การปรับปรุงคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลด้วยวัสดุมวลรวมขนาดใหญ่

Stabilizing Recycled Asphalt Pavement with Large Aggregate

ขวัญชัย เทศฉาย[1,*] และ บำรุง บัวชื่น[2]

[1,2] สาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก จ.ตาก

**Corresponding author; E-mail address: Kwanchai25@yahoo.com*

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลจากผิวทางเก่า (RAP) จากหลวงหมายเลข 12 บริเวณตอนควบคุมที่ 0201 แม่ละเมา - ตาก ระหว่าง กม.74+000 ถึง กม.76+607 ปรับปรุงคุณสมบัติด้วยการผสมวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้ว (25 มม.) ซึ่งถือว่าเป็นขนาดโตสุดของวัสดุมวลรวมในการออกแบบผิวทาง และใช้วัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC60/70 ทำการทดสอบหาคุณสมบัติปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหลืออยู่ในวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลและหาปริมาณของแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในอัตราส่วนผสม ซึ่งจากการทดสอบพบว่าปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการออกแบบอัตราส่วนผสมอยู่ที่ร้อยละ 0.8 จากนั้นออกแบบอัตราส่วนผสมตามมาตรฐานการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนด้วยวิธีมาแชลล์ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.-ม. 408/2532 โดยการผสมวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้ว ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 ผลการทดสอบประสิทธิภาพด้วยการทดสอบหาค่าเสถียรภาพและการไหลพบว่าวัสดุมวลรวมให้ค่าเสถียรภาพที่มากขึ้นเมื่ออัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมลดลง และอัตราการไหลลดลงเมื่ออัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมเพิ่มขึ้น ซึ่งผลการทดสอบดังกล่าวเป็นไปตามค่ามาตรฐานที่ยอมรับได้ของกรมทางหลวง การนำวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลจากผิวทางเก่ามาปรับปรุงคุณสมบัติเพื่อนำกลับมาใช้งานใหม่ด้วยการออกแบบอัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมใหญ่ขนาด 1 นิ้ว (25 มม.) ไม่เพียงแต่จะช่วยลดปัญหาการขาดแคลนทรัพยากรธรรมชาติที่กำลังเป็นปัญหาที่ส่งผลกระทบต่อวงการอุตสาหกรรมงานก่อสร้างเท่านั้น แต่ยังช่วยลดการปล่อยคาร์บอนที่เกิดจากขั้นตอนการผลิตวัสดุสำหรับงานก่อสร้างจากเหมืองหินหรือโรงโม่หินได้อีกด้วย ตอบสนองต่อนโยบายระดับท้องถิ่นและนโยบายประเทศ และสอดคล้องกับ BCG Economy Model ในด้านการใช้เศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ซึ่งเป็นการเน้นการใช้ประโยชน์จากวัตถุดิบต่างๆ ตลอดวัฏจักรชีวิต และการนำวัสดุเหลือทิ้งเดิมมาสร้างเป็นผลิตภัณฑ์ต่างๆ โดยเฉพาะผลิตภัณฑ์มูลค่าสูงทางอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: แอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิล, วัสดุมวลรวมหินปูน, แอสฟัลต์ซีเมนต์, การออกแบบด้วยวิธีมาร์แชลล์, เสถียรภาพและการไหล

Abstract

This research studied the properties of recycled asphalt pavement (RAP) from Highway No. 12 in the control area of 0201 Mae Lamao – Tak, between km. 74+000 to km. 76+607. The properties were improved by mixing aggregate materials. 1 inch (25 mm.) limestone, which is the largest size of aggregate in pavement design. AC60/70 grade asphalt cement binders were used to determine the properties of remaining asphalt cement in recycled asphalt concrete materials and determine the appropriate amount of asphalt cement in the mixing ratio. From the test, it was found that the appropriate amount of asphalt cement, for used in designing the mixing ratio was 0.8%. Then, the mix ratio designing was made in accordance with the hot mix asphalt concrete design standard, using the Marshall method according to Department of Highways standard DH-S 408/2532, by mixing 1 inch limestone aggregate at the mixing ratio of 4, 6, 8 and 10. The results of the performance test, by using stability and flow tests, showed that the aggregate stability became higher, the less aggregate materials ratio. And the flow rate decreased as the aggregate mixture ratio increased. The test results are within Department of Highways standards 's acceptable value. Bringing recycled asphalt concrete from old pavements, to improve their properties for reuse, by 1-inch (25 mm) large aggregate ratio designing, not only helps to alleviate the growing shortage of natural resources, a problem affecting the construction industry, it but also reduces the carbon emissions generated by construction materials produced from quarries or mills, Complying to local and national policies. And complying to the BCG Economy Model, at Circular Economy aspect, which emphasizes utilization of various raw materials, throughout their life cycle. And reuse waste materials to create various products, especially high-value industrial products.

Keywords: Reclaimed asphalt pavement, Limestone, Asphalt cement, Marshall method, Stability and flow

1. ที่มาและความสำคัญ

ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหรือผิวทางลาดยางมะตอย (Asphalt Concrete) จัดอยู่ในกลุ่มโครงสร้างพื้นฐานที่มีความสำคัญและมีความจำเป็นอย่างยิ่งในด้านการคมนาคมขนส่งทางบก ปัจจุบันจะพบว่ามีโครงการก่อสร้างและขยายช่องจราจรมากมายในหลายพื้นที่ทั่วประเทศไทยเพื่อเพิ่มความสามารถในการรองรับปริมาณการจราจรที่มีแนวโน้มขยายตัวสูงขึ้นในอนาคต สำหรับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตหรือผิวทางยางมะตอยใช้วัสดุหลักในการก่อสร้าง 2 ประเภท ได้แก่ วัสดุมวลรวม (Aggregate) ซึ่งในประเทศไทยนิยมใช้หินปูน (Limestone) ที่มักจะอยู่ใกล้แหล่งก่อสร้าง และวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) เป็นต้น วัสดุมวลรวมจะใช้เป็นสัดส่วนมากถึงร้อยละ 80 ของงานก่อสร้างประเภทถนน ทำให้มีความต้องการใช้งานในการก่อสร้างมาก ซึ่งสวนทางกับกำลังการผลิตที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยสภาพปัญหาดังกล่าวทำให้มีการคัดเลือกเพื่อหาวัสดุทนแทนวัสดุมวลรวมธรรมชาติในรูปแบบของงานวิจัยที่ใช้วัสดุต่างๆเข้ามาทดแทน ได้แก่ เถ้าก้นเตา เถ้าลอย และวัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าเป็นต้น

วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่นำกลับมาใช้งานใหม่ (Reclaimed Asphalt Pavement: RAP) เป็นวัสดุผิวทางที่ถูกขุดขึ้นมาจากสายทางต่างๆ ด้วยเครื่องจักรที่มีหัวกัด (Milling Drum) ซึ่งขนาดคละของผิวทาง RAP จะขึ้นอยู่กับความเร็วของการเดินเครื่องจักร และสภาพของหัวกัด ซึ่งการขุดไส (Mill) เพื่อนำผิวทางเก่ากลับมาใช้งานใหม่จะทำได้ 2 วิธี ได้แก่ การผสมใหม่ในที่ (In-Place Recycling) และการผสมใหม่ในโรงงาน (Central Plant Recycling) เพื่อนำมาปรับปรุงคุณสมบัติให้สามารถรับแรงและมีความแข็งแรงทนทานในการใช้งาน ด้วยการเติมยางแอสฟัลต์ซีเมนต์หรือยางมะตอย รวมถึงการผสมสารผสมเพิ่มเพื่อปรับปรุงคุณสมบัติที่ต้องการ ในบางพื้นที่นิยมเติมวัสดุมวลรวมธรรมชาติเข้าไปในอัตราส่วนต่างๆตามที่ได้ออกแบบด้วย ยังมีหลายงานวิจัยที่ได้ทำการศึกษาการนำ RAP มาปรับปรุงคุณสมบัติในด้านต่างๆ โดยทำการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเปรียบเทียบกับมาตรฐานเพื่อนำไปใช้งาน Izaks et al. ทำการศึกษาการออกแบบอัตราส่วนผสมผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนด้วยวัสดุมวลรวมจาก RAP โดยเปรียบเทียบการนำ RAP มาใช้งานแบบแยกขนาดคละและไม่แยกขนาดคละที่อัตราส่วนร้อยละ 30 และอัตราส่วนร้อยละ 50 โดยน้ำหนัก จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพ พบว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผสมกับวัสดุ RAP ให้ค่าคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชล แต่คุณสมบัติการต้านทานการล้าตัวลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณอัตราส่วนผสม RAP การเติมส่วนผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้าไปในส่วนผสมจะช่วยเพิ่มความต้านทานการล้าตัว [1] Pawar et al. ทำการศึกษาการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ ด้วยการเปรียบเทียบวัสดุมวลรวมธรรมชาติ และวัสดุผิวทางเก่า (RAP) โดยได้ทำการออกแบบอัตราส่วนผสมของ RAP ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 30 และ 40 จากนั้นทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าการออกแบบส่วนผสม RAP ที่อัตราส่วนร้อยละ 30 ให้ค่าเสถียรภาพสูงที่สุดของตัวอย่างทั้งหมด แต่เมื่อเพิ่มปริมาณ RAP ในอัตราส่วนผสมที่ร้อยละ 40 และ 60 ค่าเสถียรภาพจะลดลง [2] นิรชร และคณะ ได้ศึกษาสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ ซึ่งได้กำหนดอัตราส่วนผสมวัสดุ RAP สำหรับการออกแบบ อัตราส่วนร้อยละ 10, 20, 30, 40, 50, 60 และ 70 ของวัสดุมวลรวม โดยการศึกษานี้ได้ทำการเปรียบเทียบวัสดุ RAP ที่คัดแยกขนาดและไม่คัดแยกขนาด พบว่าการใช้วัสดุ RAP ที่ไม่คัดแยกขนาดที่อัตราส่วนร้อยละ 10 ถึง 40 ในการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน มีคุณสมบัติเป็นไปตามเกณฑ์ข้อกำหนดการออกแบบผิวทางตามมาตรฐาน [3] จากการทบทวนงานวิจัยทั้งในประเทศและต่างประเทศ [1-5] พบว่าการทดสอบคุณสมบัติและประสิทธิภาพการใช้งานของแอสฟัลต์คอนกรีตจากการใช้วัสดุ RAP เป็นวัสดุมวลรวมจะให้ข้อมูลที่แตกต่างกันตามแหล่งของวัสดุของแต่ละพื้นที่และวัสดุประสานประเภทแอสฟัลต์ซีเมนต์

งานวิจัยนี้คณะผู้วิจัยสนใจศึกษาการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน (Hot-mix Asphalt) ด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Method) โดยการใช้วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ซึ่งปรับปรุงคุณสมบัติด้วยวัสดุมวลรวมขนาดใหญ่ขนาด 1 นิ้ว ประเภทหินปูน (Limestone) โดยการกำหนดอัตราส่วนผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 ของน้ำหนัก และทำการทดสอบหาคุณสมบัติตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง เพื่อวิเคราะห์ผลการทดสอบในการนำไปใช้ในงานก่อสร้างผิวทาง

2. วัสดุ

2.1 วัสดุผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเก่าที่นำกลับมาใช้งานใหม่ (RAP)

คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตรีไซเคิลจากผิวทางเก่า (RAP) ซึ่งได้มาจากการขุดไส (Mill) ผิวทางบนหลวงหมายเลข 12 บริเวณตอนควบคุมที่ 0201 แม่ละเมา - ตาก ระหว่าง กม.74+000 ถึง กม.76+607

รูปที่ 1 วัสดุมวลรวม RAP จากผิวทางเดิมของหลวงหมายเลข 12 บริเวณตอนควบคุมที่ 0201 แม่ละเมา - ตาก ระหว่าง กม.74+000 ถึง กม.76+607

2.2 วัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Natural Aggregate) ประเภทหินปูน (Limestone)

คณะผู้วิจัยได้ทำการคัดเลือกวัสดุมวลรวมประเภทหินปูน (Limestone) ขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) ซึ่งเป็นหินขนาดโตที่สุดในการใช้ออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน โดยเป็นการออกแบบเพื่อ

ใช้งานชั้น Bound Base บนสายทางตอนหนึ่งในภาคเหนือ จากแหล่งผลิตวัสดุมวลรวมธรรมชาติ (Natural Aggregate) หรือแหล่งโรงโม่หินในจังหวัดกำแพงเพชร

รูปที่ 2 วัสดุมวลรวมประเภทหินปูน ขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) จากแหล่งโรงโม่หินจังหวัดกำแพงเพชร

2.3 วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์หรือยางมะตอย (Asphalt Cement)

แอสฟัลต์ซีเมนต์หรือยางมะตอยที่ใช้ในงานวิจัยนี้ คณะผู้วิจัยคัดเลือกแอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AC60/70 มาใช้เป็นวัสดุประสานในการออกแบบตัวอย่างผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อน

รูปที่ 3 แอสฟัลต์ซีเมนต์ประเภท AC60/70

3. ขั้นตอนวิธีการดำเนินงานวิจัยและผลการทดสอบ

3.1 การเตรียมตัวอย่างในการทดสอบ

วัสดุหินปูนขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) ทำการเก็บตัวอย่างวัสดุหินปูนจากยุ้งเก็บวัสดุหินร้อน (Hot Bin) ที่ได้จากการโรงงานผสม (Plant)

วัสดุผิวทางเก่า (RAP) ซึ่งมีอายุการใช้งานอยู่ระหว่าง 3-5 ปี จากผิวทางหลวงหมายเลข 12 บริเวณตอนควบคุมที่ 0201 แม่ละเมา - ตาก ระหว่าง กม.74+000 ถึง กม.76+607 ซึ่งเป็นวัสดุที่ปราศจากมวลรวมของชั้นทางด้านล่างที่ไม่ใช่แอสฟัลต์คอนกรีต และปราศจากสิ่งสกปรก รวมถึงวัสดุที่ไม่พึงประสงค์ประเภทอื่นๆ ผ่านกระบวนการคัดเลือกขนาดคละโดยการร่อนผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 1 นิ้ว นำส่วนที่ผ่านมาใช้ในการออกแบบอัตราส่วนผสม

วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 ซึ่งเป็นเกรดที่ใช้ในการก่อสร้างผิวทางทั่วไป

3.2 การออกแบบอัตราส่วนผสม (Job-Mix Design)

ออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุ RAP ให้เป็นไปตามมาตรฐาน ทล.-ท. 604/2517 วิธีการทดลองแอสฟัลต์ติกคอนกรีต โดยวิธี Marshall โดยทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน โดยแสดงในรูปที่ 3 จากนั้นทำการออกแบบสูตรอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมคือ 40: 18: 20: 22

โดยได้ทำการแบ่งกลุ่มตัวอย่างออกเป็น 3 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่

กลุ่มตัวอย่างที่ 1 กลุ่มตัวอย่างที่ใช้วัสดุ RAP ในอัตราส่วนร้อยละ 100 โดยไม่ใช้วัสดุประสานประเภทยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70

กลุ่มตัวอย่างที่ 2 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ RAP ร้อยละ 100 โดยทำการออกแบบอัตราส่วนผสมด้วยการเติมปริมาณยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก ซึ่งในกลุ่มตัวอย่างที่ 2 จะได้ปริมาณยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในการใช้ออกแบบผิวทาง

กลุ่มตัวอย่างที่ 3 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ RAP ในการออกแบบ โดยมีการเพิ่มวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) เป็นอัตราส่วนผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก ซึ่งใช้วัสดุประสานยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ในการออกแบบอัตราส่วนผสม (โดยปริมาณยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมได้มาจากกระบวนการออกแบบผิวทางในกลุ่มตัวอย่างที่ 2)

สำหรับกระบวนการออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตประเภทผสมร้อน (Hot Mix Asphalt) ดำเนินการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตและ Asphalt Hot-Mix Recycling ตามมาตรฐานที่ ทล.-ม. 408/2532 [6] และ ทล.-ม. 410/2542 [7] ของกรมทางหลวง โดยจะมีขนาดคละที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามตารางที่ 1 และข้อกำหนดในการออกแบบ Recycled Asphalt Concrete แสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 1 ขนาดคละของวัสดุมวลรวมและปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม

ขนาดที่ใช้เรียก	มิลลิเมตร	9.5	12.5	19.0	25.0
	นิ้ว	3/8	1/2	3/4	1
ชั้นทาง		ชั้นผิวทาง	ชั้นผิวทาง	ชั้นพื้นทาง	ชั้นรองพื้นทาง
ความหนา (มิลลิเมตร)		25-35	40-70	40-80	70-100
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรงร้อยละโดยมวล			
มิลลิเมตร	นิ้ว				
37.5	1 ½	-	-	-	100
25.0	1	-	-	100	90-100
19.0	¾	-	100	90-100	-
12.5	½	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
ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60 - 70 ร้อยละโดยมวลของมวลรวม		4.0 - 8.0	3.0 - 7.0	3.0 - 6.5	3.0 - 6.0

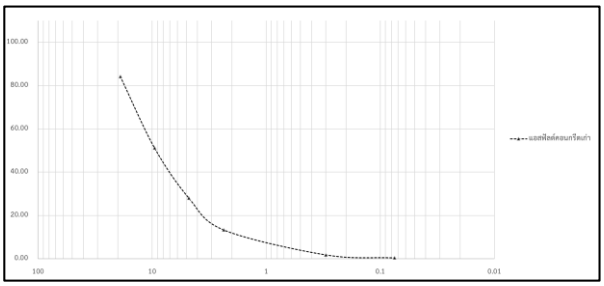
ที่มา: *ทล.-ม. 408/2532*

ตารางที่ 2 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

ที่มา: *มาตรฐานที่ ทล.-ม. 410/254*



รูปที่ 4 ขนาดคละของ RAP

ทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Test) ตามมาตรฐานการทดลองเพื่อหาคุณภาพของวัสดุที่ ทล.-ม. 604/2517 [8] โดยการเตรียมตัวอย่างวัสดุมวลรวม RAP อย่างน้อยอัตราส่วนผสมละ 3 ตัวอย่าง

สำหรับการบดทับตัวอย่างที่ได้จากการออกแบบอัตราส่วนผสม ให้ทำการบดทับด้านละ 75 ครั้ง ควบคุมอุณหภูมิที่ 150 องศาเซลเซียส จึงทิ้งให้ก้อนตัวอย่างเย็นตัวลงที่อุณหภูมิห้องอย่างน้อยเป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นจึงถอดแบบออกจากก้อนตัวอย่าง (Mold)

รูปที่ 5 แอสฟัลต์ซีเมนต์จากวัสดุมวลรวม RAP ที่อัตราส่วนร้อยละ 100

รูปที่ 6 แอสฟัลต์ซีเมนต์จากวัสดุมวลรวม RAP ผสมหินปูนขนาด 1 นิ้ว

3.3 การทดสอบคุณสมบัติของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนด้วยวิธีมาร์แชลล์ตามมาตรฐานการทดสอบของกรมทางหลวง

ในการออกแบบอัตราส่วนผสมการใช้วัสดุมวลรวม RAP นั้น จะใช้วิธีการทดสอบคุณสมบัติและกการออกแบบรวมถึงการทดสอบประเภทผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนด้วยวิธีมาร์แชลล์ และมาตรฐาน Asphalt Hot-Mix Recycling

ในกลุ่มตัวอย่างที่ 1 ใช้วัสดุมวลรวม RAP ในการออกแบบอัตราส่วนผสมร้อยละ 100 ซึ่งต้องทำการควบคุมอุณหภูมิในการออกแบบอยู่ที่ 150 องศาเซลเซียส และการออกแบบตัวอย่างกลุ่มนี้ไม่ผสมยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ ควบคุมการบดอัดด้านละ 75 ครั้ง โดยออกแบบก้อนตัวอย่างอย่างน้อย 3 ตัวอย่าง แสดงผลการทดสอบเทียบกับมาตรฐาน Asphalt Hot-Mix Recycling ที่ ทล.-ม. 410/2542 ดังนี้

ตารางที่ 3 ผลการทดสอบคุณสมบัติการทดสอบด้วยวิธี **Marshall** ของกลุ่มตัวอย่างที่ 1

Sample No.		1	2	3
Density				
Mass in Air	gm	1168.0	12.1.1	1180.4
Mass in Water	gm	681.3	700.2	687.5
Mass Sat. Surfaces Dry	gm	1173.3	1204.3	1183.4
Bulk Volume	cm^3	492.0	504.1	495.9
Bulk Density	gm/cm^3	2.374	2.383	2.380
Average Density	gm/cm^3	2.379		
Voids Analysis				
Volume AC	% Total	9.9		
Volume Agg	% Total	84.9		
VMA	%	15.1		
Air Voids	%	5.21		
VFB	%	65.5		
Stability				
Measurement	lb	4065	5210	4223
Adjusted	lb	4431	5419	4603
Average	lb	4818		
Flow				
Measurement	$0.01\ in.$	6.00	7.00	7.00

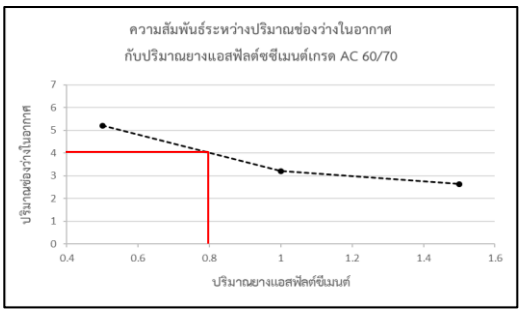
Average	0.01 *in.*	6.7
Stability/ Flow	*lb*/ 0.01 *in.*	723

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม RAP ร้อยละ 100 โดยไม่ผสมวัสดุประสานหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์

ผลการทดสอบเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ทล.-ม. 410/2542		
รายการ	ก้อนตัวอย่าง	Binder Course
Blows	75	75
Stability Min (lb)	4818	(1500)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)	6.7	8-16
Percent Air Voids	5.21	3-6
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.	15.1	13
Stability/ Flow Min. (lb/ 0.01 in.)	723	(125)

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าวัสดุมวลรวม RAP ที่คัดขนาดคละวัสดุโดยกำหนดให้มีคุณสมบัติผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 1 นิ้ว ไม่ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ มีค่าเสถียรภาพ (Stability) อยู่ที่ 4818 lb. ซึ่งมีค่าสูงกว่ามาตรฐานที่กำหนด และค่าการไหลตัว (Flow) อยู่ที่ 6.7 ซึ่งเป็นค่าที่ต่ำกว่ามาตรฐานกำหนด และปริมาณช่องว่างในอากาศอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ความสามารถด้านการไหลตัวไม่เป็นไปตามมาตรฐานทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบจากอัตราส่วนผสมนี้มีประสิทธิภาพในการใช้งานอยู่ในเกณฑ์ต่ำ

กลุ่มตัวอย่างที่ 2 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ RAP ร้อยละ 100 โดยทำการออกแบบอัตราส่วนผสมด้วยการเติมปริมาณยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 0.5, 1 และ 1.5 โดยน้ำหนัก อย่างน้อยกลุ่มตัวอย่างละ 3 ตัวอย่าง จะได้ปริมาณยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสมในการใช้ออกแบบผิวทาง ดังนี้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณช่องว่างอากาศกับปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์

จากการทดสอบคุณสมบัติก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์จากวัสดุมวลรวม RAP พบว่าปริมาณยางมะตอยหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่เหมาะสมอยู่ที่อัตราส่วนร้อยละ 0.8 ซึ่งเป็นการหาปริมาณยางที่เหมาะสมจากการพิจารณาระหว่างค่าความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณช่องว่างอากาศ

ตารางที่ 5 ผลการทดสอบคุณสมบัติการทดสอบด้วยวิธี **Marshall** ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2

Sample No.		1	2	3
Density				
Mass in Air	*gm*	1200.7	1193.1	1197.1
Mass in Water	*gm*	703.4	699.1	701.6
Mass Sat. Surfaces Dry	*gm*	1201.9	1195.6	1199.1
Bulk Volume	cm^3	498.5	496.5	497.5
Bulk Density	gm/cm^3	2.409	2.403	2.406
Average Density	gm/cm^3	2.408		
Voids Analysis				
Volume AC	% Total	10.0		
Volume Agg	% Total	85.9		
VMA	%	14.1		
Air Voids	%	4.1		
VFB	%	71.1		
Stability				
Measurement	*lb*	4741	5390	5286
Adjusted	*lb*	4931	5606	5498
Average	*lb*	5394		
Flow				
Measurement	0.01 *in.*	10.0	10.0	11.0
Average	0.01 *in.*	10.1		
Stability/ Flow	*lb*/ 0.01 *in.*	533		

ตารางที่ 6 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม RAP ร้อยละ 100 โดยผสมวัสดุประสานหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ปริมาณร้อยละ 0.8

ผลการทดสอบเปรียบเทียบตามมาตรฐาน ทล.-ม. 410/2542		
รายการ	ก้อนตัวอย่าง	Binder Course
Blows	75	75
Stability Min (lb)	5394	(1500)
Flow 0.25 mm (0.01 in.)	10.1	8-16
Percent Air Voids	4.1	3-6
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.	14.1	13

Stability/ Flow Min. (lb/ 0.01 in.)	**533**	**(125)**

ผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าวัสดุมวลรวม RAP ที่คัดขนาดคละวัสดุโดยกำหนดให้มีคุณสมบัติผ่านตะแกรงขนาดช่องเปิด 1 นิ้ว ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 มีค่าเสถียรภาพ (Stability) สูงกว่ามาตรฐาน และค่าการไหลตัว (Flow) และปริมาณช่องว่างในอากาศอยู่ในช่วงเกณฑ์มาตรฐาน ความสามารถด้านเสถียรภาพและการไหลตัวเป็นไปตามมาตรฐานทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบมีประสิทธิภาพการใช้งานอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน แต่หากจะนำไปพิจารณาใช้งานควรต้องทำการทดสอบคุณสมบัติด้านการใช้งานอื่นๆเพิ่มเติม เป็นต้น

หลังจากที่ได้ปริมาณยางแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่เหมาะสมโดยมีค่าร้อยละ 0.8 จากนั้นทำการกำหนดปริมาณยางที่เหมาะสมในกลุ่มตัวอย่างที่ 3

กลุ่มตัวอย่างที่ 3 เป็นกลุ่มตัวอย่างที่ใช้ RAP ในการออกแบบ โดยมีการเพิ่มวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) เป็นอัตราส่วนผสมที่อัตราส่วนร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 โดยน้ำหนัก กลุ่มตัวอย่างนี้ใช้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ในปริมาณ 0.8 ทดสอบกลุ่มตัวอย่างละ 3 ตัวอย่าง โดยแสดงผลการทดสอบดังนี้

ตารางที่ 7 ผลการทดสอบคุณสมบัติการทดสอบด้วยวิธี **Marshall** ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ร้อยละ 4

Sample No.		**1**	**2**	**3**
Density				
Mass in Air	gm	1245.2	1242.5	1243.0
Mass in Water	gm	732.9	729.4	732.1
Mass Sat. Surfaces Dry	gm	1248.8	1249.5	1245.9
Bulk Volume	cm^3	515.9	520.1	513.8
Bulk Density	gm/cm^3	2.414	2.389	2.419
Average Density	gm/cm^3	2.407		
Voids Analysis				
Volume AC	% Total	10.0		
Volume Agg	% Total	85.9		
VMA	%	14.1		
Air Voids	%	4.1		
VFB	%	71.1		
Stability				
Measurement	lb	4934	3513	4026
Adjusted	lb	4934	3513	4026
Average	lb	4157		
Flow				
Measurement	$0.01\ in.$	14.0	11.0	11.0
Average	$0.01\ in.$	12.0		
Stability/ Flow	$lb/\ 0.01\ in.$	346		

ตารางที่ 8 ผลการทดสอบคุณสมบัติการทดสอบด้วยวิธี **Marshall** ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ร้อยละ 6

Sample No.		**1**	**2**	**3**
Density				
Mass in Air	gm	1266.2	1266.6	1264.6
Mass in Water	gm	746.5	745.1	742.5
Mass Sat. Surfaces Dry	gm	1273.6	1268.9	1269.8
Bulk Volume	cm^3	527.1	523.8	527.3
Bulk Density	gm/cm^3	2.402	20418	2.398
Average Density	gm/cm^3	2.406		
Voids Analysis				
Volume AC	% Total	10.0		
Volume Agg	% Total	85.9		
VMA	%	14.1		
Air Voids	%	4.1		
VFB	%	70.8		
Stability				
Measurement	lb	3947	4223	3592
Adjusted	lb	3789	4054	3448
Average	lb	3764		
Flow				
Measurement	$0.01\ in.$	11.0	12.0	13.0
Average	$0.01\ in.$	12.0		
Stability/ Flow	$lb/\ 0.01\ in.$	314		

ตารางที่ 9 ผลการทดสอบคุณสมบัติการทดสอบด้วยวิธี Marshall ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ร้อยละ 8

Sample No.		1	2	3
Density				
Mass in Air	gm	1291.8	1290.0	1296.3
Mass in Water	gm	760.9	759.3	766.0
Mass Sat. Surfaces Dry	gm	1295.7	1294.8	1304.4
Bulk Volume	cm^3	534.8	535.5	538.4
Bulk Density	gm/cm^3	2.415	2.409	2.408
Average Density	gm/cm^3	2.411		
Voids Analysis				
Volume AC	% Total	10.0		
Volume Agg	% Total	86.0		
VMA	%	14.0		
Air Voids	%	3.9		
VFB	%	71.8		
Stability				
Measurement	lb	3631	3513	3868
Adjusted	lb	3486	3267	3597
Average	lb	3450		
Flow				
Measurement	$0.01\ in.$	11.0	12.0	11.0
Average	$0.01\ in.$	11.3		
Stability/ Flow	$lb/\ 0.01\ in.$	304		

ตารางที่ 10 ผลการทดสอบคุณสมบัติการทดสอบด้วยวิธี Marshall ของกลุ่มตัวอย่างที่ 2 ร้อยละ 10

Sample No.		1	2	3
Density				
Mass in Air	gm	1304.5	1318.8	1317.7
Mass in Water	gm	768.1	779.6	776.4
Mass Sat. Surfaces Dry	gm	1312.6	1322.3	1322.9
Bulk Volume	cm^3	544.5	542.7	546.5
Bulk Density	gm/cm^3	2.396	2.430	2.411
Average Density	gm/cm^3	2.412		
Voids Analysis				
Volume AC	% Total	10.0		
Volume Agg	% Total	86.1		
VMA	%	13.9		
Air Voids	%	3.9		
VFB	%	72.1		
Stability				
Measurement	lb	3631	4065	3592
Adjusted	lb	3377	3781	3196
Average	lb	3451		
Flow				
Measurement	$0.01\ in.$	11.0	12.0	11.0
Average	$0.01\ in.$	11.3		
Stability/ Flow	$lb/\ 0.01\ in.$	305		

ตารางที่ 11 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุมวลรวม RAP ที่อัตราส่วนผสมต่างๆ ของวัสดุมวลรวมหินขนาด 1 นิ้ว

ผลการทดสอบเปรียบเทียบมาตรฐาน ทล.-ม. 410/2542					
รายการ	**Binder Course**	**ปริมาณอัตราส่วนของวัสดุมวลรวมหิน**			
		ร้อยละ 4	**ร้อยละ 6**	**ร้อยละ 8**	**ร้อยละ 10**
Blows	**75**	**75**	**75**	**75**	**75**
Stability Min (lb)	**(1500)**	**4157**	**3764**	**3451**	**3450**
Flow 0.25 mm (0.01 in.)	**8-16**	**12**	**12**	**11.3**	**11.3**
Percent Air Voids	**3-6**	**4.1**	**4.1**	**3.9**	**3.9**
Percent Voids in Mineral Aggregate (VMA) Min.	**13**	**14.1**	**14.1**	**14**	**13.9**
Stability/ Flow Min. (lb/ 0.01 in.)	**(125)**	**346**	**314**	**304**	**305**

พิจารณาผลการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม RAP ที่ผสมหินปูนขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) โดยใช้ยางแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 เป็นวัสดุประสานที่ปริมาณอัตราส่วนร้อยละ 0.8 ด้วยวิธีมาร์แชลล์ พบว่าการเติมวัสดุมวลรวมหินขนาด 1 นิ้วที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 4 โดยน้ำหนัก

จะให้ค่าเสถียรภาพ (Stability) อยู่ที่ 4157 lb. ค่าการไหลตัว (Flow) อยู่ที่ 12 ปริมาณช่องว่างในอากาศ (Air Void) อยู่ที่ 4.1 ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานของกรมทางหลวง แต่เมื่อพิจารณาการเพิ่มปริมาณวัสดุหินปูน (Limestone) ลงในอัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวม RAP ที่อัตราส่วนร้อยละ 6, 8 และ 10 พบว่าค่าเสถียรภาพลดลงอยู่ที่ 3764, 3451 และ 3450 ตามลำดับ ค่าคุณสมบัติการไหลตัวก็ลดลงอยู่ที่ 12, 12, 11.3 และ 11.3 ตามลำดับ ค่าปริมาณช่องว่าในอากาศอยู่ที่ 4.1, 4.1, 3.9 และ 3.9 แสดงว่าเมื่อเพิ่มปริมาณวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้วเข้าไปในอัตราส่วนผสมจะทำให้ค่าเสถียรภาพและการไหลตัวลดลง แต่คุณสมบัติที่ทำการทดสอบยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานและข้อกำหนดในการออกแบบ Recycled Asphalt Concrete

4. สรุปผล

จากการทดสอบคุณสมบัติแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนด้วยวิธีมาร์แชลล์จากวัสดุมวลรวม RAP ทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่าง ได้แก่ กลุ่มตัวอย่าง RAP ที่ปริมาณ ร้อยละ 100 ไม่เติมวัสดุประสานหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์ กลุ่มตัวอย่างวัสดุมวลรวม RAP อัตราส่วนร้อยละ 100 ที่เติมวัสดุประสานหรือแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 และกลุ่มตัวอย่าง RAP ที่เติมวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้ว (25 มิลลิเมตร) ที่อัตราส่วนร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 โดยเมื่อพิจารณาคุณสมบัติต่างๆจากการทดสอบแล้ว พบว่าการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวัสดุมวลรวม RAP ที่อัตราส่วนผสมร้อยละ 100 โดยการเติมยางแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 ที่อัตราส่วนร้อยละ 0.8 จะให้ค่าเสถียรภาพที่สูงกว่าวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากวัสดุมวลรวม RAP ที่ไม่เติมวัสดุประสาน และวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เติมวัสดุมวลรวมหินปูนขนาด 1 นิ้ว ที่อัตราส่วนต่างๆ ให้ค่าเสถียรภาพต่ำที่สุดในกลุ่มตัวอย่างการทดสอบ

ถึงแม้ว่าตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนด้วยวิธีมาร์แชลล์ของวัสดุมวลรวม RAP ที่ผสมวัสดุมวลรวมหินปูนที่อัตราส่วนร้อยละ 4, 6, 8 และ 10 จะมีค่าการทดสอบคุณสมบัติตามวิธีการทดสอบมาร์แชลล์ และเกณฑ์ข้อกำหนดของ Asphalt Hot-Mix Recycling แต่ก็ยังมีข้อจำกัดในเรื่องของประสิทธิภาพการใช้งานด้านอื่นๆ ดังนั้นจึงควรมีการทดสอบประสิทธิภาพการใช้งานเพิ่มเติมด้วย

5. ข้อเสนอแนะ

ควรพิจารณาประสิทธิภาพการใช้งานด้าน Moisture sensitivity ด้วยการทดสอบ Strength index

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสำนักงานทางหลวงที่ 4 ตาก ที่กรุณาอนุเคราะห์ข้อมูลและวัสดุ ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือรวมถึงอุปกรณ์ในการทดสอบและดำเนินงานวิจัย และขอขอบคุณนายกฤษฎา จันทะวง และนางสาวจิราภา คตเย็น ที่กรุณาช่วยในการดำเนินการในขั้นตอนต่างๆของงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Izaks, R., Haritonovs, V., Klasa, I. and Zaumanis, M. (2015). Hot Mix Asphalt with High RAP Content. *Procedia Engineering*, 114, pp. 676-684.

[2] Pawar, R., Patted, A. and Gowdabs, K. (2017). Recycling of Bituminous Pavement by RAP Method. *Mangalore Institute of Technology & Engineering (ICGCSC-2017),* Moodbidri, INDIA, 17-18 March 2017, pp. 347-350.

[3] นิรชร นกแก้ว และ ดำรง ปาละกูล (2559). สมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์เมื่อใช้ปริมาณวัสดุชั้นผิวทางเดิมหมุนเวียนเพื่อใช้งานใหม่ต่างกัน. *วารสารวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยศรีนครินทรวิโรฒ*, ปีที่ 11, ฉบับที่ 1, หน้า 28-37.

[4] Brown, E.R. and Bassett E.C. (1990). Effects of Maximum Aggregate Size on Rutting Potential and Other Properties of Asphalt-Aggregate Mixtures. *Transportation Research Record 1259*, pp. 107-119.

[5] Dinis-Almeida, M., Castro-Gomes, J., Sangiorgi, C., Zoorob, S. and Afonso, M. (2016). Performance of Warm Mix Recyled Asphalt containing up to 100% RAP. *Construction and Building Materials*, 112, pp. 1-6.

[6] กรมทางหลวง. (2532). ทล.-ม. 408/2532 แอสฟัลต์คอนกรีต (Hot-Mix Asphalt).

[7] กรมทางหลวง. (2532). ทล.-ม. 410/2542 Asphalt Hot-Mix Recycling.

[8] กรมทางหลวง. (2517). ทล.-ม. 604/2517 วิธีการทดลองแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall.