View metadata, citation and similar papers at core.ac.uk

brought to you by CORE

การศึกษาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

พิชญาภรณ์ มาเจริญ[1*] และ วัฒนวงศ์ รัตนวราห[2]

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มุ่งเน้นศึกษาหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) จากอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่า (Reclaimed Asphalt Pavement; RAP) และวัสดุมวลรวมใหม่ในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่มีวัสดุผิวทางเก่า (RAP) เป็นส่วนผสม ผลการศึกษาพบว่าการลดอุณหภูมิในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ส่งผลให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม (OAC) มีค่าสูงขึ้นเนื่องจากการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดเพิ่มขึ้นความสามารถในการเคลือบอนุภาคมวลรวมของแอสฟัลต์ซีเมนต์จึงลดลงนอกจากนี้ยังพบว่าเมื่อใช้วัสดุผิวทางเก่าในสัดส่วนที่มากขึ้นสามารถทำให้วัสดุมีความหนาแน่น (Density) และค่าเสถียรภาพต่อการไหล (Marshall Quotient) มากขึ้น ในขณะที่ค่าการไหล (Flow) เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาค (VMA) และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) มีค่าลดลง แต่สำหรับค่าเสถียรภาพมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีการใช้วัสดุผิวทางเก่าแล้วลดลงเมื่อใช้วัสดุผิวทางเก่ามากกว่า 35% โดยสัดส่วนที่ทำให้ได้ค่าเสถียรภาพสูงสุดอยู่ในช่วงที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมเท่ากับ 20% ถึง 35% ซึ่งทำให้ได้ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมที่อยู่ในช่วง 4.5% ถึง 5%

คำสำคัญ: วิธีการผสมอุ่น, วัสดุผิวทางเก่า, วิธีการมาร์แชลล์, ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม

[1] นักศึกษาปริญญาโท สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[2] รองศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

[*] ผู้นิพนธ์ประสานงาน โทร. +668 9437 3515 อีเมล: m.pitchayaphorn@gmail.com

Technical Education Journal King Mongkut's University of Technology North Bangkok
Vol. 9 No. 2 May – August, 2018

A study of Optimum asphalt content in Warm-mix asphalt concrete with Reclaimed asphalt pavement

Pitchayaporn Macharoen[1*] and Vatanavongs Ratanavaraha[2]

Abstract

This research aims to determine the optimum asphalt content (OAC) for mixed virgin materials with reclaimed asphalt pavement (RAP) as the key parameter to be used for pavement design. The results of this research showed that OAC increases when reducing the mixing temperature. It is well known that the viscosity of asphaltic cement (AC) increases when the temperature is reduced resulting in the adhesion efficiency between AC and the aggregates decreasing which induces the OAC value to increase. Besides, the density and Marshall Quotient can be improved by increasing the RAP added. On the other hand, VMA, VFA and stability were reduced with increasing the amount of RAP. The range of the RAP that had higher stability is 20% to 35%, and then the range of the optimum asphalt content is 4.5% to 5%

Keywords: Warm-mix asphalt (WMA), Reclaimed asphalt pavement (RAP), Marshall Method, Optimum Asphalt Content

[1] Master Degree Graduate, School of Transportation Engineering, Suranaree University of Technology
[2] Associate Professor, School of Transportation Engineering, Suranaree University of Technology
[*] Corresponding Author Tel. +668 9437 3515 e-mail: m.pitchayaphorn@gmail.com

_18-1128(091-099)10.indd 92 12/11/61 BE 2:08 PM

1. บทนำ

การก่อสร้างผิวทางลาดยางแอสฟัลต์ (Asphalt Pavement) ที่นิยมใช้ในประเทศไทยคือ วิธีการผสมร้อน (Hot Mix Asphalt; HMA) โดยจะต้องใช้อุณหภูมิสูงในการให้ความร้อนกับยางแอสฟัลต์เพื่อเคลือบมวลรวม (Aggregate) ให้เป็นไปอย่างมีประสิทธิภาพ ซึ่งวิธีดังกล่าวนำไปสู่การปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกสู่ชั้นบรรยากาศในปริมาณมาก ประกอบกับในช่วง 2 ทศวรรษที่ผ่านมา ได้มีการตระหนักถึงผลของการปล่อยก๊าซคาร์บอนไดออกไซด์ที่มีผลทำให้เกิดสภาวะโลกร้อน โดยในปีค.ศ.2002 National Asphalt Pavement Association (NAPA) ได้นำวิธีการผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt; WMA) ซึ่งเป็นการลดอุณหภูมิในการผสมลงมาประยุกต์ใช้ในประเทศสหรัฐอเมริกา ซึ่งวิธีดังกล่าวถูกพัฒนาและใช้งานมาก่อนหน้านี้แล้วในแถบยุโรป วิธีการผสมอุ่นนี้ทำได้โดยการเติมสารผสมเพิ่ม (Additive) ลงในยางแอสฟัลต์เพื่อลดความหนืด ลดแรงเสียดทานของผิวยางแอสฟัลต์ หรือเพิ่มปริมาตรของยางแอสฟัลต์ โดยเป็นการเพิ่มความสามารถในเคลือบมวลรวม และเพิ่มความสามารถในการทำงานเมื่ออุณหภูมิลดลง [1] ซึ่งสารผสมเพิ่มสามารถแบ่งออกได้ 3 กลุ่มคือ Foaming technologies, Organic or Wax technologies และ Chemical additives [2]

นอกจากการลดการปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากกระบวนการผสมซึ่งเป็นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว วัสดุผิวทางเก่าที่ถูกรื้อออกจากกระบวนการซ่อมบำรุงก็ถูกนำมาใช้งานเป็นวัสดุหมุนเวียนได้อีกด้วยซึ่งนอกจากจะเป็นประโยชน์ด้านสิ่งแวดล้อมแล้ว วัสดุผิวทางเก่า (Reclaim Asphalt Pavement; RAP) นี้ยังสามารถลดการใช้วัสดุมวลรวมใหม่ได้ จึงเป็นการลดต้นทุนในการก่อสร้างโดยในช่วงเวลากว่า 20 ปีที่ผ่านมา Federal Highway Administration (FHWA) และ U.S. Environmental Protection Agency ได้ทำการประเมินปริมาณการนำวัสดุผิวทางเก่าในสหรัฐอเมริกามาใช้เป็นวัสดุหมุนเวียน พบว่ามีการนำวัสดุผิวทางเก่ามาใช้งานเป็นจำนวนมากกว่าร้อยละ 80 โดยประเมินจากวัสดุผิวทางเก่าที่มากกว่า 90 ล้านตัน [3] จากผลการศึกษาที่ผ่านมา แสดงให้เห็นว่าวัสดุผิวทางเก่าสามารถนำมาประยุกต์ใช้งานได้ ซึ่งโดยทั่วไปวัสดุผิวทางเก่าถูกนำกลับมาใช้งานเท่ากับ 20% ถึง 50% [4-5] ดังเช่น Rodrigo Miró et al. [6] ได้ทำการศึกษาคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุที่มีส่วนผสมของวัสดุผิวทางเก่าและได้แนะนำปริมาณการใช้ผิวทางเก่าเท่ากับ 30% ในขณะเดียวกัน Xiang Shu et al. และWalaa S. Mogawer et al. [7-8] ได้แนะนำปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่เหมาะสมว่ามีปริมาณมากกว่า 30% และ 40% ตามลำดับนอกจากการศึกษาในต่างประเทศแล้ว ในประเทศไทยก็มีการนำวัสดุผิวทางเก่ามาประยุกต์เข้ากับวิธีการผสมอุ่นเช่นกัน ดังเช่นการศึกษาของวรภัทร, ดิเรก และ ชยธันว์ [9] ที่ประยุกต์โฟมแอสฟัลต์มาใช้กับวัสดุชั้นทางเก่าที่สัดส่วนเท่ากับร้อยละ 0%, 50% และ 80% เพื่อพิจารณาการต้านทานต่อการล้าและการยุบถาวร แล้วพบว่าการผสมวัสดุผิวทางเก่าลงในส่วนผสมสามารถกระทำได้ถึงร้อยละ 50 โดยที่ความสามารถในการต้านทานต่อการล้าและการยุบถาวรของส่วนผสมไม่ได้เปลี่ยนแปลงมากนัก นอกจากนี้คมสัน, วัชรินทร์ และ วีรเกษตร [10] ได้ประยุกต์ใช้วัสดุผิวทางเก่าที่สัดส่วนเท่ากับ 0%, 20% และ 40% เข้ากับการผสมโดยใช้ความร้อนต่ำ (150 และ 130 องศาเซลเซียส) แล้วทำการทดสอบความต้านทานการยุบตัว พบว่าแนวโน้มค่าเสถียรภาพและความต้านทานการยุบตัวดีขึ้นเมื่อมีการผสมผิวทางเก่ามากยิ่งขึ้นจากงานวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่า วัสดุผิวทางเก่าสามารถนำกลับมาใช้งานได้อย่างมีประสิทธิภาพใกล้เคียงกับวัสดุตามธรรมชาติ

งานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นศึกษาหาปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสม (Optimum Asphalt Content; OAC) สำหรับอัตราส่วนผสมระหว่างวัสดุผิวทางเก่าและวัสดุมวลรวมใหม่ในอัตราส่วนต่าง ๆ โดยการไม่ใช้วัสดุผิวทางเก่า และการใช้วัสดุผิวทางเก่าเท่ากับ 20% 35% และ 50% เพื่อเป็นแนวทางในการออกแบบในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม

2. วัสดุและการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์

2.1 วัสดุมวลรวม

ในการศึกษานี้เลือกใช้วัสดุมวลรวมใหม่ชนิดหินปูน (Limestone) จากโรงโม่หินศิลาสากลพัฒนา จ.นครราชสีมา และวัสดุผิวทางเก่าชั้น Binder Course จากผิวทางลาดยางของถนนสาย ทล. 291 ตอนทางเลี่ยงเมือง

มหาสารคาม ช่วง กม.1+140 ถึงกม.2+209 คันทางด้านขวา จังหวัดมหาสารคาม ที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Content, %AC) เท่ากับ 3.38% แสดงดังรูปที่ 1 และรูปที่ 2 ตามลำดับ

รูปที่ 1 วัสดุมวลรวมใหม่ที่ใช้ในการศึกษา

รูปที่ 2 วัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในการศึกษา

2.2 แอสฟัลต์ซีเมนต์และสารผสมเพิ่ม

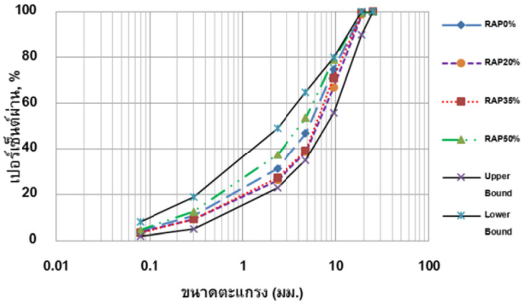
ในการศึกษานี้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท 60/70 จากบริษัททิปโก้แอสฟัลท์ จำกัด (มหาชน) และใช้สารผสมเพิ่ม ที่แตกต่างกัน 2 ชนิดคือ สารผสมเพิ่มที่มีลักษณะโฟม และสารผสมเพิ่มชนิดอินทรีย์ (Organic additive) ยี่ห้อAdvera® และ Sasobit® ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 3 โดยที่ Advera® มีลักษณะเป็นผงสีขาว ละเอียด มีน้ำหนักเบาได้มาจากกระบวนการสังเคราะห์ซีโอไลต์(โซเดียมอลูมิเนียมซิลิเกต) มีคุณสมบัติช่วยในการเพิ่มปริมาตรเมื่ออุณหภูมิลดลง [11] ในขณะที่ Sasobit® เกิดจากการสังเคราะห์ Fischer-Tropsch จากถ่านหินหรือแก๊สธรรมชาติเป็นเม็ดกลม สีขาวขุ่น มีขนาดประมาณ 5 มิลลิเมตร มีคุณสมบัติเด่นในการช่วยลดแรงเสียดทานของแอสฟัลต์ซีเมนต์เมื่ออุณหภูมิลดลง[12-13] ในการศึกษานี้ได้ทำการเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดในปริมาณที่แตกต่างกัน โดยทำการเติม Advera® และ Sasobit® เท่ากับ 0.25% และ 3% เมื่อเทียบกับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามคำแนะนำของผู้ผลิต [13] ลงในแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่อุณหภูมิ 150 องศาเซลเซียส

รูปที่ 3 สารผสมเพิ่มที่ใช้ในการทดสอบ

3. ขั้นตอนการศึกษา

3.1 การออกแบบอัตราส่วน

ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมระหว่างผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ชั้นทางที่ ทล.-ม.408/2532 ชั้นทาง Binder Course ขนาด ¾ นิ้ว [14] เป็นจำนวน 4 อัตราส่วนผสม ได้แก่ 0:100 20:80 35:65 และ 50:50 ซึ่งขนาดคละของส่วนผสมที่เป็นไปได้ เมื่อพิจารณาจากขอบเขตที่กำหนดตามมาตรฐาน แสดงดังรูปที่ 4



รูปที่ 4 แสดงอัตราส่วนผสมชั้นทาง Binder Course ขนาด ¾ นิ้ว

3.2 การออกแบบส่วนผสม

ขั้นตอนนี้เป็นการออกแบบส่วนผสมที่ใช้ในแต่ละอัตราส่วน ซึ่งประกอบไปด้วย วัสดุมวลรวมใหม่, วัสดุผิวทางเก่า และแอสฟัลต์ซีเมนต์ โดยใช้ข้อมูลจากปริมาณของวัสดุมวลรวมใหม่ตามอัตราส่วนที่กำหนด (100% 80% 65% และ 50%) ปริมาณแอสฟัลต์ที่มีอยู่ในวัสดุผิวทางเก่าที่ทราบจากวิธีการเผาในเตาอบ (Ignition Method) ตามมาตรฐาน ASTM D6307 Asphalt Content by Ignition Furnace และปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ ให้เป็นไปตามสมการ แสดงดังสมการที่ 1 ถึงสมการที่ 3 ตามลำดับ [15]

$$P_{nb} = \frac{\left(100^2 - rP_{sb}\right)Pb}{100\,(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_{sb}}{100 - P_{sb}} \qquad (1)$$

$$P_{sm} = \frac{100\left(100 - r\right)}{(100 - P_{sb})} - \frac{(100 - r)P_b}{100 - P_{sb}} \qquad (2)$$

$$P_{ns} = r - \frac{rP_b}{100} \qquad (3)$$

โดยที่

P_{nb} = ปริมาณแอสฟัลต์ใหม่ที่ต้องการเพิ่มลงในส่วนผสม

P_{sm} = ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในส่วนผสม

P_{ns} = ปริมาณมวลรวมใหม่ที่ต้องการในส่วนผสม

r = ปริมาณของมวลรวมใหม่ตามอัตราส่วนที่กำหนด

P_{sb} = ปริมาณแอสฟัลต์ที่มีอยู่ในวัสดุผิวทางเก่า

P_b = ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ต้องการ

จากสมการข้างต้นใช้คำนวณปริมาณการใช้แอสฟัลต์ใหม่ที่ต้องการเติมลงในส่วนผสม ปริมาณวัสดุผิวทางเก่าที่ใช้ในส่วนผสม และปริมาณมวลรวมใหม่ที่ใช้ในการผสมตามลำดับ

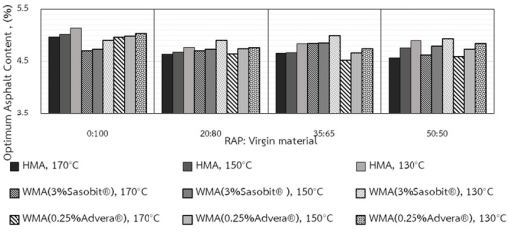
3.3 การออกแบบก้อนตัวอย่าง

ก้อนตัวอย่างถูกออกแบบให้เป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D6926 “Standard Practice for Preparation of Bituminous Specimens Using Marshall Apparatus” โดยมีความสูงเท่ากับ 64 มม. และมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 102 มม. [16] ในการศึกษานี้ได้จัดทำก้อนตัวอย่างขึ้นจากทั้งหมด 36 สูตรส่วนผสม (Job Mix Formula; JMF) จำแนกตาม 4 อัตราส่วนผสม ได้แก่ 0:100 20:80 35:65 และ 50:50 ซึ่งแต่ละอัตราส่วนถูกผสมที่อุณหภูมิที่แตกต่างกันโดยกำหนดให้ตัวอย่างที่ถูกผสมและบดอัดที่อุณหภูมิ 170 องศาเซลเซียส เป็นตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมร้อน (HMA) และตัวอย่างที่ถูกลดอุณหภูมิผสมและบดอัดลงให้เท่ากับ 150 องศาเซลเซียส และ 130 องศาเซลเซียส เป็นตัวอย่างที่ถูกผสมด้วยวิธีการผสมอุ่น (WMA) ทั้งนี้มีการใช้สารผสมเพิ่มที่แตกต่างกันทั้ง 2 วิธีการผสม

4. ผลการศึกษา

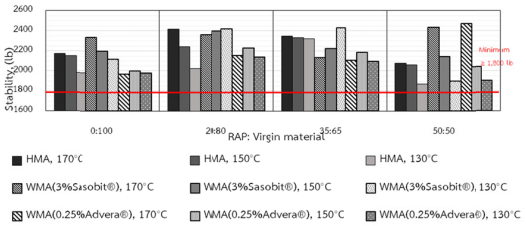
จากการทดสอบตัวอย่างที่ถูกบดอัดโดยวิธีมาร์แชลล์ โดยมีการกำหนดให้มีช่องว่างอากาศเท่ากับ 4% พบว่าเมื่อทดสอบคุณสมบัติตามหลักเกณฑ์การออกแบบตามมาตรฐานงานทาง (ทล.-ม.408/2532) [14] ของตัวอย่างทั้งหมด 36 สูตรส่วนผสม พบว่าผลการทดสอบจากทุก ๆ สูตรส่วนผสมมีค่ามากกว่าเกณฑ์ที่กำหนดไว้ และนอกจากนี้ยังพบว่า

4.1 เมื่ออุณหภูมิการผสมลดลง ส่วนผสมต้องการใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ในปริมาณที่สูงขึ้น เนื่องจากอุณหภูมิดังกล่าวส่งผลต่อความหนืดของแอสฟัลต์ซีเมนต์ จึงต้องใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ที่มากขึ้นในการเคลือบมวลรวม โดยปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมของแต่ละสูตรส่วนผสมมีปริมาณที่แตกต่าง แสดงดังรูปที่ 5



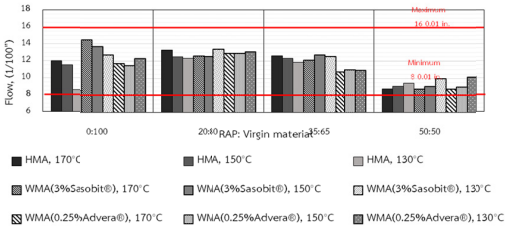
รูปที่ 5 ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.2 เมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพ พบว่าการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 20%-35% ให้แนวโน้มค่าเสถียรภาพสูงกว่าการใช้ผิวทางเก่า 50% และการไม่ใช้ผิวทางเก่า แสดงดังรูปที่ 6



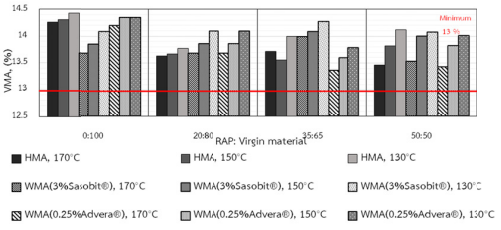
รูปที่ 6 ค่าเสถียรภาพของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.3 เมื่อพิจารณาค่าการไหล พบว่าเมื่อใช้วัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม 20% ทำให้ค่าการไหลสูงกว่าการไม่ใช้ผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม แต่แนวโน้มค่าการไหลลดลงเมื่อใช้วัสดุผิวทางเก่ามากขึ้น แสดงดังรูปที่ 7



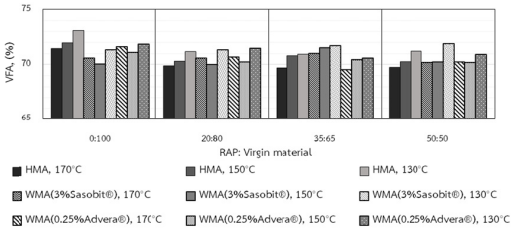
รูปที่ 7 ค่าการไหลของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.4 เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาค (VMA) พบว่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคของวัสดุที่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมีค่าต่ำกว่าการไม่ใช้ผิวทางเก่า อีกทั้งยังลดลงเมื่ออุณหภูมิผสมเพิ่มมากขึ้น เนื่องจากที่การให้อุณหภูมิในการผสมสูงส่งผลต่อประสิทธิภาพในการเคลือบผิวมวลรวมและการดูดซึมเข้าไปในช่องว่างในอนุภาคสูงตามไปด้วย แสดงดังรูปที่ 8



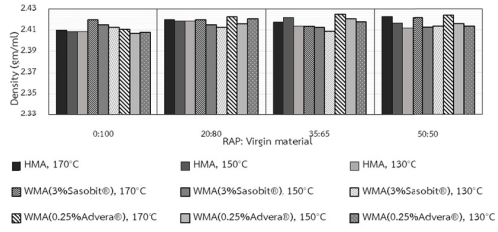
รูปที่ 8 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.5 เมื่อพิจารณาเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) พบว่าการใช้สัดส่วนวัสดุที่ไม่มีผิวทางเก่าเป็นส่วนผสมมีเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์สูงที่สุด อาจเนื่องมาจากการที่วัสดุไม่มีแอสฟัลต์เดิมเคลือบผิวหรือดูดซึมในช่องว่างทำให้มีปริมาตรช่องว่างสำหรับแอสฟัลต์มากกว่าเมื่อเทียบกับสัดส่วนที่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม แสดงดังรูปที่ 9



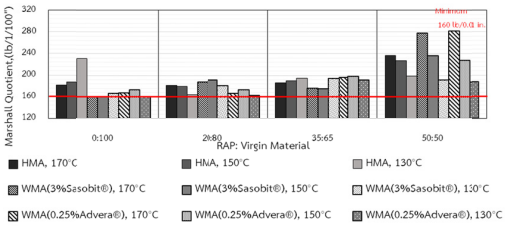
รูปที่ 9 เปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.6 เมื่อพิจารณาความหนาแน่น พบว่าการใช้สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่ามีความหนาแน่นสูงกว่าการไม่ใช้ผิวทางเก่า เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ระหว่างช่องว่างอนุภาค (VMA) และเปอร์เซ็นต์ช่องว่างอากาศที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) ต่ำกว่าส่วนผสมที่ไม่ใช้วัสดุผิวทางเก่า แสดงดังรูปที่ 10



รูปที่ 10 ความหนาแน่นของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

4.7 และเมื่อพิจารณาค่าเสถียรภาพเทียบกับการไหล (Marshall Quotient) พบว่าแนวโน้มค่าเสถียรภาพเทียบกับการไหล เพิ่มสูงขึ้นเมื่อปริมาณการใช้ผิวทางเก่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากค่าการไหลลดลงเมื่อมีสัดส่วนการใช้ผิวทางเก่ามากขึ้น แสดงดังรูปที่ 11



รูปที่ 11 ความหนาแน่นเทียบกับการไหล (Marshall Quotient) ของแต่ละสูตรส่วนผสมเมื่อจำแนกตามสัดส่วนของวัสดุผิวทางเก่าต่อมวลรวมใหม่

5. สรุปผลการศึกษา

5.1 การลดอุณหภูมิในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จะส่งผลให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมมีค่าสูงขึ้น เนื่องจากการผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่อุณหภูมิต่ำจะทำให้แอสฟัลต์ซีเมนต์มีความหนืดเพิ่มขึ้น ส่งผลให้ความสามารถในการเคลือบอนุภาคมวลรวมของแอสฟัลต์ซีเมนต์ลดต่ำลง

5.2 การใช้วิธีการผสมและการใช้สารผสมเพิ่มที่ต่างกัน ส่งผลให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมของแต่ละส่วนผสมมีความแตกต่างกัน โดยเมื่อพิจารณาที่สัดส่วนช่องว่างอากาศเท่ากัน การลดอุณหภูมิผสมลงเท่ากับ 130 องศาเซลเซียสและใช้สารผสมเพิ่มชนิดโฟมเป็นส่วนผสม จะช่วยลดความต้องการปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมลงได้อาจเนื่องมาจากการที่สารผสมเพิ่มชนิดโฟมมีคุณสมบัติช่วยให้ปริมาตรของแอสฟัลต์ซีเมนต์เพิ่มสูงขึ้นทำให้ง่ายต่อการเคลือบผิวของมวลรวม

5.3 การใช้สัดส่วนวัสดุผิวทางเก่า 20-35% มีแนวโน้มให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าการใช้สัดส่วน 50% และการไม่ใช้วัสดุผิวทางเก่า ซึ่งทำให้วัสดุมีแรงต้านทานต่อแรงที่มากระทำได้สูงกว่า

5.4 ค่าการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อมีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนประกอบ 20% และมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อยเมื่อปริมาณผิวทางเก่าเพิ่มขึ้น ซึ่งจะทำให้วัสดุมีความยืดหยุ่นมากขึ้น

5.5 การที่วัสดุผิวทางเก่ามีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์อยู่เดิมจะสามารถทำให้ค่าเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคต่ำ เนื่องจากมีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เก่าบางส่วนที่ถูกดูดซึมเข้าไปอยู่ในมวลรวมเดิมและถูกเติมเต็มเพิ่มด้วยยางแอสฟัลต์ใหม่

5.6 การใช้ผิวทางเก่ามีความหนาแน่นสูงกว่าการไม่ใช้ผิวทางเก่า เนื่องจากเปอร์เซ็นต์ช่องว่างระหว่างอนุภาคต่ำกว่าตัวอย่างที่ไม่มีวัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม จึงส่งผลให้มีความหนาแน่นสูงกว่าสัดส่วนวัสดุที่ไม่มีผิวทางเป็นส่วนผสม

5.7 ค่าเสถียรภาพเทียบกับค่าการไหล (Marshall Quotient) มีแนวโน้มเพิ่มสูงขึ้นเมื่อมีปริมาณผิวทางเก่าเป็นส่วนประกอบมากขึ้นโดยการใช้สัดส่วนผิวทางเก่า 50% ให้ค่า Marshall Quotient สูงที่สุดนั่นคือวัสดุมีค่าความแข็งแกร่งสูงที่สุด

5.8 จากการวิจัยนี้พบว่าปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมสำหรับตัวอย่างทั้ง 36 สูตรส่วนผสมมีค่าอยู่ในช่วง 4.5% ถึง 5% ซึ่งแต่ละสูตรส่วนผสมจะมีค่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่แตกต่างกัน

6. ข้อเสนอแนะ

จากงานวิจัยนี้ที่ผู้วิจัยได้ใช้วัสดุผิวทางเก่าเป็นส่วนผสม ร่วมกับการเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิดและการใช้อุณหภูมิผสมที่แตกต่างกัน 3 อุณหภูมิ ผู้วิจัยมีความเห็นว่าที่อุณหภูมิผสม 150 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิผสมที่ทำงานง่ายที่สุดเนื่องจากการผสมที่อุณหภูมิ 130 องศาเซลเซียสจะต้องใช้เวลาในการผสมให้เพื่อแอสฟัลต์ซีเมนต์เคลือบมวลผิวรวมมากกว่าการผสมที่อุณหภูมิ 150 และ 170 องศาเซลเซียส ซึ่งอาจทำให้อุณหภูมิของวัสดุระหว่างผสมลดต่ำลงได้จึงต้องหมั่นตรวจสอบอุณหภูมิอยู่เสมอ

ในขณะที่อุณหภูมิผสม 170 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ทำให้แอสฟัลต์เหลวกว่าที่อุณหภูมิอื่น ๆ จึงต้องใช้ความระมัดระวังอย่างยิ่งในการชั่งตวงปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เพราะหากมีการเติมแอสฟัลต์เกินกว่าที่ต้องการจะต้องรีบนำแอสฟัลต์ที่เกินนั้นออกทันทีไม่เช่นนั้นอุณหภูมิของวัสดุระหว่างผสมอาจลดต่ำลงได้

7. กิตติกรรมประกาศ

ในการศึกษาครั้งนี้ผู้วิจัยขอขอบคุณ บริษัททิปโก้แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน), บริษัท พีคิว เคมิคอลส์ (ประเทศไทย) จำกัด, บริษัท เป็นไมเยอร์ เคมิคอลส์ (ที) จำกัด, โรงโม่หินศิลาสากลพัฒนา จ.นครราชสีมา, สำนักงานทางหลวงชนบทมหาสารคาม ที่สนับสนุนวัสดุที่

ใช้ในการวิจัย และสำนักงานทางหลวงชนบทที่ 5 นครราชสีมาที่ให้ความอนุเคราะห์การใช้เครื่องมือและอุปกรณ์ทดสอบ

8. เอกสารอ้างอิง

[1] D'Angelo, J. A., Harm, E. E., Bartoszek, J. C., Baumgardner, G. L., Corrigan, M. R., Cowsert, J. E., Harman, T. P., Jamshidi, M., Jones, H. W., Newcomb, D. E., andProwell, B. D. (2008). Warm-mix asphalt: European practice. (No.FHWA-PL-08-007).

[2] Zaumanis, Martinand Smirnovs, Juris. (2011). "Analysis of possibilities for use of warm mix asphalt in Latvia." In Proceedings of Civil Engineering. International Scientific Conference. (57-64).

[3] D Bloomquist, G. Diamond, M. Oden, B. Ruth, and M. Tia. (1993). Engineering and Environmental Aspects of Recycled Materials for highway Construction. Alexandria, VA : National Technical Information Service.

[4] Solaimanian M., and Savory, E. (1996). "Variability analysis of hot-mix asphalt concrete containing high percentage of reclaimed asphalt pavement." Transportation Research Record: Journal of the Transportation Research Board. (1543) : 89-96.

[5] Kim, S. (2007). Evaluation of Use of High Percentage of Reclaimed Asphalt Pavement (RAP) for Superpave Mixtures: Research Report FL. DOT/SMO/07-507Florida, USA : State Materials Office.

[6] Miró, R., Valdés, G., Martínez, A., Segura, P., and Rodríguez, C. (2011). "Evaluation of high modulus mixture behavior with high reclaimed asphalt pavement (RAP) percentages for sustainable road construction." Construction and Building Materials. Vol.25 No.10 : 3854-3862.

[7] Shu, X., Huang, B., Shrum, E. D., and Jia, X. (2012). "Laboratory evaluation of moisture susceptibility of foamed warm mix asphalt containing high percentages of RAP." Construction and Building Materials. Vol.35 : 125-130.

[8] Mogawer, W. S., Austerman, A. J., Engstrom, B., and Bonaquist, R. (2009). Incorporating high percentages of recycled asphalt pavement (RAP) and warm mix asphalt (WMA) technology into thin hot mix asphalt overlays to be utilized as a pavement preservation strategy. In 88th Annual Meeting of the Transportation Research Board, Washington, DC.

[9] WorapatKetnoot, DirekLavansiri, and Chayatan Phromsorn. (2003). Application of foamed asphalt techniques on recycled pavement materials in Thailand. Bangkok : Thai Thesis Database. (In Thai)

[10] Komsan Promsakul, Watcharin Wittayakuland Weerakaset Suanpaga. (2016). "Evaluate the properties and behavior of asphalt concrete with warm mix of Reclaimed Asphalt Pavement material." The 21st National Convention on Civil Engineering, Songkla, Thailand. (1599-1604). (In Thai)

[11] Ma. BermadethBorleo, Kannawee Kanitpong, and Nuttaporn Charoentham. (2008). "Performance Evaluation of Warm Mix Asphalt Produced with Sasobit Additive." Proceeding of 6th ICPT, Sapporo, Japan. (177-184).

[12] Kanitpong, K., Sonthong, S., Nam, K., Martono, W., and Bahia, H. U. (2007). Laboratory study on warm-mix asphalt additives. InTransportation Research Board 86th Annual Meeting. (No. 07-1364).

[13] Corrigan, M. (2008). [online] Warm mix asphalt technologies and research. [cited February 10, 2009]. Available from : https://www.fhwa.dot.gov/pavement/asphalt/wma.cfm

[14] Analysis and research division. (1989). Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt. Bangkok : Department of Highways. (In Thai)

[15] The Asphalt Institute. (1986). Asphalt Hot-Mix Recycling. (Second Edition). MD : USA. Asphalt Institute Building, MD.

[16] American Society for Testing Material. (2010). Annual Book of ASTM Standard.Section 4, Construction, Road and Paving Materials; Vehicle-Pavement System. PA : USA. Building Stones, Philadelphia.