SWU Engineering Journal (2016) 11(1), 28-37
วารสารวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ
ปีที่ 11 ฉบับที่ 1 เดือน มกราคม – มิถุนายน พ.ศ. 2559

สมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์เมื่อใช้ปริมาณวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ต่างกัน

Physical Properties of Asphalt Concrete by Marshall Test Using Different Reclaimed Asphalt Pavement Content

นิรชร นกแก้ว[1]* ดำรงค์ ปาละกูล[2]
[1]ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี
39 หมู่ที่ 1 ถ.รังสิต-นครนายก ต.คลองหก อ.ธัญบุรี จ.ปทุมธานี 12110
*Corresponding author: E-mail: nirachorn.n@en.rmutt.ac.th
[2]ส่วนออกแบบและตรวจสอบผิวทางแอสฟัลต์ สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง
2/486 ถ.ศรีอยุธยา เขตราชเทวี กรุงเทพฯ 10400
E-mail: damm_ong@hotmail.com

บทคัดย่อ

บทความนี้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์เมื่อใช้ปริมาณวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) ต่างกัน โดยใช้วัสดุมวลรวมหินปูนจำนวน 1 แหล่ง ปริมาณ RAP ไม่คัดแยกขนาดร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 ของมวลรวม ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด 60-70 เท่ากับร้อยละ 5 ของมวลรวม โดยใช้วิธีมาร์แชลล์และเกณฑ์ชั้น Binder Course ขนาด 19.0 มิลลิเมตร ผลการศึกษาพบว่า แอสฟัสต์คอนกรีตที่ใช้ RAP ไม่คัดแยกขนาด มีค่าความหนาแน่น 2.397 ถึง 2.402 กรัมต่อมิลลิลิตร ช่องว่างอากาศร้อยละ 3.9 ถึง 4.0 ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมร้อยละ 14.6 ถึง 14.7 ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ร้อยละ 73.3 ถึง 72.8 เสถียรภาพ 2,310 ถึง 2,260 ปอนด์ และค่าการไหล 12 ถึง 15 นอกจากนี้พบว่า เมื่อใช้ปริมาณ RAP ไม่คัดแยกขนาดอยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 40 ของมวลรวมทำให้ได้คุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตเป็นไปตามข้อกำหนดของสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน Asphalt Hot-Mix Recycling

คำสำคัญ: วัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต
อัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

ABSTRACT

This article aims to study the physical properties of asphalt concrete by Marshall Test using different reclaimed asphalt pavement (RAP) content. The experimental design detailed in this study included the use of one limestone aggregate source, no separation of RAP such as 10, 20, 30, 40, 50, 60 and 70 percent by mass of aggregate, asphalt cement (AC 60-70) at 5 percent by mass of aggregate.

The research methodology used Marshall Test and binder course 19.0 mm in laboratory conditions. The study found that RAP had a density of 2.397 to 2.402 g/ml, air voids of 3.9 to 4.0 percent, voids in mineral aggregate of 14.6 to 14.7 percent, voids filled with bitumen of 73.3 to 72.8 percent, stability of 2,310 to 2,260 lbs and flow of 12 to 15. Furthermore, when using the amount of no separation of RAP in the range of 10 to 40 percent by mass of aggregate had job mix formula properties to meet the requirements of Asphalt Hot-Mix Recycling.

Keywords: reclaimed asphalt pavement, asphalt concrete mix design, mix proportion asphalt concrete

1. บทนำ

ในอดีตการซ่อมแซมบูรณะถนนในแต่ละสายทางนั้น จะขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมโดยการขูดไส (Mill) และนำไปกองเก็บไว้ภายในเขตทางหรือในพื้นที่ที่รับผิดชอบของกรมทางหลวงซึ่งต้องใช้พื้นที่ในการกองเก็บวัสดุหรือนำวัสดุชั้นผิวทางเดิมไปใช้ในงานลักษณะอื่นอย่างไม่คุ้มค่า การซ่อมแซมบูรณะถนนใหม่จะต้องใช้วัสดุมวลรวมใหม่จากแหล่งผลิตที่มีคุณภาพเสมอ ทำให้วัสดุมวลรวมซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่มีปริมาณลดลงอย่างรวดเร็ว มีผลกระทบโดยตรงทั้งด้านสังคม เศรษฐกิจและสิ่งแวดล้อม ปัจจุบันการก่อสร้างถนนได้มีการนำเอาวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement, RAP) ซึ่งเป็นวัสดุที่ได้จากการขุดรื้อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมโดยใช้หัวกัด (Milling Drum) ขนาดคละของวัสดุชั้นผิวทางเดิมที่ได้จะขึ้นอยู่กับความเร็วในการเดินชุดเครื่องจักรและสภาพของหัวกัดโดยการขูดไส (Mill) ผิวทางเดิมออก เพื่อเป็นการใช้ประโยชน์จากวัสดุชั้นผิวทางเดิมเป็นส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตอย่างคุ้มค่า การหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมมาใช้งานใหม่สามารถทำได้ 2 วิธีคือ วิธีแรกเป็นการนำเอาวัสดุไปผสมใหม่ที่โรงงานผลิต (In-Plant Recycling) และวิธีที่สองเป็นวิธีการหมุนเวียนวัสดุแบบในที่ (In-Place Recycling) [1] ซึ่งวิธีนี้มีข้อดีอันสำคัญคือ สามารถรื้อถอนวัสดุชั้นทางและทำการปรับปรุงหรือผสมใหม่ในที่ก่อสร้างได้ทันที ทำให้ลดเวลาและค่าใช้จ่ายในการขนส่งวัสดุ ในทางปฏิบัติการนำวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่นั้นจำเป็นต้องมีการออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อหาปริมาณของวัสดุชั้นผิวทางเดิมที่มากที่สุดในอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสม ก่อนที่จะนำไปดำเนินการก่อสร้างชั้นทางให้มีประสิทธิผลต่อไป อัตราส่วนผสม (Mix Proportion) ที่แตกต่างกันของปริมาณ RAP ในแอสฟัลต์คอนกรีตจะทำให้ได้สมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตแตกต่างกันโดยเฉพาะอย่างยิ่งมวลรวมผสม (Combined Gradation) จะมีผลต่อสมบัติทางกายภาพในการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ในงานวิจัยของ Kai Su และคณะ [2] ได้ศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่นำกลับมาใช้ใหม่ โดยส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปราศจาก RAP จะใช้เป็นส่วนผสมที่ควบคุมสมบัติชั้นทางที่จะทำการทดสอบในห้องปฏิบัติการประกอบด้วยปริมาณของ RAP ที่ร้อยละ 0, 40 และ 70 งานวิจัยนี้พบว่า วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ปริมาณร้อยละ 40 ใช้ออกแบบเป็นชั้นผิวทางในห้องปฏิบัติการและจากการทดลองของสนามบินมีสมบัติใกล้เคียงกันกับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปราศจาก RAP ในทางตรงกันข้ามวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่

ปริมาณร้อยละ 70 ไม่สามารถเสนอรับรองสมบัติด้านความล้าของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตได้ เมื่อเปรียบเทียบกับแอสฟัลต์คอนกรีตปกติ Feipeng Xiao และคณะ [3] ได้ศึกษาสมบัติทางวิศวกรรมของขนาดของเศษยาง (Crump Rubber Size) และอิทธิพลของส่วนผสมของ RAP ประเภทต่าง ๆ การออกแบบการทดลองประกอบด้วย การใช้ขนาดของเศษยางจำนวน 3 ขนาด และประเภทของยาง 2 ชนิดคือ ambient หรือ cryogenic ในส่วนผสมที่มี RAP เท่ากับร้อยละ 25 งานวิจัยนี้พบว่า การเพิ่มของเศษยางทำให้ค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมในการออกแบบส่วนผสมซูเปอร์เพฟมีความต้านทานต่อการเกิดร่องล้อเพิ่มขึ้นโดยไม่คำนึงถึงขนาดและชนิดของเศษยาง ในทางตรงกันข้ามค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อมไม่แสดงค่าที่สำคัญต่อส่วนผสมของการใช้ขนาดของเศษยางทั้ง 3 ขนาด อย่างไรก็ตามการเพิ่มขนาดของยาง การไม่คำนึงถึงชนิดของยางเป็นการลดค่าโมดูลัสคืนตัว แต่จะเป็นการยืดเวลาของการเกิดของส่วนผสมที่ได้รับการปรับปรุง Gonzalo Valde's และคณะ [4] ได้รายงานผลของพฤติกรรมทางกลของส่วนผสมแอสฟัลต์ที่มีอัตราส่วนของ RAP ที่สูง ส่วนผสมมีความหนาแน่นเป็นครึ่งหนึ่งตามขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวมมี 2 ขนาดคือ 12 และ 20 มิลลิเมตร และบรรจุ RAP เท่ากับร้อยละ 40 และ 60 ตามลำดับ ซึ่งสอดคล้องตามข้อกำหนดของสเปน สมบัติทางกลจากการศึกษาเป็นการหาค่า Stiffness Modulus และความต้านทานแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) และพฤติกรรมการแตกร้าวและความต้านทานต่อความล้า สรุปได้ว่า อัตราของ RAP ที่สูงทำให้การรวมเข้ากันได้ดีในส่วนผสมแอสฟัลต์โดยมีสมบัติที่เหมาะสม

ปัจจุบันกรมทางหลวงยังใช้ข้อกำหนดการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์สำหรับควบคุมวัสดุมวลรวมผสมให้อยู่ในช่วงค่าขีดจำกัดต่ำสุดและสูงสุด ซึ่งเป็นค่าร้อยละของวัสดุมวลรวมที่ผ่านแต่ละขนาดตะแกรงที่กำหนดตามลักษณะของชั้นทาง เช่น ผิวทาง (Wearing Course และ Binder Course) พื้นทาง (Base Course) และไหล่ทาง (Shoulder Course) ในทางปฏิบัติการออกแบบส่วนผสมเฉพาะงาน (Job Mix Formula) จะต้องอาศัยประสบการณ์ของผู้ออกแบบในการกำหนดอัตราส่วนผสม (Mix Proportion) เพื่อให้มวลรวมผสมอยู่ในข้อกำหนด [5]

ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตเมื่อใช้ปริมาณวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ต่างกัน โดยมีค่าช่องว่างอากาศใกล้เคียงหรือเท่ากับร้อยละ 4 ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542 [6] ที่มีผลต่อคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อให้สามารถกำหนดอัตราส่วนผสมไว้เป็นแนวทางแนะนำต่อผู้ออกแบบในการพิจารณาเลือกขนาดคละของวัสดุมวลรวมผสมที่มีปริมาณของ RAP ที่เหมาะสมที่สุดและดำเนินการก่อสร้างชั้นทางในการใช้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อให้ได้งานผิวทางที่มีคุณภาพดียิ่งขึ้นและทำให้มีการนำวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่มาใช้ในงานก่อสร้างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเพิ่มมากขึ้น หากพิจารณาประโยชน์จากการใช้วัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ (RAP) ย่อมส่งผลโดยตรงต่อการลดลงของปริมาณการใช้วัสดุมวลรวมจากธรรมชาติ นอกจากนี้ยังสามารถลดต้นทุนในการผลิตรวมทั้งสามารถแก้ปัญหาการกำจัดของเสียและช่วยประหยัดพลังงานโดยรวมของประเทศ อาทิเช่น พลังงานที่ใช้ในการขนส่งวัสดุมวลรวมจากแหล่งผลิตตามธรรมชาติ พลังงานที่ใช้ลำเลียงวัสดุผิวทางที่ใช้งานแล้ว พลังงานที่ใช้ในการระเบิดภูเขาหินปูนและพลังงานที่ใช้ในการย่อยหินเพื่อผลิตวัสดุมวลรวม เป็นต้น นอกจากนี้ยังสามารถยืดระยะเวลาในการใช้ทรัพยากรที่มีอยู่อย่างจำกัดได้ยาวนานยิ่งขึ้นอีกด้วย

2. วิธีดำเนินการ

2.1 วัสดุที่ใช้ในการวิจัย

RAP ไม่ผ่านกระบวนการคัดแยกขนาด จำนวน 1 แหล่ง ในสายทางหลวงหมายเลข 106 ตอน อ.เถิน - อ.ลี้ RAP ผิวทางเดิมของโครงการฯ ตาก-ลำปาง ตอน 1 (ส่วนที่ 1)

วัสดุมวลรวมใช้หินปูน (Limestone) จากโรงโม่หิน 1 แหล่งคือ โรงโม่ลำปางบุญชัย ตั้งอยู่ที่ กม. 3+000 ด้าน RT. offset 50 ม.

แอสฟัลต์ซีเมนต์ใช้เกรด 60-70 ตามมาตรฐานวิธีการทดลอง [6]

2.2 ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างและตัวอย่างในการทดสอบ

เก็บตัวอย่างวัสดุมวลรวมหินปูนจากยุ้งหินร้อน (Hot Bin) ที่ได้จากการทำงานของโรงงานผสม (Plant) ทั้ง 4 ยุ้ง (4 Bins) และ RAP ในสายทางหลวงหมายเลข 106 ตอน อ.เถิน - อ.ลี้ ซึ่งเป็นวัสดุที่ปราศจากมวลรวมของชั้นทางด้านล่างที่ไม่ใช่แอสฟัลต์คอนกรีต สิ่งสกปรกและวัสดุไม่พึงประสงค์อื่นๆ ปะปน [5]

กำหนดอัตราส่วนผสม (Mix Proportion) เพื่อให้วัสดุมวลรวมผสม (Combined Gradation) อยู่ในเกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Binder Course ขนาด 19.0 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542 [5] และกำหนดใช้ปริมาณของ RAP เท่ากับร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 โดยมวลของวัสดุมวลรวม สัญลักษณ์ของขนาดคละของมวลรวมภายหลังการผสมจำนวน 7 อัตราส่วนผสมคือ RAP 10, RAP 20, RAP 30, RAP 40, RAP 50, RAP 60 และ RAP 70

2.3 ขั้นตอนการทดสอบ

หาขนาดคละของวัสดุมวลรวมและ RAP ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ท.204/2516 [6] ดังตารางที่ 1 และให้มวลรวมผสมระหว่างขนาดคละของวัสดุมวลรวมและ RAP อยู่ในเกณฑ์กำหนดขนาดคละของมวลรวมภายหลังการผสม สำหรับชั้น Binder Course ขนาด 19.0 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542 [5] ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมหินปูนและ RAP

Sieve Size	% Passing				
	RAP	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin4
1”					100
3/4"	100			100	89.5
1/2"	98.8			70.6	5.4
3/8”	95.6		100	16.3	0.5
#4	71.7	100	17.3	1.7	
#8	48.4	65.8	1.1		
#16	33.6	41.1	0.8		
#30	25.0	27.9			
#50	19.8	20.8			
#100	16.3	15.8			
#200	14.0	11.1			

ทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ตามมาตรฐานการทดลองที่ ทล.-ท. 604/2517 [6] และใช้เกณฑ์กำหนดสำหรับชั้น Binder Course ขนาด 19.0 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542 [5]

การเตรียมก้อนตัวอย่างตามวิธีมาร์แชลล์ เพื่อหาขนาดคละที่เหมาะสมทั้ง 7 อัตราส่วนผสม เพื่อให้ได้ช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 4 ดังตารางที่ 3 โดยใช้ปริมาณแอสฟัลต์เท่ากับร้อยละ 5 โดยมวลของวัสดุมวลรวม [7] และเตรียมตัวอย่างของอัตราส่วนผสมอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง

ตารางที่ 2 ขนาดคละของมวลรวมภายหลังการผสม

ขนาดที่ใช้เรียก มิลลิเมตร	19.0
(นิ้ว)	(3/4)
สำหรับชั้นทาง	Binder Course
ความหนา มิลลิเมตร	40 - 80
ขนาดตะแกรง	ปริมาณผ่านตะแกรง ร้อยละโดยมวล
1”	100
3/4"	90 - 100
1/2"	-
3/8”	56 - 80
#4	35 - 65
#8	23 - 49
#16	-
#30	-
#50	5 - 19
#100	-
#200	2 - 8

ตารางที่ 3 ข้อกำหนดในการออกแบบ Recycled Asphalt Concrete

ชั้นทาง	
รายการ	Binder Course
Blows	75
Stability Min N	6672
lb	(1500)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)	8 - 16
Percent Air Voids	3 - 6
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.	13
Stability/Flow Min.	
N/0.25 mm	556
(lb/0.01 in.)	(125)
Percent Strength Index (Min.)	75

การบดทับก้อนตัวอย่างที่ได้จากการผสมส่วนผสมโดยบดทับด้านละ 75 ครั้ง ที่อุณหภูมิส่วนผสม 150 องศาเซลเซียส เมื่อก้อนตัวอย่างเย็นลงแล้ว จึงดันก้อนตัวอย่างออกจากแบบ (Mold) แล้วนำมาหาค่าความหนาแน่น เสถียรภาพ และค่าการไหล แล้ววิเคราะห์สมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตคือ Void Analysis ที่ได้ในแต่ละขนาดคละของมวลรวมผสม RAP ทั้ง 7 อัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวม 1 แหล่ง

การวิเคราะห์ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ทั้ง 6 ค่า ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เสถียรภาพและค่าการไหล ตามขนาดคละที่แตกต่างกันของวัสดุมวลรวมและใช้ RAP ผิวทางเดิม

3. ผลการทดลองและวิจารณ์ผล

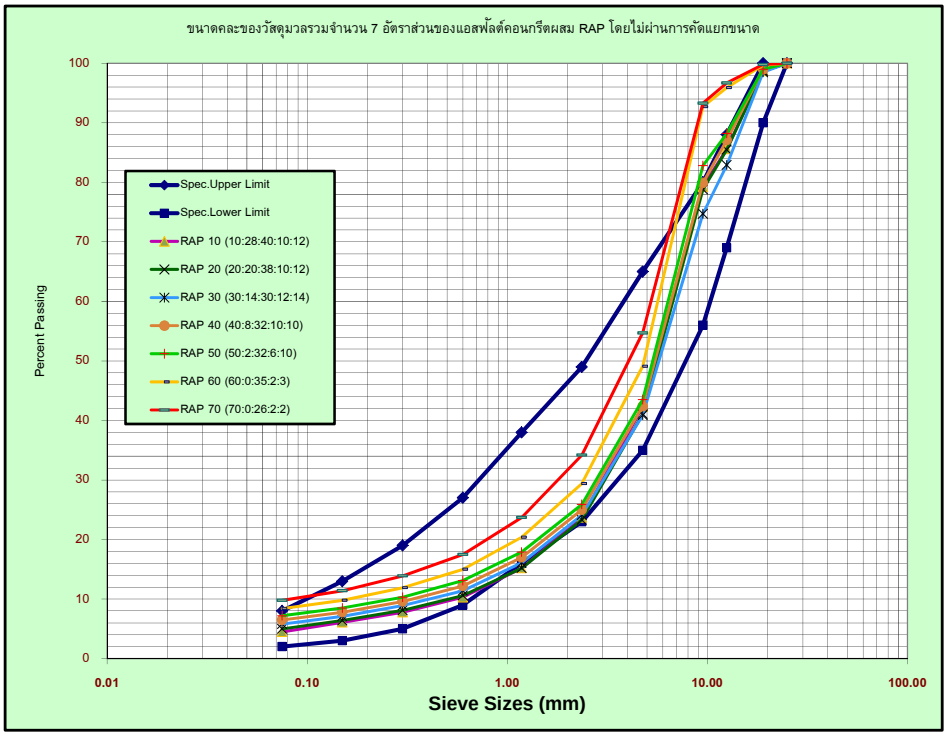
3.1 ผลการกำหนดขนาดคละของวัสดุมวลรวมจำนวน 7 อัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสม RAP

เมื่อพิจารณาที่ตะแกรงขนาด 3/8” ของอัตราส่วนผสม RAP 50, RAP 60 และ RAP 70 และที่ตะแกรงเบอร์ 200 ของอัตราส่วนผสม RAP 60 และ RAP 70 มวลรวมผสมมีปริมาณผ่านตะแกรงมากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดสำหรับชั้นทาง Binder Course ขนาด 19.0 มิลลิเมตร นั้น ดังรูปที่ 1 และตารางที่ 4 วัสดุมวลรวมที่มีขนาดคละทั้ง 7 อัตราส่วนผสมจะมีวัสดุมวลรวมของการเรียงขนาดคละที่มีส่วนหยาบมากที่สุดเรียงลำดับไปหาส่วนละเอียดมากที่สุดคือ RAP 30, RAP 20, RAP 10, RAP 40, RAP 50, RAP 60 และ RAP 70 ตามลำดับ เนื่องจากตัวอย่าง RAP ได้ผ่านกระบวนการรื้อขุดไสโดยวิธีตัดแบบเย็น (Cold Milling) ตามมาตรฐาน ทล.-ม. 410/2542 [5] จึงทำให้ขนาดคละของมวลรวมมีความละเอียดมากขึ้นกว่าเดิม

โดยเฉพาะปริมาณฝุ่นที่ตะแกรงเบอร์ 200 มากขึ้น ทั้งนี้ปริมาณส่วนละเอียดที่มากจะมีพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมมากขึ้น ที่ปริมาณแอสฟัลต์คงเดิมจะส่งผลให้การยึดเกาะระหว่างอนุภาคของเม็ดลดลง ทำให้ค่าความหนาแน่นมีแนวโน้มลดลง จึงไม่สามารถใช้ปริมาณร้อยละของ RAP ในปริมาณที่มากขึ้นได้ เพราะทำให้มวลรวมผสมไม่อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

3.2 ผลการออกแบบอัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตทั้ง 7 อัตราส่วนผสม โดยออกแบบอัตราส่วนผสมให้มีช่องว่างอากาศเท่ากับ ร้อยละ 4 และใช้ปริมาณแอสฟัลต์เท่ากับ ร้อยละ 5 โดยมวลของวัสดุมวลรวม

ผลการทดสอบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ทั้ง 6 ค่า ได้แก่ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เสถียรภาพและค่าการไหล ตามขนาดคละที่แตกต่างกันของวัสดุมวลรวมและใช้ RAP ผิวทางเดิมอยู่ในข้อกำหนดของการออกแบบ Recycled Asphalt Concrete พิจารณาจากตารางที่ 3 พบว่า ปริมาณของ RAP ใดๆ ทำให้ค่าความหนาแน่นมีค่าใกล้เคียงกัน ถึงแม้ว่าค่ามวลรวมผสมของ RAP 50, RAP 60 และ RAP 70 ที่ขนาดตะแกรง 3/8” และวัสดุมวลรวมผสมที่ RAP 60 และ RAP 70 ที่ขนาดตะแกรงเบอร์ 200 จะมีค่าเกินกว่าเกณฑ์ข้อกำหนด ปริมาณ RAP เพิ่มขึ้น จะทำให้ค่าเสถียรภาพมีค่าเพิ่มขึ้น ในทางกลับกันค่าการไหลจะมีค่าลดลง เนื่องมาจากวัสดุมวลรวมผสมที่มีปริมาณ RAP มาก จะมีระยะห่างระหว่างอนุภาคของวัสดุมวลรวมน้อย เพราะ RAP ที่ใช้ในงานวิจัยนี้ไม่ผ่านกระบวนการคัดแยกขนาดและเป็นวัสดุที่มีขนาดเม็ดเล็กมีปริมาณผ่านตะแกรงมาก โดยปกติแล้ววัสดุมวลรวมที่มีลักษณะเม็ดเป็นเหลี่ยม ผิวหยาบขรุขระ จะให้ค่าเสถียรภาพที่สูง แต่มีข้อควรคำนึงถึงคือ ค่าเสถียรภาพที่สูงมากเกินไปจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตแข็งเกินไป ขาดความยืดหยุ่นซึ่งอาจทำให้ผิวทางเสียหายได้ [8]



รูปที่ 1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมจำนวน 7 อัตราส่วนของแอสฟัลต์คอนกรีตผสม RAP โดยไม่ผ่านการคัดแยกขนาด

ตารางที่ 4 ผลการออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสม RAP จำนวน 7 อัตราส่วนผสม

Sieve Sizes		Combined (% Passing)							
		RAP 10	RAP 20	RAP 30	RAP 40	RAP 50	RAP 60	RAP 70	Desired [ตารางที่ 2]
1"		100	100	100	100	100.0	100	100	100
3/4"		98.7	98.7	98.5	99.0	99.0	99.7		90 - 100
1/2"		85.6	85.5	82.9	87.1	88.2	95.9	96.7	-
3/8"		79.3	78.8	74.7	79.9	82.8	92.7	93.3	56 - 80
#4		42.3	41.1	40.9	42.4	43.5	49.1	54.7	35 - 65
#8		23.7	23.3	24.1	25.0	25.9	29.4	34.2	23 - 49
#16		15.2	15.2	16.1	17.0	17.9	20.4	23.7	-
#30		10.3	10.6	11.4	12.2	13.1	15.0	17.5	-
#50		7.8	8.1	8.9	9.6	10.3	11.9	13.9	5 - 19
#100		6.1	6.4	7.1	7.8	8.5	9.8	11.4	-
#200		4.5	5.0	5.8	6.5	7.2	8.4	9.8	2 - 8
MIX PROPORTION	RAP	10	20	30	40	50	60	70	
	BIN 1	28	20	14	8	2	0	0	
	BIN 2	40	38	30	32	32	35	26	
	BIN 3	10	10	12	10	6	2	2	
	BIN 4	12	12	14	10	10	3	2	
Density		2.402	2.402	2.401	2.397	2.400	2.398	2.397	
Air Voids		3.9	3.9	3.9	4.0	3.9	3.9	3.9	
VMA		14.6	14.6	14.6	14.7	14.6	14.6	14.6	
VFB		73.3	73.3	73.3	72.8	73.3	73.3	73.3	
Stability		2,260	2,290	2,320	2,310	2,290	2,370	2,520	
Flow		15	13	12	12	10	9	11	

3.3 ผลการเปรียบเทียบสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ปริมาณ RAP ต่างกัน

พิจารณาขนาดคละของวัสดุมวลรวมที่มีมวลรวมผสมอยู่ภายในขีดจำกัดที่กำหนด (Desired Limit) โดยพิจารณาที่ตะแกรงขนาด 3/8” และเบอร์ 200 พบว่า ปริมาณ RAP 10 ถึง RAP 40 มีค่ามวลรวมผสมอยู่ในเกณฑ์ข้อกำหนดและผลการศึกษาสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งมีค่าทั้ง 6 ค่าคือ ความหนาแน่น ช่องว่างอากาศ ช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวม ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ เสถียรภาพ และค่าการไหล มีสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตสอดคล้องกับทฤษฎีคือ ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความหนาแน่นมากพอจะทำให้อายุการใช้งานยืนยาวและมีคุณภาพดี ผิวทางแอสฟัลต์ที่บดทับแล้วจำเป็นอย่างยิ่งที่จะต้องมีปริมาตรช่องว่างอากาศที่เพียงพอ ปริมาตรช่องว่างทั้งหมดที่มีอยู่ระหว่างเม็ดของวัสดุมวลรวมในแอสฟัลต์

คอนกรีตที่บดทับแล้ว ซึ่งรวมช่องว่างอากาศส่วนที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์มีปริมาตรเพียงพอทำให้ฟิล์มแอสฟัลต์ที่ห่อหุ้มผิววัสดุมวลรวมหนาจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีความคงทนต่ออายุการใช้งานได้ยืนยาวและเสถียรภาพแสดงถึงความสามารถในการรับน้ำหนักการจราจร [8] ซึ่งสมบัติที่กล่าวถึงนี้อยู่ในเกณฑ์กำหนดตามขนาดคละของมวลรวมภายหลังการผสมและข้อกำหนดในการออกแบบ Recycled Asphalt Concrete สำหรับชั้น Binder Course ขนาด 19.0 มิลลิเมตร ตามมาตรฐานของกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 410/2542 [5] ดังนี้

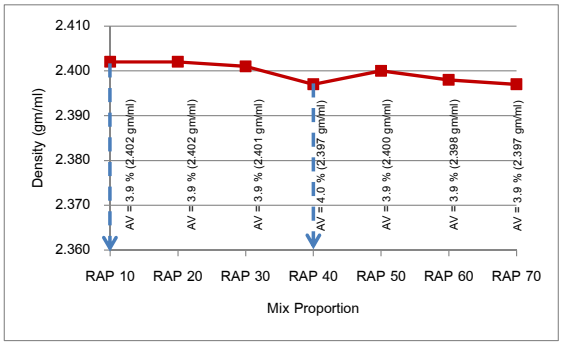
ค่าความหนาแน่นมีค่าอยู่ในช่วง 2.397 ถึง 2.402 กรัมต่อมิลลิลิตร ดังรูปที่ 2 ค่าช่องว่างอากาศมีค่าในช่วงร้อยละ 3.9 ถึง 4.0 ดังรูปที่ 3

ค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมมีค่าในช่วงร้อยละ 14.6 ถึง 14.7 ดังรูปที่ 4

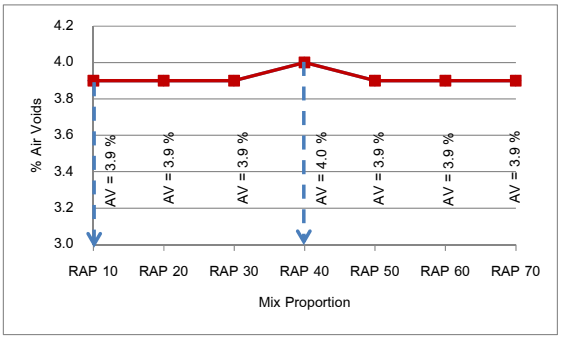
ค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์มีค่าในช่วงร้อยละ 73.3 ถึง 72.8 ดังรูปที่ 5

ค่าเสถียรภาพมีค่าในช่วง 2,310 ถึง 2,260 ปอนด์ ดังรูปที่ 6

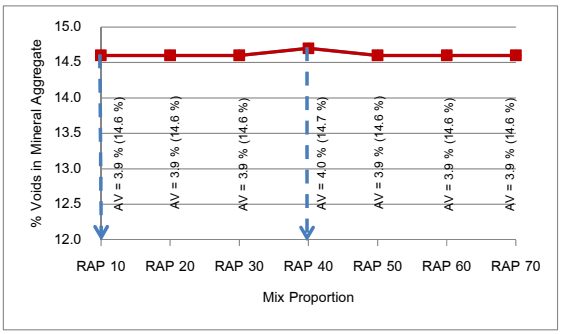
ค่าการไหลมีค่าในช่วง 12 ถึง 15 ดังรูปที่ 7



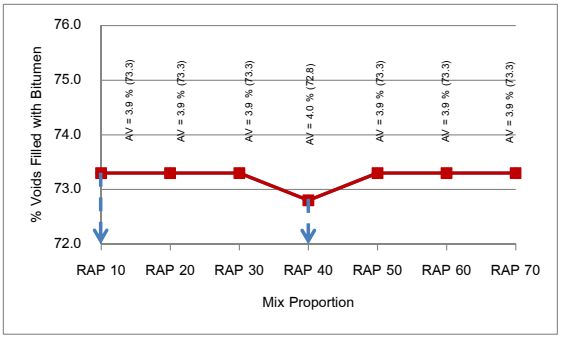
รูปที่ 2 เปรียบเทียบค่าความหนาแน่นที่อัตราส่วนผสม RAP 10 ถึง RAP 40



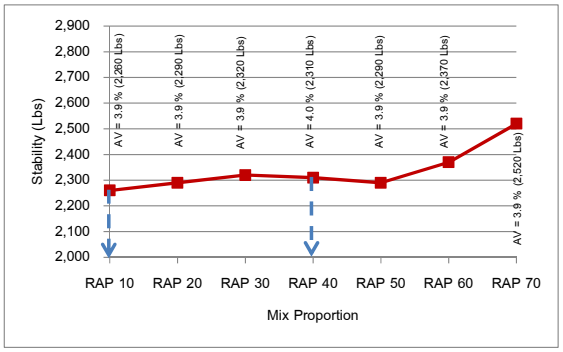
รูปที่ 3 เปรียบเทียบค่าช่องว่างอากาศที่อัตราส่วนผสม RAP 10 ถึง RAP 40



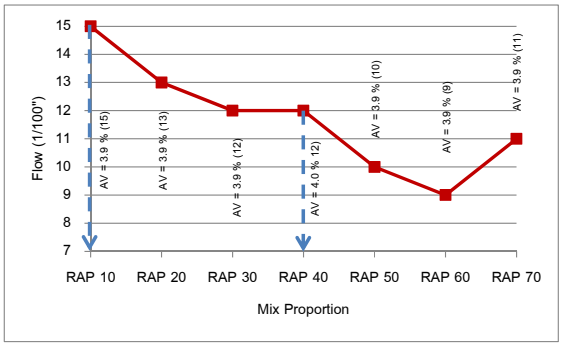
รูปที่ 4 เปรียบเทียบค่าช่องว่างระหว่างวัสดุมวลรวมที่อัตราส่วนผสม RAP 10 ถึง RAP 40



รูปที่ 5 เปรียบเทียบค่าช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ที่อัตราส่วนผสม RAP 10 ถึง RAP 40



รูปที่ 6 เปรียบเทียบค่าเสถียรภาพที่อัตราส่วนผสม RAP 10 ถึง RAP 40



รูปที่ 7 เปรียบเทียบค่าเสถียรภาพที่อัตราส่วนผสม RAP 10 ถึง RAP 40

5. สรุป

การนำวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ (RAP) ไม่คัดแยกขนาดในงานผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตนี้สามารถกำหนดปริมาณ RAP อยู่ในช่วงร้อยละ 10 ถึง 40 ของมวลรวม ซึ่งเป็นปริมาณ RAP และมีสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตได้ตามเกณฑ์มาตรฐานของชั้น Binder Course ซึ่งสามารถยอมรับได้ และปริมาณของวัสดุชั้นทางเดิมหมุนเวียนที่เหมาะสมที่สุดต่อการนำไปใช้งานเท่ากับร้อยละ 40 ของมวลรวม ทั้งนี้เพื่อให้สอดคล้องกับวัตถุประสงค์ของงานวิจัยนี้ และข้อมูลนี้ใช้เฉพาะกรณีของทางหลวงหมายเลข 106 ตอนอ.เถิน - อ.ลี้ เท่านั้น เนื่องจากเป็นการใช้ RAP ที่ไม่คัดแยกขนาด หากผู้ออกแบบจะศึกษาในสายทางอื่น ๆ ควรทำการทดสอบและเปรียบเทียบผลว่ามีลักษณะที่เหมือนหรือแตกต่างกันอย่างไร ข้อมูลที่ได้จากงานวิจัยนี้เป็นข้อมูลพื้นฐานในการศึกษาเพื่อเป็นแนวทางต่อผู้ออกแบบในการพิจารณาเลือกขนาดคละของวัสดุมวลรวมผสม

ในกรณีที่ RAP มีมวลรวมผสมเกินขีดจำกัดที่กำหนด ควรทำการคัดแยกขนาดของวัสดุมวลรวมส่วนที่ค้างตะแกรงที่มีช่องผ่านเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 22.225 มิลลิเมตร (7/8 นิ้ว) ทิ้ง และใช้ตะแกรงที่มีช่องเปิดเป็นสี่เหลี่ยมจัตุรัสขนาด 9.525 มิลลิเมตร (3/8 นิ้ว) เพื่อแยกขนาดคละของวัสดุมวลรวมส่วนที่ผ่านตะแกรงทิ้งแล้วศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตว่าเป็นไปตามข้อกำหนดของสูตรส่วนผสมเฉพาะงาน Asphalt Hot-Mix Recycling

นอกจากนั้นควรศึกษาพฤติกรรมทางด้านความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) ค่าโมดูลัสการคืนตัว (Resilient Modulus) และความต้านทานต่อการเปลี่ยนรูปอย่างถาวร (Creep) ทั้งกรณีที่ใช้ RAP แบบคัดแยกขนาดและไม่คัดแยกขนาดประกอบการพิจารณาเลือกใช้ปริมาณ RAP ให้สามารถใช้วัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ได้อย่างเหมาะสมต่อไป

6. กิตติกรรมประกาศ

บทความนี้เป็นส่วนหนึ่งในการวิจัยเรื่องการศึกษาเชิงทดลองของแอสฟัลต์คอนกรีตที่เปลี่ยนแปลงปริมาณวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ ซึ่งได้รับทุนสนับสนุนจากมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี เงินงบประมาณแผ่นดิน ประจำปีงบประมาณ 2558 ผ่านการพิจารณาโดยสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ คณะผู้วิจัยขอขอบคุณมา ณ โอกาสนี้

7. เอกสารอ้างอิง

[1] สำนักทางหลวงที่ 8 (นครราชสีมา) กรมทางหลวง. (2559, มี.ค. 26). *การบูรณะถนนลาดยางด้วยวิธีหมุนเวียนวัสดุชั้นทางเดิมกลับมาใช้งานใหม่แบบในที่โดยใช้โฟมแอสฟัลต์เป็นวัสดุผสมเพิ่ม*, [ระบบออนไลน์], แหล่งที่มา: http://www.doh.go.th/web/hwyorg61000/In-Place%20Recycling.htm

[2] K. Su, Y. Hachiya and R. Maekawa. “Study on recycled asphalt concrete for use in surface course in airport pavement,” *Resources Conservation and Recycling.,* vol. 54, pp. 37-44, 2009.

[3] F. Xiao, S. N. Amirkhanian, J. Shen and B. Pytman. “Influences of crumb rubber size and type on reclaimed asphalt pavement (RAP) mixtures,” *Construction and Building Materials.,* vol. 23, pp. 1028-1034, 2009.

[4] G. Valde’s, F. Perez-Jimenez, R. Miro, A. Martinez and R. Botella. “Experimental study of recycled asphalt mixtures with high percentages of reclaimed asphalt pavement (RAP),” *Construction and Building Materials.,* vol. 25, pp. 1289-1297, 2011.

[5] สำนักวิเคราะห์และตรวจสอบ กรมทางหลวง. *มาตรฐาน ข้อกำหนดและวิธีการทดลอง เพิ่มเติมและปรับปรุง ปี พ.ศ. 2542-2546.* กรุงเทพฯ: มปท.

[6] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. *มาตรฐานวิธีการทดลอง.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์องค์การรับส่งสินค้าและพัสดุภัณฑ์, (2543).

[7] สำนักวิเคราะห์วิจัยและพัฒนางานทาง กรมทางหลวง. *มาตรฐานงานทาง.* กรุงเทพฯ: โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย, (2539).

[8] นิรชร นกแก้ว. *การทดสอบวัสดุการทาง.* ครั้งที่ 4. กรุงเทพฯ: สำนักพิมพ์สมาคมส่งเสริมเทคโนโลยี (ไทย-ญี่ปุ่น), (2559).