

## สมรรถนะทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต Duopave

สุขสันต์ หอพิบูลสุข<sup>1\*</sup> รุ่งลาวัลย์ ราชนัน<sup>2</sup> เชิดศักดิ์ สุขศิริพัฒน์พงค์<sup>3\*</sup> ถาวร ตะไก่อแก้ว<sup>4</sup>  
ภัทรสุดา วิชยพงศ์<sup>5</sup> และ สมัย โชติสกุล<sup>6</sup>

### บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นได้ของการประยุกต์ใช้ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave เป็นผิวทางของถนนใหม่และถนนซ่อมบำรุง โดยใช้หินปูน ซึ่งเป็นหินที่พบมากในประเทศไทยเป็นมวลรวม พฤติกรรมทางวิศวกรรมของผิวทาง AC Duopave ถูกนำมาเปรียบเทียบกับพฤติกรรมทางวิศวกรรมของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล ซึ่งเป็นผิวทางมาตรฐานสำหรับถนนทางหลวงชนบทของประเทศไทย ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีคุณสมบัติทางวิศวกรรม (กำลังรับแรงดึงทางอ้อม, โมดูลัสการคืนตัว, ความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม และความคืบพลวัต) เหนือกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน ช่องว่างอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ดังจะเห็นได้จากการเพิ่มขึ้นของค่ากำลังต้านทานแรงดึงทางอ้อม โมดูลัสการคืนตัว ความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม และการลดลงของค่าความคืบพลวัต ตามปริมาณช่องว่างอากาศที่ลดลง

**คำสำคัญ:** แอสฟัลต์คอนกรีต Duopave, กำลังรับแรงดึงทางอ้อม, โมดูลัสการคืนตัว, ความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม, ความคืบพลวัต

<sup>1</sup> ศาสตราจารย์ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา และหัวหน้าศูนย์เชี่ยวชาญด้านนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>2</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีมหานคร

<sup>3</sup> ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลอีสาน

<sup>4</sup> นักศึกษาปริญญาเอก สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>5</sup> นักวิจัย ศูนย์เชี่ยวชาญด้านนวัตกรรมเพื่อการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี

<sup>6</sup> รองอธิบดี กรมทางหลวงชนบท

\* ผู้ติดต่อประสานงาน โทร. 0-4422-4421 อีเมล: suksun@g.sut.ac.th และ cherd sak.su@muti.ac.th



## Engineering Performance of Asphalt Concrete AC Duopave

Suksun Horpibulsuk<sup>1\*</sup> Runglawan Rachan<sup>2</sup> Cherdasak Suksiripattanapong<sup>3\*</sup> Thaworn Takaikaw<sup>4</sup>  
Phattarasuda Witchayaphong<sup>5</sup> and Smai Chotisakul<sup>6</sup>

### Abstract

This research investigates the probability of using asphalt concrete AC Duopave as a new pavement and repaired pavement. The studied aggregate was limestone, which is locally available in Thailand. The engineering behavior of AC Duopave was compared with that of Marshall's asphalt concrete, which is a standard asphalt concrete pavement of rural roads in Thailand. Test results showed that the engineering properties (indirect tensile strength, resilient modulus, indirect tensile fatigue and dynamic creep) of AC Duopave were superior to those of Marshall's asphalt concrete for the same air voids. The air voids affected engineering properties of AC Duopave: the indirect tensile strength, resilient modulus and indirect tensile fatigue of AC Duopave increased while the dynamic creep of AC Duopave decreased as the air voids decreased.

**Keywords:** Asphalt concrete AC Duopave, Indirect tensile strength, Resilient modulus, indirect tensile fatigue, dynamic creep

<sup>1</sup> Professor, School of Civil Engineering, and Director, Center of Excellence in Innovation for Sustainable Infrastructure Development, Suranaree University of Technology

<sup>2</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahanakorn University of Technology

<sup>3</sup> Assistant Professor, Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering and Architecture, Rajamangala University of Technology Isan

<sup>4</sup> PhD scholar, School of Civil Engineering, Suranaree University of Technology

<sup>5</sup> Researcher, Center of Excellence in Innovation for Sustainable Infrastructure Development, Suranaree University of Technology

<sup>6</sup> Deputy Director General, Department of Rural Roads

\* Corresponding Author Tel. 0-4422-4322, e-mail: suksun@g.sut.ac.th and cherdasak.su@muti.ac.th



## 1. บทนำ

ผิวทางของถนนทางหลวงชนบทส่วนใหญ่ออกแบบด้วยวิธีมาร์แชล ซึ่งใช้มวลรวมที่มีความคละดี เมื่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตรับน้ำหนักบรรทุกที่สูงและกระทำแบบซ้ำ ๆ มวลรวมสามารถเคลื่อนตัวและส่งผลให้เกิดความเสียหายแบบร่องล้อ แนวคิดการออกแบบผิวทางแบบหนึ่งที่ใช้มวลรวมที่มีลักษณะหยาบเป็นพิเศษ (Gap graded aggregate) ที่เรียกว่า Stone Mastic Asphalt (SMA) สามารถช่วยลดการเกิดร่องล้อเนื่องจากการเคลื่อนตัวของมวลรวมขณะรับน้ำหนักกระทำซ้ำ ๆ [1-3] ผิวทาง SMA จะใช้มวลรวมที่มีขนาดใกล้เคียงกันเพื่อให้เกิดการเรียงต่อกันของมวลรวมแบบ Stone to stone skeleton และใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด Polymer modified asphalt เป็นสารเชื่อมประสานผิวทางดังกล่าวได้ประยุกต์ใช้กับผิวจราจรที่รับน้ำหนักบรรทุกสูง ได้แก่ Autobahn และ Federal road ในหลายประเทศทั้งในยุโรปและเอเชีย เพื่อความคุ้มค่าทางเศรษฐกิจ แนวคิดของ SMA ได้ถูกปรับปรุงเพื่อใช้กับผิวทางที่รับน้ำหนักบรรทุกต่ำถึงปานกลาง แนวคิดใหม่นี้เรียกว่า Asphalt Concrete Duopave (AC Duopave) ผิวทาง AC Duopave ได้นำมาประยุกต์ใช้งานถนนภูมิภาค (Regional road), ถนนท้องถิ่น (District road) และ ถนนเทศบาล (Municipal road) อย่างแพร่หลายในหลายประเทศทั้งในยุโรป ผิวทาง AC Duopave มีความคงทนสูง (อายุการใช้งานของถนนยาวนาน สามารถทำหน้าได้ทั้ง Wearing course และ Binder course จึงทำให้ระยะเวลาการก่อสร้างลดลง ผิวทาง AC Duopave มีความสามารถในการรับน้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำ ๆ ความต้านทานแรงดึง และโมดูลัสยืดหยุ่นสูง จึงมีความต้านทานการแตกร้าวเนื่องความล้า (Fatigue Cracking) และความเสียหายแบบร่องล้อ (Rutting) สูง ดังนั้น ผิวทาง AC Duopave จึงมีอายุการใช้งานนาน ค่าใช้จ่ายในการบำรุงรักษาต่ำ ค่าใช้จ่ายการก่อสร้างต่ำ (เนื่องจากสามารถก่อสร้างได้รวดเร็ว) และความหนาของชั้นผิวทางต่ำกว่าผิวทางที่ออกแบบด้วยวิธีมาร์แชล

ผิวทาง AC Duopave ยังไม่มีการประยุกต์ใช้ในประเทศไทย เนื่องจากยังขาดผลงานวิจัยที่ยืนยันศักยภาพและความคงทนภายใต้น้ำหนักบรรทุกกระทำซ้ำของผิวทางดังกล่าว งานวิจัยนี้จึงศึกษาพฤติกรรมเชิงสมรรถนะทาง

วิศวกรรมในห้องปฏิบัติการของผิวทาง AC Duopave ที่ใช้หินปูน (ซึ่งเป็นหินที่พบมากในประเทศไทย) เป็นวัสดุมวลรวม และเปรียบเทียบกับพฤติกรรมเชิงสมรรถนะทางวิศวกรรม (Performance) ของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล

## 2. ตัวอย่างและวิธีการดำเนินงาน

หินปูนที่ใช้ในงานวิจัยนี้ได้จากโรงโม่หิน อำเภอปากท่อ จังหวัดราชบุรี วัสดุเชื่อมประสานเป็นแอสฟัลต์ AC 60/70 ซึ่งมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.02 ตารางที่ 1 แสดงคุณสมบัติทางกายภาพของหินปูน

ตารางที่ 1 คุณสมบัติทางกายภาพของหินปูน

คุณสมบัติ	หินปูน
Bulk specific gravity	2.710
Apparent specific gravity	2.734
Effective specific gravity	2.512
Flakiness index (%)	50
Elongation index (%)	16
Los Angeles Abrasion (%) Aggregate ¾"	25.1
Soundness (% WT loss) Aggregate ¾"	2.2
Soundness (% WT loss) Fine Aggregate	5.0

การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave เป็นวิธีเดียวกันกับแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล เพียงแต่มวลรวมที่ใช้มีลักษณะหยาบเป็นพิเศษ มวลรวมจะถูกปรับเปลี่ยนจนมีความคละอยู่ในขอบเขตของมาตรฐานประเทศเยอรมัน ปริมาณช่องว่างอากาศของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ใช้ในการศึกษานี้ กำหนดให้เท่ากับร้อยละ 3 และ 4 ซึ่งเป็นค่าที่กำหนดมาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ของประเทศเยอรมัน และมาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชลของกรมทางหลวงชนบท ตามลำดับ ตารางที่ 2 ถึง 4 แสดงขนาดคละของหินปูนที่ใช้ในการออกแบบส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต (ช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 4) แอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 4 และ 3 ตามลำดับ

หินปูนนำมาผสมเข้ากับแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70 ที่มีปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ต่างๆ (อย่างน้อย 5 ค่า เพื่อหาปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่เหมาะสม) หลังจากนั้นส่วนผสมดังกล่าวจะถูกนำมาบดอัดเพื่อเตรียมก้อน

ตัวอย่างทดสอบขนาดสูง 2.5 นิ้ว (64 มม.) และเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว (102 มม.) ก่อนตัวอย่างจะถูกนำไปทดสอบความหนาแน่น เพื่อหาปริมาณแอสฟัลต์ที่ได้ ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 3 และ 4 สำหรับตัวอย่างผิวทาง AC Duopave และร้อยละ 4 สำหรับตัวอย่างผิวทางมาร์แชล ตามลำดับ ปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมที่ได้จากการทดสอบมีค่าเท่ากับร้อยละ 5.1, 4.1 และ 4.3 สำหรับตัวอย่างผิวทางมาร์แชล, AC Duopave ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 4 และ 3 ตามลำดับ

การสอบเสถียรภาพ ความหนาแน่น และค่าการไหลของก้อนตัวอย่างทั้งสองประเภทกระทำตามมาตรฐาน ทล.-ม. 604/2517 คุณสมบัติทางกายภาพของตัวอย่างทดสอบแสดงดังตารางที่ 5

นอกจากนี้ ผู้วิจัยยังทำการทดสอบสมรรถนะทางวิศวกรรมตามมาตรฐาน ASTM จำนวนตัวอย่างในแต่ละการทดสอบเท่ากับ 3 ตัวอย่าง และรายละเอียดการทดสอบจำแนกตามหัวข้อดังนี้

2.1 การทดสอบความต้านแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength)

วิธีการทดสอบอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D6931 [4] โดยตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นรูปทรงกระบอก (Cylindrical Shaped Specimens) ที่เตรียมจากห้องทดลองตามมาตรฐาน ASTM D1559 ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 4.0 นิ้ว ตัวอย่างจะถูกนำมาวางบนเครื่องทดสอบในแนวราบ จากนั้นให้แรงกระทำซ้ำ ๆ ผ่าน Loading strips จำนวน 2 อัน ซึ่งวางตามความยาวของตัวอย่างทั้งด้านบนและด้านล่าง Loading strip เป็นแท่งเหล็กที่มีความกว้าง 12.7+0.3 มิลลิเมตร ความยาวของ Loading strip ต้องมากกว่าความสูงของก้อนตัวอย่าง ผิวด้านหนึ่งของ Loading Strip มีริ้วค้ำที่พอดีสัมผัสกับผิวของก้อนตัวอย่าง

2.2 การทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบเพื่อหาค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient modulus :  $M_R$ ) โดยวิธีแรงดึงทางอ้อมอ้างอิงตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM D4123-82 [5] การทดสอบกระทำที่อุณหภูมิ 35 องศาเซลเซียส โดยกำหนด Pulse width เท่ากับ 100 milliseconds (ให้น้ำหนักลงบนก้อนตัวอย่างทุก ๆ 1.0 วินาที) การทดสอบ

จะกระทำใน 2 ทิศทาง ที่ตั้งฉากกันในแนวเดียวกับแนวการวัดเส้นผ่านศูนย์กลาง การทดสอบจะหยุดเมื่อจำนวนครั้งของการกดน้ำหนักถึงรอบที่ 200 เนื่องจากมาตรฐานการทดสอบบ่งชี้ว่า โมดูลัสคืนตัวมีค่าประมาณคงที่ เมื่อจำนวนรอบเกินกว่า 200 ค่าโมดูลัสคืนตัวจึงเป็นค่าเฉลี่ย 5 ค่าสุดท้ายของการทดสอบ

2.3 การทดสอบความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile fatigue)

การทดสอบนี้เพื่อหาพฤติกรรมความต้านทานการแตกร้าวเนื่องจากความล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต หรือคุณสมบัติความต้านทานต่อความล้า (Fatigue properties) ที่เกิดขึ้นกับวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบของ British standard [6] รูปแบบและลักษณะการป้อนน้ำหนักกำหนดเช่นเดียวกับการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว โดยให้น้ำหนักกระทำซ้ำที่ควบคุมหน่วยแรงคงที่ (Constant stress) จนกระทั่งก้อนตัวอย่างเกิดความเสียหาย จำนวนครั้งที่แรงกระทำจนแอสฟัลต์คอนกรีตเกิดความเสียหาย ( $N_f$ ) ก็คืออายุความต้านทานต่อการล้า (Fatigue Life) ของตัวอย่างทดสอบ การทดสอบจะกระทำที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยใช้ค่าหน่วยแรงที่กระทำทั้งหมด 3 ระดับด้วยกัน คือ 250, 300 และ 350 กิโลปาสคาล ก้อนตัวอย่างจะถูกจัดวางในเครื่องทดสอบในลักษณะเดียวกับการทดสอบหาค่าความต้านทานแรงดึงทางอ้อมและการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว

2.4 การทดสอบความคืบพลวัต (Dynamic creep test)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต เพื่อศึกษาความสามารถในการต้านทานต่อการเปลี่ยนแปลงรูปร่างอย่างถาวร (Permanent deformation) และเพื่อหาพฤติกรรมความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งประยุกต์จากการทดสอบตามมาตรฐาน BS DD 226 [7] โดยใช้หน่วยแรงทดสอบเท่ากับ

120 กิโลปาสคาล แบ่งเป็นช่วงเวลาที่มีการลดลง บนก้อนตัวอย่าง 0.1 วินาที และพัก 0.9 วินาที แล้วให้น้ำหนักกระทำซ้ำกับก้อนตัวอย่างไปเรื่อย ๆ จนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ หรือค่าการยุบตัวไม่เกิน 5,000 microstrain



หรือจำนวนรอบการทดสอบไม่เกิน 10,000 รอบ จึงหยุดทดสอบ

ลักษณะแรงกระทำซ้ำต่อกันตัวอย่างในแนวตั้งเป็นแบบ Repeated uniaxial loading strain test (Dynamic creep test) ซึ่งเป็นการทดสอบโดยการป้อนน้ำหนักตามแนวแกน (Axial load) เพื่อจำลองพฤติกรรม การรับน้ำหนักของถนน การทดสอบจะทดสอบที่อุณหภูมิ 40 °C เพื่อให้ใกล้เคียงกับค่าเฉลี่ยของอุณหภูมิผิวทางในประเทศไทย ซึ่งมีค่าเท่ากับ 38 °C [5] ค่าที่ได้จากการทดสอบนี้ ได้แก่ อัตราการยวบตัว (Rate of Deformation) และ Flow Number (FN) ซึ่งจะบ่งบอก

ถึงความต้านทานการเกิดร่องล้อของวัสดุผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ค่าการเปลี่ยนรูปตามแนวแกนหรือค่าการยวบตัวในการทดสอบจะถูกวัดโดย Linear Variable Differential Transducers (LVDT) 2 ชุด ที่ติดตั้งอยู่ด้านบนของก้อนตัวอย่าง เพื่อเป็นการวัดการยวบตัวในทิศทางเดียวกับน้ำหนักที่กระทำ ข้อมูลที่ได้จากการทดสอบจะแสดงอยู่ในรูปของค่าความเครียดสะสม (Accumulated strain) ที่เพิ่มขึ้นในแต่ละรอบของการป้อนน้ำหนัก การทดสอบจะดำเนินการไปจนกระทั่งค่า Test period ครบ 1,800 Pulses

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของหินปูนสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล

HOT BIN							
Sieve Size	% Passing					Combined	Desired
	Filler	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4		
1"							-
3/4"							-
1/2"		100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
3/8"		100.0	100.0	83.0	16.8	82.1	80-100
# 4		100.0	100.0	47.1	4.6	73.8	-
# 8		97.7	46.8	7.5	2.7	55.1	44-74
# 16		79.5	17.7	0.5		39.4	28-58
# 30		55.8	13.6	0.3		27.9	-
# 50		41.7	12.3			21.2	-
# 100		34.3				15.4	5-21
# 200		26.0				11.7	-
Mix Proportion	0	45	20	17	18		


**ตารางที่ 3** อัตราส่วนผสมของหินปูนสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave (ช่องว่างอากาศร้อยละ 4)

HOT BIN							
Sieve Size	% Passing					Combined	Desired
	Filler	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4		
1"							-
3/4"	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100.0	100
1/2"	100	100.0	100.0	83.0	16.8	71.8	72 - 82
3/8"	100	100.0	100.0	47.1	4.6	61.3	56 - 66
# 4	100	97.7	46.8	7.5	2.7	42.0	35 - 42
# 8	100	79.5	17.7	0.5		29.3	26 - 33
# 16	100	55.8	13.6	0.3		22.3	-
# 30	100	41.7	12.3			18.3	-
# 50	100	34.3				13.9	-
# 100	100	26.0				11.8	-
# 200	83.5	18.9				9.1	8-12
Mix Proportion	5	26	20	19	30		

**ตารางที่ 4** อัตราส่วนผสมของหินปูนสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave (ช่องว่างอากาศร้อยละ 3)

HOT BIN							
Sieve Size	% Passing					Combined	Desired
	Filler	Bin 1	Bin 2	Bin 3	Bin 4		
1"							-
3/4"	100	100.0	100.0	100.0	100.0	100	100
1/2"	100	100.0	100.0	83.0	16.8	72	72 - 82
3/8"	100	100.0	100.0	47.1	4.6	61	56 - 66
# 4	100	97.7	46.8	7.5	2.7	42	35 - 42
# 8	100	79.5	17.7	0.5		30	26 - 33
# 16	100	55.8	13.6	0.3		24	-
# 30	100	41.7	12.3			20	-
# 50	100	34.3				16	-
# 100	100	26.0				14	-
# 200	83.5	18.9				11	8-12
Mix Proportion	8	23	20	19	30		

**ตารางที่ 5** คุณสมบัติทางกายภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave และมาร์แชล

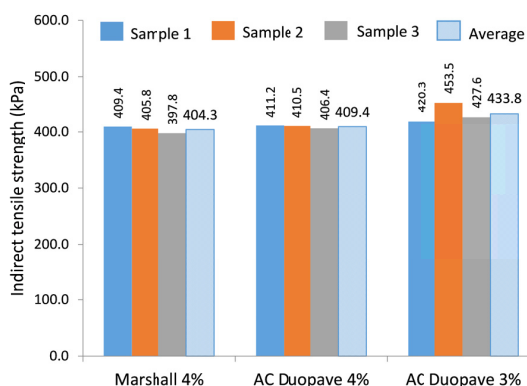
	หินปูน		
	Marshall 4%	AC 4%	AC 3%
Asphaltic content (%)	5.1	4.1	4.3
Marshall air void (%)	4.0	4.0	3.0
Marshall density (gm./ml.)	2.40	2.45	2.48
Void in mineral aggregate (%)	14.8	12.9	12.4
Void filled with bitumen (%)	73	69	75.9
Marshall stability (lbs.)	2280	2370	2560
Marshall flow (0.01")	13	14	14
Stability/Flow ratio (lbs./0.01")	175	169	182

ผลการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ดังแสดงในตารางที่ 5 พบว่าที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีค่าน้อยกว่า ยกตัวอย่างเช่น ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 4 ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave และมาร์แชลที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมมีค่าเท่ากับร้อยละ 4.1 และ 5.1 ตามลำดับ นอกจากนี้ยังพบว่าปริมาณช่องว่างอากาศที่ลดลงส่งผลให้ปริมาณแอสฟัลต์ซีเมนต์เหมาะสมมีค่ามากขึ้นเพื่ออุดช่องว่างระหว่างมวลรวม ดังจะเห็นได้จากปริมาณแอสฟัลต์ที่เหมาะสมของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวมมีค่าเท่ากับ 4.1 และ 4.3 สำหรับปริมาณช่องว่างอากาศร้อยละ 4 และ 3 ตามลำดับ

ค่า Flow ของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave และมาร์แชลมีค่าใกล้เคียงกันสำหรับทุกปริมาณช่องว่างอากาศ (มีค่าระหว่าง 13 และ 14) ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเดียวกัน (ร้อยละ 4) แอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีค่า Stability สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล แอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ปริมาณช่องว่างอากาศต่ำ (ร้อยละ 3) มีค่า Stability สูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ปริมาณช่องว่างอากาศต่ำ (ร้อยละ 4)

### 3. ผลการศึกษาและวิเคราะห์ผล

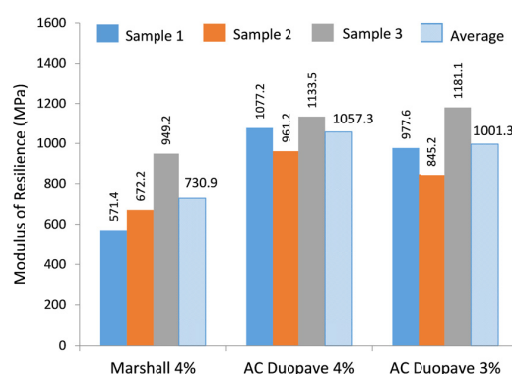
#### 3.1 กำลังรับแรงดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength, ITS)



**รูปที่ 1** กำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชลและแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave

รูปที่ 1 แสดงค่ากำลังรับแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave และแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน (ร้อยละ 4) แอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave และแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชลมีค่า ITS ใกล้เคียงกันมาก หรือกล่าวอีกนัยหนึ่งว่าขนาดผลของมวลรวมไม่มีผลต่อกำลังรับแรงดึงทางอ้อม ปริมาณช่องว่างอากาศมีอิทธิพลต่อ ITS ดังจะเห็นได้ว่าค่า ITS ของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีค่าเท่ากับ 433.8 kPa และ 409.4 kPa สำหรับปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 3 และ 4 ตามลำดับ

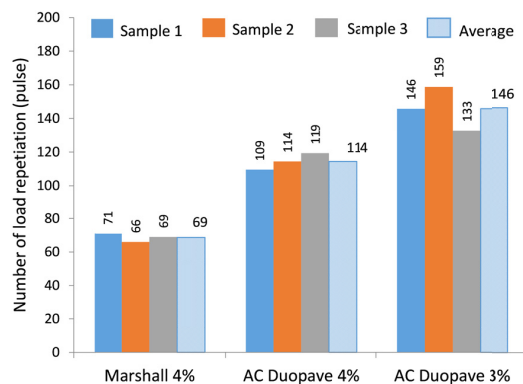
#### 3.2 โมดูลัสการคืนตัว (Resilient modulus, $M_R$ )



**รูปที่ 2** โมดูลัสการคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชลและแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave

รูปที่ 2 แสดงโมดูลัสการคืนตัวของแอสฟัลต์คอนกรีต มาร์แชล และแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม แอสฟัลต์คอนกรีตประเภท AC Duopave ที่ปริมาณช่องว่างอากาศร้อยละ 3 มีค่าสูงกว่าที่ปริมาณช่องว่างอากาศร้อยละ 4 และมีค่าสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชลประมาณ 1.5 เท่า ดังนั้นหากเปรียบเทียบกับผลทดสอบในรูปที่ 1 ซึ่งเป็นการทดสอบแรงดึงทางอ้อมแบบสถิต จะเห็นได้ว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีความต้านทานแรงดึงพลวัตทางอ้อมสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล แม้ว่าความสามารถในการรับแรงดึงสถิตจะมีค่าใกล้เคียงกัน

### 3.3 ความต้านทานความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue)



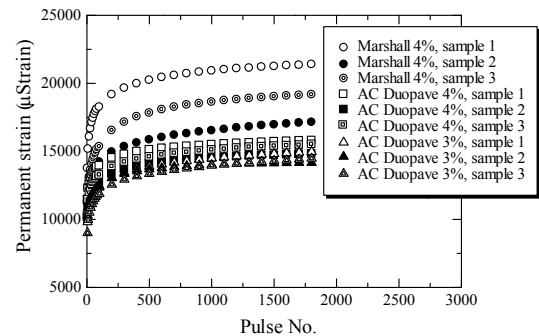
### รูปที่ 3 ความต้านทานการล้าของแอสฟัลต์คอนกรีต มาร์แชล และแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave

รูปที่ 3 แสดงค่าความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล และแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม แอสฟัลต์คอนกรีตประเภท AC Duopave ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 3 มีค่าความต้านทานการล้าสูงสุด และสูงกว่าความต้านทานการล้าที่วัดได้ในแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชลอย่างชัดเจน ผลทดสอบในรูปที่ 3 นี้มีแนวโน้มไปในทางเดียวกับผลทดสอบในรูปที่ 2 ซึ่งแสดงให้เห็นถึงประสิทธิภาพในการต้านแรงดึงพลวัตที่สูงของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave

### 3.4 ความคืบพลวัต (Dynamic Creep)

ความคืบคือการเสียรูปถาวร (Permanent deformation) ของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยสามารถ

ทดสอบได้ทั้งลักษณะการให้แรงกระทำสถิต (Static) และให้แรงกระทำซ้ำ (Dynamic) ผลทดสอบแสดงถึงความสามารถในการต้านทานการเสียรูปถาวรของแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งเป็นค่าบ่งชี้ถึงสมรรถนะในการต้านทานการเกิดร่องล้อ รูปที่ 4 แสดงผลทดสอบความคืบพลวัตเมื่อรับแรงตามแนวแกน (การอัดตัว) ของแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล และแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม แอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีค่าความคืบพลวัต (ประมาณ 15,380  $\mu$  strain) ต่ำกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล (ประมาณ 19,239  $\mu$  strain) ซึ่งแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave จะมีความต้านทานการเกิดร่องล้อสูงกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล ผลทดสอบแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีค่าความคืบพลวัตต่ำลงเมื่อปริมาณช่องว่างอากาศลดลง ดังจะเห็นได้ว่าแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากับร้อยละ 3 มีค่าการคืบต่ำที่สุด (ประมาณ 14,535  $\mu$  strain)



### รูปที่ 4 ผลทดสอบความคืบพลวัตของแอสฟัลต์คอนกรีต มาร์แชล และแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave

## 4. สรุปผลการศึกษา

งานวิจัยนี้ศึกษาความเป็นไปได้ของการประยุกต์ใช้ผิวทาง AC Duopave เป็นผิวทางของถนนใหม่และถนนซ่อมบำรุง โดยใช้หินปูน ซึ่งเป็นหินที่พบมากในประเทศไทยเป็นมวลรวมในการทำผิวทาง AC Duopave ตัวแปรอิทธิพลที่สนใจในงานวิจัยนี้ประกอบด้วยปริมาณช่องว่างอากาศ ผลการศึกษาสามารถสรุปได้ดังนี้

4.1 แอสฟัลต์คอนกรีต AC Duopave มีคุณสมบัติทางวิศวกรรม (กำลังรับแรงดึงทางอ้อม, โมดูลัสการคืนตัว,



ความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม, ความคืบพลวัต) เหนือกว่าแอสฟัลต์คอนกรีตมาร์แชล ที่ปริมาณช่องว่างอากาศเท่ากัน

4.2 ช่องว่างอากาศมีอิทธิพลต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของ AC Duopave ที่ใช้หินปูนเป็นมวลรวม ดังจะเห็นได้ว่าค่ากำลังต้านทานแรงดึงทางอ้อม โมดูลัสการคืนตัว ความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม ของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duoapve มีค่าเพิ่มขึ้น และค่าความคืบพลวัตของแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duoapve มีค่าลดลงตามปริมาณช่องว่างอากาศที่ลดลง

4.3 เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติเชิงสมรรถภาพทางวิศวกรรมกับผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต ซึ่งเป็นผิวทางมาตรฐานของถนนทางหลวงชนบท ผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต AC Duoapve สามารถใช้เป็นผิวทางจราจรทางเลือกใหม่ที่ยั่งยืนในการก่อสร้างใหม่หรือปรับปรุงถนนเดิม ซึ่งมีประโยชน์อย่างมากในเชิงวิศวกรรมและคุ้มค่าด้านเศรษฐศาสตร์ อย่างไรก็ตามควรทำการก่อสร้างแปลงทดสอบ และตรวจสอบสมรรถนะก่อนก่อสร้างจริง

## 5. กิตติกรรมประกาศ

โครงการนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักอำนวยความปลอดภัย กรมทางหลวงชนบท ประจำปีงบประมาณ 2559

## 6. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hans Haeussler. (1992). ARBOCEL Fiber – Stabilizer for Stone Mastic Asphalt (SMA). JRS. Germany.
- [2] NAPA. (2002). Designing and Constructing SMA Mixture State of the Practice, OIP 122, Revise 3/02, U.S. Department of Transportation, Federal Highway Administration.
- [3] Schemiedlin B.Robert. (1998). Stone Mastic Asphalt The Wisconsin Experience. Transport Reserch Record No. 1616:34-41. Material and Construction. National Academy, Washington.

- [4] ASTM Standard Book. (2007). ASTM D6931 Standard Test Method for Indirect Tensile (IDT) Strength of Bituminous Mixtures.
- [5] ASTM Standard Book. (2007). ASTM D4123-82 Standard Test Method for Indirect Tensile Test for Resilient Modulus of Bituminous Mixtures.
- [6] British standard. (2004). BS EN12697-24 Bituminous mixtures-Test methods for hot mix asphalt.
- [7] British standard. (1996). BS DD 226 Method for determining resistance to permanent deformation of bituminous mixtures subject to unconfined dynamic loading.