้แก่ บิดา มารดา ภรรยาและลูก พี่และน้อง เพื่อนที่ให้การสนับสนุน และคณาจารย์ที่ได้ประสิทธิ์ประสาทวิชาความรู้

สุดท้ายนี้ ผู้วิจัยหวังเป็นอย่างยิ่งว่างานค้นคว้าฉบับนี้จะเป็นประโยชน์สำหรับผู้สนใจ หากงานวิจัยในครั้งนี้ขาดตกบกพร่องหรือไม่สมบูรณ์ประการใด ผู้วิจัยขอกราบอภัยมา ณ โอกาสนี้ด้วย

วิกานต์ เรือนสุข

สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย.....	(3)
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ.....	(4)
กิตติกรรมประกาศ.....	(5)
สารบัญ.....	(6)
สารบัญตาราง.....	(8)
สารบัญรูป.....	(10)
บทที่ 1 บทนำ.....	12
1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา.....	12
1.2 วัตถุประสงค์การวิจัย.....	13
1.3 ขอบเขตของการวิจัย.....	14
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ.....	14
บทที่ 2 ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	16
2.1 สมบัติของมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์.....	16
2.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต.....	20
2.3 มวลรวมสำหรับใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต.....	22
2.4 การบดทับชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต.....	23
2.5 พลาสติก.....	26
2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง.....	37
บทที่ 3 วิธีดำเนินการศึกษา.....	40
3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา.....	40
3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา.....	40
บทที่ 4 ผลการศึกษาและวิเคราะห์.....	52
4.1 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60-70.....	52

สารบัญ (ต่อ)

	หน้า
4.2 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70.....	56
4.3 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะ พลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในแปลง ทดลอง.....	58
4.4 เปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีต ผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง.....	60
บทที่ 5 สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ.....	72
5.1 สรุปผลการศึกษา.....	72
5.2 ข้อเสนอแนะ.....	73
บรรณานุกรม.....	74
ภาคผนวก.....	77
ภาคผนวก ก Job-Mix Formula for Hot-Mix Asphalt สำหรับชั้น Wearing Course โครงการงานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิว แอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ (แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete, AC)).....	78
ภาคผนวก ข Job-Mix Formula for Hot-Mix Asphalt สำหรับชั้น Wearing Course โครงการงานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิว แอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ แอสฟัลต์คอนกรีตผสม ขยะพลาสติก (Plastic Waste Asphalt Concrete, PWAC).....	88
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์ คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวม ละเอียดบางส่วนในแปลงทดลอง.....	97
ภาคผนวก ง หนังสือตอบรับผลงานตีพิมพ์เผยแพร่.....	102
ประวัติผู้เขียน.....	104

สารบัญตาราง

	หน้า
ตารางที่ 2.1 สมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต.....	19
ตารางที่ 2.2 ความเร็วของรถบดชนิดต่าง ๆ ในการบดอัด.....	23
ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความถี่ และจำนวนครั้งการกระแทก.....	24
ตารางที่ 2.4 ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติง.....	30
ตารางที่ 3.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้.....	42
ตารางที่ 3.2 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ทล.-ม. 408/2532.....	44
ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก.....	45
ตารางที่ 4.1 ผลการออกแบบอัตราส่วนผสมมวลรวม.....	53
ตารางที่ 4.2 ผลของสมบัติของมวลรวมจากยุงหินร้อน.....	54
ตารางที่ 4.3 ผลของสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต.....	54
ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Job Mix Formula).....	55
ตารางที่ 4.5 ผลการออกแบบอัตราส่วนผสมมวลรวม ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน.....	56
ตารางที่ 4.6 ผลของสมบัติของมวลรวมจากยุงหินร้อน ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีน.....	57
ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Job Mix Formula).....	58
ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในแปลงทดสอบ ก่อนการบดอัดในสนาม.....	59

สารบัญตาราง (ต่อ)

	หน้า
ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ในแปลงทดสอบ หลังการบดอัดในสนาม.....	60
ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ก่อนการบดอัดในสนาม และหลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+000 – 6+500 LT.	98
ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ก่อนการบดอัดในสนาม และหลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+000 – 6+500 RT.	99
ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ก่อนการบดอัด ในสนามและหลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+500 – 7+000 LT.	100
ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ก่อนการบดอัด ในสนามและหลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+500 – 7+000 RT.	101

สารบัญรูป

	หน้า
รูปที่ 2.1 การกลั่นน้ำมันดิบ.....	27
รูปที่ 2.2 การผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน.....	27
รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่.....	28
รูปที่ 2.4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น.....	29
รูปที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติก.....	29
รูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์เทอร์โมเซตติง.....	30
รูปที่ 2.7 พอลิเอทิลีนเทรพทาเลต.....	31
รูปที่ 2.8 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง.....	31
รูปที่ 2.9 พอลิไวนิลคลอไรด์.....	32
รูปที่ 2.10 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ.....	32
รูปที่ 2.11 พอลิโพรพิลีน.....	33
รูปที่ 2.12 พอลิสไตรีน.....	33
รูปที่ 2.13 พลาสติกอื่น ๆ.....	34
รูปที่ 3.1 Fuller Curve ชั้น Wearing Course.....	43
รูปที่ 3.2 ขยะพลาสติก PE และ PP ที่ผ่านการตัดย่อยและร่อนผ่านตะแกรง.....	45
รูปที่ 3.3 การเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์.....	47
รูปที่ 3.4 การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์.....	48
รูปที่ 3.5 แผนที่สังเขปของแปลงทดลองระหว่าง กม.6+000 – กม.7+000.....	48
รูปที่ 3.6 ฝั่งตำแหน่งการเจาะก้อนตัวอย่างจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างเสร็จ.....	51
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula.....	61
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างอากาศและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula.....	62
รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula.....	63
รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula.....	64

สารบัญรูป (ต่อ)

	หน้า
รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula.....	66
รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula.....	66
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดอัดในสนาม).....	67
รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดอัดในสนาม).....	69
รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบเสถียรภาพและค่าการไหลของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนการบดอัดในสนาม).....	70
รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบร้อยละการบดอัดของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (หลังการบดอัดในสนาม).....	71



บทที่ 1

บทนำ

1.1 ความเป็นมาและความสำคัญของปัญหา

ขยะพลาสติกเป็นของเสียบรรจุกัมมันต์ซึ่งนำกลับมาใช้ประโยชน์ได้ ใช้เป็นวัตถุดิบในกระบวนการแปรรูปผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ [1] สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย ระบุว่า ช่วง "โควิด-19" เมื่อปี พ.ศ. 2563 เกิดการระบาด มีผลให้ "ขยะพลาสติก" เพิ่มขึ้นร้อยละ 15 จากเฉลี่ยวันละ 5,500 ตันต่อวัน เป็น 6,300 ตันต่อวัน ซึ่งไม่รวมถึงขยะอันตรายที่เกิดจาก "หน้ากากอนามัย" จากสถานการณ์ปี พ.ศ. 2564 เกิด "โควิด-19" ระบาดรอบใหม่ ในขณะที่ภาครัฐไม่ได้สั่งล๊อคดาว์น บุคลากรของรัฐและเอกชนทำงานในที่พักอาศัยทำให้การเติบโตของฟู้ด เดลิเวอรี่ เพิ่มขึ้นมากกว่าร้อยละ 200 ทำให้ "ขยะพลาสติก" กลับมาอีก เพราะการสั่ง 1 ออเดอร์ สร้างขยะอย่างน้อย 7 ชิ้น การประเมินล่าสุดไทยมี "ขยะพลาสติก" จากฟู้ด เดลิเวอรี่ เพิ่มขึ้น 550 ล้านชิ้นต่อปี [2]

การทิ้งขยะพลาสติกลงสู่ทะเลมากที่สุด 1.03 ล้านตัน ทำให้ประเทศไทยเป็นอันดับ 6 ของโลก และพบปัญหาขยะลอยในแม่น้ำ ลำคลอง โดยเฉพาะปัญหาขยะพลาสติกลงสู่ท้องทะเลส่งผลกระทบต่อแหล่งปะการังและสัตว์ทะเล [3] ปริมาณขยะพลาสติกมีแนวโน้มสูงขึ้นทุก ๆ ปี ปัญหาดังกล่าวเกิดขึ้นจากความต้องการของผู้บริโภคที่เพิ่มขึ้นและพบเห็นมากที่สุดคือ การใช้ถุงพลาสติกซึ่งทำมาจากวัสดุพอลิเอทิลีน (Polyethylene, PE) และพอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP) มีสมบัติดีมากในการนำมาขึ้นรูปใหม่ รวมไปถึงปรับขนาดตามความต้องการได้ง่ายและยังมีความคงทนสูง จึงทำให้ถุงพลาสติกเป็นที่นิยมใช้กันอย่างแพร่หลายในการบรรจุสิ่งของ แต่อย่างไรก็ตาม ถุงพลาสติกโดยส่วนใหญ่ใช้ระยะเวลาในการย่อยสลายตามธรรมชาติเป็นเวลานาน เมื่อกลายเป็นขยะจะเป็นขยะที่หลีกเลี่ยงกระบวนการคัดแยกไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ (Recycling Processes) ทำให้ต้องกำจัดโดยการฝังกลบ (Landfills) ซึ่งสิ้นเปลืองงบประมาณ และประการสำคัญในปัจจุบันประเทศไทยเป็นประเทศที่ก่อให้เกิดขยะพลาสติกในทะเลสูงติดอันดับโลก วิกฤติขยะพลาสติกจึงเป็นปัญหารุนแรงควรเร่งแก้ไขอย่างจริงจัง ให้ถูกต้อง และมีประสิทธิภาพสูงสุด อีกทั้งได้มีนโยบายเร่งด่วนของรัฐบาลตามบันทึกสำนักงานปลัดกระทรวงคมนาคม ที่ ว 9867/2562 ลงวันที่ 26 พฤศจิกายน 2562 ต่อท้ายหนังสือสำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี ส่วนที่สุด ที่ นร 0505/37474 ลงวันที่ 15 พฤศจิกายน 2562

เรื่อง กลไกการขับเคลื่อนการงดใช้ถุงพลาสติก คณะรัฐมนตรีได้ประชุมปรึกษาเมื่อวันที่ 12 พฤศจิกายน 2562 ลงมติว่า ให้กระทรวงคมนาคมพิจารณากำหนดแนวทางการนำขยะพลาสติกมาใช้ในการสร้างถนน โดยให้นำรูปแบบโครงการต้นแบบถนนพลาสติกไร้เชื้อเพลิงตามหลักการ “เศรษฐกิจหมุนเวียน” หรือ “Circular Economy” ของภาคเอกชน มาต่อยอดและปรับใช้กับการดำเนินโครงการต่าง ๆ ของกระทรวงคมนาคมให้เหมาะสมต่อไป [4]

โดยงานวิจัยที่ผ่านมาได้ศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกขนาด 3-5 มิลลิเมตร โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ศึกษาค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล ดัชนีความแข็งแรง และค่าแรงดึงทางอ้อมมีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต [5] จึงศึกษาการใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยกระบวนการผสมแบบแห้ง [6] เพื่อเป็นแนวทางในการนำขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนไปใช้ในงานถนนแอสฟัลต์ได้อย่างเหมาะสม อีกทั้งยังมีส่วนช่วยในการก่อสร้างชั้นผิวทางให้มีคุณภาพที่ดีได้ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ช่วยลดปริมาณขยะพลาสติกได้อีกแนวทางหนึ่งด้วย

1.2 วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1.2.1 เพื่อศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70

1.2.2 เพื่อศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70

1.2.3 เพื่อศึกษาและเปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง

1.3 ขอบเขตของการวิจัย

1.3.1 ศึกษาขนาดผลของมวลรวมตาม ทล.ม.-408/2532 [7] ที่มีผลต่อสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีต ศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ตาม ทล.ท.-604/2517 [8] และใช้เกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดที่ใช้เรียก 12.5 มิลลิเมตร ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 เป็นวัสดุประสาน ซึ่งได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ช่องว่างอากาศ (Air Voids) ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate) ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bitumen) เสถียรภาพ (Stability) ค่าการไหล (Flow) และดัชนีความแข็งแรง (Strength Index)

1.3.2 วัสดุมวลรวมหินปูน (Limestone) ที่ใช้ในการศึกษาจากแหล่งโรงโม่หิน 1 แห่ง จากโครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ จากโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี วัสดุใช้ Hot Bin โดยมีหินฝุ่น หิน 3/8 นิ้ว และ หิน 3/4 นิ้ว

1.3.3 ศึกษาการนำขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ใช้เกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดที่ใช้เรียก 12.5 มิลลิเมตร ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 เป็นวัสดุประสาน โดยจะนำขยะพลาสติกทั้งสองชนิดทำความสะอาดแล้วตัดย่อยร้อนผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 8 16 30 50 100 และ 200

1.3.4 ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง

1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

1.4.1 ทราบถึงสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนเมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70

1.4.2 ทราบถึงสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนในห้องปฏิบัติการและจากแปลงทดลอง

1.4.2 เป็นองค์ความรู้ของการนำเอาขยะพลาสติกขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพร-
พิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนมาใช้ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อช่วยลดปริมาณ
ขยะพลาสติกได้อีกทางหนึ่งด้วย



บทที่ 2

ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 สมบัติของมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์ [9]

2.1.1 สมบัติของมวลรวม (Aggregate Properties)

การศึกษารายละเอียดของแบบก่อสร้างและข้อกำหนด รวมทั้งปริมาณการจราจร ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฯลฯ การเลือกที่เหมาะสมของชนิดมวลรวมและแหล่งสำหรับใช้เป็นส่วนผสมในแอสฟัลต์คอนกรีต โดยพิจารณาจากองค์ประกอบต่อไปนี้

2.1.1.1 ขนาดและการกระจายของเม็ด (Size and Gradation) ขนาดโตสุด (Maximum Size) คือ ขนาดเล็กที่สุดของตะแกรงที่วัสดุจะผ่านหมดเท่ากับร้อยละ 100 ขนาดระบุโตสุด (Nominal Maximum Size) คือ ขนาดของตะแกรงที่วัสดุจะผ่านได้เท่ากับร้อยละ 90 ค่าขนาดโตสุดของมวลรวมจะควบคุมโดยข้อกำหนดในการใช้งานแต่ละอย่าง มวลรวมบางครั้งจะบอกในเทอมของการกระจายของเม็ด เช่น เรียงขนาดแน่น (Dense-Graded) เรียงขนาดโปร่ง (Open-Graded) เรียงขนาดเดียว (One-Sized) เรียงขนาดหยาบ (Coarse Graded) เรียงขนาดละเอียด (Fined-Graded) และเรียงข้ามขนาด (Gap-Graded)

2.1.1.2 ความสะอาด (Cleanliness) มวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรต้องมีสะอาดปราศจากฝุ่นหรือวัสดุแปลกปลอมเจือปน วัสดุที่ไม่พึงประสงค์มีจำพวกวัชพืช หินชนวน เม็ดวัสดุอ่อนร่วน เศษดิน ดินที่เคลือบเม็ดมวลรวม เป็นต้น การดูความสะอาดหรือความสกปรกของมวลรวม อาจพิจารณาได้ด้วยตาเปล่า หรือใช้การวิเคราะห์ด้วยตะแกรงแบบล้าง (Washed-Sieve) การหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่นหรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับมวลรวมหยาบพวกกรวดหรือทราย ทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบหาค่ามวลผสมเทียบเป็นทราย มาตรฐานอ้างอิง ASTM D 2419-74 (Reapproved 1979) และ AASHTO T 176-86

2.1.1.3 ความแข็งแรงเหนียว (Toughness) มวลรวมที่ใช้ทำผิวจราจรจะถูกบดอัดหรือขัดสีจากขบวนการผลิต ขณะเหยงสถานที่ก่อสร้างและขณะบดอัด และเปิดการจราจร ดังนั้นมวลรวมที่สัมผัสกับล้อรถโดยตรงจะต้องทนทานสูงกว่าส่วนที่ไม่ได้สัมผัสกับล้อรถโดยตรง ทดสอบได้ตาม

มาตรฐานการทดสอบหาการสึกหรอของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องทดสอบเองเจลีส์ มาตรฐานอ้างอิง ASTM C 131 และ C 535

2.1.1.4 ความคงทนต่อสภาพอากาศ (Soundness) มวลรวมสำหรับทำผิวจราจร จะต้องมีความคงทนต่อสภาพอากาศหรือสารเคมี ไม่แตกตัวออกจากกัน มวลรวมที่ไม่ทนทานต่อสภาพอากาศ เช่น หินดินดาน (Shale) เป็นต้น ทดสอบได้ตามมาตรฐานการทดสอบความคงทนของมวลรวม โดยใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต มาตรฐานอ้างอิง ASTM C 88-83 และ AASHTO T 104-86

2.1.1.5 รูปร่างของมวลรวม (Particle Shape) มีส่วนที่ทำให้วัสดุผสมใช้งานได้ง่ายหรือยาก การบดอัดส่งผลต่อความแน่นที่ต้องการ ความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกจากการจราจร ความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพ ความต้านทานต่อการซึมผ่านของอากาศและน้ำ ความสามารถในการแอนตัว และความต้านทานต่อการลื่น เป็นต้น

หินย่อยหรือกรวดย่อยขณะบดอัดจะเกาะยึดกันได้ดี ส่วนทรายธรรมชาติ จะใช้เป็นวัสดุประสานเข้ากันแน่นยิ่งขึ้นเมื่อใช้ร่วมกับมวลรวมที่เป็นเหลี่ยมเป็นมุม เช่น งานผิวทาง แอสฟัลต์คอนกรีต เป็นต้น จากวัสดุผสมทั้งสองชนิดนี้มวลรวมหยาบจะมีหน้าที่รับน้ำหนักการจราจร ส่วนมวลรวมละเอียดส่งผลต่อความสามารถในการทำงานง่ายและการบดอัดได้แน่นขึ้น

2.1.1.6 เนื้อผิว (Surface Texture) ผิวหน้าของมวลรวมมีอิทธิพลต่อกำลังและความสามารถในการเทได้ โดยทั่วไปมักพิจารณาว่า เนื้อผิวมีความสำคัญกว่ารูปร่างของมวลรวม ผิวหน้าที่ขรุขระคล้ายกระดาษทรายมีผลต่อกำลังที่เพิ่มขึ้นของส่วนผสม แต่ต้องใช้แอสฟัลต์ปริมาณมากขึ้น เพื่อจะทำงานได้ง่ายขึ้น ในขณะที่เดียวกันจะมีช่องว่างในส่วนผสมมากขึ้น จึงต้องใช้แอสฟัลต์มากขึ้นในการผสม แอสฟัลต์จะเกาะยึดแน่นกับมวลรวมชนิดผิวหน้าขรุขระมากกว่ามวลรวมชนิดผิวหน้าเรียบ เช่น กรวด เป็นต้น

2.1.1.7 การดูดซึม (Absorption) การดูดซึมน้ำเมื่อแช่วัสดุไว้ในน้ำ วัสดุที่มีรูพรุน โดยปกติจะดูดซึมแอสฟัลต์ด้วย ซึ่งมีแนวโน้มที่ทำให้ส่วนผสมแห้งหรือมีแรงยึดเกาะน้อย แอสฟัลต์จำนวนมากจะถูกใช้ในส่วนผสมเพื่อชดเชยแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในมวลรวม อเนก เปียลัดดา [10] ได้สรุปว่า มวลรวมที่ดูดซึมน้ำ (Water Absorption) ประมาณร้อยละ 0.5 จะช่วยให้เกิดการยึดเกาะระหว่างเม็ดวัสดุกับแอสฟัลต์ดีขึ้น ถ้าการดูดซึมสูงเกินไป จะไม่ช่วยเพิ่มคุณภาพของส่วนผสมแต่จะ

ดูดซึมแอสฟัลต์มากเกินไป มวลรวมที่มีความพรุนต่ำเกินไปจะดูดซึมได้เฉพาะน้ำมันที่ผสมอยู่ในแอสฟัลต์ ทำให้เหลือเฉพาะเนื้อแอสฟัลต์เคลือบอยู่บนผิวของมวลรวมอาจทำให้การยึดเกาะไม่ดีพอ การยึดเกาะกับแอสฟัลต์

2.1.1.8 การเข้ากันได้กับแอสฟัลต์ของมวลรวม (Affinity for Asphalt) มวลรวมบางชนิดไม่ค่อยยึดเกาะกับแอสฟัลต์โดยแอสฟัลต์จะหลุดล่อนออกได้เมื่อถูกน้ำ มวลรวมชนิดนี้จึงไม่เหมาะในการทำผิวจราจร มวลรวมดังกล่าวเรียกว่า Hydrophilic หรือชอบน้ำ (Water Loving) เช่น ควอตไซต์ หรือแกรนิตบางชนิด ส่วนมวลรวมที่เรียกว่า Hydrophobic หรือไม่ชอบน้ำ (Water Hating) เช่น หินปูน ไโดไอไรท์ และ Trap rock (มวลรวมชนิดรูพรุนต่ำและเนื้อแน่น) เป็นต้น

2.1.2 ลักษณะธรณีวิทยาทั่วไปของหินปูน

เป็นหินชั้นหรือหินตะกอนแบบตกผลึกจากสารที่ละลายอยู่ในน้ำทะเล มีเนื้อแน่นละเอียดที่บสีต่าง ๆ กัน เช่น ขาว เทา แดง ดำ เป็นต้น ภูเขาหินปูนมักจะมียอดหยักแหลมหรือเป็นหน้าผาประกอบด้วย แร่แคลไซต์ ซึ่งมีปฏิกริยากับกรดเกลือ แหล่งที่พบมีทั่วไป เช่น ที่จังหวัดสระบุรี ราชบุรี เพชรบุรี เป็นต้น ส่วนใหญ่ใช้ในงานวิศวกรรมทางทั่วไป

2.1.3 สมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

สมบัติที่สำคัญ ๆ ของแอสฟัลต์มีอยู่ 3 ประการ คือ ความชื้นเหลว ความบริสุทธิ์ และความปลอดภัย

2.1.3.1 ความชื้นเหลว (Consistency) ใช้บ่งบอกลำดับความเหลวที่อุณหภูมิใด ๆ ของแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามอุณหภูมิ การกำหนดอุณหภูมิมาตรฐานในการเปรียบเทียบความชื้นเหลวของแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิดหนึ่งกับอีกชนิดหนึ่ง การแบ่งเกรดของแอสฟัลต์ซีเมนต์แบ่งตามช่วงของความชื้นเหลวที่อุณหภูมิมาตรฐาน

2.1.3.2 ความบริสุทธิ์ (Purity) แอสฟัลต์ที่บริสุทธิ์จะประกอบด้วยบิทูเมน (Bitumen) และละลายได้ในคาร์บอนไดออกไซด์มากกว่าร้อยละ 99.5 สิ่งเจือปนอื่น ๆ อาจจะมีพวกแก๊สเฉื่อย โดยปกติแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ได้จากการกลั่นปราศจากน้ำหรือความชื้นปนอยู่ อย่างไรก็ตามในการบรรทุกขนส่งอาจมีความชื้นปะปนได้จากภาชนะที่ใช้บรรจุ เมื่ออุณหภูมิมากกว่า 100 องศาเซลเซียส (212 องศาฟาเรนไฮต์) ถ้าน้ำปนอยู่จะทำให้แอสฟัลต์เดือดเป็นฟอง

2.1.3.3 ความปลอดภัย (Safety) การเดือดเป็นฟองของแอสฟัลต์จะเป็นอันตรายมาก ตามข้อกำหนดมาตรฐานแอสฟัลต์จะต้องไม่เป็นฟองเมื่อให้ความร้อนถึง 175 องศาเซลเซียส (347 องศาฟาเรนไฮต์) แอสฟัลต์เมื่อได้รับอุณหภูมิสูงพอจนมีไอและติดไฟได้เมื่อสัมผัสกับประกายไฟหรือเปลวไฟ จึงจำเป็นต้องทราบเพื่อความปลอดภัยก่อนการใช้แอสฟัลต์

ข้อกำหนดสมบัติของวัสดุเชื่อมประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทล.-ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement” [11] ดังตารางที่ 2.1

ตารางที่ 2.1 สมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต [11]

Properties		AC 60-70		Test Method
		Min.	Max.	
Penetration at 25°C 100 gm 5 sec	0.1 mm	60	70	ทล.-ท. 403/2518
Flash Point (Cleveland Open Cup)	°C	232	-	ทล.-ท. 406/2519
Ductility at 25°C, 5 cm per min	cm	100	-	ทล.-ท. 405/2519
Solubility in Trichloroethylene	percent	99.0	-	ทล.-ท. 409/2520
Thin-film Oven Test, 3.2 mm, 163°C, 5 hour				AASHTO T 179
Loss on Heating	percent	-	0.8	
Penetration of Residue	Percent of Original	54	-	
Ductility of Residue at 25°C 100 gm 5 cm per min	cm	50	-	
Loss on Heating, 163°C, 5 hour	percent	-	0.8	ทล.-ท. 404/2518

2.2 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต [12]

2.2.1 องค์ประกอบที่มีผลต่อสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต มีดังนี้

2.2.1.1 ความหนาแน่น คือ ปริมาณมวลของแอสฟัลต์คอนกรีตต่อหนึ่งหน่วยปริมาตร การบดอัดในห้องทดสอบจะได้ความหนาแน่นมากกว่าความแน่นโดยรกดในสนาม

2.2.1.2 ช่องว่างอากาศ เม็ดมวลรวมจะถูกเคลือบด้วยฟิล์มของแอสฟัลต์ระหว่างเม็ดจะมีช่องว่างเล็ก ๆ เรียกว่า ช่องว่างอากาศ ปริมาตรช่องว่างอากาศควรมีเพียงพอต่อการขยายตัวของแอสฟัลต์

2.2.1.3 ช่องว่างระหว่างมวลรวม คือ ปริมาตรช่องว่างสำหรับปริมาตรของแอสฟัลต์ ประสิทธิภาพหมายถึง ปริมาตรแอสฟัลต์ทั้งหมดที่ใส่ลงไปผสมห้กด้วยปริมาตรแอสฟัลต์ส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปในเม็ดมวลรวม และปริมาตรช่องว่างที่เหลือจากการแทนที่ของแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ คือ ปริมาตรช่องว่างอากาศ

2.2.1.4 ปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้เหมาะสมนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของมวลรวมที่ปริมาตรเท่ากันมวลรวมเม็ดเล็กมีพื้นที่ผิวมากต้องการแอสฟัลต์สำหรับผสมมากกว่ามวลรวมเม็ดใหญ่กว่า การเคลือบผิวและการดูดซึมแอสฟัลต์ของมวลรวมเม็ดเล็กจึงต้องใช้แอสฟัลต์มากกว่า

2.2.2 สมบัติที่คำนึงถึงในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

2.2.2.1 เสถียรภาพ ผลรวมของความเสียดทานและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมวลรวมแสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจรโดยไม่เกิดร่องล้อเป็นคลื่น จะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่เมื่อน้ำหนักยานพาหนะมากระทำ

2.2.2.2 ความคงทน เป็นความต้านทานต่อการเสื่อมสภาพจากภูมิอากาศและสภาพการจราจร ส่งผลต่อแอสฟัลต์เสื่อมสภาพจากขบวนการ Polymerization และ Oxidation เกิดการแตกตัวของมวลรวมและฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบมวลรวมหลุดออก

ความคงทนของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต อาจออกแบบทำได้ 3 วิธี

1) ปริมาณแอสฟัลต์มาก ทำให้ได้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่เคลือบผิวมวลรวมหนา ทำให้น้ำและอากาศผ่านเข้าไปแทรกในแอสฟัลต์คอนกรีตได้ยาก

2) การใช้มวลรวมที่มีขนาดละเอียด มีความแข็งแรงแรงป้องกันการแตก เนื่องจากน้ำหนักจราจรและในสภาวะการใช้งานขณะที่ผิวทางเปียกน้ำ มีสมบัติต่อการเกาะยึดต้านทาน หินหลุดได้ดี

3) ออกแบบส่วนผสมในท้องทดสอบและการบดอัดในสนามให้ได้แอสฟัลต์คอนกรีตที่กันอากาศและน้ำผ่านได้มากที่สุด

2.2.2.3 ความยากง่ายของความต้านทานต่อการซึมผ่านของอากาศและน้ำจะบ่งชี้ถึงชนิดของช่องว่าง เช่น ขนาดแต่ละช่อง การทะลุติดต่อกันหรือไม่ และการทะลุถึงผิวนอกหรือไม่

2.2.2.4 ความง่ายในการปูและการบดอัดของแอสฟัลต์คอนกรีต อาจแก้ไขได้โดยการออกแบบใหม่หรือเปลี่ยนมวลรวมใหม่ และ/หรือเปลี่ยนขนาดละเอียดของมวลรวมใหม่

2.2.2.5 ความสามารถในการแอนตัวของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ทำให้เกิดการแอนตัว โดยการทรุดตัวเนื่องจากน้ำหนักกดหรือการขยายตัวของดินชั้นทางข้างล่างตลอดเวลา

2.2.2.6 การต้านทานการตัดโค้งแบบซ้ำซากเป็นความต้านทานต่อการล้า เกิดจากน้ำหนักล้อกระทำ ออกแบบให้ปริมาตรช่องว่างอากาศมากและการใช้แอสฟัลต์ที่เสื่อมสภาพและแข็งตัวได้ง่าย จะทำให้ความต้านทานต่อการล้าลดลง

2.2.2.7 ความต้านทานต่อการลื่นไถล (Skid Resistance) ได้แก่

1) การเยิ้มของแอสฟัลต์ทำให้ผิวทางลื่น เพราะใช้ปริมาณแอสฟัลต์มากเกินไป

2) น้ำมีโอกาสท่วมเม็ดมวลรวมทำให้ลื่น เมื่อผิวทางมีลักษณะเรียบเกินไป

3) ผิวทางลื่นได้ง่าย เพราะเม็ดมวลรวมถูกขัด

2.3 มวลรวมสำหรับใช้เป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต [12]

2.3.1 มวลรวมหยาบ คือ มวลรวมที่ค้ำบนตะแกรงร่อนเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) จะต้องมีสมบัติดังนี้

2.3.1.1 สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว ตะกอน หรืออินทรีย์วัตถุผสมหรือปน และจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์

2.3.1.2 เมื่อทดสอบความต้านทานการสึกหรอของมวลรวมหยาบโดยใช้เครื่องลอสแอนเจลีส เมื่อทดสอบตามวิธี ASTM C 131 และ C 535 ไม่เกินร้อยละ 40

2.3.1.3 เมื่อทดสอบความคงทนของมวลรวม โดยใช้โซเดียมซัลเฟตหรือแมกนีเซียมซัลเฟต เมื่อทดสอบตามวิธี ASTM C 88 ส่วนที่ไม่คงทน (Loss) ไม่เกินร้อยละ 9

2.3.1.4 เมื่อทดสอบการเคลือบและการหลุดออกของวัสดุผสมแอสฟัลต์ ตามวิธี AASHTO T 182-84 ผิวของมวลรวมหยาบต้องมีแอสฟัลต์เคลือบ ไม่น้อยกว่าร้อยละ 95

2.3.1.5 เมื่อทดสอบดัชนีความแบนและดัชนีความยาว เมื่อทดสอบตามวิธี BS 812 ไม่เกินร้อยละ 30

2.3.1.6 ผิวมวลรวมต้องถูกไม่แตกอย่างน้อยหนึ่งหน้า ไม่น้อยกว่าร้อยละ 50

2.3.2 มวลรวมละเอียด หมายถึง มวลรวมที่ลอดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) จะต้องมีสมบัติดังนี้

2.3.2.1 เป็นหินฝุ่นหรือทราย

2.3.2.2 สะอาดปราศจากสิ่งสกปรก ดินเหนียว ตะกอน หรืออินทรีย์วัตถุ ผสมหรือปะปนอยู่ และจะต้องไม่มีปฏิกิริยากับแอสฟัลต์ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตเสื่อมสภาพ

2.3.2.3 เมื่อทดสอบค่ามวลผสมคิดเทียบเป็นทราย เมื่อทดสอบตามวิธี ASTM D 2419-74 มากกว่าร้อยละ 50

2.3.3 วัสดุผสมแทรก หมายถึง มวลรวมที่มีความละเอียดใช้ผสมเพื่อปรับปรุงขนาดคละ ได้แก่ ฝุ่นหิน ปูนซีเมนต์ ปูนขาว ปูนซีเมนต์ซิลิกา เป็นต้น เมื่อทดสอบตามวิธีการทดสอบหาขนาดเม็ดวัสดุโดยผ่านตะแกรงแบบล้างต้องมีขนาดคละดังต่อไปนี้

ขนาดตะแกรง	ปริมาณผ่านตะแกรง, ร้อยละโดยมวล
เบอร์ 30 (0.600 มิลลิเมตร)	100
เบอร์ 50 (0.300 มิลลิเมตร)	75-100
เบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร)	55-100

2.4 การบดอัดชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต [7]

2.4.1 เมื่อปูส่วนผสมแล้วต้องเริ่มบดอัดทันทีขณะที่ส่วนผสมยังร้อนอยู่มีอุณหภูมิระหว่าง 120-150 องศาเซลเซียส การบดอัดให้ดำเนินการ มีดังนี้

2.4.1.1 เริ่มแรกให้บดอัดรอยต่อทันที จากนั้นให้บดอัดขั้นต้น (Initial of Breakdown Rolling) โดยให้รถบดอัดตามหลังเครื่องปูให้ใกล้ชิดเครื่องปูมากที่สุด และในขณะบดอัดชั้นทางต้องไม่มีรอยแตก ส่วนผสมต้องไม่ติดล้อรถบด จากนั้นทำการการบดอัดชั้นกลาง (Intermediate Rolling) และการบดอัดขั้นสุดท้าย (Finish Rolling) ตามลำดับ

2.4.1.2 ความเร็วของรถบดในการบดอัดจะต้องใช้ความเร็วต่ำและสม่ำเสมอ ดังตารางที่ 2.2

ตารางที่ 2.2 ความเร็วของรถบดชนิดต่าง ๆ ในการบดอัด [7]

ชนิดของรถบด	ความเร็วของรถบดในการบดอัด					
	การบดอัดขั้นต้น		การบดอัดชั้นกลาง		การบดอัดขั้นสุดท้าย	
	กม./ชม.	ไมล์/ชม.	กม./ชม.	ไมล์/ชม.	กม./ชม.	ไมล์/ชม.
รถบดล้อเหล็กชนิด 2 ล้อ	3	2	5	3	5*	3*
รถบดล้อยาง	5	3	5	3	8	5
รถบดสันสะเทือน**	4-5	2.5-3	4-5	2.5-3	-	-

* รวมถึงรถบดสันสะเทือนบดอัดโดยไม่สันสะเทือน

** ดูตารางที่ 2.3 ประกอบ

การบดอัดของรถบดสันสะเทือนที่ความถี่การสันสะเทือนใด ๆ ที่เหมาะสม และระยะกระแทกของล้อรถบดที่กำหนด ดังตารางที่ 2.3

ตารางที่ 2.3 ความสัมพันธ์ระหว่างความเร็ว ความถี่ และจำนวนครั้งการกระแทก [7]

ความเร็ว การสั่นสะเทือน เฮิรตซ์ (รอบต่อนาที)	จำนวนครั้งการกระแทกต่อระยะ 1 เมตร (จำนวนครั้งการกระแทกต่อระยะ 1 ฟุต)					
	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่	ความถี่	
30 (1800)	45.0 (13.6)	33.8 (10.2)	27.0 (8.2)	22.5 (6.8)	19.3 (5.8)	
33 (2000)	50.0 (15.2)	37.5 (11.4)	30.0 (9.1)	25.0 (7.6)	21.4 (6.5)	
37 (2200)	55.0 (16.7)	41.3 (12.5)	33.0 (10.0)	27.5 (8.3)	23.6 (7.1)	
40 (2400)	60.0 (18.2)	45.0 (13.6)	36.0 (10.9)	30.0 (9.1)	25.7 (7.8)	
43 (2600)	65.0 (19.7)	48.8 (14.8)	39.0 (11.8)	32.5 (9.8)	27.9 (8.4)	
47 (2800)	70.0 (21.2)	52.5 (15.9)	42.0 (12.7)	35.0 (10.6)	30.0 (9.1)	
50 (3000)	75.0 (22.7)	56.3 (17.0)	45.0 (13.6)	37.5 (11.4)	32.1 (9.7)	
ความเร็วรถบด	กม./ชม.	2.4	3.2	4.0	4.8	5.6
	ไมล์/ชม.	1.5	2.0	2.5	3.0	3.5
	ม./นาทึ่	40.0	53.3	66.7	80.0	93.3
	ฟุต/นาทึ่	132	176	220	264	308

*ช่วงที่ควรใช้อยู่ในกรอบเส้นทึบ

2.4.1.3 การกำหนดรูปแบบของการบดอัดของการทำแปลงทดลอง ก่อนเริ่มการก่อสร้างชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับเครื่องจักรบดอัดที่ใช้งานได้อย่างถูกต้อง ระยะทาง 100-150 เมตร กำหนดรูปแบบของการบดอัดให้เหมาะสมกับชนิด จำนวน สภาพเครื่องจักรที่นำมาใช้งาน โดยชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดเสร็จแล้วมีคุณสมบัติที่ถูกต้อง

2.4.1.4 การבודัดชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีต มีดังนี้

1) ลำดับการปูชั้นทางช่องจราจรแรกหรือเต็มผิวจราจรในคราวเดียว การבודัดมีดังนี้

- รอยต่อตามขวาง
- ขอบผิวชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้านนอก
- ชั้นต้น
- ชั้นกลาง
- ชั้นสุดท้าย

2) ลำดับการปูชั้นทางหลายช่องจราจรพร้อมกัน หรือปูชั้นทางใหม่ประกบกับช่องจราจรเดิมที่ได้ดำเนินการเรียบร้อยแล้ว หรือช่องจราจรเดิมที่ได้ดำเนินการเรียบร้อยแล้ว หรือแนวโครงสร้างใดที่มีอยู่แล้ว การבודัดมีดังนี้

- รอยต่อตามขวาง
- รอยต่อตามยาว
- ผิวชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้านนอก
- ชั้นต้น
- ชั้นกลาง
- ชั้นสุดท้าย

2.4.1.5 การใช้รถบดล้อเหล็ก 2 ล้อ หรือรถบดสันสะเทือนให้בודัดโดย

ไม่สันสะเทือน โดยก่อนการבודัดรอยต่อของชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตช่องแรก บริเวณรอยต่อทั้ง 2 ด้าน ใช้แผ่นไม้วางรองชิดขอบชั้นทาง เพื่อรองรับล้อรถบดเวลาบดอัดเลยขอบชั้นทาง เพื่อป้องกันรอยต่อตามขวางเสียหาย โดยในการבודัดเที่ยวแรกให้รถวิ่งบนชั้นทางที่ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว และให้ล้อรถบดเหลื่อมเข้าไปในบริเวณชั้นทางที่ปูใหม่ 50 มิลลิเมตร การก่อสร้างประกบกับชั้นทางช่องจราจรที่ได้ก่อสร้างเสร็จเรียบร้อยแล้ว การבודัดในครั้งแรกให้בודัดบริเวณปลายรอยต่อตามขวางด้านที่บรรจบกับรอยต่อความยาวประมาณ 0.5-1 เมตร

2.4.16 การบดอัดรอยต่อตามยาว มี 2 แบบ คือ

- 1) รอยต่อเย็นหรือรอยต่อเก่า
- 2) รอยต่อร้อนหรือรอยต่อใหม่

2.4.17 การบดอัดชั้นต้น ภายหลังจากที่ได้บดอัดรอยต่อต่าง ๆ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ให้ดำเนินการบดอัดชั้นต้นเมื่อส่วนผสมมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 120 องศาเซลเซียส การบดอัดให้ใช้ได้ทั้งรถบดล้อเหล็กแบบไม่สั่นสะเทือนหรือรถบดสั่นสะเทือน

2.4.18 การบดอัดชั้นกลาง ให้เริ่มดำเนินการบดอัดด้วยรถบดล้อยางเป็นหลัก เมื่อชั้นทางมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 95 องศาเซลเซียส ควรดำเนินการตามรูปแบบการบดอัดชั้นต้น

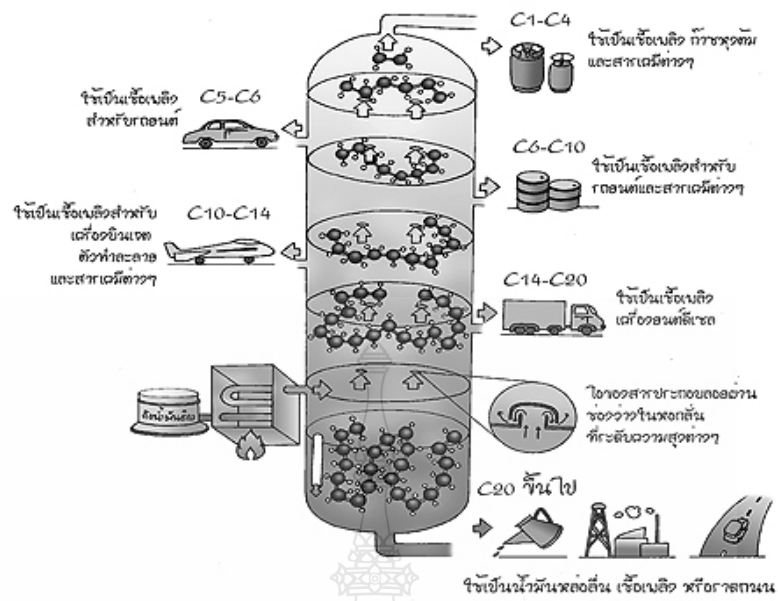
2.4.19 การบดชั้นสุดท้าย มีจุดประสงค์เพื่อลบรอยล้อรถบดที่ผิวหน้า และทำให้ผิวหน้าเรียบสม่ำเสมอเท่านั้น ทั้งนี้ให้เริ่มดำเนินการเมื่อชั้นทางมีอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 66 องศาเซลเซียส โดยให้ใช้รถบดล้อเหล็กแบบไม่สั่นสะเทือน หรือใช้รถบดสั่นสะเทือน แต่บดอัดโดยไม่สั่นสะเทือนเท่านั้น

2.5 พลาสติก [13]

2.5.1 กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติก

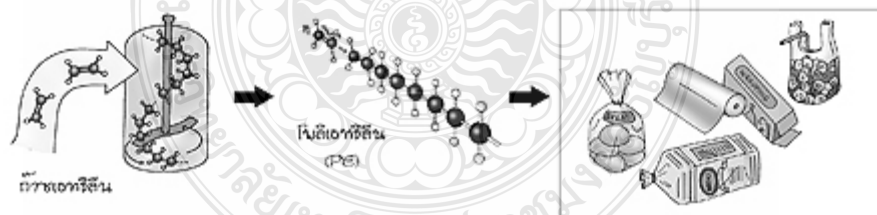
ผลิตภัณฑ์พลาสติก มีแหล่งกำเนิดจากปิโตรเลียม ซึ่งรวมถึงน้ำมันดิบและก๊าซธรรมชาติซึ่งเป็นสารไฮโดรคาร์บอนที่เกิดขึ้นเองโดยธรรมชาติใต้ผิวดิน ปิโตรเลียมอยู่ในสถานะเป็นก๊าซของเหลว หรือของแข็ง ขึ้นอยู่กับอุณหภูมิ ความดัน และจำนวนหรือการจัดเรียงตัวของคาร์บอนในโมเลกุล การกลั่นน้ำมันดิบทำให้สามารถแยกสารประกอบไฮโดรคาร์บอนออกเป็นส่วนต่าง ๆ ดังรูปที่

2.1



รูปที่ 2.1 การกลั่นน้ำมันดิบ [13]

กระบวนการผลิตเม็ดพลาสติกเริ่มต้นจากการนำสารประกอบไฮโดรคาร์บอนที่มีขนาดเล็ก ได้จากกลั่นน้ำมันดิบมาทำปฏิกิริยาจนได้เป็นสายโซ่ยาว เรียกว่า พอลิเมอร์ โดยพอลิเมอร์ที่สังเคราะห์ได้จะถูกนำไปขึ้นรูปเป็นเม็ดพลาสติกและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ต่าง ๆ ต่อไป ดังรูปที่ 2.2



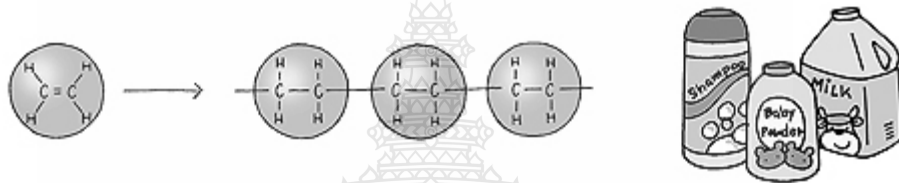
รูปที่ 2.2 การผลิตเม็ดพลาสติกพอลิเอทิลีน [13]

2.5.2 ปฏิกิริยาการสังเคราะห์พอลิเมอร์

ปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชัน (Polymerization) คือ ปฏิกิริยาเคมีที่ทำให้โมโนเมอร์โมเลกุลเล็ก ๆ เกิดปฏิกิริยาต่อกันเป็นสายโซ่ยาว ๆ แบ่งออกเป็น 2 ประเภท คือ

2.5.2.1 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่

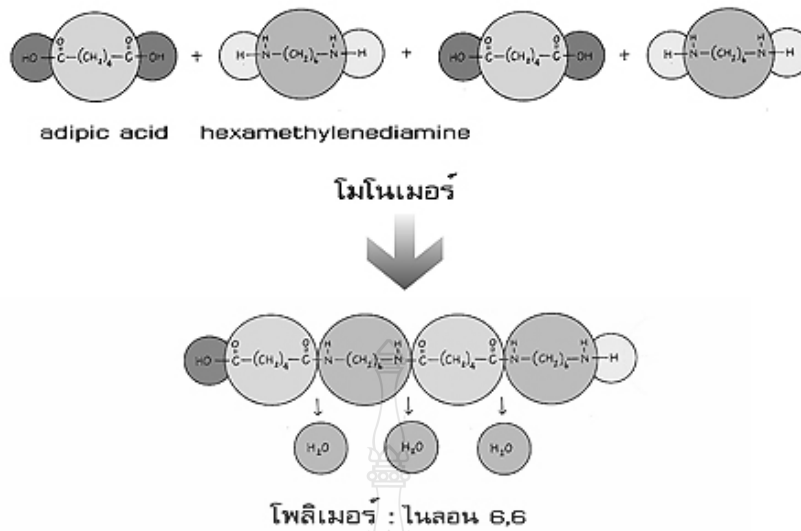
กระบวนการสังเคราะห์แบบรวมตัวเป็นการนำเอาโมโนเมอร์ซึ่งเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและไม่อิมตัวมาทำปฏิกิริยาซึ่งกันและกันจนได้เป็นโมเลกุลขนาดใหญ่ ตัวอย่างพลาสติกแบบนี้ ได้แก่ พอลิไวลิลคลอไรด์ พอลิโพรพิลีน และพอลิเอทิลีน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.3



รูปที่ 2.3 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบลูกโซ่ [13]

2.5.2.2 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น

กระบวนการสังเคราะห์แบบควบแน่นเกิดจากโมโนเมอร์ 2 ชนิด ซึ่งแต่ละชนิดเป็นสารที่มีโมเลกุลขนาดเล็กและมีหมู่ฟังก์ชันเหมือนกันอย่างน้อย 2 หมู่ ที่ปลายสุดของโมเลกุล หรืออาจเกิดจากโมโนเมอร์เพียง 1 ชนิด ที่มีหมู่ฟังก์ชันแตกต่างกันอย่างน้อย 2 หมู่ ที่ปลายสุดของโมเลกุล ที่สามารถทำปฏิกิริยากันระหว่างหมู่ฟังก์ชันอย่างต่อเนื่องได้ผลิตภัณฑ์เป็นโมเลกุลที่มีขนาดใหญ่ ได้แก่ ไนลอนและพอลิเอสเทอร์ เป็นต้น ดังรูปที่ 2.4



รูปที่ 2.4 การสังเคราะห์พอลิเมอร์แบบขั้น [13]

2.5.3 ประเภทและการใช้งาน

2.5.3.1 เทอร์โมพลาสติก (Thermoplastic)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างโมเลกุลของสายโซ่พอลิเมอร์เป็นแบบเส้นตรงหรือแบบกิ่งสั้น ๆ เมื่อได้รับความร้อนจะอ่อนตัวและหลอมเหลวเป็นของเหลวหนืด พลาสติกประเภทนี้สามารถฉีดขึ้นรูปเข้าไปในแม่แบบที่มีช่องว่างเป็นรูปร่างตามต้องการ ภายหลังจากที่พลาสติกไหลเข้าจนเต็มแม่พิมพ์จะถูกทำให้เย็นตัวและถอดออกจากแม่พิมพ์ สามารถนำกลับมารีไซเคิลได้โดยการบดและหลอมด้วยความร้อนเพื่อขึ้นรูปเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่ได้อีก ดังรูปที่ 2.5



รูปที่ 2.5 ผลิตภัณฑ์เทอร์โมพลาสติก [13]

2.5.3.2 เทอร์โมเซตติ้ง (Thermosetting)

พอลิเมอร์ประเภทนี้จะมีโครงสร้างเป็นแบบร่างแห ซึ่งจะหลอมเหลวได้ในขั้นตอนการขึ้นรูปครั้งแรกเท่านั้น พลาสติกเทอร์โมเซตเมื่อใช้งานเสร็จแล้วไม่สามารถนำมาผ่านการหลอมและผลิตเป็นผลิตภัณฑ์ใหม่หรือรีไซเคิล (recycle) ได้อีก และถ้าให้ความร้อนมากเกินไป จะทำให้พลาสติกเกิดการสลายตัวหรือไหม้ โดยไม่เกิดการหลอมเหลว ตัวอย่างเช่น เบคเคอไลต์ และเมลามีน เป็นต้น ดังรูปที่ 2.6



รูปที่ 2.6 ผลิตภัณฑ์เทอร์โมเซตติ้ง [13]

ตารางแสดงความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติ้ง ดังตารางที่ 2.4

ตารางที่ 2.4 ความแตกต่างระหว่างเทอร์โมพลาสติกและเทอร์โมเซตติ้ง [13]

เทอร์โมพลาสติก	เทอร์โมเซตติ้ง
1. พอลิเมอร์แบบเส้นหรือแบบกิ่ง	1. พอลิเมอร์แบบเชื่อมโยงหรือแบบร่างแห
2. อ่อนตัวหรือหลอมเหลวเมื่อได้รับความร้อน	2. แข็งตัวเมื่อได้รับความร้อน
3. ทำให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ มิฉะนั้นจะเสียรูปทรงได้	3. ไม่ต้องรอให้เย็นก่อนเอาออกจากแม่แบบ
4. ไม่เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์	4. เกิดปฏิกิริยาพอลิเมอร์ไรเซชันในแม่พิมพ์
5. นำมารีไซเคิลโดยการหลอมและขึ้นรูปใหม่ได้	5. ไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้

2.5.4 ประเภทของพลาสติกที่ใช้งาน

การแบ่งประเภทของพลาสติกจึงมีการใส่สัญลักษณ์ตัวเลข ตัวเลขทั้ง 7 ตัวนี้ จะอยู่ในสัญลักษณ์รูปสามเหลี่ยมที่มีลูกศรสามตัววิ่งตามกันและมักพบบริเวณก้นของภาชนะพลาสติก

2.5.4.1 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต (Poly (ethylene terephthalate), PET)

ทนแรงกระแทก ไม่เปราะแตกง่าย มีความใส นิยมใช้บรรจุน้ำดื่ม น้ำมันพืช และเครื่องสำอาง นอกจากนี้ขวด PET ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของก๊าซได้เป็นอย่างดี จึงใช้เป็นภาชนะบรรจุน้ำอัดลม PET สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ ดังรูปที่ 2.7



รูปที่ 2.7 พอลิเอทิลีนเทเรฟทาเลต [13]

2.5.4.2 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง (High density polyethylene, HDPE)

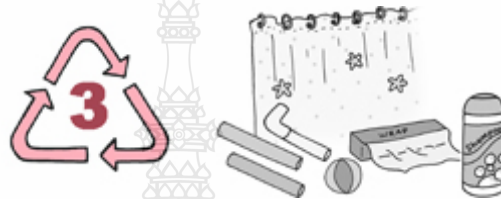
โครงสร้างโมเลกุลเป็นสายตรง ค่อนข้างแข็งแต่ยืดได้มาก ไม่แตกง่าย มีสีนวลสวยงาม จึงนิยมใช้ทำบรรจุภัณฑ์สำหรับน้ำยาทำความสะอาด แชมพูสระผม แป้งเด็ก และถุงหูหิ้ว ภาชนะที่ทำจาก HDPE ยังมีสมบัติป้องกันการแพร่ผ่านของความชื้นได้ดี จึงใช้เป็นขวดนม เพื่อยืดอายุของนมให้นานขึ้น และสามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตขวดต่าง ๆ เช่น ขวดใส่น้ำยา ชักผ้า แผงไม้เทียมเพื่อใช้ทำรั้วหรือม้านั่งในสวน ดังรูปที่ 2.8



รูปที่ 2.8 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นสูง [13]

2.5.4.3 พอลิไวนิลคลอไรด์ (Poly (vinyl chloride), PVC)

PVC เป็นพลาสติกที่มีสมบัติหลากหลาย พลาสติกแข็งใช้ทำท่อ เช่น ท่อน้ำประปา แต่สามารถทำให้นิ่มโดยใส่สารพลาสติกไซเซอร์ ใช้ทำสายยางใส แผ่นฟิล์มสำหรับห่ออาหาร ม่านในห้องอาบน้ำ แผ่นกระเบื้องยาง แผ่นพลาสติกปูโต๊ะ ขวดใส่แชมพูสระผม และเป็นผลิตภัณฑ์อื่นได้อีกมาก เช่น ประตู่ หน้าต่าง วงกบ และหนังเทียม PVC สามารถนำกลับมารีไซเคิลเพื่อผลิตท่อประปาสำหรับการเกษตร กรวยจราจร และเฟอร์นิเจอร์ หรือม้านั่งพลาสติก ดังรูปที่ 2.9



รูปที่ 2.9 พอลิไวนิลคลอไรด์ [13]

2.5.4.4 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ (Low density polyethylene, LDPE)

พลาสติกที่นิ่ม สามารถยืดตัวได้มาก มีความใส นิยมนำมาทำเป็นฟิล์มสำหรับห่ออาหารและห่อของ ถุงใส่ขนมปัง และถุงเย็นสำหรับบรรจุอาหาร LDPE สามารถนำกลับมารีไซเคิลใช้ใหม่ได้ โดยใช้ผลิตเป็นถุงดำสำหรับใส่ขยะ ถุงหิ้ว หรือถังขยะ ดังรูปที่ 2.10



รูปที่ 2.10 พอลิเอทิลีนความหนาแน่นต่ำ [13]

2.5.4.5 พอลิโพรพิลีน (Polypropylene, PP)

เป็นพลาสติกที่แข็ง ทนต่อแรงกระแทกได้ดี ทนต่อสารเคมี ความร้อน และน้ำมัน ทำให้มีสีสันทนสวยงามได้ ส่วนใหญ่นิยมนำมาทำภาชนะบรรจุอาหาร เช่น กล่อง ชาม จาน ถัง ตะกร้า หรือกระบอกสำหรับใส่น้ำแช่เย็น PP สามารถนำกลับมารีไซเคิลเป็นอุปกรณ์เกี่ยวกับรถยนต์ เช่น กล่องแบตเตอรี่รถยนต์ กันชน และกรวยสำหรับน้ำมัน ดังรูปที่ 2.11



รูปที่ 2.11 พอลิโพรพิลีน [13]

2.5.4.6 พอลิสไตรีน (Polystyrene, PS)

พลาสติกที่แข็ง ใส แต่เปราะ และแตกง่าย ราคาถูก นิยมนำมาทำเป็นภาชนะบรรจุของใช้ เช่น เทปเพลง มีการนำพลาสติกประเภทนี้มาใช้ทำภาชนะหรือถาดโฟมสำหรับบรรจุอาหาร โฟมจะมีน้ำหนักที่เบามาก โดยนิยมผลิตเป็นไม้แขวนเสื้อ กล่องวีดีโอ ไม้บรรทัด หรือของใช้อื่น ๆ ดังรูปที่ 2.12



รูปที่ 2.12 พอลิสไตรีน [13]

2.5.4.7 พลาสติกอื่นๆ

พลาสติกอื่น ๆ ในกลุ่มที่ 7 นอกจากจะมีตัวเลขระบุแล้ว จำเป็นต้องใส่สัญลักษณ์ภาษาอังกฤษระบุชนิดของพลาสติกนั้น ๆ ไว้ เพื่อสะดวกในการแยกและนำกลับมารีไซเคิล เช่น พอลิคาร์บอเนต (Polycarbonate, PC) ดังรูปที่ 2.13



รูปที่ 2.13 พลาสติกอื่น ๆ [13]

2.5.5 รายละเอียดบัญชีของเสียครัวเรือนที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน (กลุ่มของเสียครัวเรือนทั่วไป) จำนวน 3 ชนิด มีดังนี้ [1]

2.5.5.1 ผลิตภัณฑ์พลาสติก HDPE (High-density polyethylene)

1) ตัวอย่างของเสีย : ขวดน้ำดื่มขวดพลาสติก ขวดนม ขวดแชมพู ขวดโลชั่น ขวดสบู่น้ำเหลว กระป๋องแป้ง ขวดน้ำยาทำความสะอาด ถังหิ้ว ถังขยะ ฯลฯ

2) องค์ประกอบหลัก : เอทิลีน (Ethylene)

3) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

- ลักษณะทั่วไป : พลาสติกที่ค่อนข้างนิ่มแต่เหนียวไม่แตกง่าย
- สัมประสิทธิ์การขยายทางความร้อน (Thermal Expansion) :

$$110 - 130 \cdot 10^{-6} \cdot K^{-1}$$

$$W \cdot m^{-1} \cdot K^{-1}$$

- ค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity) : 0.14 - 0.52

- ความร้อนจำเพาะ (Specific Heat) : 1800 - 2700 J.kg⁻¹.K⁻¹

- อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting temperature) : 108 - 134°C

- อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass Transition temperature) : (-110) – 110°C
- อุณหภูมิที่สามารถใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ได้ (Service Temperature) : (-40) – 100°C
- ความหนาแน่น (Density) : 940 – 965 kg.m⁻³
- การหดตัว (Shrinkage) : 2 – 4%
- ความต้านทานไฟฟ้า (Electrical Resistivity) : 5x10¹⁷ – 1x10²¹ Ohm.mm².m⁻¹
- ความสามารถในการดูดซึมน้ำ (Water Absorption) : ~ 0.01%

2.5.6.2 ผลิตภัณฑ์พลาสติก LDPE (Low-density polyethylene)

- 1) ตัวอย่างของเสีย : ขวดพลาสติกชนิดบีบีได้ (ขวดที่ใช้ในห้องปฏิบัติการ) ถุงซีป หลอดเครื่องสำอาง เครื่องเล่นเด็ก สายน้ำเกลือ ขวดน้ำเกลือ ดอกไม้พลาสติก หลอดยาสีฟัน ฯลฯ
- 2) องค์ประกอบหลัก : เอทิลีน
- 3) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี
 - ลักษณะทั่วไป : พลาสติกนิ่ม ยืดตัวได้ดีในระดับหนึ่ง มีความใส โปร่งแสง มีความลื่นมันในตัว
 - สัมประสิทธิ์การขยายทางความร้อน : 150 – 200 10⁻⁶.K⁻¹
 - ค่าการนำความร้อน : 0.3 – 0.335 W.m⁻¹.K⁻¹
 - ความร้อนจำเพาะ : 1800 – 3400 J.kg⁻¹.K⁻¹
 - อุณหภูมิหลอมเหลว : 125 – 136°C
 - อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว : (-110) – 110°C
 - อุณหภูมิที่สามารถใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ได้ : (-30) – 70°C
 - ความหนาแน่น : 910 – 928 kg.m⁻³

- ความสามารถในการดูดซึมน้ำ : $\sim 0.0005 - 0.015\%$
- ความต้านทานไฟฟ้า : $5 \times 10^{17} - 1 \times 10^{21} \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$
- การหดตัว : $1.5 - 3\%$
- Breakdown potential : $17.7 - 39.4 \text{ Kv} \cdot \text{mm}^{-1}$

2.5.5.3 ผลิตภัณฑ์พลาสติก PP (Polyethylene)

1) ตัวอย่างของเสีย : ฝาขวดน้ำ หลอดดูดน้ำ ถังร้อน พลาสติกห่อหุ้มบรรจุอาหาร ปกเพิ่มเอกสาร ตลับเครื่องสำอาง กระจังน้ำมันเครื่อง ถังน้ำมัน กระจังสบู่ ขวดบรรจุปุ๋ย พลาสติกหุ้มซองบุหรี่ ฯลฯ

2) องค์ประกอบหลัก : โพรพิลีน (Propylene)

3) คุณสมบัติทางกายภาพและเคมี

- คุณสมบัติทั่วไป : พลาสติกที่แข็งและเหนียว สามารถแต่งเติมสีสียได้
- สัมประสิทธิ์การขยายทางความร้อน : $\sim 180 \cdot 10^{-6} \cdot \text{K}^{-1}$
- ค่าการนำความร้อน : $\sim 0.22 \text{ W} \cdot \text{m}^{-1} \cdot \text{K}^{-1}$
- อุณหภูมิหลอมเหลว : $160 - 165^\circ\text{C}$
- อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว : $\sim (-10)^\circ\text{C}$
- อุณหภูมิที่สามารถใช้งานวัสดุพอลิเมอร์ได้ : $(-10) - 110^\circ\text{C}$
- ความหนาแน่น : $902 - 907 \text{ kg} \cdot \text{m}^{-3}$
- ความถ่วงจำเพาะ : 0.905
- ความต้านทานไฟฟ้า : $5 \times 10^{21} - 1 \times 10^{22} \text{ Ohm} \cdot \text{mm}^2 \cdot \text{m}^{-1}$
- การหดตัว : $0.8 - 2.0\%$
- ความเหนียว : มีความเหนียวที่อุณหภูมิตั้งแต่ $40 - (-10)^\circ\text{C}$
- ความทนทาน
 - ทนต่อแรงกระแทกได้ดี
 - ทนทานต่อสารเคมีส่วนมาก แต่สารเคมีบางชนิดอาจทำให้พองตัวหรืออ่อนตัวได้

ตัวหรืออ่อนตัวได้

- ทนทานต่อความร้อน สามารถทนอุณหภูมิสูงที่ใช้ในการฆ่าเชื้อ (Sterilization 100°C) ได้

- Breakdown potential : 55 – 90 Kv.mm⁻¹

2.6 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

A. Sultana.SK และคณะ [14] ศึกษาการใช้ขยะพลาสติกสำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต เช่น PP, LDPE และ HDPE โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ ผสมกับแอสฟัลต์เกรด 80/100 ทดสอบโดยวิธี มาร์แชลล์ โดยผสมมวลรวมเคลือบด้วยขยะพลาสติกและพอลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์ในส่วนผสมร้อน (HMA) พบว่า ค่าแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าที่ดีขึ้น นี่เป็นกระบวนการที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม

T. B. Moghaddam และคณะ [15] การใช้ขวดพลาสติกเหลือทิ้งบดย่อยในแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า ค่าเสถียรภาพและค่าการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อใส่ปริมาณขวดพลาสติกบดย่อยลงไป ปริมาณน้อย ค่าความถ่วงจำเพาะและความแข็งของส่วนผสมเพิ่มขึ้น อย่างไรก็ตามการใส่ปริมาณขวดพลาสติกบดย่อยที่มากขึ้นส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะและความแข็งลดลง นอกจากนี้แล้วส่วนผสมที่มีขวดพลาสติกเหลือทิ้งบดย่อยมีความทนทานต่อความล้าสูงกว่าส่วนผสมธรรมดาอย่างมีนัยสำคัญ

A. O. Sojobi และคณะ [16] การรีไซเคิลขวดพลาสติก PET ของเสียที่ผลิตในประเทศ ไนจีเรียตอนกลางตอนเหนือในแอสฟัลต์คอนกรีตบิทูมินัส (BAC) ใช้ในการก่อสร้างถนนลาดยาง การออกแบบใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60/70 ร้อยละ 5 มวลรวมหยาบร้อยละ 68 มวลรวมละเอียด ร้อยละ 6 วัสดุผสมแทรกร้อยละ 21 โดยใช้กระบวนการผสมแบบแห้งที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส ปริมาณบิทูเมนที่เหมาะสมใช้ร้อยละ 4 โดยน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมด มวลรวมที่ถูกเคลือบด้วย พอลิเมอร์ (PCA) เป็นโมดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีตดูดีกว่า เพราะมีศักยภาพในการใช้ประโยชน์ จากขยะพลาสติกให้มากขึ้นด้วยค่าที่เหมาะสมที่สุดร้อยละ 16.7 โดยน้ำหนักของมวลรวมทั้งหมด

H. Jan และคณะ [17] ประเมินความต้านทานของส่วนผสมแอสฟัลต์โมดิฟายด์ พอลิเมอร์ การเติมโพลีเมอร์ (PB) เป็นสารเติมแต่งช่วยในการปรับปรุงความแข็งแรงและกันน้ำสมบัติ ของการผสมและลดต้นทุนการก่อสร้าง การใช้ขวดพลาสติกในส่วนผสมแอสฟัลต์โดยการคำนวณร้อยละ ของส่วนผสมแอสฟัลต์ที่ปริมาณแตกต่างกันในห้องปฏิบัติการ พบว่า การผสมด้วย PET มีผลกระทบต่อสมบัติของแอสฟัลต์ ดังนั้นจึงสามารถส่งเสริมการนำขยะกลับมาใช้ใหม่ในอุตสาหกรรม การผลิตด้วยวิธีที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมและประหยัดต้นทุน

เวทสุวรรณค์ หล้ากาศ และคณะ [18] ศึกษาการนำขยะถุงพลาสติกเป็นขยะภายในชุมชนที่คัดแยกได้มาตัดเป็นชิ้นเล็ก ๆ ผสมกับมวลรวมคละและแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยในห้องปฏิบัติการโดยวิธีมาร์แชลล์ พบว่า ขยะถุงพลาสติกสามารถเพิ่มค่าเสถียรภาพของถนนแอสฟัลต์คอนกรีตได้สูงถึง 13.4 กิโลนิวตัน สูงกว่าถนนแอสฟัลต์คอนกรีตธรรมดาที่มีค่าเสถียรภาพเพียง 10.6 กิโลนิวตัน และสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวงที่กำหนดค่าเสถียรภาพไว้ต้องมากกว่า 8.0 กิโลนิวตัน และที่สำคัญยังทำให้ชุมชนในพื้นที่เป้าหมายลดปริมาณขยะถุงพลาสติกได้มากถึง 4775.3 กิโลกรัม

A. Awad และคณะ [19] พลาสติกนี้ถูกใช้เพื่อปรับปรุงประสิทธิภาพของแอสฟัลต์ ทำการทดลองชุดแรกกับ 6 ตัวอย่าง ทดสอบด้วยแอสฟัลต์ร้อยละ 5 5.5 6 6.5 7 และ 7.5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส พบว่า อัตราส่วนแอสฟัลต์ที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 7 ทำการทดสอบชุดที่สองเพื่อหาปริมาณที่เหมาะสมของพลาสติกที่เพิ่มเข้าไปในตัวอย่างอีก 6 ชุด ที่ทดสอบด้วยร้อยละที่แตกต่างกันของพลาสติกร้อยละ 2 2.5 3 3.5 4 และ 4.5 ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส อัตราส่วนที่เหมาะสมของการใช้ขยะพลาสติกเท่ากับร้อยละ 4 ผลการศึกษาเปรียบเทียบระหว่างแอสฟัลต์คอนกรีตกับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกแสดงให้เห็นว่า การใช้ขยะพลาสติกมีผลในเชิงบวกอย่างมากต่อสมบัติของส่วนผสมร้อน และบรรเทาผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม

A. F. Ahmad และคณะ [20] การใช้ PET ในการก่อสร้างถนน ข้อมูลจากนักวิจัยแสดงให้เห็นว่า PET สามารถปรับปรุงสมบัติบางอย่างของส่วนผสมแอสฟัลต์ดัดแปลง เมื่อพิจารณาถึงมุมมองทางเศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อมอย่างรอบคอบแล้ว การใช้ PET เป็นสารเติมแต่งสำหรับส่วนผสมของแอสฟัลต์นั้นเหมาะสมที่จะนำมาใช้สำหรับผิวทาง

S. S. Ali และคณะ [21] การนำขยะพลาสติกไปใช้อย่างมีประสิทธิภาพด้วยวัสดุบิทูเมนในการก่อสร้างผิวทางยืดหยุ่น เพื่อเพิ่มเสถียรภาพและความสามารถในการกันน้ำ ขยะพลาสติกที่ผ่านการทำความสะอาดแล้วขนาด 2.76 ถึง 4 มิลลิเมตร ผสมกับบิทูเมนร้อนและผสมด้วยมวลรวมร้อนใช้เป็นวัสดุสำหรับการก่อสร้างถนน วัตถุประสงค์เพื่อให้แนวคิดที่เป็นนวัตกรรมสำหรับการใช้งานขยะพลาสติกอย่างมีประสิทธิภาพและแนะนำปริมาณร้อยละพลาสติกที่เหมาะสมสำหรับการทดแทนบิทูเมน

A. K. Mohamed และคณะ [22] ศึกษาถึงอิทธิพลของการใช้พลาสติกเหลือทิ้ง (WP) ในแอสฟัลต์ผสมร้อน (HMA) ด้วยขยะพลาสติกร้อยละ 5 ที่ต่างวิธี โดยวิธีมาร์แชลล์ เพื่อหาค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล ความแข็ง ความต้านทานแรงดึงทางอ้อม และการสูญเสียเสถียรภาพ สรุปได้ว่าวิธีที่ดีที่สุดคือ ผสม WP ในแอสฟัลต์ก่อนแล้วผสมกับมวลรวม

วุฒินันท์ จงจิตร และคณะ [5] การใช้ขยะพลาสติกขนาดประมาณ 3-5 มิลลิเมตร ผสมลงในแอสฟัลต์คอนกรีต สูตรส่วนผสมร้อนของมวลรวมเท่ากับ 43:20:20:17 โดยน้ำหนักของมวลรวม ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนักของมวลรวม พบว่า ปริมาณขยะพลาสติกที่เหมาะสมเท่ากับร้อยละ 10 โดยน้ำหนักของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ซึ่งเป็นปริมาณที่ทำให้ช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 6.8 ทำให้ค่าเสถียรภาพ ดัชนีความแข็งแรง ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม มีค่ามากกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต

ประสพโชค ชื่นศิริ และคณะ [23] ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนแทนที่แอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยใช้มวลรวมหินปูน อัตราส่วนผสมของหินร้อนเท่ากับ 44:22:18:16 โดยมวลของมวลรวม แอสฟัลต์ซีเมนต์ใช้เกรด 60-70 ปริมาณของขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน (PPW) เท่ากับร้อยละ 0 5 10 15 และ 20 โดยมวลของแอสฟัลต์ซีเมนต์ และลดปริมาณร้อยละการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ตามปริมาณ PPW เท่ากับร้อยละ 5.00 4.75 4.50 4.25 และ 4.00 โดยมวลของมวลรวม ตามลำดับ เตรียมก้อนตัวอย่างโดยใช้วิธีมาร์แชลล์และเกณฑ์ชั้น Wearing Course ขนาด 12.5 มิลลิเมตร พบว่า เมื่อใช้ปริมาณ PPW เท่ากับร้อยละ 5 และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 4.75 สมบัติดังกล่าวของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนอยู่ในเกณฑ์ที่ยอมรับได้ โดยที่ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมเท่ากับ 790 กิโลปาสคาล ค่าโมดูลัสคืนตัวเท่ากับ 1012 เมกะปาสคาล ความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปร่างอย่างถาวรแบบพลวัตอยู่ในช่วง 6144 ถึง 16606 ไมโครสเตรน และความล้าจากแรงดึงทางอ้อมเท่ากับ 2131 รอบ

บทที่ 3

วิธีดำเนินการศึกษา

3.1 วัสดุที่ใช้ในการศึกษา

3.1.1 มวลรวมหินปูน จากแหล่งโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ของโครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ มวลรวมที่ใช้มีหินฝุ่น หิน 3/8 นิ้ว และ หิน 3/4 นิ้ว

3.1.2 วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด AC 60-70

3.1.3 ขยะพลาสติกทั้งสองชนิด (Plastic Waste, PW) ผสมกันใช้แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต คือ โพลีเอทิลีน (PE) และโพลีโพรพิลีน (PP) สัดส่วนเท่ากับร้อยละ 70:30 ซึ่งเกณฑ์ของการใช้สัดส่วนขยะพลาสติกนี้ค่าผลรวมของขนาดคละของมวลรวมต้องอยู่ในเกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดเรียกใช้ 12.5 มิลลิเมตร และอีกเหตุผลหนึ่งของการใช้ปริมาณ PE มากกว่า PP เพราะอุณหภูมิของการหลอมเหลวของ PE (HDPE เท่ากับ 108-134°C LLPE เท่ากับ 125-136°C) และ PP เท่ากับ 160-165°C [1] ซึ่ง PE มีค่าอุณหภูมิหลอมเหลวน้อยกว่า PP จะหลอมเหลวเคลือบผิวมวลรวมและ PP ที่ไม่หลอมเหลวจะคงสภาพแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ขยะพลาสติกที่นำมาใช้ผ่านกระบวนการดังนี้ [24] รับขยะสู่สายพานลำเลียง แยกขยะอินทรีย์ กำจัดด้วยระบบโอโซน แยกโลหะออก ทำความสะอาดด้วยน้ำยา เข้าเครื่องสับเศษพลาสติก เครื่องซีกพลาสติก เครื่องล้างพลาสติก เครื่องสับอัดหมาดพลาสติก เครื่องเป่าลมแห้งพลาสติก และขั้นตอนการสับอัดตามขนาดที่ต้องการ เมื่อร่อนผ่านตะแกรงขนาด 3/8 นิ้ว เบอร์ 4 8 16 30 50 100 และ 200

3.2 รายละเอียดวิธีการศึกษา

ในการศึกษานี้จะนำมวลรวมที่มีขนาดคละเป็นชนิดเรียงขนาดแน่น และแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60-70 เป็นวัสดุเชื่อมประสาน ผสมเพื่อเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ จะแบ่งเป็น 2 กลุ่ม คือ กลุ่มแรก เป็นส่วนผสมระหว่างมวลรวมกับแอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete, AC) และกลุ่มที่สอง เป็นส่วนผสมระหว่างมวลรวม ขยะพลาสติก และ

แอสฟัลต์ซีเมนต์ เรียกว่า แอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก (Plastic Waste Asphalt Concrete, PWAC) โดยการกำหนดเงื่อนไขการทดลอง วิธีการทดลอง และดำเนินการทดลอง ดังนี้

3.2.1 กำหนดสมบัติของมวลรวม

เก็บตัวอย่างมวลรวมหินป้อนจากยูนิตหินร้อนที่ได้จากการทำงานของโรงงานผสม ทั้ง 4 ยูนิต และทดสอบหาสมบัติของมวลรวมจากยูนิตหินร้อน ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ และค่าความดูดซึมน้ำ ตามวิธีการทดสอบ ASTM C 128 ค่ามวลผสมเทียบเป็นทราย ตามวิธีการทดสอบ ASTM D 2419 ค่าดัชนีความแบน และค่าดัชนีความยาว ตามวิธีการทดสอบ BS 812 ค่าความสึกหรอโดยวิธี Los Angeles Abrasion ตามวิธีการทดสอบ ASTM C 131 ค่าความคงทนโดยใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ ตามวิธีการทดสอบ ASTM C 88 ให้ได้ตาม Job Mix Formula (JMF) ชั้น Wearing Course ขนาดเรียกใช้ 12.5 มิลลิเมตร

3.2.2 กำหนดขนาดคละของมวลรวม

ทล.ม.-408/2532 [7] ที่มีผลต่อสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีต ดังตารางที่ 3.1 และรูปที่ 3.1 ศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ทล.ท.-604/2517 [8] และใช้เกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดเรียกใช้ 12.5 มิลลิเมตร ดังตารางที่ 3.1 ซึ่งใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 ซึ่งเป็นวัสดุประสาน

ตารางที่ 3.1 ขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ [7]

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	นิ้ว	(3/8)	(1/2)	(3/4)	(1)
สำหรับชั้นทาง		Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course
ความหนา	มิลลิเมตร	25 - 35	40 - 70	40 - 80	70 - 100
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล			
มิลลิเมตร	นิ้ว				
37.5	(1 1/2)			100	
25.0	(1)			100	90 - 100
19.0	(3/4)		100	90 - 100	-
12.5	(1/2)	100	80 - 100	-	56 - 80
9.5	(3/8)	90 - 100	-	56 - 80	-
4.75	(เบอร์ 4)	55 - 85	44 - 74	35 - 65	29 - 59
2.36	(เบอร์ 8)	32 - 67	28 - 58	23 - 49	19 - 45
1.18	(เบอร์ 16)	-	-	-	-
0.600	(เบอร์ 30)	-	-	-	-
0.300	(เบอร์ 50)	7 - 23	5 - 21	5 - 19	5 - 17
0.150	(เบอร์ 100)	-	-	-	-
0.075	(เบอร์ 200)	2 - 10	2 - 10	2 - 8	1 - 7
ปริมาณแอสฟัลต์					
ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 - 8.0	3.0 - 7.0	3.0 - 6.5	3.0 - 6.0

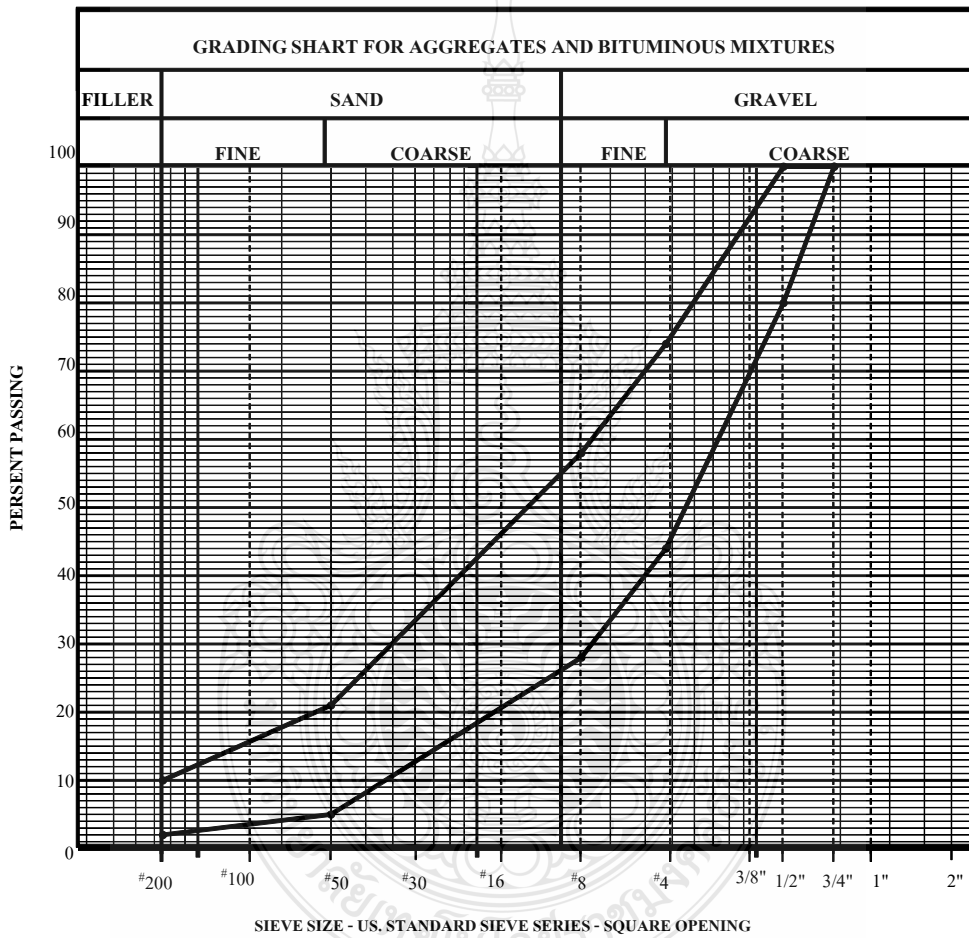
หมายเหตุ กรมทางหลวงอาจพิจารณาเปลี่ยนแปลงขนาดคละของมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้แตกต่างจากตารางที่ 3.1 ก็ได้ ทั้งนี้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ต้องมีคุณสมบัติและความแข็งแรงถูกต้องตามตารางที่ 3.2

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับการทดลองที่ AC - _____ ชั้น WEARING COURSE _____

ทางสาย _____

เจ้าหน้าที่ทดลอง _____ วันที่ทดลอง _____



รูปที่ 3.1 Fuller Curve ชั้น Wearing Course [7]

ตารางที่ 3.2 ข้อกำหนดในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ทล.-ม. 408/2532 [7]

รายการ	ชั้นทาง				
	Wearing Course	Wearing Course	Binder Course	Base Course	Shoulder
	ขนาด 9.5 มิลลิเมตร	ขนาด 12.5 มิลลิเมตร			
Blows	75	75	75	75	50
Stability (lb)	Min. N 8006 (1800)	8006 (1800)	8006 (1800)	7117 (1600)	7117 (1600)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16	8 - 16
Percent Air Voids	3 - 5	3 - 5	3 - 6	3 - 6	3 - 5
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.					
	15	14	13	12	14
Stability/Flow Min.					
N/0.25 mm (lb/0.01 in.)	556 (125)	556 (125)	556 (125)	556 (125)	556 (125)
Percent Strength Index Min.	75	75	75	75	75

หมายเหตุ การทดลองหาค่า Percent Strength Index ใช้วิธี Ontario Vacuum Immersion Marshall Test หรือวิธีอื่นที่เทียบเท่า การทดลองรายการนี้กรมทางหลวงจะพิจารณาทำการทดลองตามความเหมาะสม

3.2.3 สูตรส่วนผสมเฉพาะงาน (JMF)

ทล.ม.-408/2532 [7] และ ทล.ท.-604/2517 [8] ใช้เกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดที่ใช้เรียก 12.5 มิลลิเมตร ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ เกรด 60-70 เป็นวัสดุประสาน ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5.0 โดยมวลของมวลรวม การเตรียมก้อนตัวอย่างกลุ่มละ 15 ก้อน ดังตารางที่ 3.3 สูตรส่วนผสมเฉพาะงานในห้องปฏิบัติการแบ่งออกเป็น 2 กลุ่มคือ

3.2.3.1 กลุ่มแรก เรียกว่า AC อัตราส่วนผสมมวลรวมของยังหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion 1:2:3:4) เท่ากับ 48:14:20:18 โดยมวลของมวลรวม

3.2.3.2 กลุ่มที่สอง เรียกว่า PWAC แอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน โดยแทนที่ PW ใน Bin 1 เพราะมีขนาดละเอียดใกล้เคียงกับมวลรวมละเอียด และใช้ PW ร้อยละ 0.3 เพราะค่าความถ่วงจำเพาะของ PW มีค่าเท่ากับ 0.910 [1] เมื่อนำมาผสมกับมวลรวมที่มีค่าความถ่วงจำเพาะแตกต่างกันมาก ถ้าใช้ PW ปริมาณมากจะมีผลต่อขนาดละเอียดของมวลผสมทั้งหมดไม่อยู่ในเกณฑ์ ดังตารางที่ 3.1 และจะทำให้การผสมกันระหว่างมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์เคลือบไม่ทั่วถึง มีผลต่อสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต อัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยังหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion PW:1:2:3:4) เท่ากับ 0.3:47.7:14:20:18 โดยมวลของมวลรวม



รูปที่ 3.2 ขยะพลาสติก PE และ PP ที่ผ่านการตัดย่อยและร้อนผ่านตะแกรง

ตารางที่ 3.3 อัตราส่วนผสมของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก

Description	PW	Hot	Hot	Hot	Hot
		Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4
Mix Proportion of Asphalt Concrete (%)	0	48	14	20	18
Mix Proportion of Plastic Waste Asphalt Concrete (%)	0.3	47.7	14	20	18
Asphalt Content (AC 60-70) (%by Mass of Aggregate)			5.0		

3.2.4 การทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ในห้องปฏิบัติการ ดังรูปที่ 3.3 และ 3.4

3.2.4.1 การเตรียมก้อนตัวอย่างทั้งสองกลุ่ม กลุ่มละ 15 ตัวอย่าง รวม 30 ตัวอย่าง และตัวอย่างเพื่อทดสอบหาค่าดัชนีความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเตรียมตัวอย่างกลุ่มละ 8 ตัวอย่าง รวม 16 ตัวอย่าง บดอัดด้วย Double Plungers 20.7 เมกะปาสคาล (3,000 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว)

การนำ PW มาใช้ในงานถนนแอสฟัลต์คอนกรีตมีแนวความคิด 2 วิธี วิธีแรกเป็นกระบวนการผสมแบบเปียก (Wet Process) คือ การนำ PW มาผ่านกระบวนการผสมขณะทำการผลิตแอสฟัลต์โดยตรงที่โรงงานผลิตแอสฟัลต์ก่อนที่จะขนส่งมาโรงงานผลิตแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งวิธีนี้ต้นทุนในการผลิตสูงไม่คุ้มค่าในทางปฏิบัติ วิธีที่สองเป็นกระบวนการผสมแบบแห้ง (Dry Process) ซึ่งเป็น การนำ PW มาผสมกับมวลรวมที่ผ่านการอบร้อนก่อนแล้วจึงใส่แอสฟัลต์ลงผสมไปภายหลัง ซึ่ง PW จะทำหน้าที่เคลือบผิวมวลรวมบางส่วนแทนที่แอสฟัลต์ ศึกษาตามกระบวนการผสมแบบแห้ง จะประหยัดงบประมาณมากกว่าแบบแรก

3.2.4.2 บดอัดก้อนตัวอย่างที่ได้จากการผสมส่วนผสมโดยบดอัดด้านละ 75 ครั้ง ที่อุณหภูมิส่วนผสม 150 องศาเซลเซียส เมื่อก้อนตัวอย่างอุณหภูมิลดลงแล้ว ดันก้อนตัวอย่างออกจากแบบ แล้วนำไปหาค่าความหนาแน่นและวิเคราะห์สมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งสองกลุ่ม

3.2.4.3 วิเคราะห์เปรียบเทียบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 6 ค่า ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เสถียรภาพค่าการไหล และดัชนีความแข็งแรง



(ก) มวลรวม Hot Bin 1 2 3 4 และ PW



(ข) ตักแอสฟัลต์ซีเมนต์ลงในมวลรวม



(ค) ใช้เทอร์โมมิเตอร์วัดอุณหภูมิของส่วนผสม



(ง) บดอัดก้อนตัวอย่างด้านละ 75 ครั้ง



(จ) นำตัวอย่างวางไว้ปล่อยให้อุณหภูมิลดลง



(ฉ) ตัวอย่างทดสอบที่ได้หลังจากดันก้อนตัวอย่าง

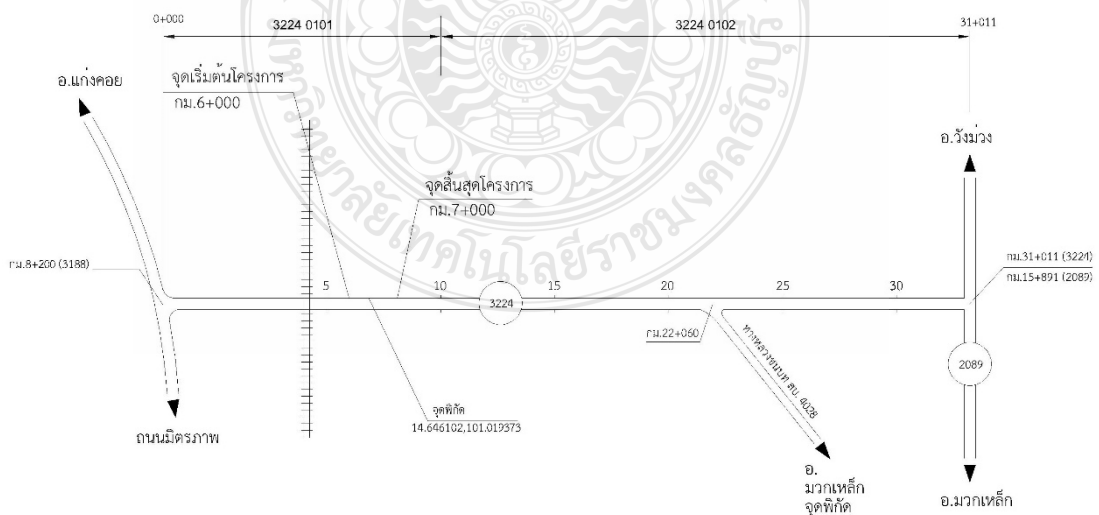
รูปที่ 3.3 การเตรียมก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์



รูปที่ 3.4 การทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

3.2.5 การทำแปลงทดลองของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก แทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน

3.2.5.1 การבודัดส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 [7] โดยทำแปลงทดลองจำนวน 1 แปลง ของโครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 2200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ ระหว่าง กม.6+000 – กม.7+000 ดังรูปที่ 3.5



รูปที่ 3.5 แผนที่สี่ขงของแปลงทดลองระหว่าง กม.6+000 – กม.7+000

3.2.5.2 การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีต

1) การตรวจสอบก่อนการบดอัดในสนาม ให้ทำการเก็บตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากโรงงานผสม โดยเก็บมาครั้งละ 1 กะละมังใหญ่และตัวอย่างที่เก็บต้องเป็นตัวอย่างตัวแทน (Representative Sample) ที่แท้จริง ไม่มีแยกตัว (Segregation) ตัวอย่างที่เก็บมาจากโรงงานผสมนำมาทดลองโดยแบ่งออกเป็น 2 ส่วน มีดังนี้

ตัวอย่างส่วนแรก

- นำตัวอย่างส่วนแรกมาทำการบดอัดในแบบ (Compaction Mold) เพื่อทำเป็นก้อนตัวอย่างด้วยวิธีของ Marshall ตาม ทล.-ท. 604/2517 [8] โดยให้บดอัดที่อุณหภูมิประมาณ 150 องศาเซลเซียส (300 องศาฟาเรนไฮต์) (เนื่องจากเป็น AC 60-70) ตัวอย่างที่เก็บมาครั้งหนึ่ง ๆ ให้ทำการบดอัด 3 ก้อน และนำก้อนที่มีค่า Density ปานกลาง บันทึกในตาราง (ว.8-03) [8]
- ให้ใช้สมุดบันทึกขนาดใหญ่ จดบันทึก Density ทุก ๆ ก้อน พร้อมกับวันเวลาที่เก็บตัวอย่าง อุณหภูมิตัวอย่างขณะที่เก็บ กม.ที่ปู ฯลฯ แล้วเก็บไว้ที่ห้องทดลอง เพื่อไว้ใช้ตรวจสอบกรณีมีปัญหาใด ๆ ด้วย
- ค่า Density เฉลี่ยประจำวัน ให้นำก้อนตัวอย่างที่รายงานใน ว.8-03 [8] หาค่าเฉลี่ยตามวิธีการทางสถิติ เพื่อใช้ค่า Density เฉลี่ยนี้เป็นตัวคำนวณหา %Compaction และคำนวณค่าต่าง ๆ ((%Compaction = ค่า Density ของ Field / ค่า Density ของ Lab) x 100)

ข้อมูลที่ได้จะบันทึกเป็นค่า Lab เพื่อหาค่าต่อไปนี้

- Marshall Density (gm/ml)
- Air Voids (%)
- Voids in Mineral Aggregate (%)
- Voids Filled with Bitumen (%)
- Marshall Stability (lb)
- Marshall Flow (1/100")
- Stability/Flow (lb/0.01")

ตัวอย่างส่วนที่สอง

- ให้นำมาล้างด้วยน้ำยาล้างยางโดยใช้เครื่องล้างยาง (Centrifuge extractor) เพื่อหาค่า %AC และ Gradation ของแอสฟัลต์คอนกรีต การหา %AC และ Gradation ของแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนการบดอัดในสนาม ให้ทำการทดลองอย่างน้อยวันละ 1 ครั้ง จึงนำมาทดลองได้ ข้อมูลที่ได้จะบันทึกเป็นค่า Lab เพื่อหาค่า %AC by Mass of Aggregate ที่ใช้ผสม และ Gradation ของมวลรวมที่ใช้ผสม

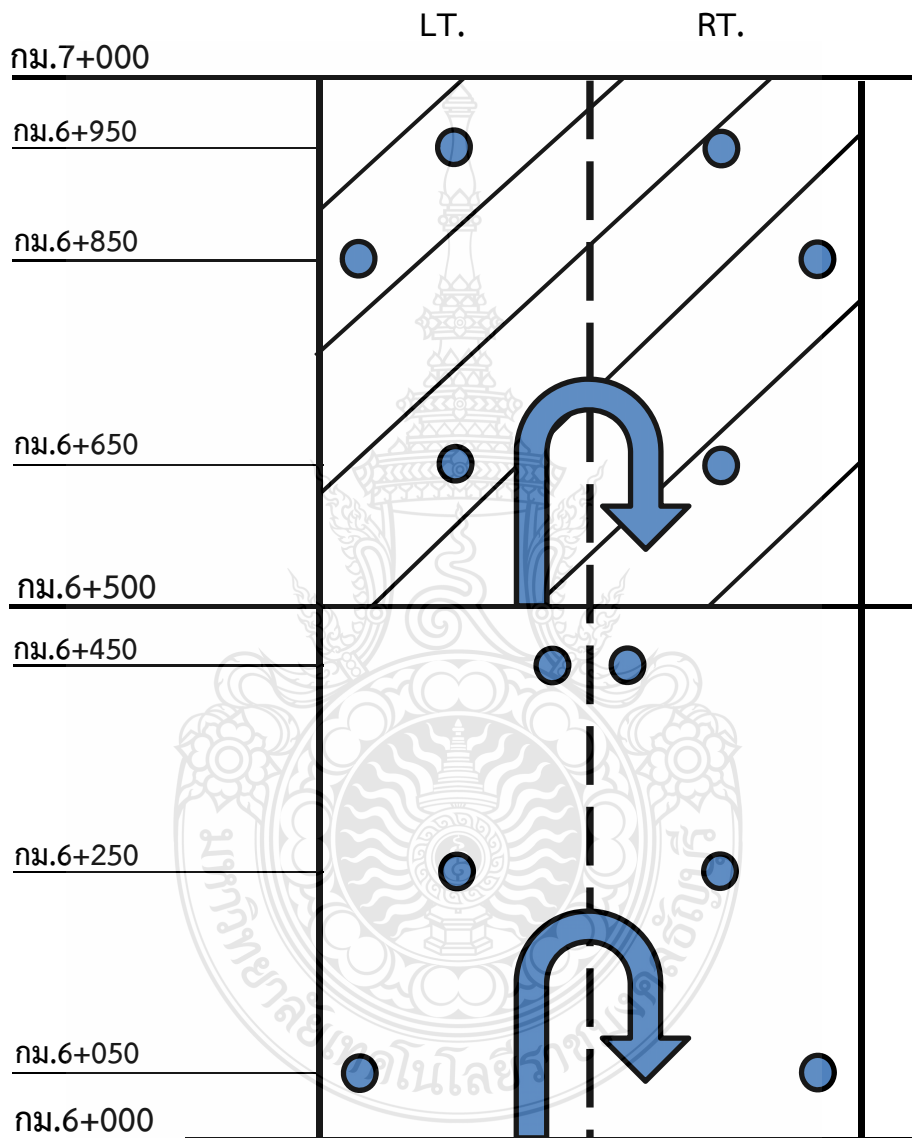
2) การตรวจสอบหลังการบดอัดในสนาม โดยการเจาะก่อนตัวอย่างจากผิวทางที่ก่อสร้างเสร็จและเย็นตัวลงแล้ว ด้วยเครื่องเจาะที่ถูกต้องตามมาตรฐาน ในลักษณะของการสุ่มเจาะตัวอย่างทุก ๆ ระยะ 200 เมตร ต่อช่องจราจรที่ปู เริ่มเจาะทั้งซ้ายทาง (LT.) และขวาทาง (RT.) ที่ กม.6+050 กม.6+250 กม.6+450 กม.6+650 กม.6+850 และ กม.6+950 ดังรูปที่ 3.6 ตัวอย่างที่ตัดด้วยเครื่องตัด ให้ตัดให้มีขนาด 10” x 10” จุดละ 1 ก้อน แล้วมาตบแต่งเป็นขนาด 4” x 4” ทำความสะอาด วัดความหนาแล้วทดลองหา Field Density





กรณี Core ตัวอย่าง ให้ Core อย่างน้อยจุดละ 3 ก้อน แล้วเลือกก้อนที่มีค่า Density ใกล้เคียงกัน 2 ก้อนมาเฉลี่ยหาค่า Density ณ จุดนั้น ให้บันทึกการจับยึดของแอสฟัลต์คอนกรีตกับชั้น Base พร้อมกับลักษณะอื่นใดที่สังเกตพบเอาไว้ด้วย หลุมที่ตัด หรือ Core ต้องรีบอุดหลุมโดยเร็วที่สุด เพื่อป้องกันความเสียหายของผิวทางที่อาจเกิดขึ้นได้

ข้อมูลที่ได้จะบันทึกเป็นค่า Field ก่อนตัวอย่างที่เจาะแล้วจะทำการตรวจสอบดังนี้

- %AC by Mass of Aggregate ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม
- Gradation ของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม
- Field Density (gm/ml)
- Air Voids (%)
- Voids in Mineral Aggregate (%)
- Voids Filled with Bitumen (%)

- ความหนาที่ปู (สภาพการจับของแอสฟัลต์คอนกรีตกับพื้นทางหรือผิวทางเดิม) Thickness (cm)
- Compaction $\geq 98\%$



- หมายเหตุ
-  คือ ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
 -  คือ ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน
 -  คือ ตำแหน่งการเจาะก้อนตัวอย่าง
 -  คือ ทิศทางการปูผิวทาง

รูปที่ 3.6 ผังตำแหน่งการเจาะก้อนตัวอย่างจากผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่ก่อสร้างเสร็จ

บทที่ 4

ผลการศึกษาและวิเคราะห์

4.1 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70

ผลการศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ใช้วัสดุประสาน AC 60-70 เมื่อการทดสอบหาสมบัติของมวลรวมจากยุงหินร้อน โครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการรื้องาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ จากโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ได้แก่ อัตราส่วนผสม ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ดัชนีความแบน ดัชนีความยาว การดูดซึมแอสฟัลต์ ความสึกหรอโดยวิธี Los Angeles Abrasion ความคงทนใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ และ Sand Equivalent โดยมีรายละเอียดดังนี้

4.1.1 อัตราส่วนผสมมวลรวมสำหรับยุงหินร้อนและขนาดคละที่ออกแบบไว้ของแอสฟัลต์คอนกรีต ดังตารางที่ 4.1 พบว่า อัตราส่วนผสมมวลรวมได้เกณฑ์ ทล.ม.-408/2532 [7] ที่มีผลต่อสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ทล.ท.-604/2517 [8] และได้ตามเกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดที่ใช้เรียก 12.5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.1 ผลการออกแบบอัตราส่วนผสมมวลรวม

Sieve Size	Hot Bin					
	%Passing					
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Combined	Desired
3/4"			100	100	100	100
1/2"			92.5	5.5	81.5	80-100
3/8"	100	100	60.6	1.1	74.3	-
# 4	96.3	42.3	14.3	0.4	55.1	44-74
# 8	75.5	9.6	0.7		37.7	28-58
# 16	51.3	1.9			24.9	-
# 30	33.0	0.8			16.0	-
# 50	20.1				9.6	5-21
# 100	13.3				6.4	-
# 200	10.4				5.0	2-10
Mix Proportion	48	14	20	18		

4.1.2 ผลของสมบัติของมวลรวมจากยุงหินร้อน เช่น ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ดัชนีความแบน ดัชนีความยาว การดูดซึมแอสฟัลต์ ความสึกหรอโดยวิธี Los Angeles Abrasion ความคงทนใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ และ Sand Equivalent ดังตารางที่ 4.2

ตารางที่ 4.2 ผลของสมบัติของมวลรวมจากยั้งหินร้อน

Description	Hot Bin				Total
	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)	48	14	20	18	100
Bulk Specific Gravity	2.640	2.653	2.660	2.669	2.651
Apparent Specific Gravity	2.699	2.697	2.699	2.701	2.699
Effective Specific Gravity	-	-	-	-	2.669
Water Absorption (%)		0.62	0.55	0.45	-
Flakiness Index (%)		39	20	13	21
Elongation Index (%)		27	15	11	16
Asphalt Absorption (%)					0.26
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4"	= 19.4			
Soundness (% Wt. Loss)	Aggregate 3/4"	= 0.7	Fine Aggregate		= 1.8
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate	= 67	Hot Bin 1	= 76	

4.1.3 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ดังตารางที่ 4.3 พบว่าแอสฟัลต์ซีเมนต์มีสมบัติผ่านเกณฑ์มาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง และ AASHTO T 179

ตารางที่ 4.3 ผลของสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 ที่ใช้ในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต

Properties		AC 60-70		Result
		Min.	Max.	
Penetration at 25°C 100 gm 5 sec	0.1 mm	60	70	62
Flash Point (Cleveland Open Cup)	°C	232	-	342
Ductility at 25°C, 5 cm per min	cm	100	-	>100
Solubility in Trichloroethylene	percent	99.0	-	99.97
Thin-film Oven Test, 3.2 mm, 163°C, 5 hour				
Loss on Heating	percent	-	0.8	0.04
Penetration of Residue	Percent of Original	54	-	69
Ductility of Residue at 25°C 100 gm 5 cm per min	cm	50	-	>100
Loss on Heating, 163°C, 5 hour	percent	-	0.8	0.07

4.1.4 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

วิเคราะห์ผลการทดสอบพบว่า อัตราส่วนผสมมวลรวมของยังหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion 1:2:3:4) เท่ากับ 48:14:20:18 โดยมีมวลของมวลรวม ดังตารางที่ 4.1 เมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5.0 โดยมีมวลของมวลรวม(เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ร้อยละ ± 0.3) และออกแบบให้มีค่าช่องว่างอากาศใกล้เคียงหรือเท่ากับร้อยละ 4 ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า จะได้ค่าความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เสถียรภาพ ค่าการไหล และดัชนีความแข็งแรง จากการออกแบบสูตรส่วนผสมเฉพาะงานในห้องปฏิบัติการเป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นทาง Wearing Course ดังตารางที่ 4.4

ตารางที่ 4.4 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Job Mix Formula)

Mix Proportion Hot Bin 1:2:3:4 (%) = 48:14:20:18		
Mixture Properties	Result	Tolerance Limit
Asphalt Cement (AC 60-70) (%by Mass of Aggregate)	5.0	$\pm 0.3\%$
Marshall Density (gm/ml)	2.377	2.368-2.385
Marshall Air Voids (%)	4.1	3.4-4.8
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14 Min.
Voids Filled with Bitumen (%)	71.9	67-77
Marshall Stability (lb)	2170	2100 Min.
Marshall Flow (0.01 in.)	12.0	11-13
Marshall Stability/Marshall Flow (lb/0.01 in.)	181	160 Min.
Strength Index (%)	77.2	75 Min.

4.2 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70

4.2.1 อัตราส่วนผสมมวลรวมสำหรับยู่หินร้อนและขนาดคละที่ออกแบบไว้ของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ดังตารางที่ 4.5 พบว่า อัตราส่วนผสมมวลรวมและขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนได้เกณฑ์ ทล.ม.-408/2532 [7] ที่มีผลต่อสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีต ทล.ท.-604/2517 [8] และได้ตามเกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Wearing Course ขนาดที่ใช้เรียก 12.5 มิลลิเมตร

ตารางที่ 4.5 ผลการออกแบบอัตราส่วนผสมมวลรวม ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน

Sieve Size	Hot Bin						Desired
	Plastic Waste	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	Combined	
3/4"				100	100	100	100
1/2"				92.5	5.5	81.5	80-100
3/8"	100	100	100	60.6	1.1	74.3	-
#4	39.9	96.3	42.3	14.3	0.4	55.1	44-74
#8	8.4	75.5	9.6	0.7		37.7	28-58
#16	1.9	51.3	1.9			24.9	-
#30	0.4	33.0	0.8			16.0	-
#50		20.1				9.6	5-21
#100		13.3				6.4	-
#200		10.4				5.0	2-10
Mix Proportion	0.3	47.7	14	20	18		

4.2.2 ผลของสมบัติของมวลรวมจากยู่หินร้อน ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน เช่น ความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ดัชนีความแบน ดัชนีความยาว การดูดซึมแอสฟัลต์ ความสึกหรอโดยวิธี Los Angeles Abrasion ความคงทนใช้สารละลายโซเดียมซัลเฟต จำนวน 5 รอบ และ Sand Equivalent ดังตารางที่ 4.6

ตารางที่ 4.6 ผลของสมบัติของมวลรวมจากยุงหินร้อน ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีน

Description	Hot Bin					Total
	Plastic Waste	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)	0.3	47.7	14	20	18	100
Bulk Specific Gravity	0.910	2.640	2.653	2.660	2.669	2.636
Apparent Specific Gravity		2.699	2.697	2.699	2.701	2.707
Effective Specific Gravity						2.656
Water Absorption (%)			0.62	0.55	0.45	
Flakiness Index (%)			39	20	13	21
Elongation Index (%)			27	15	11	16
Asphalt Absorption (%)						0.29
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4"	= 19.4				
Soundness (% Wt. Loss)	Aggregate 3/4"	= 0.7		, Fine Aggregate = 1.8		
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate	= 67		, Hot Bin 1 = 76		

4.2.3 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์

วิเคราะห์ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์พบว่าอัตราส่วนผสมมวลรวมของยุงหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion PW:1:2:3:4) เท่ากับ 0.3:47.7:14:20:18 โดยมีมวลของมวลรวม ดังตารางที่ 4.5 เมื่อใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 5.0 โดยมีมวลของมวลรวม (เกณฑ์ความคลาดเคลื่อนที่ยอมให้ร้อยละ ± 0.3) และออกแบบให้มีค่าช่องว่างอากาศใกล้เคียงหรือเท่ากับร้อยละ 4 ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต พบว่า จะได้ค่าความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เสถียรภาพ ค่าการไหล และดัชนีความแข็งแรง จากการออกแบบสูตรส่วนผสมเฉพาะงานในห้องปฏิบัติการเป็นไปตามข้อกำหนดของชั้นทาง Wearing Course ดังตารางที่ 4.7

ตารางที่ 4.7 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชลล์ (Job Mix Formula)

Mix Proportion Hot Bin PW:1:2:3:4 (%) = 0.3:47.7:14:20:18		
Mixture Properties	Mixture	Tolerance Limit
Asphalt Cement (AC 60-70) (%by Mass of Aggregate)	5.0	±0.3%
Marshall Density (gm/ml)	2.364	2.355-2.372
Marshall Air Voids (%)	4.2	3.5-5.0
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14 Min.
Voids Filled with Bitumen (%)	71.2	66-76
Marshall Stability (lb)	3030	2900 Min.
Marshall Flow (0.01 in.)	12.0	11-13
Marshall Stability/Marshall Flow (lb/0.01 in.)	253	160 Min.
Strength Index (%)	91.8	75 Min.

4.3 สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในแปลงทดลอง

4.3.1 ผลการตรวจสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ระหว่าง กม.6+000 – กม.6+500 LT. และ กม.6+000 - กม.6+500 RT. และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ระหว่าง กม.6+500 – กม.7+000 LT. และ กม.6+500 – กม.7+000 RT. ในแปลงทดลอง ก่อนการบดอัดในสนาม (Laboratory) ดังตารางที่ 4.8

ตารางที่ 4.8 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก
พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในแปลงทดสอบ ก่อนการ
บดอัดในสนาม

Description	Laboratory					
	AC			PWAC		
	Job	KM 6+000 – 6+500		Job	KM 6+500 – 7+000	
	Mix	LT.	RT.	Mix	LT.	RT.
Tolerance	Marshall Test		Tolerance	Marshall Test		
%AC by Mass of Aggregate	5.0±0.3%	4.98	4.98	5.0±0.3%	4.97	4.98
Density (gm/ml)	2.368-2.385	2.374	2.372	2.355-2.372	2.361	2.362
Air Voids (%)	4.1	4.2	4.4	4.2	4.4	4.3
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14.7	14.8	14.6	14.7	14.6
Voids Filled with Bitumen (%)	71.9	71.4	70.3	71.2	70.1	70.5
Stability = S (lb)	2170	2160	2170	3030	3000	3020
Flow = F (0.01")	12	12	12	12	12	12
S/F (lb/0.01")	181	180	181	253	250	252
Thickness (cm) Avg. 5 cm	-	-	-	-	-	-
%Compaction > 98	-	-	-	-	-	-
Remarks	Acceptance	Usable	Usable	Acceptance	Usable	Usable

4.3.2 ผลการตรวจสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ระหว่าง กม.6+000 – กม.6+500 LT. และ กม.6+000 – กม.6+500 RT. และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก พอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ระหว่าง กม.6+500 – กม.7+000 LT. และ กม.6+500 – กม.7+000 RT. ในแปลงทดลอง หลังการบดอัดในสนาม (Field) ดังตารางที่ 4.9

ตารางที่ 4.9 ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในแปลงทดสอบ หลังการบดอัดในสนาม

Description	Field					
	AC			PWAC		
	Job	KM 6+000 – 6+500		Job	KM 6+500 – 7+000	
	Mix	LT.	RT.	Mix	LT.	RT.
Tolerance	Marshall Test		Tolerance	Marshall Test		
%AC by Mass of Aggregate	5.0±0.3%	4.97	4.96	5.0±0.3%	4.96	4.96
Density (gm/ml)	2.368-2.385	2.329	2.329	2.355-2.372	2.316	2.317
Air Voids (%)	4.1	6.1	6.1	4.2	6.2	6.2
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	16.3	16.3	14.6	16.3	16.3
Voids Filled with Bitumen (%)	71.9	62.6	62.6	71.2	70.0	70.0
Stability = S (lb)	2170	-	-	3030	-	-
Flow = F (0.01")	12	-	-	12	-	-
S/F (lb/0.01")	181	-	-	253	-	-
Thickness (cm) Avg. 5 cm	-	5.1	5.0	-	5.1	5.1
%Compaction > 98	-	98.1	98.2	-	98.1	98.1
Remarks	Acceptance	Usable	Usable	Acceptance	Usable	Usable

4.4 เปรียบเทียบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง

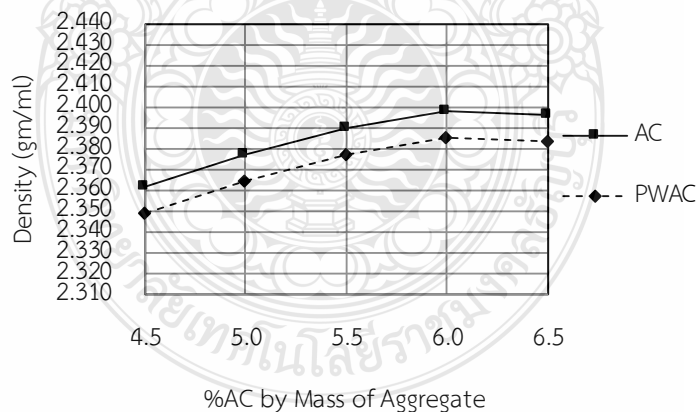
4.4.1 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ดังตารางที่ 4.4 และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในห้องปฏิบัติการ ดังตารางที่ 4.5

4.4.1.1 สมบัติของความหนาแน่นและช่องว่างอากาศ

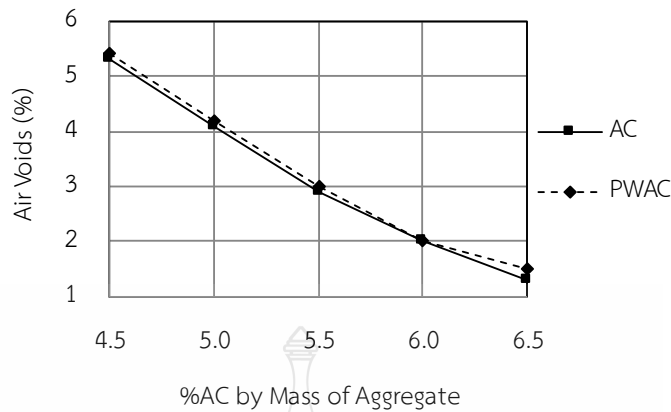
ดังภาคผนวก ก และ ข รูปที่ 4.1 และ 4.2 พบว่า สมบัติของ AC มีความหนาแน่นเท่ากับ 2.362 2.377 2.390 2.398 และ 2.396 กรัมต่อมิลลิลิตร และช่องว่างอากาศเท่ากับ ร้อยละ 5.3 4.1 2.9 2.0 และ 1.3 สมบัติของ PWAC มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ 2.349 2.364 2.377 2.385 และ 2.383 กรัมต่อมิลลิลิตร และช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 5.4 4.2 3.0 2.0 และ 1.5

เมื่อปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 4.5 5.0 5.5 6.0 และ 6.5 โดยมวลของมวลรวม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ของความหนาแน่น ช่องว่างอากาศและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula เป็นไปในทิศทางเดียวกัน คือ การใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์น้อยมีผลต่อการเคลือบผิวเม็ดมวลรวมไม่ทั่วถึง การบดอัดทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าน้อยและช่องว่างอากาศมีค่ามาก เมื่อปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้นมีผลต่อการเคลือบผิวเม็ดมวลรวมได้ดีขึ้น จะได้ค่าความหนาแน่นมีค่ามากขึ้นจนกระทั่งการดูดซึมแอสฟัลต์ซีเมนต์ถึงจุดที่เหมาะสมจะให้ค่าความหนาแน่นมากที่สุดและช่องว่างอากาศลดลง เมื่อเติมแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้น จะทำให้การยึดเกาะกันระหว่างอนุภาคลดลง ความหนาแน่นจึงลดลงและช่องว่างอากาศน้อยที่สุด [5]

PWAC จะให้ความหนาแน่นที่น้อยกว่าและช่องว่างอากาศที่มากกว่า AC เพราะแอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคของมวลรวมทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมแต่ละอนุภาคให้ยึดเหนี่ยวติดกัน การเคลือบของแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ทั่วถึง ทำให้ความสามารถในการยึดเกาะลดลง ส่งผลให้ความหนาแน่นลดลง ช่องว่างอากาศจะเพิ่มขึ้น และอาจเป็นผลมาจาก PW ที่มี ความหนาแน่นน้อยกว่ามวลรวม เมื่อผสมแทนที่มวลรวมจึงทำให้ความหนาแน่นของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้มีความหนาแน่นลดลงด้วย [1]



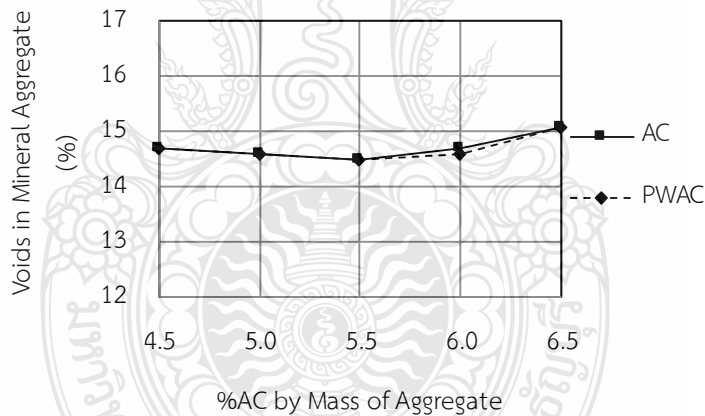
รูปที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula



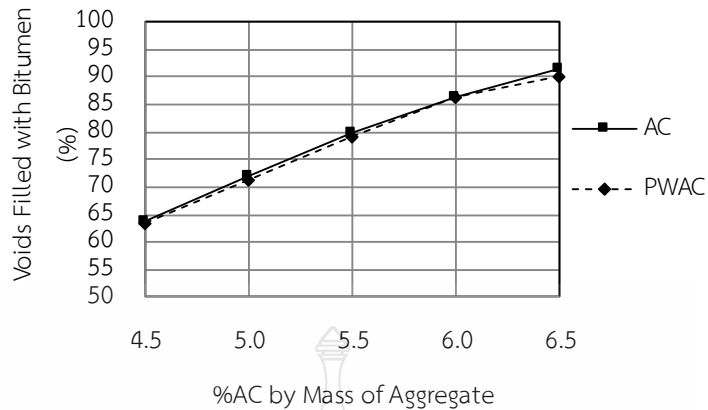
รูปที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างอากาศและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวมระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula

4.4.1.2 สมบัติของช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ดังภาคผนวก ก และ ข รูปที่ 4.3 และ 4.4 พบว่า สมบัติของ AC มีค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมเท่ากับร้อยละ 14.7 14.6 14.5 14.7 และ 15.1 และช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์เท่ากับร้อยละ 63.9 71.9 80.0 86.4 และ 91.4 สมบัติของ PWAC มีค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมเท่ากับร้อยละ 14.7 14.6 14.5 14.6 และ 15.1 และช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์เท่ากับร้อยละ 63.3 71.2 79.3 86.3 และ 90.1 เมื่อปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 4.5 5.0 5.5 6.0 และ 6.5 โดยมวลของมวลรวม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เนื่องจากช่องว่างระหว่างมวลรวมเป็นปริมาตรของช่องว่างที่อยู่ระหว่างอนุภาคแต่ละก้อนของมวลรวมในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่บดอัดแล้วซึ่งเท่ากับค่าช่องว่างอากาศรวมกับช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ซึ่งเป็นส่วนที่แอสฟัลต์ประสิทธิผลบรรจุอยู่ จึงไม่รวมปริมาณแอสฟัลต์ที่ถูกดูดซึมเข้าไปในอนุภาคของมวลรวม เมื่อแอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างอากาศลดลง ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ปริมาตรช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน [12]

PWAC จะให้ค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ที่น้อยกว่า AC และช่องว่างอากาศที่มากกว่า AC เป็นผลจากกระบวนการผสมแบบแห้ง แอสฟัลต์ซีเมนต์ซึ่งเคลือบอยู่ที่ผิวอนุภาคของมวลรวมทำหน้าที่ยึดประสานมวลรวมแต่ละอนุภาคให้ยึดเหนี่ยวติดกัน ทำให้การเชื่อมประสานพื้นที่ผิวสัมผัสระหว่างมวลรวมและการเคลือบของแอสฟัลต์ซีเมนต์ไม่ทั่วถึง หากออกแบบส่วนผสมให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีปริมาตรช่องว่างอากาศเท่ากันแล้ว แอสฟัลต์คอนกรีตที่มีช่องว่างระหว่างมวลรวมสูงกว่าจะมีความคงทนต่อการใช้งานนานกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมต่ำกว่า อธิบายได้โดยอาศัยหลักความจริงว่า การที่มวลรวมมีค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมสูงย่อมหมายถึงมีปริมาตรช่องว่างสำหรับใส่แอสฟัลต์มากทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิวมวลรวมหนา ซึ่งทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนต่ออายุการใช้งานยืนยาว การออกแบบส่วนผสมที่มีค่าช่องว่างระหว่างมวลรวมน้อยกว่าข้อกำหนด ทำให้ใช้แอสฟัลต์ผสมน้อยซึ่งประหยัดแต่ไม่ควรกระทำ เพราะจะทำให้ได้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความคงทนลดลง [12]



รูปที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula



รูปที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula

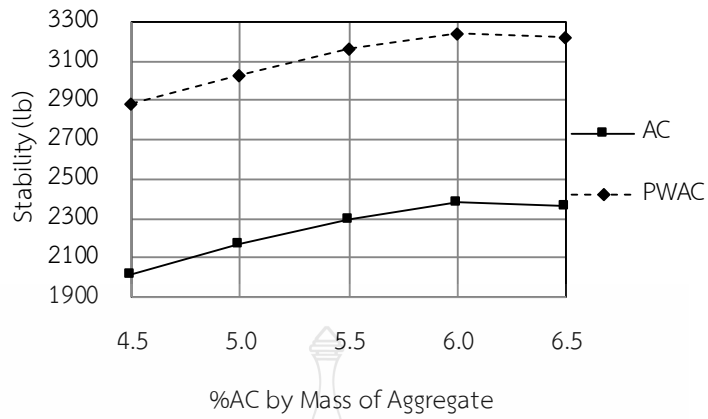
4.4.1.3 สมบัติของเสถียรภาพและค่าการไหล

ดังภาคผนวก ก และ ข รูปที่ 4.5 และ 4.6 พบว่า สมบัติของ AC มีค่าเสถียรภาพเท่ากับ 2020 2170 2300 2380 และ 2360 ปอนด์ ค่าการไหลเท่ากับ 11 12 13 14 และ 15 สมบัติของ PWAC มีค่าเสถียรภาพเท่ากับ 2880 3030 3160 3240 และ 3220 ปอนด์ ค่าการไหลเท่ากับ 11 12 13 14 และ 15 เมื่อปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 4.5 5.0 5.5 6.0 และ 6.5 โดยมวลของมวลรวม ตามลำดับ แสดงให้เห็นว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพ ค่าการไหล และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula เป็นไปในทิศทางเดียวกัน การเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ในส่วนผสมจะทำให้ค่าแรงยึดเกาะเพิ่มขึ้น แต่เมื่อเพิ่มปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์จนถึงจุดหนึ่งจะทำให้แอสฟัลต์ที่เคลือบเม็ดมวลรวมหนาเกินไป เป็นผลให้ความเสียดทานระหว่างเม็ดมวลรวมลดลง ทำให้ค่าเสถียรภาพลดลงและค่าการไหลเพิ่มขึ้นด้วย [5]

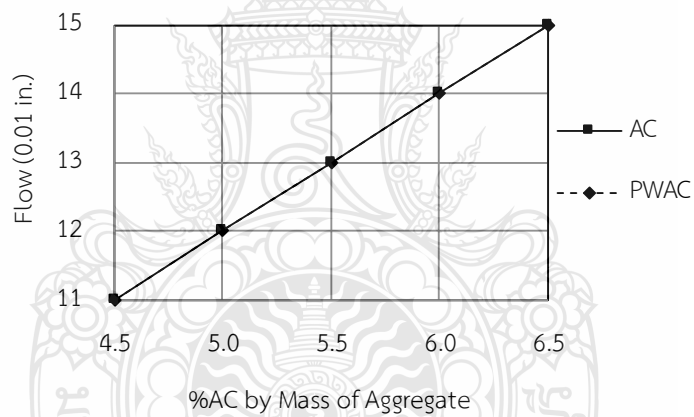
การควบคุมอุณหภูมิก่อนการผสมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตมีดังนี้ มวลรวมต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 163 ± 8 (155-171) องศาเซลเซียส แอสฟัลต์ซีเมนต์ในถังเก็บแอสฟัลต์ต้องมีอุณหภูมิไม่สูงกว่า 100 องศาเซลเซียส และเมื่อผสมกับมวลรวมที่โรงงานผสมจะต้องให้ความร้อนจนได้อุณหภูมิ 159 ± 8 (151-167) องศาเซลเซียส จากนั้นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อผสมเสร็จ ก่อนนำออกจากโรงงานผสมจะต้องมีอุณหภูมิระหว่าง 121-168 องศาเซลเซียส อุณหภูมิในขณะบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีตอยู่ในช่วง 120-150 องศาเซลเซียส [7] อุณหภูมิมีผลต่อสมบัติ

ทางกายภาพของขยะพลาสติก PE และ PP คือ มีอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว (Glass transition temperature) ของ HDPE และ LLPE เท่ากับ (-110) – 110°C และ PP เท่ากับ -10°C ในขณะที่อุณหภูมิหลอมเหลว (Melting Temperature) ของ HDPE เท่ากับ 108-134°C LLPE เท่ากับ 125-136°C และ PP เท่ากับ 160-165°C [1] แสดงให้เห็นว่า อุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วของ PE และอุณหภูมิหลอมเหลวของ PE และ PP อยู่ในช่วงของอุณหภูมิการผสมและการบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีต

เหตุผลของค่าเสถียรภาพ PWAC มีค่ามากกว่า AC เนื่องจากอุณหภูมิของกระบวนการผลิตส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตทำให้ PE และ PP มีการหลอมเหลว ซึ่งวัสดุ PE มีสมบัติการหลอมเหลวและเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วในช่วงอุณหภูมิการผสม ในขณะที่ PP มีอุณหภูมิหลอมเหลวที่สูงแต่ยังอยู่ในช่วงอุณหภูมิการผสมและไม่ได้เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว เนื่องจากอุณหภูมิกปกติในสนามมีค่าสูงกว่าอุณหภูมิการเปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว ด้วยสัดส่วนของ PE:PP ที่ใช้ PW ในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเท่ากับ 70:30 มีมากกว่า PP จึงทำให้ PE เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้วที่เคลือบเม็ดมวลรวมเป็นผลให้เกิดความเสียหายและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมวลรวมเพิ่มขึ้น ผลรวมของความเสียหายและแรงยึดเกาะระหว่างเม็ดมวลรวมจะช่วยป้องกันไม่ให้เม็ดวัสดุเกิดการเคลื่อนที่ผ่านซึ่งกันและกันเมื่อมีน้ำหนักรถกระทำ [12] ทำให้เสถียรภาพเพิ่มขึ้น เมื่อ PW เปลี่ยนสถานะคล้ายแก้ว เคลือบผิวมวลรวม เพิ่มแรงเสียหายและแรงยึดเกาะ ถึงแม้ว่า PWAC จะมีเสถียรภาพที่มากกว่า AC แต่ยังมี ความหยุ่นตัวได้ดี เนื่องจาก PWAC มีช่องว่างอากาศมากกว่า AC จึงทำให้ค่าการไหลมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับ AC



รูปที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าเสถียรภาพและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula



รูปที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยมวลของมวลรวม ระหว่าง AC และ PWAC ของ Job Mix Formula

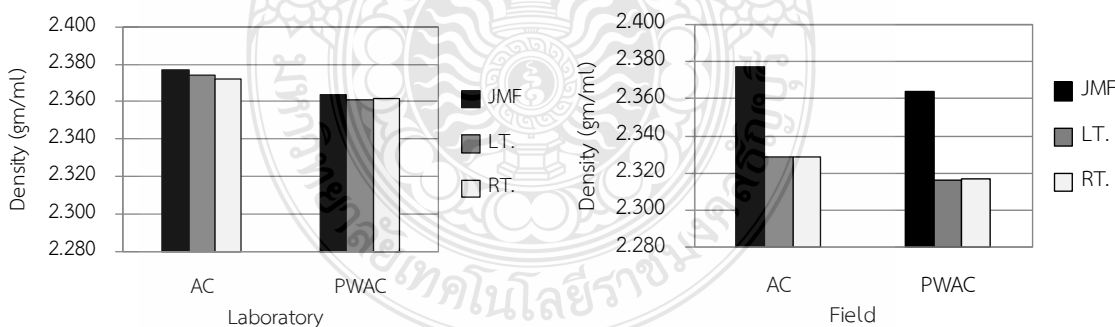
4.4.2 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต และแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในแปลงทดลอง ดังตารางที่ 4.6 และ 4.7

4.4.2.1 สมบัติของความหนาแน่นและช่องว่างอากาศ

1) รูปที่ 4.7 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า ค่าความหนาแน่นทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าลดลงไปในทิศทางเดียวกัน [5] ส่วนผสมที่ได้จากโรงงานผสมทำให้ความหนาแน่นก่อนและหลังบดอัดในสนามลดลง อาจจะมีหลายปัจจัย เช่น อัตราการผลิตที่มากกว่า การควบคุมอุณหภูมิของวัสดุก่อนการผสมและอุณหภูมิของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต การขนส่ง การปู และการบดอัด

2) รูปที่ 4.7 (ค) และ (ง) แสดงให้เห็นว่า ช่องว่างอากาศทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสมแสดงถึงความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ช่องว่างอากาศจะมีค่าลดลง

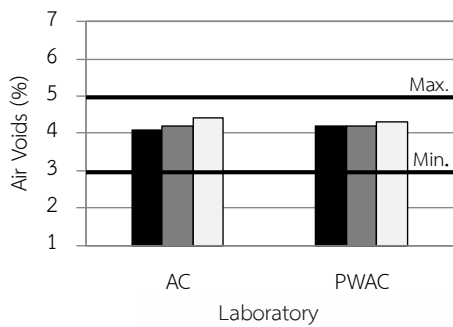
3) รูปที่ 4.7 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อความหนาแน่นมีค่าเพิ่มขึ้น ช่องว่างอากาศจะมีค่าลดลง



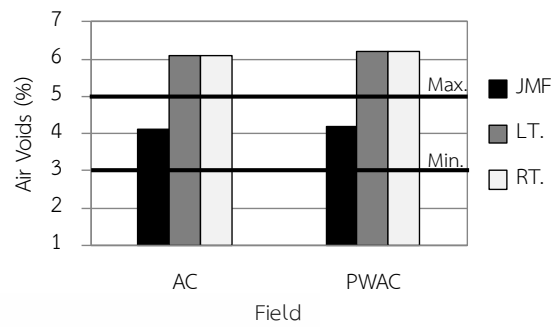
(ก) ความหนาแน่น ก่อนการบดอัดในสนาม

(ข) ความหนาแน่น หลังการบดอัดในสนาม

รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดอัดในสนาม)



(ค) ช่องว่างอากาศ ก่อนการบดอัดในสนาม

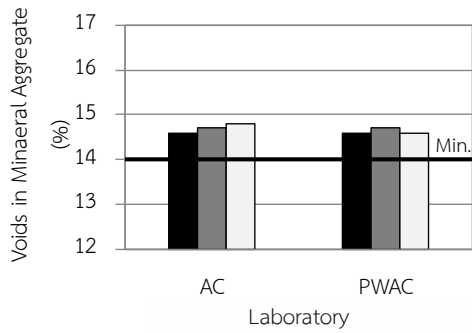


(ง) ช่องว่างอากาศ หลังการบดอัดในสนาม

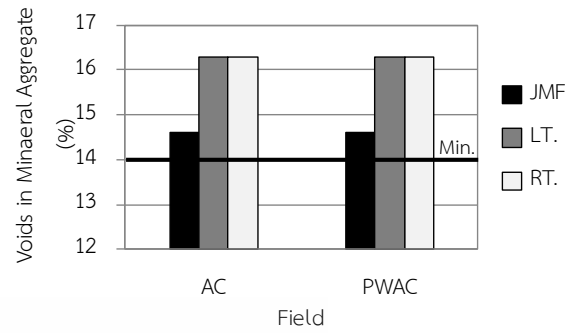
รูปที่ 4.7 การเปรียบเทียบความหนาแน่นและช่องว่างอากาศของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดอัดในสนาม) (ต่อ)

4.4.2.2 สมบัติของช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์

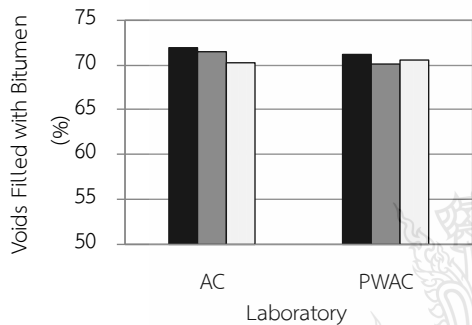
- 1) รูปที่ 4.8 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า ช่องว่างระหว่างมวลรวมทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าเพิ่มขึ้นไปในทิศทางเดียวกัน
- 2) รูปที่ 4.8 (ค) และ (ง) แสดงให้เห็นว่า ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าลดลงไปในทิศทางเดียวกัน
- 3) รูปที่ 4.8 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เมื่อช่องว่างระหว่างมวลรวมมีค่าเพิ่มขึ้น ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์จะมีค่าลดลง



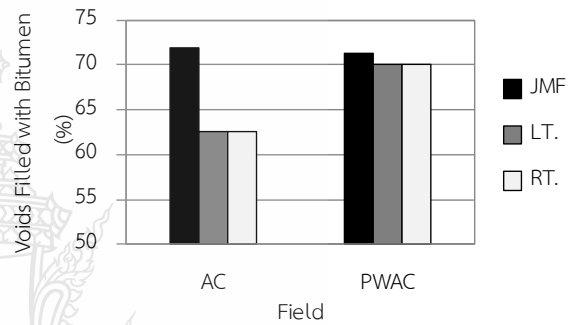
(ก) ช่องว่างระหว่างมวลรวม
ก่อนการบดอัดในสนาม



(ข) ช่องว่างระหว่างมวลรวม
หลังการบดอัดในสนาม



(ค) ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์
ก่อนการบดอัดในสนาม



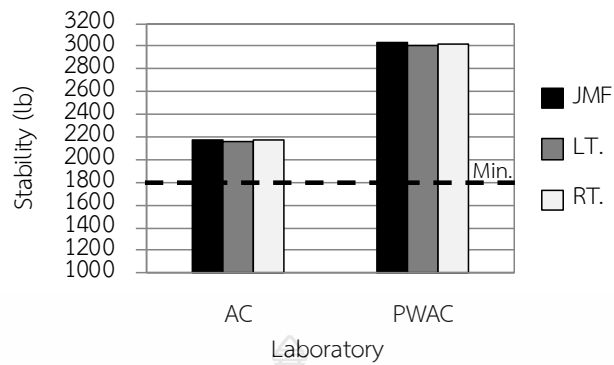
(ง) ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์
หลังการบดอัดในสนาม

รูปที่ 4.8 การเปรียบเทียบช่องว่างระหว่างมวลรวมและช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดอัดในสนาม)

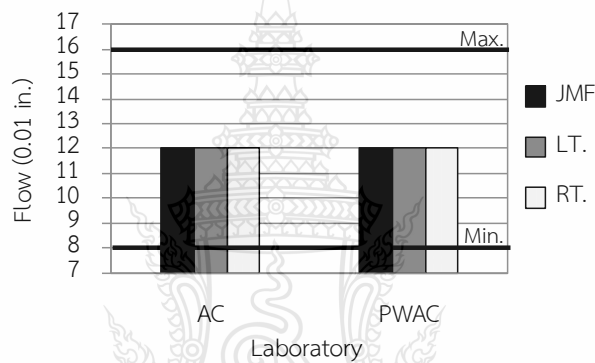
4.4.2.3 สมบัติของเสถียรภาพและค่าการไหล

1) รูปที่ 4.9 (ก) และ (ข) แสดงให้เห็นว่า เสถียรภาพและค่าการไหลทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าเป็นไปในทิศทางเดียวกัน [5] เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม

2) รูปที่ 4.9 เป็นความสัมพันธ์ระหว่างเสถียรภาพและค่าการไหลของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ค่าเสถียรภาพของ PWAC มีค่ามากกว่า AC และ PWAC ยังคงสภาพความหยุ่นตัวเทียบเท่ากับ AC สังเกตค่าการไหลมีค่าเท่ากัน



(ก) เสถียรภาพ ก่อนการบดอัดในสนาม

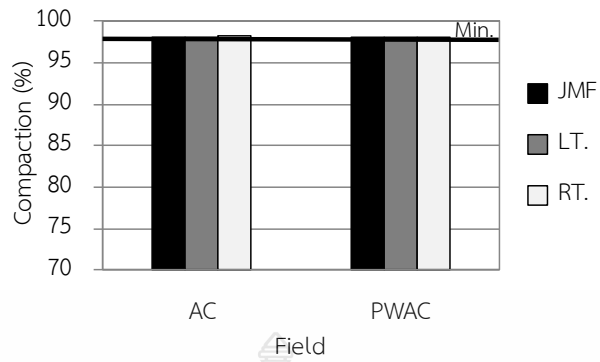


(ข) ค่าการไหล ก่อนการบดอัดในสนาม

รูปที่ 4.9 การเปรียบเทียบเสถียรภาพและค่าการไหลของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (ก่อนการบดอัดในสนาม)

4.4.2.4 สมบัติของการบดอัด

รูปที่ 4.10 แสดงให้เห็นว่า สำหรับชั้นผิวทางทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC มีค่าความแน่นของชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตในสนามมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างจากห้องทดลองที่ใช้เปรียบประจำวัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม



รูปที่ 4.10 การเปรียบเทียบร้อยละการบดอัดของ AC และ PWAC ในแปลงทดลอง (หลังการบดอัดในสนาม)



บทที่ 5

สรุปผลการศึกษาและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการศึกษา

การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้มวลรวมหินปูนจากโครงการก่อสร้างงานจ้างเหมาทำการรหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ โรงโมหินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี ขยะพลาสติกทั้งสองชนิด (Plastic Waste, PW) ผสมกันคือ พอลิเอทิลีน (PE) และพอลิโพรพิลีน (PP) ร้อยละเท่ากับ 70:30 ส่วนผสมมี 2 กลุ่มคือ กลุ่มแรกเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete, AC) อัตราส่วนผสมมวลรวมของยังหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion 1:2:3:4) เท่ากับ 48:14:20:18 โดยมวลของมวลรวม และกลุ่มที่สองเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก (Plastic Waste Asphalt Concrete, PWAC) อัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยังหินร้อน (Hot Bin Mix Proportion PW:1:2:3:4) เท่ากับ 0.3:47.7:14:20:18 โดยมวลของมวลรวม และใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60-70 เท่ากับร้อยละ 5.0 โดยมวลของมวลรวม ทั้งในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลอง การเตรียมก้อนตัวอย่างเป็นกระบวนการผสมแบบแห้งโดยวิธีมาร์แชลล์และเกณฑ์ชั้น Wearing Course ขนาด 12.5 มิลลิเมตรทดสอบสมบัติด้านความหนาแน่น เสถียรภาพ ค่าการไหล ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ และดัชนีความแข็งแรง สรุปผลการศึกษาได้ดังนี้

5.1.1 PWAC จะให้ค่าความหนาแน่นน้อยกว่าและช่องว่างอากาศที่มากกว่า AC

5.1.2 PWAC จะให้ช่องว่างระหว่างมวลรวมมากกว่าและช่องว่างที่ถูกแทนที่แอสฟัลต์น้อยกว่า AC

5.1.3 PWAC จะให้ค่าเสถียรภาพมากกว่า AC และค่าการไหลที่เท่ากัน

5.1.4 AC และ PWAC มีค่าความหนาแน่นของชั้นทางแอสฟัลต์คอนกรีตในสนามมีค่าไม่น้อยกว่าร้อยละ 98 ของความแน่นเฉลี่ยของก้อนตัวอย่างจากห้องทดลองที่ใช้เปรียบประจำวัน เป็นไปในทิศทางเดียวกัน

5.1.5 ค่าความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ ในแปลงทดลอง (ก่อนและหลังการบดอัดในสนาม) ทั้ง LT. และ RT. และค่าเสถียรภาพค่าการไหล และร้อยละการบดอัด ทั้ง LT. และ RT. ของส่วนผสม AC และ PWAC เป็นไปตามมาตรฐานกรมทางหลวง เมื่อเปรียบเทียบกับค่า JMF ของแต่ละส่วนผสม

5.1.6 ปริมาณขยะพลาสติกที่เหมาะสมร้อยละเท่ากับ 70:30 อัตราส่วนผสมมวลรวมของยู้งหินร้อนและอัตราส่วนผสมขยะพลาสติกผสมมวลรวมของยู้งหินร้อนทั้งในห้องปฏิบัติการและแปลงทดลองมีสมบัติดังกล่าวอยู่ในเกณฑ์ตามมาตรฐาน

5.2 ข้อเสนอแนะ

5.2.1 ควรศึกษาขนาดของขยะพลาสติก PW ตัดย่อยหลาย ๆ ขนาด มวลรวมต่างชนิดกัน และหลายแหล่ง เพื่อนำผลมาเปรียบเทียบและสามารถแนะนำอัตราส่วนที่เหมาะสมได้ครอบคลุมมากขึ้น

5.2.2 งานวิจัยนี้เป็นการใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ นอกจากนี้ควรศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมอื่น ๆ เช่น ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength Test) ค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus Test) ความต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวรแบบพลวัต (Dynamic Creep Test) เพื่อจะได้พัฒนาคุณภาพส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนให้เกิดประโยชน์สูงสุด

บรรณานุกรม

- [1] กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่, “คู่มือบัญชีของเสียที่เป็นแหล่งทรัพยากรทดแทน (กลุ่มคร้วเรือน),” ม.ป.ท., 2556.
- [2] “สุดเศร้า!! พืชโคเวดทำ 'ขยะพลาสติก' ล้นเมือง,” (21 พฤษภาคม 2564), กรุงเทพธุรกิจ, เข้าถึงได้จาก <https://www.bangkokbiznews.com/social/939188>, สืบค้น (3 กุมภาพันธ์ 2565).
- [3] “ขยะพลาสติก ปัญหาระดับโลก,” (6 ธันวาคม 2561), กรุงเทพธุรกิจ, เข้าถึงได้จาก <http://www.bangkokbiznews.com/news/detail/820466>, สืบค้น (19 กุมภาพันธ์ 2563).
- [4] สำนักเลขาธิการคณะรัฐมนตรี, “กลไกการขับเคลื่อนการงดใช้ถุงพลาสติก,” ม.ป.ท., 2562.
- [5] วุฒินันท์ จงจิตร, โอบาส สมใจนึก, และ ชลัท ทิพากรเกียรติ, “ถนนแอสฟัลติกคอนกรีตผสมวัสดุรีไซเคิล,” ใน การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 22, นครราชสีมา, 2560, หน้า 1-9.
- [6] 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.
- [7] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, “แอสฟัลต์คอนกรีต,” ใน *มาตรฐานงานทาง*, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, 2539, หน้า 263-270.
- [8] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง, “วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธี Marshall,” ใน *มาตรฐานวิธีการทดลอง*, กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, 2543, หน้า 365-379.
- [9] นีรชร นกแก้ว, “หน่วยที่ 7 วัสดุการทาง,” ใน *วิศวกรรมการทาง*, ปทุมธานี: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, 2562, หน้า 463-486.
- [10] อเนก เปี้ยลัดดา, “เสถียรภาพของแอสฟัลต์ติกคอนกรีตโดยใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ 60/70 และ 80/100,” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์, สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, กรุงเทพฯ, 2530.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [11] มาตรฐานที่ ทล. -ก. 401/2531 “Specification for Asphalt Cement,” สำนักมาตรฐานและ
ประเมินผล กรมทางหลวง, กรุงเทพฯ: ม.ป.ป..
- [12] นิรชร นกแก้ว, “บทที่ 35 การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต,” ใน *การทดสอบวัสดุการทาง*,
กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมเทคโนโลยีไทย-ญี่ปุ่น, 2559, หน้า 467-485.
- [13] “เทคโนโลยีที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมเพื่อการพัฒนาที่ยั่งยืน,” Bio Plastic, เข้าถึงได้จาก
<https://www.mtec.or.th/bio-plastic/what-is-plastic/plastic-history.html>, สืบค้น
(4 มิถุนายน 2563).
- [14] A. Sultana.SK, and K. S. B. Prasad, “Utilization of waste plastic and rigid
pavements,” *International Journal of Engineering Research and Applications*,
vol. 2, pp. 1185-1191, July 2012.
- [15] 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.
- [16] A. O. Sojobi, S. E. Nwobodo, and O. J. Aladgegboye, “Recycling of polyethylene
terephthalate (PET) plastic bottle wastes in bituminous asphaltic concrete,”
Cogent Engineering, pp. 1-28, 2016.
- [17] 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.
- [18] เวชสวรรค์ หล้าภาศ, วรจิตต์ เศรษฐพรพงศ์, และ ไกรสร ลักษณะศิริ, “กระบวนการสร้างถนน
แอสฟัลติกคอนกรีตเพื่อลดปัญหาขยะพลาสติกในชุมชน,” ปีที่ 12, ฉบับที่ 1, หน้า 41-53,
มกราคม-มิถุนายน 2560.
- [19] 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, issue 40, pp. 132-139, December 2017.

บรรณานุกรม (ต่อ)

- [20] 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.
- [21] 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 faisalabed," *Earth Sciences Pakistan*, vol. 1, no. 2, pp. 17-18, November 2017.
- [22] A. K. Mohamed, H. A. Mahdy, and K. A. Kandil, "The use of waste plastics in hot asphalt mixes in Egypt," *International Journal of Engineering and Advanced Technology*, vol. 7, issue. 3, February 2018.
- [23] ประสพโชค ชื่นศิริ และ นิรชร นกแก้ว. "สมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนแทนที่แอสฟัลต์ซีเมนต์," วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต, สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี, ปทุมธานี, 2563.
- [24] "ว.จับมือพันธมิตรถ่ายทอดความรู้การจัดการขยะชุมชนและเพิ่มมูลค่า," (3 มีนาคม 2564), เทคโนโลยีชาวบ้าน เข้าถึงได้จาก https://www.technologychaoban.com/uncategorized/article_174100, สืบค้น (12 เมษายน 2565).

ภาคผนวก





ภาคผนวก ก

Job-Mix Formula for Hot-Mix Asphalt สำหรับชั้น Wearing Course

โครงการงานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์

ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ

(แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete, AC))

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับทดลองที่ AC - 206/1/2564

ตามผลการประกวดราคาจ้าง ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding) เลขที่ สบ.(E)/42/2564 ลงวันที่ 24 มิถุนายน 2564

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รห้สงงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

หนังสือที่ สทล.11 ขท.สบ/พ./1801 ลงวันที่ 16 กรกฎาคม 2564 วันที่รับหนังสือ 23 กรกฎาคม 2564

เจ้าของตัวอย่าง บริษัท อริยสิน จำกัด วันที่รับตัวอย่าง 23 กรกฎาคม 2564

เจ้าหน้าที่ออกแบบ นายกิติฤกษ์ ฉิมทับ

Job-Mix Formula For Hot-Mix Asphalt สำหรับชั้น Wearing Course (มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532) คุณสมบัติทั่วไป

1. ออกแบบโดยวิธี Marshall Test 75 blows (Compaction Temperature 150 °C)
2. อัตราส่วน Aggregate สำหรับ Hot Bin, Mix Design Gradation และ Tolerant Gradation ที่ออกแบบไว้
ได้แนบมาพร้อมนี้
3. ได้แนบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Percent Asphalt Cement (by mass of Agg.) กับ Density, Stability, Flow, Percent Air Voids, Percent V.M.A. และ Percent Voids filled with Bitumen
4. Bulk Sp. Gr. of Mixed Aggregate = 2.651
5. Sp. Gr. of Asphalt Cement = 1.02
6. Asphalt Absorption by mass of Aggregate = 0.26 %

คุณสมบัติควบคุม

1. ให้ใช้ปริมาณยาง Asphalt Cement (60 - 70 pen.) = 5.0 % (tolerance \pm 0.3%) by mass of Agg.
2. ความแน่นของการบดทับ Asphalt Concrete ต้องไม่น้อยกว่า 98 % ของความแน่นเฉลี่ย
ประจำวันของ Marshall Compaction ที่ทดลองในห้อง Lab สนาม
3. ค่า Marshall Stability ที่ทดลองประจำวันต้องไม่น้อยกว่า 2,100 lbs
4. ค่า Marshall Flow (1/100") ที่ทดลองประจำวันต้องอยู่ระหว่าง 11 - 13
5. ถ้า Gradation ของ Mixture ผิดไปจาก Job-Mix Formula จนออกจาก Tolerant Gradation เนื่องจากเหตุใดก็ตาม
และทำให้คุณสมบัติควบคุมแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ จะต้องออกแบบส่วนผสมใหม่หรือปรับปรุงส่วนผสมที่ออกแบบ
ไว้เดิม หรือถ้าผู้ควบคุมงานเห็นว่า Job-Mix Formula ที่ออกแบบไว้ไม่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนามเนื่องจาก
สาเหตุใดก็ตามจะต้องออกแบบส่วนผสมใหม่ หรือปรับปรุงส่วนผสมที่ออกแบบไว้เดิม

อันดับทดลองที่ AC - 206/1/2564

6. ถ้าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ผิดไปจาก $5.0 \pm 0.3 \%$ ให้นำวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแปลงที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ผิดไปนั้นออกเสีย แล้วรายงานให้สำนักฯ ทราบ พร้อมดำเนินการปูแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกต้องแทน

ข้อเสนอแนะ

Compaction Temperature ของ Asphalt Concrete อยู่ระหว่าง $120 - 150^{\circ}\text{C}$

ข้อกำหนดเฉพาะงาน

1. ยาง Prime Coat จะต้องแห้งสนิทก่อนปู Asphalt Concrete
2. ถ้าจำเป็นต้องสาดทรายปิดทับ Prime Coat ด้วยสาเหตุใดก็ตาม จะต้องกวาดทรายออกจนหมด และถ้าพบ Sand Asphalt ต้องชูดอกให้หมด
3. ถ้าเกิดรอย Crack ขึ้นบน Base Course เนื่องจากก่อสร้างเสร็จแล้วเปิดการจราจรทิ้งไว้นาน จะต้องก่อสร้างแก้ไข ชั้น Base Course ให้ถูกต้องก่อนปู Asphalt Concrete
4. ถ้าชั้น Base Course เกิดเป็นหลุมบ่อ หรือแอ่ง เนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม จะต้องทำการ Patching หรือ Leveling ด้วย Hot Mix แล้วบดทับให้แน่นก่อนปู Asphalt Concrete

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
อันดับการทดลองที่ AC - 206/1/2564
Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ
แหล่งวัสดุ หินฝุ่น,หิน 3/8"และหิน 3/4"จากแหล่งโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี

Description	Filler	Hot Bin 1		Total	Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200		Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)	-	-	-	48	14	20	18	100
Bulk Specific Gravity	-	-	2.633	2.640	2.653	2.660	2.669	2.651
Apparent Specific Gravity	-	2.702	2.699	2.699	2.697	2.699	2.701	2.699
Effective Specific Gravity	-	-	-	-	-	-	-	2.669
Water Absorption (%)	-	-	0.93	-	0.62	0.55	0.45	-
Flakiness Index (%)	-	-	-	-	39	20	13	21
Elongation Index (%)	-	-	-	-	27	15	11	16
Asphalt Absorption (%)	-	-	-	-	-	-	-	0.26
Los Angeles Abrasion (%) Aggregate 3/4"	-	-	-	19.4	-	-	-	-
Soundness (% WT.Loss) Aggregate 3/4"	-	-	-	0.7	, Fine Aggregate		1.8	-
Sand Equivalent (%) Fine Aggregate	-	-	-	67	, Sand =		-	, Hot Bin 1

MIXTURE PROPERTIES	RESULT	TOLERANT LIMIT
Asphalt Content (AC 60 - 70) (% by Mass of Aggregate)	5.0	± 0.3%
Marshall Density gm/ml	2.377	2.368 - 2.385
Marshall Air Voids %	4.1	3.4 - 4.8
Voids in Mineral Aggregate %	14.6	14 Min.
Voids Filled with Bitumen %	71.9	67 - 77
Marshall Stability lbs	2170	2100 Min.
Marshall Flow 0.01"	12.0	11 - 13
Marshall Stability/Marshall Flow lbs/0.01"	181	160 Min.
Strength Index %	77.2	75 Min.
Dust Proportion (% Passing # 200 / % Eff. AC)	1.1	-
Percent Compaction Min. 98 % of Daily Compaction Density		

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับการทดลองที่ AC - 206/1/2564 Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course
 โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รห้สงงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

AGGREGATE GRADATION FOR COLD BIN AND HOT BIN

Type of Material หิน Limestone
 Source หินฝุ่น,หิน 3/8"และหิน 3/4"จากแหล่งโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี
 Plant บริษัท อริยสิน จำกัด ตั้งอยู่ที่ 13/4 ม.2 ถนน เลี้ยวเมืองสระบุรีฝั่งตะวันออก อ.เมือง จ.สระบุรี

COLD BIN

Sieve Size	% Passing				Combined	Desired
	Filler	Sand	Bin 1	Bin 2		
1"					100	100
3/4"					88.0	97.0
1/2"					33.9	83.5
3/8"			100	100	10.1	77.5
# 4			92.9	20.7	0.4	55.3
# 8			65.4	2.4		36.5
# 16			41.5	1.0		23.0
# 30			28.3	0.6		15.7
# 50			19.7			10.8
# 100			14.9			8.2
# 200			12.3			6.8
Mix Proportion			55	20	25	

HOT BIN

Sieve Size	% Passing				Combined	Desired	Tolerant Limit
	Filler	Bin 1	Bin 2	Bin 3			
3/4"				100	100	100	100
1/2"				92.5	5.5	81.5	80 - 100
3/8"		100	100	60.6	1.1	74.3	-
# 4		96.3	42.3	14.3	0.4	55.1	44 - 74
# 8		75.5	9.6	0.7		37.7	28 - 58
# 16		51.3	1.9			24.9	-
# 30		33.0	0.8			16.0	-
# 50		20.1				9.6	5 - 21
# 100		13.3				6.4	-
# 200		10.4				5.0	2 - 10
Mix Proportion		48	14	20	18		

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO.	AC - 206/1/2564	LAYER	Wearing Course								
PROJECT	งานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ										
INSPECTOR	นายอภิชาติ แนวนาค	DATE	16 สิงหาคม 2564								
Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4	=	48 : 14 : 20 : 18	(By Mass)	Pen. Grade AC 60 - 70							
Avg. Sp.Gr. of Agg. And Filler (Gag)	=	2.651		Sp. Gr. of AC (Gac) = 1.02							
Compaction, number of blows each end	=	75	BLOW	Asphalt Absorption (x)= 0.26 %							
No. of Specimen		1	2	3	1	2	3	1	2	3	
% AC by Mass of Agg. (a)			4.50		5.00		5.50				
% AC by Mass of Mix (b)			4.31		4.76		5.21				
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b-x(100-b)/100$			4.06		4.51		4.96				
Specimen Height	mm (d)	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	
DENSITY											
Mass in Air	gm (e)	1242.5	1243.1	1244.1	1247.4	1246.4	1247.3	1251.6	1254.8	1257.3	
Mass Sat. Surface Dry	gm (f)	1244.0	1244.7	1245.7	1247.7	1246.9	1247.6	1252.7	1255.6	1258.3	
Mass in Water	gm (g)	718.0	718.2	719.1	722.6	722.4	723.2	729.3	730.5	732.1	
Bulk Volume	ml (h) = $f-g$	526.0	526.5	526.6	525.1	524.5	524.4	523.4	525.1	526.2	
Bulk Density	gm/ml (i) = e/h	2.362	2.361	2.363	2.376	2.376	2.379	2.391	2.390	2.389	
Average Density			2.362		2.377		2.390				
VOIDS ANALYSIS											
Volume AC	% Tota (j) = $c * i / Gac$		9.4		10.5		11.6				
Volume Agg.	% Tota (k) = $(100-b)*i/Gag$		85.3		85.4		85.5				
VMA	% (l) = $100-k$		14.7		14.6		14.5				
Air Voids	% (m) = $l-j$		5.3		4.1		2.9				
VFB	% (n) = $100*j/l$		63.9		71.9		80.0				
STABILITY											
Meas.	Lbs	2110	2090	2110	2270	2260	2240	2420	2390	2400	
Adjust	Lbs	2030	2010	2030	2180	2170	2150	2320	2290	2300	
Average Stability			2020		2170		2300				
FLOW											
Meas.	1/100"	11	11	11	12	12	12	13	13	13	
Average Flows			11		12		13				

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO.	AC - 206/1/2564	LAYER	Wearing Course				
PROJECT	งานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ						
INSPECTOR	นายอภิชาติ แนวนาค	DATE	16 สิงหาคม 2564				
Mix Proportion	Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 = 48 : 14 : 20 : 18 (By Mass)	Pen. Grade	AC 60 - 70				
Avg. Sp.Gr. of Agg. And Filler (Gag.)	= 2.651	Sp. Gr. of AC (Gac)	= 1.02				
Compaction , number of blows each end	= 75 BLOW	Asphalt Absorption(x)	= 0.26 %				
No. of Specimen		1	2	3	1	2	3
% AC by Mass of Agg. (a)			6.00			6.50	
% AC by Mass of Mix (b)			5.66			6.10	
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b-x(100-b)/100$			5.41			5.86	
Specimen Height	mm (d)	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1
DENSITY							
Mass in Air	gm (e)	1259.1	1257.6	1259.3	1261.5	1260.8	1263.7
Mass Sat. Surface Dry	gm (f)	1259.8	1258.5	1260.3	1262.1	1261.6	1264.5
Mass in Water	gm (g)	734.5	734.0	735.3	735.5	735.6	736.6
Bulk Volume	ml (h) = $f-g$	525.3	524.5	525.0	526.6	526.0	527.9
Bulk Density	gm/ml (i) = e/h	2.397	2.398	2.399	2.396	2.397	2.394
Average Density			2.398			2.396	
VOIDS ANALYSIS							
Volume AC	% Total(j) = $c * i / Gac$		12.7			13.8	
Volume Agg.	% Total(k) = $(100-b)*i/Gag$		85.3			84.9	
VMA	% (l) = $100-k$		14.7			15.1	
Air Voids	% (m) = $l-j$		2.0			1.3	
VFB	% (n) = $100*j/l$		86.4			91.4	
STABILITY							
Meas.	Lbs	2460	2520	2470	2460	2480	2430
Adjust	Lbs	2360	2420	2370	2360	2380	2330
Average Stability			2380			2360	
FLOW							
Meas.	1/100"	14	14	14	14	15	15
Average Flows			14			15	

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

อันดับการทดลองที่ AC - 206/1/2564

LAYER Wearing Course

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

เจ้าหน้าที่ทดลอง นายอภิชาติ แนวนาค

วันที่ทดลอง 20 สิงหาคม 2564

ผลการทดลองค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

Mix Proportion Hot Bin 1 : 2 : 3 : 4 = 48 : 14 : 20 : 18 (By Mass) Pen. Grade AC 60 - 70
 Avg. Sp.Gr.of Agg.And Filler (Gag.) = 2.651 Sp. Gr. of AC (Gac) = 1.02
 Compaction, Double Plungers 20.7 Mpa (3000 psi) Asphalt Absorption (x)= 0.26 %

No. of Specimen	Soaked Sample				Unsoaked Sample			
	1	2	3	4	1	2	3	4
% AC by Mass of Agg. (a)		5.00				5.00		
% AC by Mass of Mix (b)		4.76				4.76		
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = b-x(100-b)/100		4.51				4.51		
Specimen Height mm (d)	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7	66.7
DENSITY								
Mass in Air gm (e)	1248.4	1249.6	1250.3	1248.0	1250.3	1250.5	1248.7	1250.7
Mass Sat. Surface Dry gm (f)	1252.1	1253.4	1254.1	1252.4	1254.5	1254.8	1252.2	1254.6
Mass in Water gm (g)	715.2	715.0	714.5	714.6	715.3	715.3	714.7	716.4
Bulk Volume ml (h) = f-g	536.9	538.4	539.6	537.8	539.2	539.5	537.5	538.2
Bulk Density gm/ml (i) = e/h	2.325	2.321	2.317	2.321	2.319	2.318	2.323	2.324
Average Density		2.321				2.321		
VOIDS ANALYSIS								
Volume AC % Total(j) = c * i /Gac		10.3				10.3		
Volume Agg. % Total(k) = (100-b)*i/Gag		83.4				83.4		
VMA % (l) = 100-k		16.6				16.6		
Air Voids % (m) = l-j		6.3				6.3		
VFB % (n) = 100*j/l		62.0				62.0		
STABILITY								
Meas. Lbs	6620	6770	6650	6720	8610	8540	8660	8840
Adjust Lbs	6160	6300	6180	6250	8010	7940	8050	8220
Average Stability		6220				8060		
FLOW								
Meas. 1/100"	16	15	15	17	12	12	10	13
Average Flows		16				12		
Strength Index (%)	$\frac{\text{Soaked Stability} * 100}{\text{Unsoaked Stability}} = \frac{6220}{8060} \times 100 = 77.2 \%$							

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับการทดลองที่

AC - 206/1/2564

ชั้น

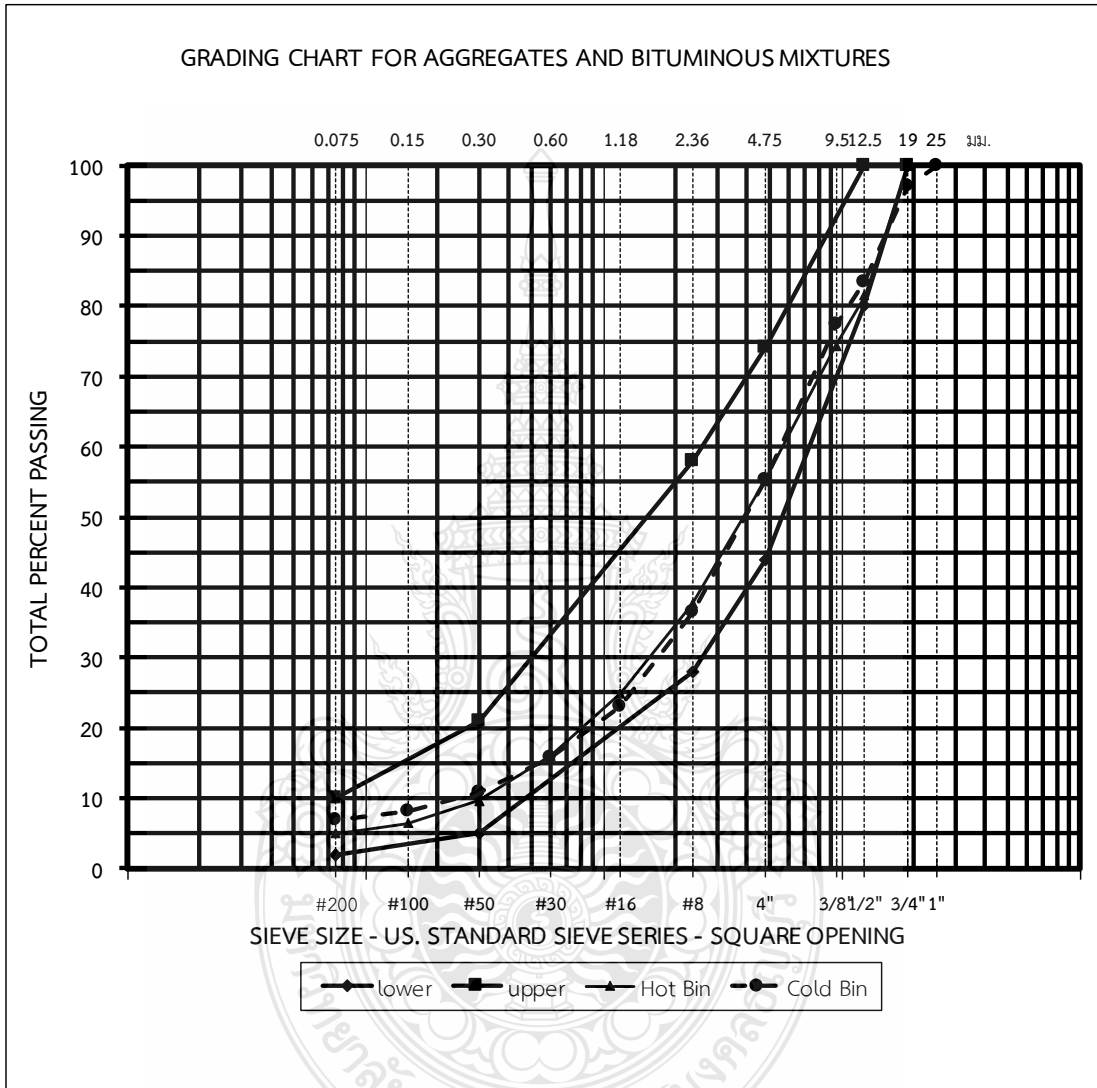
Wearing Course

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

เจ้าหน้าที่ทดลอง นายอภิชาติ นวนวนาค

วันที่ทดลอง

6 ส.ค. 2564





ภาคผนวก ข

Job-Mix Formula for Hot-Mix Asphalt สำหรับชั้น Wearing Course

โครงการงานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์

ทล. 3224 ตอน บ้านป่า – ท่าคล้อ

แอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติก

(Plastic Waste Asphalt Concrete, PWAC)

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับทดลองที่ AC - 206/2/2564

ตามผลการประกวดราคาจ้าง ด้วยวิธีการอิเล็กทรอนิกส์ (e-bidding) เลขที่ สบ.(E)/42/2564 ลงวันที่ 24 มิถุนายน 2564

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รท.สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

หนังสือที่ สทล.11 ขท.สบ/พ./1801 ลงวันที่ 16 กรกฎาคม 2564 วันที่รับหนังสือ 23 กรกฎาคม 2564

เจ้าของตัวอย่าง บริษัท อริยสิน จำกัด วันที่รับตัวอย่าง 23 กรกฎาคม 2564

เจ้าหน้าที่ออกแบบ นายกิติฤกษ์ ฉิมทับ

Job-Mix Formula For Hot-Mix Asphalt สำหรับชั้น Wearing Course (มาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532) คุณสมบัติทั่วไป

1. ออกแบบโดยวิธี Marshall Test 75 blows (Compaction Temperature 150 °C)
2. อัตราส่วน Aggregate สำหรับ Hot Bin, Mix Design Gradation และ Tolerant Gradation ที่ออกแบบไว้
ได้แนบมาพร้อมนี้
3. ได้แนบกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่าง Percent Asphalt Cement (by mass of Agg.) กับ Density, Stability, Flow, Percent Air Voids, Percent V.M.A. และ Percent Voids filled with Bitumen
4. Bulk Sp. Gr. of Mixed Aggregate = 2.636
5. Sp. Gr. of Asphalt Cemen = 1.02
6. Asphalt Absorption by mass of Aggregate = 0.29 %

คุณสมบัติควบคุม

1. ให้ใช้ปริมาณยาง Asphalt Cement (60 - 70 pen.) = 5.0 % (tolerance \pm 0.3%) by mass of Agg.
2. ความแน่นของการบดทับ Asphalt Concrete ต้องไม่น้อยกว่า 98 % ของความแน่นเฉลี่ย
ประจำวันของ Marshall Compaction ที่ทดลองในห้อง Lab สนาม
3. ค่า Marshall Stability ที่ทดลองประจำวันต้องไม่น้อยกว่า 2,900 lbs
4. ค่า Marshall Flow (1/100") ที่ทดลองประจำวันต้องอยู่ระหว่าง 11 - 13
5. ถ้า Gradation ของ Mixture ผิดไปจาก Job-Mix Formula จนออกจาก Tolerant Gradation เนื่องจากเหตุใดก็ตาม
และทำให้คุณสมบัติควบคุมแตกต่างไปจากที่กำหนดไว้ จะต้องออกแบบส่วนผสมใหม่หรือปรับปรุงส่วนผสมที่ออกแบบ
ไว้เดิม หรือถ้าผู้ควบคุมงานเห็นว่า Job-Mix Formula ที่ออกแบบไว้ไม่เหมาะสมกับสภาพความเป็นจริงในสนามเนื่องจาก
สาเหตุใดก็ตามจะต้องออกแบบส่วนผสมใหม่ หรือปรับปรุงส่วนผสมที่ออกแบบไว้เดิม

อันดับทดลองที่ AC - 206/2/2564

6. ถ้าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ผิดไปจาก $5.0 \pm 0.3 \%$ ให้นำวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตแปลงที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ผิดไปนั้นออกเสีย แล้วรายงานให้สำนักฯ ทราบ พร้อมดำเนินการปูแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ถูกต้องแทน

ข้อเสนอแนะ

Compaction Temperature ของ Asphalt Concrete อยู่ระหว่าง $120 - 150^{\circ}\text{C}$

ข้อกำหนดเฉพาะงาน

1. ยาง Prime Coat จะต้องแห้งสนิทก่อนปู Asphalt Concrete
2. ถ้าจำเป็นต้องสาดทรายปิดทับ Prime Coat ด้วยสาเหตุใดก็ตาม จะต้องกวาดทรายออกจนหมด และถ้าพบ Sand Asphalt ต้องชูดอกให้หมด
3. ถ้าเกิดรอย Crack ขึ้นบน Base Course เนื่องจากก่อสร้างเสร็จแล้วเปิดการจราจรทิ้งไว้นาน จะต้องก่อสร้างแก้ไข ชั้น Base Course ให้ถูกต้องก่อนปู Asphalt Concrete
4. ถ้าชั้น Base Course เกิดเป็นหลุมบ่อ หรือแอ่ง เนื่องจากสาเหตุใดก็ตาม จะต้องทำการ Patching หรือ Leveling ด้วย Hot Mix แล้วบดทับให้แน่นก่อนปู Asphalt Concrete

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ
อันดับการทดลองที่ AC - 206/2/2564
Asphalt Concrete ชั้น Wearing Course

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ
แหล่งวัสดุ หินฝุ่น, หิน 3/8" และ หิน 3/4" จากแหล่งโรงโม่หินทรัพย์ทวีสิน ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี,
 ขยะพลาสติก จากแหล่งบริษัท นิวอโคโนโลยี จำกัด ต.ตะกุด อ.เมืองสระบุรี จ.สระบุรี

Description	Plastic waste	Hot Bin 1			Hot Bin			Total
		Passing # 200	Retained # 200	Total	Bin 2	Bin 3	Bin 4	
Mix Proportion (%)	0.3	-	-	47.7	14	20	18	100
Bulk Specific Gravity	0.910	-	2.633	2.640	2.653	2.660	2.669	2.636
Apparent Specific Gravity	-	2.702	2.699	2.699	2.697	2.699	2.701	2.707
Effective Specific Gravity	-	-	-	-	-	-	-	2.656
Water Absorption (%)	-	-	0.93	-	0.62	0.55	0.45	-
Flakiness Index (%)					39	20	13	21
Elongation Index (%)					27	15	11	16
Asphalt Absorption (%)								0.29
Los Angeles Abrasion (%)	Aggregate 3/4"	=	19.4					
Soundness (% WT.Loss)	Aggregate 3/4"	=	0.7				1.8	
Sand Equivalent (%)	Fine Aggregate	=	67					
							Hot Bin 1	76
MIXTURE PROPERTIES				RESULT	TOLERANT LIMIT			
Asphalt Content (AC 60 - 70)	(% by Mass of Aggregate)			5.0	± 0.3 %			
Marshall Density	gm/ml			2.364	2.355 - 2.372			
Marshall Air Voids	%			4.2	3.5 - 5.0			
Voids in Mineral Aggregate	%			14.6	14 Min.			
Voids Filled with Bitumen	%			71.2	66 - 76			
Marshall Stability	lbs			3030	2900 Min.			
Marshall Flow	0.01"			12.0	11 - 13			
Marshall Stability/Marshall Flow	lbs/0.01"			253	160 Min.			
Strength Index	%			91.8	75 Min.			
Dust Proportion (% Passing #200 / % Eff. AC)				1.1	-			
Percent Compaction Min.				98 %	of Daily Compaction Density			

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO.	AC - 206/2/2564			LAYER	Wearing Course					
PROJECT	งานจ้างเหมาทำการ รื้อสร้างงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ									
INSPECTOR	นายอภิชาติ แนวนาค			DATE	27 สิงหาคม 2564					
Mix Proportion Plastic waste : HB1 : HB2 : HB3 : HB4 = 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 (By Mass) Pen. Grade AC 60 - 70										
Avg. Sp.Gr. of Agg. and Filler (Gag) = 2.636 Sp. Gr. of AC (Gac) = 1.02										
Compaction, number of blows each end = 75 BLOW Asphalt Absorption (x)= 0.29 %										
No. of Specimen										
		1	2	3	1	2	3	1	2	3
% AC by Mass of Agg.	(a)		4.50			5.00			5.50	
% AC by Mass of Mix	(b)		4.31			4.76			5.21	
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = b-x(100-b)/100			4.03			4.48			4.94	
Specimen Height	mm (d)	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1
DENSITY										
Mass in Air	gm (e)	1241.8	1242.9	1243.6	1246.9	1247.4	1249.3	1252.9	1251.4	1251.8
Mass Sat. Surface Dry	gm (f)	1243.4	1244.7	1245.1	1247.8	1248.6	1250.6	1254.0	1252.3	1253.0
Mass in Water	gm (g)	715.2	715.6	715.1	720.2	721.2	721.8	727.3	725.9	726.1
Bulk Volume	ml (h) = f-g	528.2	529.1	530.0	527.6	527.4	528.8	526.7	526.4	526.9
Bulk Density	gm/ml (i) = e/h	2.351	2.349	2.346	2.363	2.365	2.363	2.379	2.377	2.376
Average Density			2.349			2.364			2.377	
VOIDS ANALYSIS										
Volume AC	% Tota (j) = c * i /Gac		9.3			10.4			11.5	
Volume Agg.	% Tota(k) = (100-b)*i/Gag		85.3			85.4			85.5	
VMA	% (l) = 100-k		14.7			14.6			14.5	
Air Voids	% (m) = l-j		5.4			4.2			3.0	
VFB	% (n) = 100*j/l		63.3			71.2			79.3	
STABILITY										
Meas.	Lbs	3010	3010	2990	3110	3220	3150	3260	3330	3270
Adjust	Lbs	2890	2890	2870	2990	3090	3020	3130	3200	3140
Average Stability			2880			3030			3160	
FLOW										
Meas.	1/100"	11	11	11	12	12	12	13	13	13
Average Flows			11			12			13	

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

TEST NO.	AC - 206/2/2564	LAYER	Wearing Course					
PROJECT	งานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ							
INSPECTOR	นายอภิชาติ แนวนาค	DATE	27 สิงหาคม 2564					
Mix Proportion Plastic waste : HB1 : HB2 : HB3 : HB4 =	0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18	(By Mass)	Pen. Grade AC 60 - 70					
Avg. Sp.Gr. of Agg. And Filler (Gag.) =	2.636	Sp. Gr. of AC (Gac) =	1.02					
Compaction , number of blows each end =	75	BLOW	Asphalt Absorption (x)= 0.29 %					
No. of Specimen			1	2	3	1	2	3
% AC by Mass of Agg. (a)				6.00			6.50	
% AC by Mass of Mix (b)				5.66			6.10	
% Eff. AC by Mass of Mix (c) = $b-x(100-b)/100$				5.39			5.83	
Specimen Height	mm (d)		65.1	65.1	65.1	65.1	65.1	65.1
DENSITY								
Mass in Air	gm (e)		1254.3	1256.2	1255.8	1255.7	1256.3	1257.5
Mass Sat. Surface Dry	gm (f)		1255.3	1256.9	1256.6	1256.4	1257.0	1258.0
Mass in Water	gm (g)		729.3	730.0	730.2	729.2	729.5	730.5
Bulk Volume	ml (h) = $f-g$		526.0	526.9	526.4	527.2	527.5	527.5
Bulk Density	gm/ml (i) = e/h		2.385	2.384	2.386	2.382	2.382	2.384
Average Density			2.385			2.383		
VOIDS ANALYSIS								
Volume AC	% Total(j) = $c * i / Gac$			12.6			13.6	
Volume Agg.	% Total(k) = $(100-b)*i/Gag$			85.4			84.9	
VMA	% (l) = $100-k$			14.6			15.1	
Air Voids	% (m) = $l-j$			2.0			1.5	
VFB	% (n) = $100*j/l$			86.3			90.1	
STABILITY								
Meas.	Lbs		3380	3370	3370	3330	3370	3340
Adjust	Lbs		3240	3240	3240	3200	3240	3210
Average Stability			3240			3220		
FLOW								
Meas.	1/100"		14	14	14	14	15	15
Average Flows			14			15		

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง

HOT MIX DESIGN DATA BY THE MARSHALL METHOD

อันดับการทดลองที่ AC - 206/2/2564

LAYER Wearing Course

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รห้สงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

เจ้าหน้าที่ทดลอง นายอภิชาติ แนวนาค

วันที่ทดลอง 3 กันยายน 2564

ผลการทดลองค่าดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

Mix Proportion Plastic waste : HB1 : HB2 : HB3 : HB4 = 0.3 : 47.7 : 14 : 20 : 18 (By Mass) Pen. Grade AC 60 - 70

Avg. Sp.Gr.of Agg.And Filler (Gag) = 2.636 Sp. Gr. of AC (Gac) = 1.02

Compaction, Double Plungers 20.7 Mpa (3000 psi) Asphalt Absorption (x) = 0.29 %

		Soaked Sample				Unsoaked Sample			
No. of Specimen		1	2	3	4	1	2	3	4
% AC by Mass of Agg.	(a)		5.00				5.00		
% AC by Mass of Mix	(b)		4.76				4.76		
% Eff. AC by Mass of Mix	(c) = $b-x(100-b)/100$		4.48				4.48		
Specimen Height	mm (d)	68.3	68.3	68.3	68.3	68.3	68.3	68.3	68.3
DENSITY									
Mass in Air	gm (e)	1252.4	1252.0	1252.2	1243.3	1253.2	1250.5	1252.6	1256.8
Mass Sat. Surface Dry	gm (f)	1261.2	1256.2	1260.0	1251.3	1260.7	1257.3	1259.5	1262.6
Mass in Water	gm (g)	703.0	706.2	703.2	702.8	706.6	702.2	707.2	705.1
Bulk Volume	ml (h) = $f-g$	558.2	550.0	556.8	548.5	554.1	555.1	552.3	557.5
Bulk Density	gm/ml (i) = e/h	2.244	2.276	2.249	2.267	2.262	2.253	2.268	2.254
Average Density			2.259				2.259		
VOIDS ANALYSIS									
Volume AC	% Total (j) = $c * i / Gac$		9.9				9.9		
Volume Agg.	% Total (k) = $(100-b)*i/Gag$		81.6				81.6		
VMA	% (l) = $100-k$		18.4				18.4		
Air Voids	% (m) = $l-j$		8.5				8.5		
VFB	% (n) = $100*j/l$		53.8				53.8		
STABILITY									
Meas.	Lbs	11830	10500	11960	10760	11860	12470	12270	12500
Adjust	Lbs	10530	9350	10640	9580	10560	11100	10920	11130
Average Stability			10030				10930		
FLOW									
Meas.	1/100"	16	15	15	15	12	12	11	11
Average Flows			15				12		
Strength Index (%)	$\frac{\text{Soaked Stability} * 100}{\text{Unsoaked Stability}} = \frac{10030}{10930} \times 100 = 91.8 \%$								

สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ

อันดับการทดลองที่

AC - 206/2/2564

ชั้น

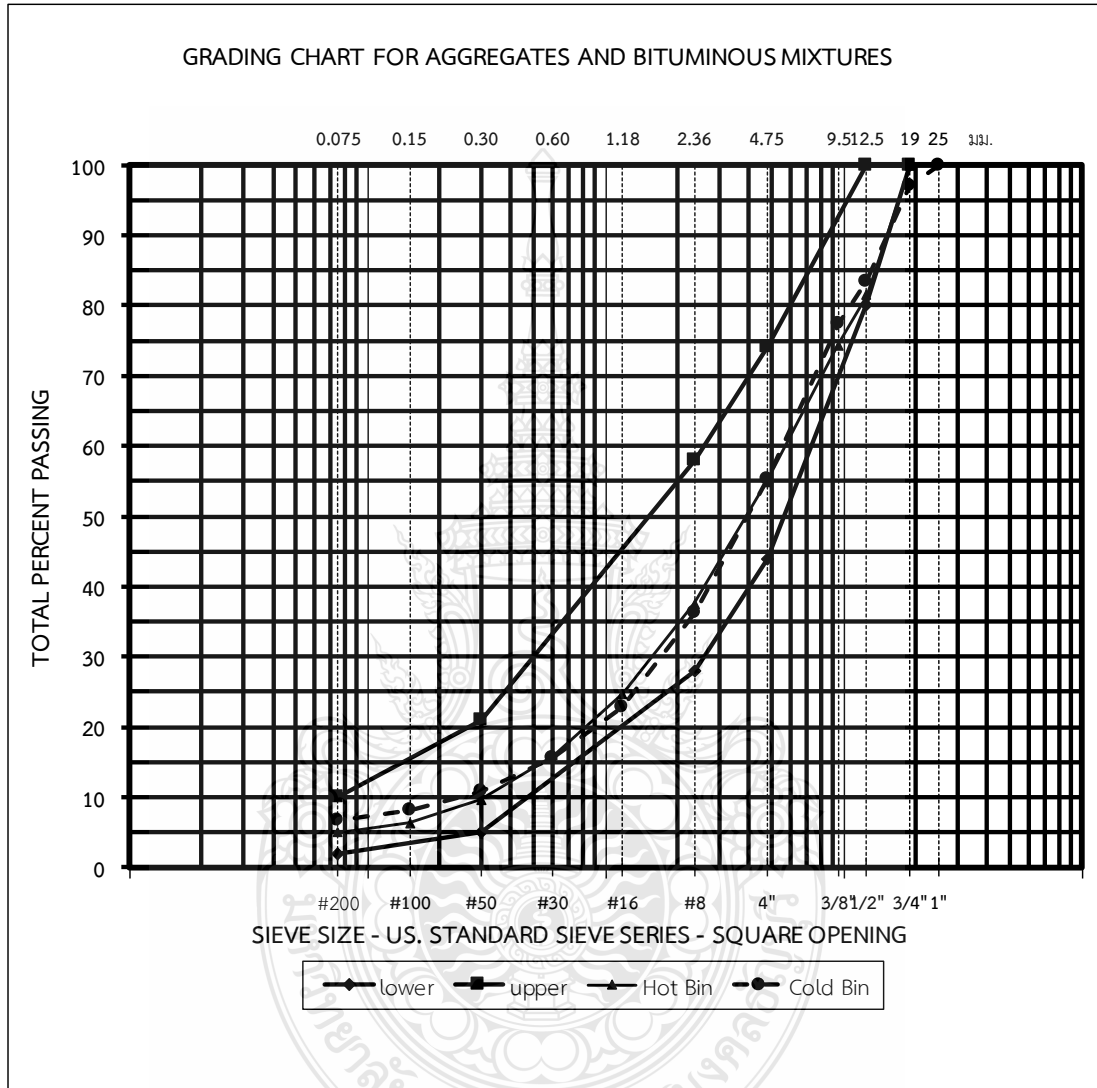
Wearing Course

โครงการฯ งานจ้างเหมาทำการ รหัสงาน 22200 งานเสริมผิวแอสฟัลต์ ทล. 3224 ตอน บ้านป่า - ท่าคล้อ

เจ้าหน้าที่ทดลอง นายอภิชาติ นวนวนาค

วันที่ทดลอง

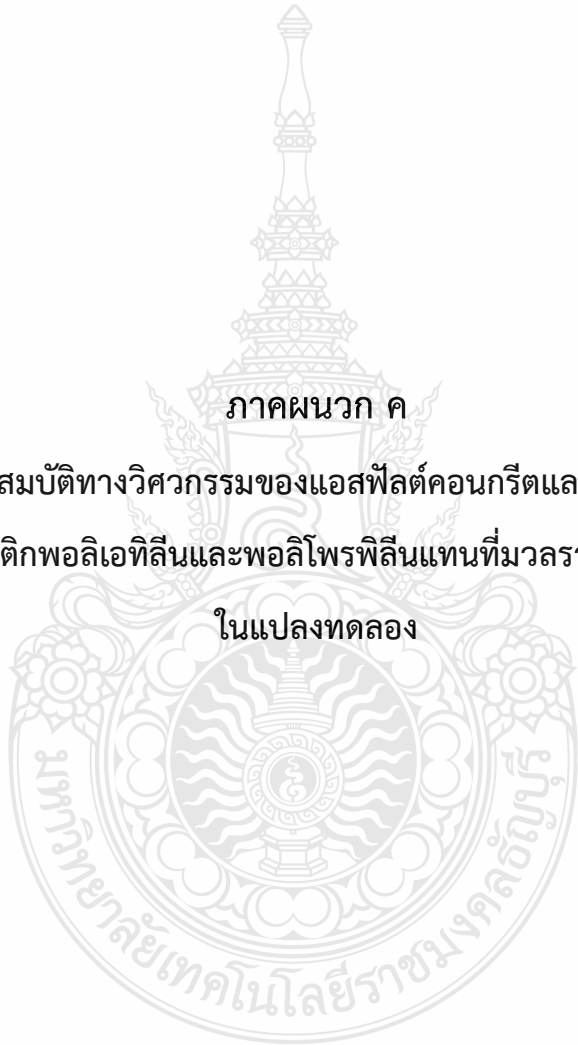
6 ส.ค. 2564



ภาคผนวก ค

ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตและแอสฟัลต์คอนกรีต
ผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน

ในแปลงทดลอง



ตารางที่ ค.1 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ก่อนการบดอัดในสนามและ
หลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+000 – 6+500 LT.

Description	Job Mix	Lab.	Field	Gradation (%Passing)			
	Tolerance			Sieve	Job Mix	Extracted Agg.	
	AC	MS Test	C. Test	Sizes	Tolerance	Lab	Field
%AC by Mass of Agg.	5.0±0.3%	4.98	4.97	3/4"	100	100	100
Density (gm/ml)	2.368-2.385	2.374	2.329	1/2"	77 – 87	82.1	81.5
Air Voids (%)	4.1	4.2	6.1	3/8"	69 - 79	75.2	74.9
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14.7	16.3	# 4	50 – 60	56.1	56.5
Voids Filled with Bitumen (%)	71.9	71.4	62.6	# 8	33 – 43	36.9	36.1
Stability = S (lb)	2,170	2,160	-	# 16	21 – 29	23.2	24.0
Flow = F (0.01")	12	12	-	# 30	12 – 20	15.4	15.0
S/F (lb/0.01")	181	180	-	# 50	6 – 14	8.1	8.7
Thickness (cm) Avg. 5 cm	-	-	5.1	# 100	5 – 9	6.2	5.9
%Compaction > 98	-	-	98.1	# 200	4 - 6	4.1	4.3
Remarks	Acceptance	Usable	Usable				

หมายเหตุ Lab. คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนการบดอัดในสนาม

Field คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตหลังการบดอัดในสนาม



ตารางที่ ค.2 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต ก่อนการบดอัดในสนามและ
หลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+000 – 6+500 RT.

Description	Job Mix	Lab.	Field	Gradation (%Passing)			
	Tolerance			Sieve	Job Mix	Extracted Agg.	
	AC	MS Test	C. Test	Sizes	Tolerance	Lab	Field
%AC by Mass of Agg.	5.0±0.3%	4.98	4.96	3/4"	100	100	100
Density (gm/ml)	2.368-2.385	2.372	2.329	1/2"	77 – 87	83.0	83.7
Air Voids (%)	4.1	4.4	6.1	3/8"	69 – 79	76.2	75.9
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14.8	16.3	# 4	50 – 60	55.4	56.1
Voids Filled with Bitumen (%)	71.9	70.3	62.6	# 8	33 – 43	37.5	37.4
Stability = S (lb)	2,170	2,170	-	# 16	21 – 29	22.4	21.8
Flow = F (0.01")	12	12	-	# 30	12 – 20	14.8	14.1
S/F (lb/0.01")	181	181	-	# 50	6 – 14	8.4	9.0
Thickness (cm) Avg. 5 cm	-	-	5.0	# 100	5 – 9	5.9	5.6
%Compaction > 98	-	-	98.2	# 200	4 – 6	4.4	4.2
Remarks	Acceptance	Usable	Usable				

หมายเหตุ Lab. คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนการบดอัดในสนาม

Field คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตหลังการบดอัดในสนาม



ตารางที่ ค.3 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ก่อนการบดอัดในสนามและหลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+500 – 7+000 LT.

Description	Job Mix	Lab.	Field	Gradation (%Passing)			
	Tolerance			Sieve	Job Mix	Extracted Agg.	
	AC	MS Test	C. Test	Sizes	Tolerance	Lab	Field
%AC by Mass of Agg.	5.0±0.3%	4.97	4.96	3/4"	100	100	100
Density (gm/ml)	2.355-2.372	2.361	2.316	1/2"	77 – 87	81.4	80.8
Air Voids (%)	4.2	4.4	6.2	3/8"	69 – 79	74.8	74.6
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14.7	16.3	# 4	50 – 60	55.2	55.6
Voids Filled with Bitumen (%)	71.2	70.1	70.0	# 8	33 – 43	37.1	36.3
Stability = S (lb)	3,030	3,000	-	# 16	21 – 29	23.5	24.3
Flow = F (0.01")	12	12	-	# 30	12 – 20	15.1	14.8
S/F (lb/0.01")	253	250	-	# 50	6 – 14	8.3	8.8
Thickness (cm) Avg. 5 cm	-	-	5.1	# 100	5 – 9	6.0	5.6
%Compaction > 98	-	-	98.1	# 200	4 – 6	4.3	4.4
Remarks	Acceptance	Usable	Usable				

หมายเหตุ Lab. คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนการบดอัดในสนาม

Field คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตหลังการบดอัดในสนาม



ตารางที่ ค.4 ผลการทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมขยะพลาสติกพอลิเอทิลีน และพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วน ก่อนการบดอัดในสนามและหลังการบดอัดในสนามที่ กม. 6+500 – 7+000 RT.

Description	Job Mix	Lab.	Field	Gradation (%Passing)			
	Tolerance			Sieve	Job Mix	Extracted Agg.	
	AC	MS Test	C. Test	Sizes	Tolerance	Lab	Field
%AC by Mass of Agg.	5.0±0.3%	4.98	4.96	3/4"	100	100	100
Density (gm/ml)	2.355-2.372	2.362	2.317	1/2"	77 – 87	82.3	82.8
Air Voids (%)	4.2	4.3	6.2	3/8"	69 – 79	75.8	75.4
Voids in Mineral Aggregate (%)	14.6	14.6	16.3	# 4	50 – 60	54.5	55.2
Voids Filled with Bitumen (%)	71.2	70.5	70.0	# 8	33 – 43	37.7	37.6
Stability = S (lb)	3,030	3,020	-	# 16	21 – 29	22.7	22.1
Flow = F (0.01")	12	12	-	# 30	12 – 20	14.5	14.1
S/F (lb/0.01")	253	252	-	# 50	6 – 14	8.6	8.7
Thickness (cm) Avg. 5 cm	-	-	5.1	# 100	5 – 9	5.7	5.4
%Compaction > 98	-	-	98.1	# 200	4 – 6	4.5	4.4
Remarks	Acceptance	Usable	Usable				

หมายเหตุ Lab. คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนการบดอัดในสนาม

Field คือ การตรวจสอบแอสฟัลต์คอนกรีตหลังการบดอัดในสนาม



ภาคผนวก ง

หนังสือตอบรับผลงานตีพิมพ์เผยแพร่





ที่ อว 7101.13/204

มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ
1518 ถนนประชากรราษฎร์ 1 แขวงวงศ์สว่าง
เขตบางซื่อ กรุงเทพมหานคร 10800

5 พฤษภาคม 2565

เรื่อง รับบทความเพื่อตีพิมพ์ในวารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

เรียน รองศาสตราจารย์นิรชร นกแก้ว

ตามที่ท่านได้ส่งบทความวิจัยเรื่อง การใช้ขยะพลาสติกพอลิเอทิลีนและพอลิโพรพิลีนแทนที่มวลรวมละเอียดบางส่วนในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต นั้น กองบรรณาธิการวารสารได้พิจารณา ยอมรับบทความดังกล่าว และให้จัดพิมพ์ลงในวารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ ปีที่ 34 ฉบับที่ 2 เดือนเมษายน-มิถุนายน 2567

จึงเรียนมาเพื่อโปรดทราบ และหวังเป็นอย่างยิ่งว่าจะได้รับความร่วมมือจากท่านในการส่งบทความ เพื่อพิมพ์ลงในวารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือต่อไป

ขอแสดงความนับถือ

(รองศาสตราจารย์ ดร.มนตรี ศิริปรัชญานันท์)

รองหัวหน้ากองบรรณาธิการวารสาร

กองส่งเสริมวิชาการ

โทร. 0 2555 2238

โทรสาร. 0 2555 2236





ประวัติผู้เขียน

ชื่อ-สกุล	นายวิกานต์ เรือนสุข
วัน เดือน ปีเกิด	30 พฤศจิกายน 2528
ที่อยู่	14 หมู่ 11 ตำบลหนองปรือ อำเภอลำลูกกา จังหวัดกาญจนบุรี 71210
การศึกษา	ปริญญาตรี คณะวิศวกรรมศาสตร์ สาขาวิศวกรรมอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยเกษมบัณฑิต วิทยาเขตร่มเกล้า (กรุงเทพฯ) ปริญญาตรี คณะวิทยาศาสตร์ สาขาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมก่อสร้าง มหาวิทยาลัยราชภัฏเชียงใหม่ (เชียงใหม่)
ประสบการณ์ทำงาน	วิศวกรภาคสนาม บริษัท โซคตีวิศวกรรม จำกัด
เบอร์โทรศัพท์	08-6935-8048
อีเมล	wikarn_r@mail.rmutt.ac.th

