

การศึกษาออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ตามระบบซูเปอร์เพฟในประเทศไทย EVALUATION OF SUPERPAVE MIX DESIGN IN THAILAND

อัคคพัฒน์ สว่างสุรีย์¹, ศุภสิทธิ์ ศิริศักดิ์² และ โชติ สรณาคมน์²

¹สำนักวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง 2/486 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราชเทวี

กรุงเทพมหานคร 10400

²บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด 191/49 ชั้นที่ 20 อาคาร ซีทีไอ ถนนรัชดาภิเษก เขตคลองเตย

กรุงเทพมหานคร 10110

Auckpath Sawangsuriya¹, Suphasit Sirisak² and Chote Soranakom²

¹Bureau of Road Research and Development, Department of Highways,

2/486 Sri Ayudhaya, Thung Phaya Thai, Ratchathewi, Bangkok 10400

²IMMS Co., Ltd. 191/49, 20th Floor, CTI Tower, Rachadaphisek Rd., Klongtuey,

Bangkok 10110, Thailand

บทคัดย่อ

บทความนี้นำเสนอผลการศึกษาออกแบบสูตรส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE™) ตามข้อกำหนดการออกแบบของ Asphalt Institute (AI) โดยพิจารณาแหล่งวัสดุมวลรวมในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ของประเทศไทย และปริมาณการจราจร 2 ระดับ ได้แก่ ปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) และสูง (10-30 ล้าน ESALs) ผลการศึกษาทดสอบแสดงให้เห็นว่า แหล่งวัสดุมวลรวมมีอิทธิพลต่อความต้านทานการเกิดร่องล้อและค่าโมดูลัสคั้นตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบตามระบบซูเปอร์เพฟที่ปริมาณการจราจรระดับเดียวกัน ทั้งนี้คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผ่านเกณฑ์และข้อกำหนด ความต้านทานการเกิดร่องล้อและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตไม่จำเป็นต้องใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะค่าโมดูลัสยืดหยุ่น มีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ดังนั้นการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟ ควรคำนึงถึงขั้นตอนการคัดเลือกแหล่งวัสดุมวลรวมและการทดสอบคุณสมบัติเชิงสมรรถนะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ก่อนนำไปใช้งานจริง

คำสำคัญ: วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต, การออกแบบส่วนผสมโดยวิธีซูเปอร์เพฟ, สมรรถนะการใช้งาน, คุณสมบัติเชิงปริมาตร

ABSTRACT

This paper presents the evaluation of Superpave mix design based on the Asphalt Institute (AI) mix design methods. The aggregate sources selected in this study were collected from the northern, the north-eastern, the central, the eastern, and the southern parts of Thailand. The asphalt mixes were designed according to two traffic levels: medium (3-10 million ESALs) and high (10-30 million ESALs). The rutting resistance and resilient modulus tests indicated that the aggregate sources influenced the Superpave mix samples designed with similar traffic level. Although the properties of aggregates and asphalt concrete mixtures were in accordance with the standard and specifications, the Superpave mix samples did not necessarily exhibit similar rutting resistances and resilient moduli. The resilient modulus in particular varied considerably. Therefore, the selection procedure of aggregate sources and performance properties of the asphalt concrete mixture shall be carefully considered in the Super mix design prior to the practical implementation.

KEYWORDS: asphalt concrete mixture, Superpave mix design, performance, volumetric properties

1. บทนำ

วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete Mixture) เป็นวัสดุชั้นผิวทางที่มีส่วนสำคัญในการรับน้ำหนักบรรทุกของถนนลาดยาง ผิวทางจำเป็นต้องออกแบบให้มีความหนาเพียงพอที่จะรองรับหน่วยแรงที่เกิดขึ้นตามปริมาณการจราจรในระดับต่าง ๆ วัสดุที่จะนำมาใช้ก่อสร้างต้องผ่านขั้นตอนการคัดเลือกตามมาตรฐานและข้อกำหนด ดังนั้นวิธีและกระบวนการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตต้องสามารถควบคุมคุณภาพและปริมาณสัดส่วนของวัสดุที่นำมาผสมกันให้ได้คุณสมบัติเชิงปริมาตร คุณสมบัติด้านวิศวกรรม และสมรรถนะการใช้งานตามต้องการ เพื่อให้ถนนลาดยางมีความแข็งแรงทนทานตลอดอายุการใช้งานตามที่ออกแบบไว้

ระบบซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE™) เป็นระบบประเมินคุณภาพและจัดการคุณสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตตามสมรรถนะการใช้งาน (Performance) และเงื่อนไขต่าง ๆ ตามสภาพแวดล้อมและสมมติฐานการออกแบบ เพื่อสามารถรองรับและปรับปรุงสมรรถนะการใช้งานจริงได้ตามต้องการ อาทิ การออกแบบเพื่อควบคุมการเกิดร่องล้อ (Rutting) การออกแบบเพื่อควบคุมการแตกร้าวเนื่องจากอุณหภูมิต่ำ (Low-Temperature Cracking) การออกแบบเพื่อควบคุมการแตกร้าวเนื่องจากความล้า (Fatigue Cracking) เป็นต้น [1, 2] ดังนั้น การนำวิธีการออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟมาใช้ภายใต้สภาพเงื่อนไขด้านแหล่งวัสดุ ลักษณะ

ภูมิอากาศ และสภาพแวดล้อมของประเทศไทย น่าจะเป็นอีกทางเลือกหนึ่งในการพัฒนาและปรับปรุงผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทยให้สามารถรองรับขนาดและปริมาณการจราจรที่เพิ่มมากขึ้นในอนาคตได้

บทความนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อนำเสนอ (1) ผลการศึกษาออกแบบสูตรส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE™) ตามข้อกำหนดการออกแบบของ Asphalt Institute (AI) [3] โดยพิจารณาแหล่งวัสดุมวลรวมในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ของประเทศไทย และปริมาณการจราจร 2 ระดับ ได้แก่ ปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) และสูง (10-30 ล้าน ESALs) (2) ผลการศึกษาทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส และการต้านทานการเกิดร่องล้อโดยวิธีใช้แรงดึงทางอ้อมของตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเตรียมตามระบบซูเปอร์เพฟ

2. การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟ

ในปี พ.ศ. 2530 หน่วยงาน Strategic Highway Research Program (SHRP) ประเทศสหรัฐอเมริกา ได้พัฒนาวิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟ (Superior Performing Asphalt Pavements หรือ SUPERPAVE™) เพื่อกำหนดคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์และวัสดุมวลรวมสำหรับออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต รวมถึงวิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิใช้งานของถนนแต่ละแห่ง การวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เกิดขึ้นในสนาม และทำนายสมรรถนะการใช้งาน (Performance) ของผิวทางที่ได้จากการออกแบบ จุดเด่นของวิธีซูเปอร์เพฟคือ เป็นวิธีการออกแบบที่มุ่งเน้นประสิทธิภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ใช้งานจริงเป็นหลัก ดังนั้นการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ จึงมีข้อดีหลายประการทั้งด้านทฤษฎีที่พัฒนาขึ้นมาโดยคำนึงถึงประสิทธิภาพและสมรรถนะการใช้งานจริง และด้านเทคโนโลยีนวัตกรรม การออกแบบ การทดสอบ การควบคุมคุณภาพ และการก่อสร้าง

ระบบซูเปอร์เพฟอาศัยการรวบรวมองค์ความรู้และฐานข้อมูลผลการทดสอบพฤติกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อกำหนดคุณสมบัติของยางแอสฟัลต์และวัสดุมวลรวมสำหรับออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้เหมาะสมกับปริมาณการจราจรและอุณหภูมิใช้งานของถนนแต่ละแห่ง วิธีการนี้จึงสามารถวิเคราะห์พฤติกรรมของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่คาดการณ์ว่าจะเกิดขึ้นในสนามได้ สามารถออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อควบคุมและป้องกันการเกิดความเสียหายในลักษณะต่าง ๆ เช่น ร่องล้อ รอยแตกกว้าง เป็นต้น ทำให้ถนนลาดยางที่ผ่านการออกแบบโดยวิธีนี้มีความแข็งแรงทนทานตลอดอายุการใช้งานที่ออกแบบไว้

2.1 การศึกษาที่ผ่านมาของกรมทางหลวง

ปัจจุบันกรมทางหลวงใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตแบบมาร์แชล (Marshall Mix Design) วิธีการนี้อาศัยข้อมูลเชิงประสบการณ์ในการออกแบบส่วนผสม โดยการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นและช่องว่างอากาศในส่วนผสม ร่วมกับค่าเสถียรภาพของมาร์แชล วิธีมาร์แชลเป็นที่ยอมรับและนิยมใช้ในหลายประเทศทั่วโลกเนื่องจากเครื่องมือที่ใช้ในการออกแบบและตรวจสอบคุณภาพส่วนผสมในห้องปฏิบัติการและในสนามไม่ซับซ้อน ราคาไม่แพง แต่วิธีนี้มีข้อจำกัดที่สำคัญเนื่องจากค่าเสถียรภาพของมาร์แชลไม่ได้สะท้อนถึงพฤติกรรมการใช้งานจริงของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม

กรมทางหลวงเริ่มศึกษาแนวทางการใช้วิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟในปีพ.ศ. 2546 ชยธันว และคณะ [4] ได้ศึกษาคุณสมบัติเชิงปริมาตร (Volumetric Properties) ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่เก็บจากโครงการก่อสร้างทางหลวงจำนวนทั้งสิ้น 23 แห่ง มาทำการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC) และทดสอบหาค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อของก้อนตัวอย่างโดยวิธีการทดสอบ Dynamic Creep Test ผลการศึกษาพบว่า ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ออกแบบด้วยวิธีมาร์แชลทั้ง 23 แห่ง สามารถรองรับปริมาณจราจรได้แตกต่างกันในกรณีที่พิจารณาตามข้อกำหนดของซูเปอร์เพฟ นอกจากนี้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่สามารถรองรับปริมาณการจราจรที่สูงกว่า ยังมีค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงกว่าเช่นกัน จากผลการศึกษาดังกล่าว ชยธันว และคณะ จึงแนะนำว่า ควรนำวิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟมาใช้ปรับปรุงและพัฒนาคุณภาพของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตในประเทศไทยให้ดียิ่งขึ้นต่อไป

ข้อมูลการศึกษาผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟจากรายงานคณะทำงานเก็บข้อมูลสภาพผิวทางและประเมินความแข็งแรงของโครงสร้างชั้นทางของกรมทางหลวง เมื่อปี พ.ศ.2555 โดยสำนักวิจัยและพัฒนาทาง ร่วมกับสำนักวิเคราะห์และตรวจสอบกรมทางหลวง [5] พบว่าวิธีการดังกล่าวสามารถออกแบบผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตเพื่อรองรับปริมาณการจราจรได้สูงกว่าการออกแบบโดยวิธีมาร์แชล เนื่องจากวิธีการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟ สามารถเลือกระดับพลังงานที่ใช้ในการบดอัดตัวอย่างส่วนผสมตามปริมาณการจราจรในระดับต่าง ๆ ได้ตามต้องการ มีวิธีการบดอัดใกล้เคียงกับการบดทับในสนาม และมีการทดสอบสมรรถนะของตัวอย่างส่วนผสมในขั้นตอนการออกแบบ แต่ในทางตรงกันข้าม การออกแบบโดยวิธีมาร์แชลไม่สามารถทดสอบและวิเคราะห์สมรรถนะของตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตได้

2.2 ขั้นตอนการออกแบบสูตรส่วนผสมโดยวิธีซูเปอร์เพพ

การออกแบบสูตรส่วนผสมโดยวิธีซูเปอร์เพพสำหรับการศึกษานี้ มีรายละเอียดและขั้นตอนดังต่อไปนี้

- การออกแบบสูตรส่วนผสมเชิงปริมาตร (Volumetric Mix Design) โดยวิธีซูเปอร์เพพ มีสมมติฐาน ดังนี้ (1) อุณหภูมิผิวทางสูงสุดเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส (2) ความเร็วเฉลี่ยของยานพาหนะไม่น้อยกว่า 70 กิโลเมตรต่อชั่วโมง และ (3) ปริมาณการจราจรระดับปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) ถึงสูง (10-30 ล้าน ESALs)

- เลือกชนิดของตัวเชื่อมประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์ตามระบบ Performance Grade (PG) โดยยึดสภาพภูมิอากาศที่ตัวเชื่อมประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์จะต้องเผชิญในการรองรับปริมาณการจราจรเป็นหลัก สามารถผลิต และหาได้ในประเทศไทย การศึกษานี้เลือกใช้ยางแอสฟัลต์ AC 60-70 มาตรฐานตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก. 401/2531 และยางโพลีเมอร์มอดิไฟด์แอสฟัลต์ PMA มาตรฐานตามข้อกำหนดที่ ทล.-ก. 408/2536 ซึ่งกรมทางหลวงนิยมใช้ในงานก่อสร้างผิวทางและรองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต แล้วเทียบกับผลการจัดเกรดยางตามระบบ PG ของยาง AC 60-70 และยาง PMA จะได้ PG 64-22 และ PG 70-34 ตามลำดับ อ้างอิงจากข้อมูลผลการวิเคราะห์วิจัยที่ผ่านมาของกรมทางหลวง [6]

- ตรวจสอบคุณสมบัติของมวลรวม และหาค่าสัดส่วนของมวลรวมขนาดต่างๆให้ได้ตามข้อกำหนดของการจัดขนาดคละอ้างอิงข้อกำหนดตาม AI [3]

- แหล่งวัสดุมวลรวมจากภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ ภาคละ 2 แหล่ง สรุปไว้ในตารางที่ 1

- คุณสมบัติต่างๆของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด ต้องผ่านเกณฑ์ดังที่ระบุไว้ในตารางที่ 2 และ 3 สำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูงตามลำดับ

- ขนาดคละของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด เป็นไปตามการจัดขนาดคละของมวลรวมสำหรับชั้นรองผิวทาง (Binder Course) ขนาด Nominal Maximum Aggregate Size (NMAS) 19.0 มิลลิเมตร และชั้นผิวทาง (Wearing Course) ขนาด NMAS 12.5 มิลลิเมตร ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ

- ผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมวลรวมที่อุณหภูมิผสม แล้วนำไปเข้าอบในตู้อบ ณ อุณหภูมิบดอัด (Compaction Temperature) เป็นเวลา 2 ชั่วโมง เพื่อให้ยางอ่อนตัว บางส่วนซึมเข้าไปในเนื้อหิน บางส่วนอยู่ระหว่างช่องว่างของมวลคละ ทำให้สามารถตรวจสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตร (Volumetric Properties) ได้ใกล้เคียงความเป็นจริง [3]

- เลือกจำนวนรอบการบดอัดก่อนตัวอย่างตามปริมาณการจราจร 2 ระดับ การศึกษานี้เลือกใช้จำนวนรอบออกแบบ (N_{design}) ดังต่อไปนี้

- ปริมาณการจราจรปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs): $N_{\text{design}} = 75$ รอบ สำหรับชั้นผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70 (Wearing Course), NMAS 12.5 มิลลิเมตร
- ปริมาณการจราจรปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs): $N_{\text{design}} = 75$ รอบ สำหรับชั้นรองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70 (Binder Course), NMAS 19.0 มิลลิเมตร
- ปริมาณการจราจรสูง (10-30 ล้าน ESALs): $N_{\text{design}} = 100$ รอบ สำหรับชั้นผิวทางมอดิไฟด์แอสฟัลต์คอนกรีต PMA (Wearing Course), NMAS 12.5 มิลลิเมตร
- ปริมาณการจราจรสูง (10-30 ล้าน ESALs): $N_{\text{design}} = 100$ รอบ สำหรับชั้นรองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70 (Binder Course), NMAS 19.0 มิลลิเมตร
- บดอัดก้อนตัวอย่างของโครงสร้างมวลรวมออกแบบที่ปริมาณต่างๆของตัวเชื่อมประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์ แล้ววิเคราะห์คุณสมบัติเชิงปริมาตรเพื่อหาค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ที่เหมาะสม โดยพิจารณาเฉพาะค่า Voids in the Mineral Aggregate (VMA) ต่ำสุด เพื่อใช้กำหนดช่วงค่า Voids Filled with Asphalt (VFA) ต่ำสุดและสูงสุด ที่ค่า Air Void (VA) คงที่ 4% ตามข้อกำหนดอ้างอิงตาม AI [3]

2.3 การผลิตและการบดอัดส่วนผสมตามวิธีซูเปอร์เพฟ

องค์ประกอบสำคัญของการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟคือ เครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC) ซึ่งใช้ในการบดอัดส่วนผสมให้ได้ก้อนตัวอย่างขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร จำนวนรอบของการบดอัดขึ้นอยู่กับปริมาณการจราจร (ESALs) เท่านั้น ไม่ว่าอุณหภูมิอากาศสูงหรือต่ำ จะบดอัดให้วัสดุผสมมีค่า VA ประมาณ 7% (In-Place Condition) และปล่อยให้รถวิ่งบดทับเพิ่มจนเหลือ VA ประมาณ 4% ทั้งนี้เพื่อให้แอสฟัลต์ซีเมนต์ระหว่างมวลรวมสามารถยึดหดตัวได้อย่างอิสระ โดยไม่เกิดปัญหาการเสีรู (Rutting) หรือเกิด Bleeding จากการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิ ทั้งนี้การผสมที่อุณหภูมิสูง ผู้ออกแบบจำเป็นต้องเลือกใช้เกรดยางที่เหมาะสม อาทิ การเลือกใช้ยาง PG เกรดสูงขึ้น หรือใช้ยาง PMA วัสดุผสมออกแบบเพื่อรองรับปริมาณการจราจรสูงจะมีความหนาแน่นสูง ดังนั้นการบดอัดด้วยเครื่อง SGC จึงช่วยบดอัดก้อนตัวอย่างให้มีความหนาแน่นสูงขึ้นได้ตามต้องการ โดยการเพิ่มจำนวนรอบของการบดอัด

ตารางที่ 1 แหล่งวัสดุรวมและองค์ประกอบอื่น ๆ ที่เกี่ยวข้องตามเงื่อนไขการออกแบบสูตรส่วนผสมโดยวิธีซูเปอร์เพล

พื้นที่	ลำดับ	ชื่อโรงงานและสถานที่ตั้ง	ชนิดหิน	ปริมาณการจราจร	ชนิดผิวทาง/รองผิวทาง	อันดับการทดลอง
ภาคเหนือ	1	โรงโม่ หจก. เชียงใหม่ไท่เชียง ต.บ้านแปะ อ.จอมทอง จ.เชียงใหม่	หินปูน	สูง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 3/1/2558
	2	โรงโม่ หจก. แพร่วิศวกรรม 97 ม.3 ต.เวียงต้า จ.แพร่	หินปูน	ปานกลาง	ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต PMA	ACSP - 3/2/2558
					รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 2/1/2558
					ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 2/2/2558
ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ	3	โรงโม่ ศิลาด้อยถึง อนาคตกลาง จ.หนองบัวลำภู	หินปูน	ปานกลาง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 3/3/2558
					ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 3/4/2558
	4	โรงโม่ หจก. ยงสังสุรินทร์ เลขที่ 111/2 หมู่ 15 ต.นาบัว อ.เมือง จ.สุรินทร์	หินบะซอลต์	สูง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 1/3/2558
					ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต PMA	ACSP - 1/4/2558
ภาคกลาง	5	โรงโม่ ศิลาทอง จ.นครสวรรค์	หินปูน	สูง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 3/5/2558
					ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต PMA	ACSP - 3/6/2558
	6	โรงโม่ ศิลาเพิ่มพูล ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี	หินปูน	ปานกลาง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 2/3/2558
					ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 2/4/2558
ภาคตะวันออก	7	โรงโม่ เทพศิลา แอกริเกต จ.ชลบุรี	หินแกรนิต	สูง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 1/1/2558
					ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต PMA	ACSP - 1/2/2558
	8	โรงโม่ บ.พัฒนาชลบุรี ต.ห้วยกระปิ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	หินปูน	ปานกลาง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 3/7/2558
					ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 3/8/2558
ภาคใต้	9	โรงโม่ ผาทองทุ่งสง ต.ปากแพรก อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช	หินปูน	ปานกลาง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 1/5/2558
					ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 1/6/2558
	10	โรงโม่ บ.เอส.ซี.จี (1995) จก. บ้านบ่อกรัง อ.พุนพิน จ.สุราษฎร์ธานี	หินปูน	สูง	รองผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC 60-70	ACSP - 2/5/2558
					ผิวทางมอดิฟายด์แอสฟัลต์คอนกรีต PMA	ACSP - 2/6/2558

ตารางที่ 2 Consensus และ Source Properties ของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดสำหรับการจราจรปานกลาง

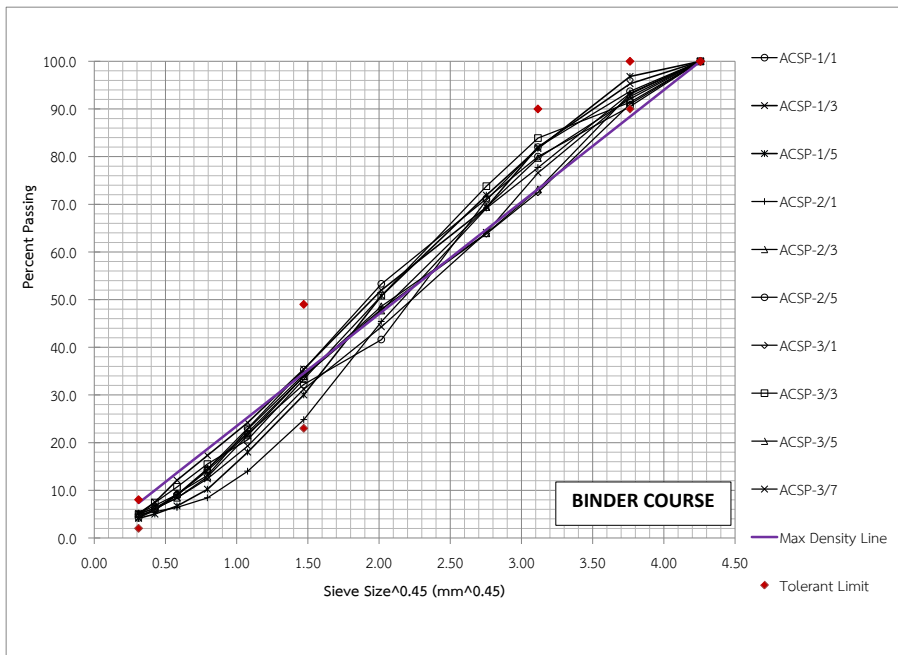
คุณสมบัติทดสอบ	แหล่งวัสดุโครงการ										ข้อกำหนด (AI, 2014)
	โรงโม่ หจก. แพร่วิศวกรรม 97 ม.3 ต.เวียงต้า จ.แพร่	โรงโม่ คีลาดี้อยตึง อ.นาตาล จ.หนองบัวลำภู		โรงโม่ คีลาเพิ่มพูล ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี		โรงโม่ บ.ทัศนชลบุรี ต.ห้วยกระปิ อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี		โรงโม่ ผาทองทุ่งสง ต.ปากแพรก อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช			
อันดับการทดลอง	ACSP – 2/1/2558	ACSP – 3/3/2558	ACSP – 3/4/2558	ACSP – 2/3/2558	ACSP – 2/4/2558	ACSP – 3/7/2558	ACSP – 3/8/2558	ACSP – 1/5/2558	ACSP – 1/6/2558		
ชั้นทาง	Binder Course	Binder Course	Wearing Course	Binder Course	Wearing Course	Binder Course	Wearing Course	Binder Course	Wearing Course		
ชนิดยางแอสฟัลต์	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70		
ชนิดมวลรวม	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน		
Coarse Aggregate Angularity (%)	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	≥ 85/80	
Fine Aggregate Angularity (%)	43.28	45.52	46.62	46.58	45.97	46.25	46.55	46.69	46.16	≥ 45	
Sand Equivalent (%)	72	71	77	77	71	71	71	71	73	≥ 45	
Flat and Elongated (%)	0	0	0	0	0	0	0	0	0	≤ 10	
Los Angeles Abrasion (%)	26.3	26.3	26.9	26.9	26.9	26.9	26.9	26.3	26.3	< 30	
Soundness (%)	1.3, 3.1*	1.3, 3.1*	2.3, 5.5*	2.3, 5.5*	2.3, 5.5*	2.3, 5.5*	2.3, 5.5*	1.3, 3.1*	1.3, 3.1*	< 15	
Clay Lumps/Friable Particles	0.11	0.06	0.10	0.10	0.12	0.04	0.12	0.10	0.34	< 3	
Lightweight Particles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 3	

หมายเหตุ *Aggregate 3/4", Fine Aggregate

ตารางที่ 3 Consensus และ Source Properties ของวัสดุรวมหยาบและมวลรวมละเอียดสำหรับปริมาณการจราจรสูง

คุณสมบัติทดสอบ	แหล่งวัสดุในโครงการ										ข้อกำหนด (AI, 2014)
	โรงโม่ หก. เชียงใหม่ให้เชียง ต.บ้านแปะ อจอมทอง จ.เชียงใหม่	โรงโม่ หก. ย่างสุรินทร์ เลขที่ 111/2 หมู่ 15 ต.นาบัว อ.เมือง จ.สุรินทร์	โรงโม่ ดิลาทอง จ.นครสวรรค์		โรงโม่ เทพศิลา แอกริเกต จ.ชลบุรี		โรงโม่ บ.เอสซี (1995) จก. บ้านบ่อกรัง อ.พนม		จ.สุราษฎร์ธานี		
อันดับการทดลอง	ACSP – 3/1/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 1/3/2558 Binder Course AC 60-70 หินบะซอลต์	ACSP – 3/5/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 3/6/2558 Wearing Course PMA หินปูน	ACSP – 1/2/2558 Wearing Course PMA หินปูน	ACSP – 2/6/2558 Wearing Course PMA หินปูน	ACSP – 1/1/2558 Binder Course AC 60-70 หินแกรนิต	ACSP – 1/2/2558 Wearing Course PMA หินปูน	ACSP – 2/5/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 2/6/2558 Wearing Course PMA หินปูน	
ชั้นทาง	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	100/100	
ชนิดยางแอสฟัลต์	46.21	46.74	46.11	45.58	47.20	46.14	45.84	45.57	45.36	45.36	
Coarse Aggregate Angularity (%)	73	73	76	76	77	76	73	73	71	71	≥ 95/90
Fine Aggregate Angularity (%)	0	0	0	0	0	0	0	8	0	0	≥ 45
Sand Equivalent (%)	25.7	26.3	19.8	19.8	19.8	25.7	19.9	19.9	25.7	26.3	≥ 45
Flat and Elongated (%)	25.7	26.3	19.8	19.8	19.8	25.7	19.9	19.9	25.7	26.3	≤ 10
Los Angeles Abrasion (%)	2.3, 5.1*	2.3, 5.1*	1.3, 3.3*	1.3, 3.3*	1.3, 3.3*	2.3, 5.1*	1.2, 3.1*	1.2, 3.1*	2.3, 5.1*	1.3, 3.1*	< 30
Soundness (%)	0.12	0.14	0.10	0.10	0.29	0.06	0.62	1.30	0.03	0.04	< 15
Clay Lumps/Friable Particles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 2
Lightweight Particles	-	-	-	-	-	-	-	-	-	-	< 2

หมายเหตุ *Aggregate 3/4", Fine Aggregate



รูปที่ 1 ขนาดละเอียดของมวลรวมสำหรับชั้นรองผิวทาง (Binder Course) NMAS 19.0 มิลลิเมตร

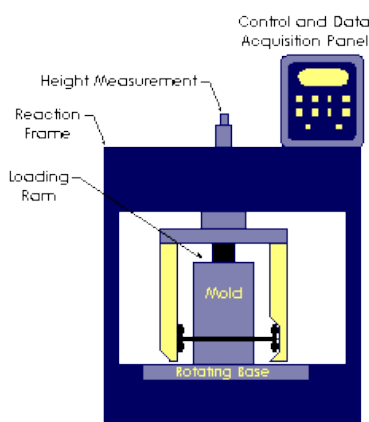


รูปที่ 2 ขนาดละเอียดของมวลรวมสำหรับชั้นผิวทาง (Wearing Course) NMAS 12.5 มิลลิเมตร

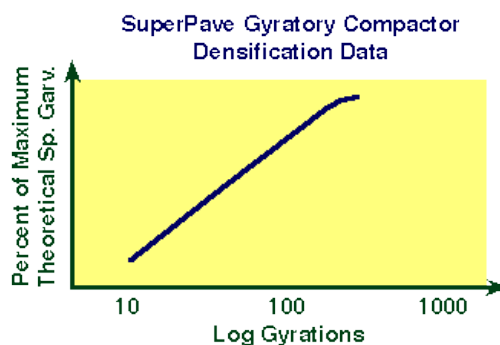
2.3.1 เครื่อง SUPERPAVE GYRATORY COMPACTOR

Superpave Gyratory Compactor (SGC) เป็นเครื่องบดอัดส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับใช้ผลิตก้อนตัวอย่างตามการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพฟ มีทั้งแบบติดตั้งอยู่กับที่ (Stationary) และแบบเคลื่อนย้ายได้ (Portable) เครื่อง SGC จำลองวิธีการบดอัดส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้มีสภาพคล้ายกับวิธีการบดทับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตในสนาม กล่าวคือ ก้อนตัวอย่างที่ได้จากเครื่อง SGC จะมีลักษณะการจัดเรียงตัวของวัสดุมวลรวม (Aggregate Structure) ใกล้เคียงกับวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตจริงในสนาม ช่วยให้ผู้ออกแบบสามารถประเมินคุณสมบัติด้านเสถียรภาพความแข็งแรงและพฤติกรรมเชิงกล (Mechanical Stability) ตลอดจนความเหมาะสมของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตก่อนนำไปใช้ก่อสร้างจริงได้

เครื่อง SGC ประกอบด้วยโครงข้อแข็ง (Rigid Reaction Frame) เครื่องให้น้ำหนัก (Loading Ram) มาตรวัดความสูงของก้อนตัวอย่าง (Specimen Height Measurement) และหน่วยควบคุมและประมวลข้อมูล (Control and Data Acquisition Panel) ดังรูปที่ 3(ก) เครื่อง SGC จะทำการบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยน้ำหนักกดคงที่เท่ากับ 600 กิโลปาสคาล ที่อัตราการหมุนเท่ากับ 30 รอบต่อนาที โดยก้อนตัวอย่างเอียงทำมุมเท่ากับ 1.25 องศา เครื่องจะทำการเก็บบันทึกและรายงานข้อมูลความสูงของก้อนตัวอย่างในแต่ละรอบการบดอัด ค่าความแน่นของก้อนตัวอย่างบดอัดได้ในแต่ละรอบสามารถคำนวณได้จากอัตราส่วนระหว่างน้ำหนักกับปริมาตรของก้อนตัวอย่าง ซึ่งเปลี่ยนแปลงตามความสูงในแต่ละรอบการบดอัด ข้อมูลที่ได้จะแสดงด้วยกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของค่าความแน่นสูงสุด (%G_{mm}) กับจำนวนรอบการบดอัด (Number of Gyration) ซึ่งมีชื่อเรียกว่า Densification Curve ดังรูปที่ 3(ข) ทั้งนี้ผู้ออกแบบสามารถกำหนดค่าความแน่นของก้อนตัวอย่างที่ต้องการ (Target Density) ได้จากควบคุมจำนวนรอบการบดอัดหรือความสูงของก้อนตัวอย่าง



(ก)



(ข)

รูปที่ 3 (ก) ส่วนประกอบของเครื่อง SGC และ (ข) Densification Curve

2.3.2 ขั้นตอนการบดอัดส่วนผสมด้วยเครื่อง SGC

- นำวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะทำการบดอัดบรรจุลงในแบบหล่อ (Mold) จากนั้นนำแบบหล่อดังกล่าวเข้าติดตั้งกับฐานรับก้นตัวอย่าง (Base) ซึ่งทำหน้าที่รองรับแบบหล่อไว้ขณะทำการบดอัดและจะหมุนในอัตรา 30 รอบต่อนาที นอกจากนี้ที่ฐานจะมีขอบเพื่อล็อกกับ Bearing ที่ทำหน้าที่บังคับวัสดุผสมในแบบหล่อ ทำมุม 1.25 องศากับหัวกด

- ควบคุมความดันหัวกดคงที่ 600 กิโลปาสกาล (kPa) หรือ 0.6 เมกะปาสกาล (MPa) เพื่อทำการบดอัดวัสดุในแต่ละรอบ

- ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของก้นตัวอย่างที่ใช้ทำการทดสอบเท่ากับ 100 มิลลิเมตร (4 นิ้ว) และความสูงของก้นตัวอย่างประมาณ 67 มิลลิเมตร

- หาปริมาณแอสฟัลต์โดยน้ำหนักของส่วนผสม

- หาปริมาณแอสฟัลต์ที่ใช้จริงในการบดอัดก้นตัวอย่างเพื่อที่จะใช้ในการทดสอบ

- การบดอัดจะใช้การบดอัดที่จำนวนรอบเริ่มต้น ($N_{initial}$) อยู่ที่ 8 รอบ จำนวนรอบสูงสุด (N_{max}) อยู่ที่ 250 รอบ และจำนวนรอบออกแบบ (N_{design}) อยู่ที่ 75 และ 100 รอบ ตามสมมติฐานการออกแบบที่ปริมาณการจราจรระดับปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) และปริมาณการจราจรระดับสูง (10-30 ล้าน ESALs) ตามลำดับ อุณหภูมิผิวทางสูงสุดเท่ากับ 60 องศาเซลเซียส

- เมื่อทำการบดอัดแล้วจะได้ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อน (G_{mb} ที่ประเมินได้)

- หลังจากบดอัดก้นตัวอย่างเสร็จก็ทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนจากการวัด (G_{mb} ที่วัดได้) ของก้นตัวอย่างตามวิธีการทดลอง AASHTO T 166 [7]

- ทำการหาค่าความถ่วงจำเพาะเชิงทฤษฎีค่าสูงสุด (G_{mm} ที่วัดได้) ตามวิธีการทดลอง AASHTO T 209 [8]

- นำค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนที่คำนวณได้ขั้นสุดท้ายของก้นตัวอย่างที่ทำการบดอัดแล้ว นำมาเปรียบเทียบกับค่าความถ่วงจำเพาะที่วัดได้ของก้นตัวอย่างคำนวณหาค่าตัวประกอบปรับแก้ แล้วคำนวณหาค่าร้อยละของ G_{mm} สำหรับระดับรอบหมุนต่างๆ โดยการหารค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนที่ปรับแก้ (G_{mm} ที่ปรับแก้) ด้วยค่า G_{mm} ที่วัดได้ การทดสอบจะใช้ก้นตัวอย่าง 3 ก้อนแล้วนำมาหาค่าเฉลี่ย

2.3.3 การประเมินส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยเครื่อง SGC

ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตผลิตด้วยเครื่อง SGC ในการศึกษาี้ ประเมินได้จากค่า Compaction Densification Index (CDI) ซึ่งคำนวณได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของความแน่นสูงสุดกับจำนวนรอบการบดอัด หรือ Densification Curve ดังรูปที่ 3(ข) ค่า CDI แทนค่าพลังงานที่ใช้เริ่มตั้งแต่ขั้นตอนการปูผิวจนถึงการบดทับชั้นทางแล้วเสร็จ ค่า CDI คำนวณได้จาก

พื้นที่ใต้ Densification Curve ตั้งแต่จำนวนรอบการบดอัด (Number of Gyration) เท่ากับ 8 (ความแน่นเริ่มต้นจากท้ายเครื่องปู) ถึงค่าความแน่นที่ 92 เปอร์เซ็นต์ของความแน่นสูงสุด (ความแน่นตามที่ระบุในข้อกำหนด) ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า CDI ต่ำ แสดงว่าส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตสามารถบดอัดให้ได้ค่าความแน่นที่ต้องการได้ง่าย (Workability สูง)

Faheem และคณะ [9] ได้เสนอเกณฑ์การประเมินผลการออกแบบและเลือกใช้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้ออกแบบตามระบบซูเปอร์เพฟ โดยพิจารณาจากคุณสมบัติการบดอัดของส่วนผสมตามปริมาณจราจร (ESALs) ดังตารางที่ 4 Faheem และคณะ กำหนดค่า CDI สูงสุดเพื่อใช้ควบคุมสภาพการบดอัดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามปริมาณจราจร (ESALs) อย่างไรก็ตามค่า CDI ดังกล่าว เป็นเพียงคำแนะนำและเหมาะสมกับสภาพการใช้งานในพื้นที่ที่ศึกษาเท่านั้น ทั้งนี้เกณฑ์ดังกล่าวจะมีความถูกต้องแม่นยำมากน้อยเพียงใด ขึ้นอยู่กับคุณภาพของข้อมูลและจำนวนข้อมูลที่ได้ การพัฒนาเกณฑ์การประเมินผลการออกแบบและเลือกใช้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต จึงมีส่วนสำคัญที่จะช่วยลดข้อผิดพลาดและปัจจัยเสี่ยงต่างๆ ที่เกี่ยวข้องกับการเลือกใช้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ไม่เหมาะสมในเบื้องต้นได้

ตารางที่ 4 เกณฑ์กำหนดค่า CDI สำหรับควบคุมสภาพการบดอัดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตให้อยู่ในเกณฑ์ที่เหมาะสมตามปริมาณจราจร [9]

ESALs	Maximum CDI
3,000,000	250
10,000,000	300
30,000,000	400

3. การทดสอบก่อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

3.1 การทดสอบการต้านทานความชื้น (Moisture Susceptibility) โดยวิธีใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength: AASHTO T 283)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) ของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตบดอัดโดยใช้เครื่อง SGC ให้ได้ช่องว่างอากาศ (Air Void) 7.0% ที่ N_{design} ตามมาตรฐานวิธีทดสอบ AASHTO T 283 "Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage" [10] ซึ่งกำหนดให้ใช้อัตราการป้อนน้ำหนักเพื่อให้เกิดการยุบตัวคงที่เท่ากับ 0.83 มิลลิเมตร/วินาที หรือ 2 นิ้ว/นาที่ ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส จนก่อนตัวอย่างวิบัติ การทดสอบ Indirect Tensile Strength และ Loss of Indirect Tensile Strength ตามมาตรฐาน AASHTO T 283 จะแบ่งตัวอย่างเป็น 2 กลุ่ม ตัวอย่างกลุ่มแรกใส่

ถุงพลาสติกป้องกันน้ำเข้า (Heavy-Duty, Leak-Proof Plastic Bag) นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 25 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง ตัวอย่างกลุ่มที่ 2 นำไปแช่น้ำที่อุณหภูมิ 60 ± 1 องศาเซลเซียส นาน 24 ± 1 ชั่วโมง โดยไม่ใส่ถุงพลาสติก จากนั้นนำไปแช่น้ำต่อที่อุณหภูมิ 25 ± 0.5 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 2 ชั่วโมง แล้วจึงนำมาทดสอบ Indirect Tensile Strength และ Loss of Indirect Tensile Strength ข้อกำหนดด้านความสามารถต้านทานความชื้น (Moisture Susceptibility, TSR) ต้องมากกว่า 80%

3.2 การทดสอบการต้านทานการเกิดร่องล้อโดยวิธีใช้แรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength: AASHTO T 283)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานการเกิดร่องล้อโดยวิธีการทดสอบ Indirect Tensile Strength at High Temperatures (IDT-HT) ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตบดอัดโดยใช้เครื่อง SGC ให้ได้ช่องว่างอากาศ (Air Void) 4.0% ที่ N_{design} ตามมาตรฐาน AASHTO T 283 [10] โดยก้อนตัวอย่างจะทดสอบในสภาวะแห้ง (Unconditioned หรือ Dry Specimens) ที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส ข้อกำหนดด้านความสามารถการต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยวิธี IDT-HT สำหรับปริมาณจราจรปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) IDT-HT Strength ≥ 270 กิโลปาสคาล และสำหรับปริมาณจราจรสูง (10-30 ล้าน ESALs) IDT-HT Strength ≥ 380 กิโลปาสคาล อ้างอิงตาม NCHRP 673 [11]

3.3 การทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus Test: ASTM D 4123)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม อ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D 4123-82 "Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures" [12] ก้อนตัวอย่างทดสอบได้จากการบดอัดด้วยเครื่อง SGC จนได้ช่องว่างอากาศ (Air Void) 7.0% ที่ N_{design} แล้วทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส รูปแบบการป้อนน้ำหนักเป็นแบบกระทำซ้ำ (Repeated Load) ในลักษณะ Haversine Wave ทุกๆ 1 วินาที หรือเท่ากับค่าความถี่มาตรฐาน 1 Hz ทั้งนี้ ASTM D 4123 แนะนำว่าค่าความถี่ดังกล่าวใกล้เคียงกับค่าความถี่จริงเนื่องจากการจราจร และกำหนดน้ำหนักกดเท่ากับ 15% ของหน่วยแรงที่ได้จากการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength) มีช่วงเวลาการให้น้ำหนักกดบนก้อนตัวอย่างเท่ากับ 0.1 วินาที และช่วงเวลาหยุดให้น้ำหนักเท่ากับ 0.9 วินาที ก้อนตัวอย่างจัดวางในเครื่องทดสอบในลักษณะเดียวการทดสอบค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม โดยก้อนตัวอย่างแต่ละก้อนจะทำการทดสอบ 2 ทิศทาง ที่ตั้งฉากกันในแนวเดียวกับแนวการวัดเส้น

ผ่านศูนย์กลาง และจะหยุดการทดสอบเมื่อจำนวนรอบการให้น้ำหนักกดเท่ากับ 160 รอบ เนื่องจากมาตรฐานการทดสอบได้อธิบายไว้ว่า ที่จำนวนรอบดังกล่าว ระดับค่าโมดูลัสคืนตัวจะค่อนข้างคงที่ ซึ่งสามารถคำนวณได้จากการเฉลี่ย 5 ค่าสุดท้าย

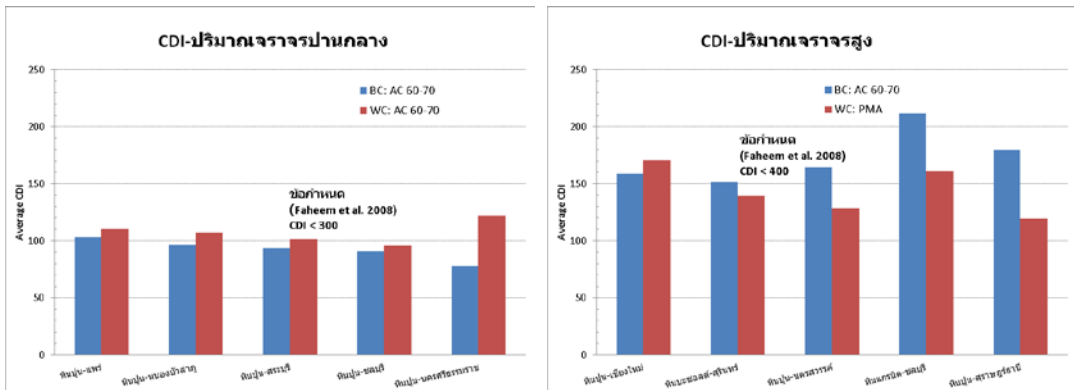
4. ผลการศึกษา

4.1 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพพ

การศึกษานี้ได้ดำเนินการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพพ [3] จากแหล่งวัสดุมวลรวมในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ ภาคละ 2 แหล่ง และปริมาณการจราจร 2 ระดับ ได้แก่ ปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) และสูง (10-30 ล้าน ESALs) จำนวนทั้งสิ้น 20 ส่วนผสม ผลการทดสอบ Consensus และ Source Properties ของวัสดุมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง สรุปในตารางที่ 2 และ 3 ตามลำดับ ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Job Mix Formula) โดยวิธีซูเปอร์เพพสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง สรุปในตารางที่ 4 และ 5 ตามลำดับ ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีซูเปอร์เพพสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง แสดงให้เห็นว่า วัสดุมวลรวมและส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตของการศึกษานี้ผ่านเกณฑ์และข้อกำหนดของ AI [3]

4.2 ผลการประเมินคุณสมบัติการบดอัด (Compaction Densification Index)

ผลการประเมินคุณสมบัติการบดอัดของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตจากค่า Compaction Densification Index (CDI) ซึ่งได้จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างร้อยละของค่าความแน่นสูงสุดกับจำนวนรอบการบดอัด หรือ Densification Curve ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพพสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง แสดงดังรูปที่ 4 จากผลการประเมินค่า CDI พบว่า ก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตผ่านเกณฑ์และข้อกำหนดด้านคุณสมบัติการบดอัดอ้างอิงตาม Faheem และคณะ [9] ค่า CDI ในการศึกษาไม่เกิน 300 และ 400 สำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูงตามลำดับ นอกจากนี้ ก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบที่ระดับปริมาณการจราจรสูง มีค่า CDI สูงกว่าก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบที่ระดับปริมาณการจราจรปานกลาง ซึ่งอนุมานได้ว่ากระบวนการบดทับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบที่ระดับปริมาณการจราจรสูงกระทำไดยากกว่ากระบวนการบดทับส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบที่ระดับปริมาณการจราจรปานกลาง



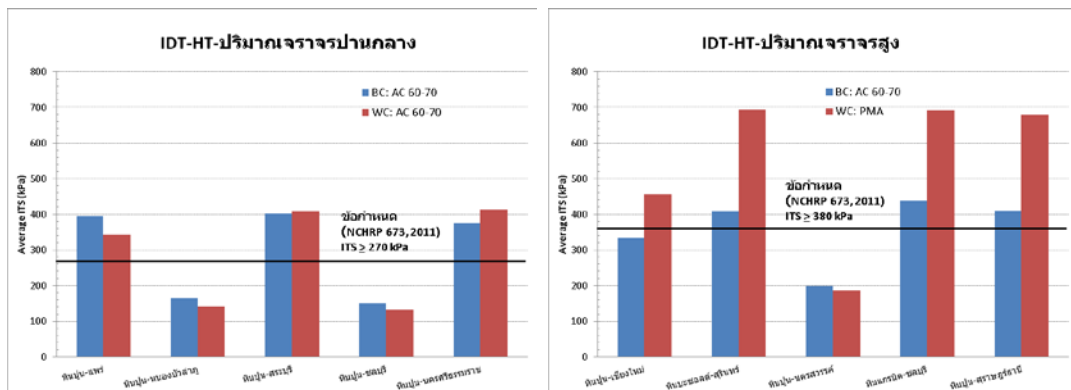
รูปที่ 4 ค่า Compaction Density Index (CDI) ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

4.3 ผลการทดสอบการต้านทานความชื้น (Moisture Susceptibility)

ผลการทดสอบการต้านทานความชื้น (Moisture Susceptibility) โดยการทดสอบ Indirect Tensile Strength ของก้อนตัวอย่างส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพพสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง สรุปในตารางที่ 5 และ 6 ตามลำดับ ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตผ่านเกณฑ์และข้อกำหนดด้านความสามารถต้านทานความชื้น (Moisture Susceptibility, TSR) โดยมีค่า TSR มากกว่า 80% อ้างอิงตาม AI [3]

4.4 ผลการทดสอบการต้านทานการเกิดร่องล้อ

ผลการทดสอบการต้านทานการเกิดร่องล้อโดยการทดสอบ Indirect Tensile Strength at High Temperatures (IDT-HT) ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพพสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง แสดงดังรูปที่ 5 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า ก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งมีมวลรวมเป็นหินปูนจาก จ.หนองบัวลำภู และ จ.ชลบุรี ไม่ผ่านข้อกำหนดด้านความสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยวิธี IDT-HT สำหรับปริมาณการจราจรปานกลาง อ้างอิงตาม NCHRP 673 [11] ส่วนก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตซึ่งมีมวลรวมเป็นหินปูนจาก จ.นครสวรรค์ และ จ.เชียงใหม่ (เฉพาะชั้นรองผิวทาง) ไม่ผ่านข้อกำหนดด้านความสามารถต้านทานการเกิดร่องล้อด้วยวิธี IDT-HT สำหรับปริมาณการจราจรสูง อ้างอิงตาม NCHRP 673 [11]



รูปที่ 5 การต้านทานการเกิดร่องล้อโดยการทดสอบ Indirect Tensile Strength at High Temperatures (IDT-HT) ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

4.5 ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus)

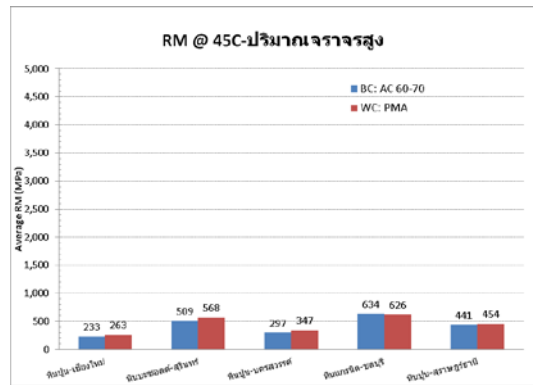
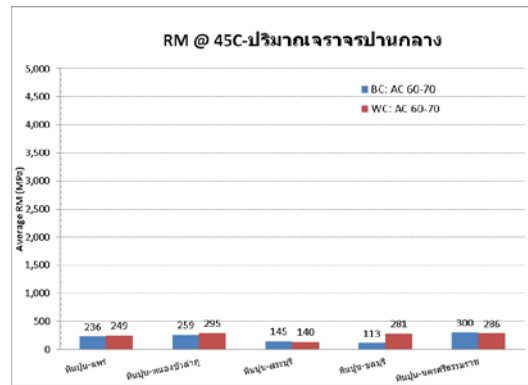
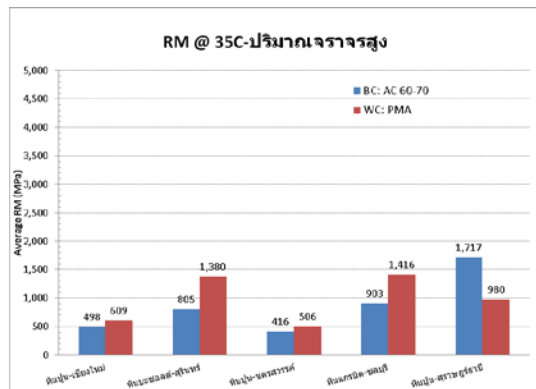
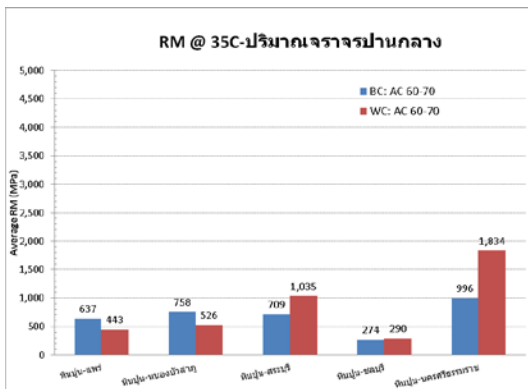
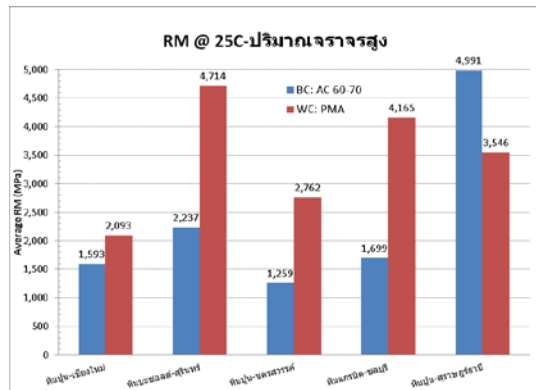
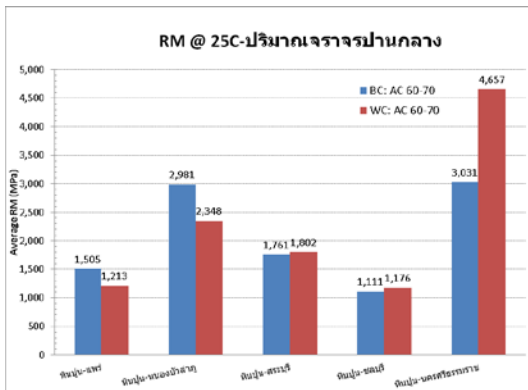
ผลการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) โดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพพ สำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง แสดงดังรูปที่ 6 ค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตผลิตโดยใช้วัสดุผสมรวมจากแหล่งต่าง ๆ มีความแปรปรวนค่อนข้างมาก แม้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบที่ปริมาณการจราจรระดับเดียวกัน นอกจากนี้ยังพบว่า อุณหภูมิมีผลต่อค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตอย่างมาก ค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตทดสอบที่อุณหภูมิ 45 องศาเซลเซียส ต่ำกว่าค่าโมดูลัสคืนตัวของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ประมาณ 10 เท่า

ตารางที่ 5 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Job Mix Formula) โดยวิธีซูเปอร์เพอร์สำหรับปริมาณการจราจรปานกลาง

คุณสมบัติทดสอบ	แหล่งวัสดุในโครงการ						ข้อกำหนด (AI, 2014)
	โรงโม่ หก.แพร่วิศวกรรม 97 ม.3 ต.เวียงต้า จ.แพร่	โรงโม่ คีลาชัยตั้ง อ.นาตาล จ.หนองบัวลำภู	โรงโม่ คีลาเพิ่มพูล ต.หน้าพระลาน อ.เฉลิมพระเกียรติ จ.สระบุรี	โรงโม่ บ.พัฒนาชลบุรี ต.ห้วยกระปี อ.ศรีราชา จ.ชลบุรี	โรงโม่ ผาทองทุ่งสง ต.ปากแพรก อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช	โรงโม่ ผาทองทุ่งสง ต.ปากแพรก อ.ทุ่งสง จ.นครศรีธรรมราช	
อันดับการทดลอง	ACSP – 2/1/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 3/3/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 2/3/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 2/4/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 1/5/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 1/6/2558 Wearing Course AC 60-70 หินปูน	-
ชั้นทาง	ACSP – 2/2/2558 Wearing Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 3/4/2558 Wearing Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 2/3/2558 Binder Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 2/4/2558 Wearing Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 3/8/2558 Wearing Course AC 60-70 หินปูน	ACSP – 1/6/2558 Wearing Course AC 60-70 หินปูน	
ชนิดยางแอสฟัลต์	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	AC 60-70	-
ชนิดมวลรวม	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	หินปูน	
AC (%) by Weight of Aggregate)	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	5.0	-
Density (g/ml)	2.317	2.395	2.392	2.415	2.447	2.412	-
G _{mm} (%) at N _{initial}	87.8 (N _{ini} = 7)	87.6 (N _{ini} = 7)	88.0 (N _{ini} = 7)	87.9 (N _{ini} = 7)	87.9 (N _{ini} = 7)	87.6 (N _{ini} = 7)	≤ 89.0
G _{mm} (%) at N _{design}	96.0 (N _{design} = 75)	96.0 (N _{design} = 75)	96.0 (N _{design} = 75)	96.0 (N _{design} = 75)	96.0 (N _{design} = 75)	96.0 (N _{design} = 75)	96.0
G _{mm} (%) at N _{maximum}	97.4 (N _{max} = 115)	97.5 (N _{max} = 115)	97.2 (N _{max} = 115)	97.5 (N _{max} = 115)	97.2 (N _{max} = 115)	97.5 (N _{max} = 115)	≤ 98.0
VMA (%)	14.3	14.6	14.6	14.6	14.8	14.8	≥ 13 for NMAS 19.0 mm, ≥ 14 for NMAS 12.5 mm
VA (%)	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.0
VFA (%)	72.0	72.6	72.6	72.8	73.6	72.8	65-75
Dust-to-Binder Ratio	1.1	1.1	1.2	1.1	1.0	0.9	0.6-1.2
TSR (%)	86.6	88.7	86.9	87.3	90.1	86.3	≥ 80

ตารางที่ 6 ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต (Job Mix Formula) โดยวิธีซูเปอร์เพฟสำหรับปริมาณการจราจรสูง

คุณสมบัติทดสอบ	แหล่งวัสดุในโครงการ										ข้อกำหนด (AI, 2014)
	โรงไม้ หก. เชียงใหม่ให้เชียง ด.บ้านแปะ จอมทอง จ.เชียงใหม่	โรงไม้ หก. ย่างสีสุรินทร์ เลขที่ 111/2 หมู่ 15 ต.นาบัว อ.เมือง จ.สุรินทร์	ACS – 3/1/2558 ACS – 3/2/2558 ACS – 1/3/2558 ACS – 1/4/2558	ACS – 3/5/2558 ACS – 3/6/2558	ACS – 1/1/2558 ACS – 1/2/2558	ACS – 2/5/2558 ACS – 2/6/2558	ACS – 2/5/2558 ACS – 2/6/2558	ACS – 2/5/2558 ACS – 2/6/2558	ACS – 2/5/2558 ACS – 2/6/2558	ACS – 2/5/2558 ACS – 2/6/2558	
อันดับการทดลอง	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
ชั้นทาง	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
ชนิดยางแอสฟัลต์	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
ชนิดมวลรวม	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
AC (% by Weight of Aggregate)	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
Density (g/ml)	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
G _{mm} (%) at N _{Initial}	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
G _{mm} (%) at N _{design}	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
G _{mm} (%) at N _{maximum}	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
VMA (%)	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
VA (%)	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
VFA (%)	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
Dust-to-Binder Ratio	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)
TSR (%)	ACS – 3/1/2558 Binder Course	ACS – 3/2/2558 Wearing Course	ACS – 1/3/2558 Binder Course	ACS – 1/4/2558 Wearing Course	ACS – 3/5/2558 Binder Course	ACS – 3/6/2558 Wearing Course	ACS – 1/1/2558 Binder Course	ACS – 1/2/2558 Wearing Course	ACS – 2/5/2558 Binder Course	ACS – 2/6/2558 Wearing Course	ข้อกำหนด (AI, 2014)



รูปที่ 6 ค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) โดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต

5. สรุปผลการศึกษา

บทความนี้นำเสนอ (1) ผลการศึกษาออกแบบสูตรส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีซูเปอร์เพฟ (SUPERPAVE™) ตามข้อกำหนดการออกแบบของ Asphalt Institute (AI) โดยพิจารณาแหล่งวัสดุมวลรวมในภาคเหนือ ภาคตะวันออกเฉียงเหนือ ภาคกลาง ภาคตะวันออก และภาคใต้ของประเทศไทย และปริมาณการจราจร 2 ระดับ ได้แก่ ปานกลาง (3-10 ล้าน ESALs) และสูง (10-30 ล้าน ESALs) (2) ผลการศึกษาทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส และการต้านทานการเกิดร่องล้อโดยวิธีใช้แรงดึงทางอ้อมของตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตเตรียมตามระบบซูเปอร์เพฟ

ผลการทดสอบการต้านทานการเกิดร่องล้อโดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิคงที่ 50 องศาเซลเซียส (Indirect Tensile Strength at High Temperatures, IDT-HT) และค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) โดยวิธีแรงดึงทางอ้อมที่อุณหภูมิ 25, 35 และ 45 องศาเซลเซียส ของก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบโดยวิธีซูเปอร์เพฟสำหรับปริมาณการจราจรปานกลางและสูง แสดงให้เห็นว่า แม้ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบที่ปริมาณการจราจรระดับเดียวกัน แต่วัสดุมวลรวมต่างแหล่งกัน ความต้านทานการเกิดร่องล้อและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตอาจต่างกันได้ ดังนั้นแหล่งวัสดุมวลรวมจึงมีอิทธิพลต่อความต้านทานการเกิดร่องล้อและค่าโมดูลัสคืนตัวของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตออกแบบตามระบบซูเปอร์เพฟที่ปริมาณการจราจรระดับเดียวกัน ทั้งนี้คุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผ่านเกณฑ์และข้อกำหนดก็ไม่จำเป็นว่า ก้อนตัวอย่างวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตจะมีความต้านทานการเกิดร่องล้อและค่าโมดูลัสยืดหยุ่นใกล้เคียงกัน โดยเฉพาะค่าโมดูลัสยืดหยุ่นนั้นมีความแปรปรวนค่อนข้างสูง ท้ายที่สุด การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามระบบซูเปอร์เพฟ ควรคำนึงถึงขั้นตอนการคัดเลือกแหล่งวัสดุมวลรวมและการทดสอบคุณสมบัติเชิงสมรรถนะของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์ก่อนนำไปใช้งานจริง

References

- [1] AI (2003). **Superpave Performance Graded Asphalt-Binder Specifications and Testing: Superpave Series No.1 (SP-1)**. Asphalt Institute.
- [2] AI (2001). **Superpave Mix Design: Superpave Series No.2 (SP-2)**. Asphalt Institute.
- [3] AI (2014). **Asphalt Mix Design Methods (MS-2)**. 7th Edition. Asphalt Institute.
- [4] Chaayatun Promsorn, Thanasak Faikratok, Sekchai Anuvechsirikiat, Pornchai Silarom and Narongchai Numkun (2546). "Evaluation of Asphalt Concrete Properties in Thailand based on Superpave". **Report No.205. Bureau of Road Research and Development. Department of Highways.** (In Thai)

- [5] Department of Highways. (2555). **Pavement Condition Survey and Structural Assessment on Major Highways**. Bureau of Road Research and Development and Bureau of Material Analysis and Inspection. Department of Highways. (In Thai)
- [6] Tunwin Svasdisant and Tunradee Kortangsampan (2553). "Guidelines for Selection of Asphalt Binder and Asphalt Concrete Mix Design for Thailand Practice". **Seminar on Material Analysis and Inspection. Bureau of Material Analysis and Inspection. Department of Highways**. (In Thai)
- [7] AASHTO T 166 (2012). **Standard Test Method for Determining Bulk Specific Gravity (G_{mb}) of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) using Saturated Surface-Dry Specimens**. AASHTO. Washington. D.C.
- [8] AASHTO T 209 (2012). **Determining Theoretical Maximum Specific Gravity (G_{mm}) and Density of Hot Mix Asphalt (HMA) Paving Mixtures**. AASHTO. Washington. D.C.
- [9] Faheem, A.F., Hanz, A., and Bahia, H.U. (2008). "Implementation of WisDOT Project 0092-01-02: Using the Superpave Gyratory Compactor to Measure Mechanical Stability of Asphalt Mixtures". **Wisconsin Highway Research Program No. 0092-06-08**. Wisconsin Department of Transportation. Madison. WI.
- [10] AASHTO T 283 (2007). **Standard Test Method for Resistance of Compacted Hot Mix Asphalt (HMA) to Moisture-Induced Damage**. AASHTO. Washington. D.C.
- [11] NCHRP Report 673 (2011). **A Manual for Design of Hot Mix Asphalt with Commentary**. Transportation Research Board. Washington. D.C.
- [12] ASTM D 4123 (1982). **Standard Test Method for Indirect Tension Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures**. ASTM International. PA.

ประวัติผู้เขียนบทความ



อัครพัฒน์ สว่างสุริย์ วิศวกรโยธาชำนาญการพิเศษ สำนักวิจัยและพัฒนา
งานทาง กรมทางหลวง 2/486 ถนนศรีอยุธยา แขวงทุ่งพญาไท เขตราช
เทวี กรุงเทพมหานคร 10400 โทรศัพท์ 02-354-6668-76 ต่อ 23916 E-
mail: sawangsuriya@gmail.com



ศุภสิทธิ์ ศิริศักดิ์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งประธานบริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด 191/49 ชั้นที่ 20 อาคาร ซีทีไอ ถนนรัชดาภิเษก เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 โทรศัพท์ 02-661-8745 E-mail: tsirisak@yahoo.com



โชติ สรณาคมน์ ปัจจุบันดำรงตำแหน่งผู้ช่วยรองประธาน บริษัท ไอเอ็มเอ็มเอส จำกัด 191/49 ชั้นที่ 20 อาคาร ซีทีไอ ถนนรัชดาภิเษก เขตคลองเตย กรุงเทพมหานคร 10110 โทรศัพท์ 02-661-8745 E-mail: nychote@hotmail.com