

การสำรวจความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น ด้วยการทดสอบการคืบแบบการให้แรงกระทำซ้ำ

Investigation of Moisture Damage in Warm-Mix Asphalt Using Dynamic Creep Test

ณัฐกรณ์ เจริญธรรม¹ และ กันณวีร์ กนิษฐพงศ์²

¹อาจารย์, สาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์ ม.เทคโนโลยีสุรนารี, E-mail: ch_natta@sut.ac.th

²ผู้ช่วยศาสตราจารย์, ภาควิชาวิศวกรรมขนส่ง คณะวิศวกรรมศาสตร์ สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย, E-mail: kanitpon@ait.ac.th

บทคัดย่อ – ความเสียหายเนื่องจากความชื้นเป็นปัญหาสำคัญในการใช้เทคโนโลยีแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น เพราะในการลดอุณหภูมิการผสมส่งผลกระทบต่อความไวต่อความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดนี้ นอกจากนี้ชนิดและคุณสมบัติของวัสดุผสมรวมก็เป็นปัจจัยหนึ่งที่มีผลต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้น ในการศึกษาเรื่องนี้มุ่งทำความเข้าใจถึงผลกระทบของโครงสร้างและคุณสมบัติทางกายภาพของวัสดุผสมรวม ที่มีต่อการเกิดความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น โดยทำการประเมินความไวต่อความชื้นจากความต้านทานการยุบตัวแบบถาวรของแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและชนิดผสมอุ่น รวมทั้งศึกษาผลกระทบของชนิดและขนาดของวัสดุผสมรวม โดยชนิดของวัสดุผสมรวมที่ใช้ในการศึกษานี้ประกอบด้วยหินแกรนิตและตะกรันเหล็ก ผลการศึกษาแสดงให้เห็นว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความต้านทานต่อการยุบตัวแบบถาวรสูงกว่าชนิดผสมร้อน โดยเห็นได้จากการอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดการมีค่าต่ำกว่าและมีค่า Flow number ที่สูงกว่า ซึ่งแสดงว่าแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความไวต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นมากกว่า และยังพบว่าชนิดและขนาดของวัสดุผสมรวมมีผลต่อการยุบตัวแบบถาวรเนื่องจากการมีโครงสร้างการกระจายตัวของช่องว่างในอากาศที่แตกต่างกัน ทำให้วัสดุผสมที่มีขนาดและแบบละเอียด มีความต้านทานต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้น มากกว่าวัสดุผสมที่มีขนาดและแบบหยาบ ทั้งในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและชนิดผสมอุ่น จากการศึกษาในครั้งนี้ พบว่าการเลือกชนิดและขนาด

ของวัสดุผสมรวมที่เหมาะสมสามารถลดปัญหาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลต์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นได้

Abstract – Moisture damage is one of the major concerns for Warm-Mix Asphalt (WMA) since it is hypothesized that the reduction of mixing temperature could adversely affect the moisture sensitivity of WMA. The aggregate type and their properties is also one important factor affecting the moisture damage of WMA. This study was focused on understanding the effect of aggregate structure and its physical properties on the mechanism of moisture damage in WMA. This study evaluated the moisture sensitivity of HMA and WMA as reflected in the permanent deformation. The effects of aggregate gradation and aggregate types on the moisture damage were also evaluated. The results from this study show that WMA is more resistant to permanent deformation than HMA as indicated by lower permanent strain rate and higher flow number. Gradation has an effect on the permanent deformation in Granite and Slag mixes due to the difference in aggregate properties. WMA is more sensitive to moisture damage than HMA as shown in lower ratios of flow number and permanent deformation rate. Fine graded mixtures appear to have greater resistance to moisture damage than coarse graded mixtures for both HMA and WMA. The result could be due to the different structure of air void distribution in the mixes of

different gradation. It was found that the proper selection of aggregate type and aggregate structure could reduce the moisture damage problem of WMA.

Keywords – Warm-Mix Asphalt, Moisture Damage, Permanent Deformation, Gradation, Aggregate

1. บทนำ

ในหลายๆ ประเทศได้มีการใช้เทคโนโลยีแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น (Warm Mix Asphalt, WMA) เพื่อลดอุณหภูมิในขณะผสมและก่อสร้าง ก่อให้เกิดประโยชน์ในการประหยัดพลังงานและลดมลภาวะทางอากาศ ซึ่งเห็นได้จากงานวิจัยที่ผ่านมา [1, 2, 3] อย่างไรก็ตาม ความเสียหายเนื่องจากความชื้นเป็นปัญหาหลักอย่างหนึ่งในการใช้แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น เนื่องจากการลดอุณหภูมิผสม ทำให้วัสดุผสมมีความไวต่อความชื้น ทำให้ความชื้นยังคงค้างอยู่ในอนุภาคของมวลรวม อีกทั้งการลดอุณหภูมิผสมทำให้แอสฟัลท์มีความหนืดเพิ่มขึ้น ทำให้ประสิทธิภาพการเคลือบผิวมวลรวมของแอสฟัลท์มีคุณภาพด้อยลง ซึ่งปัจจัยทั้งสองสามารถนำไปสู่โอกาสในการเกิดการหลุดลอก (Stripping) หรือสูญเสียการยึดเหนี่ยวระหว่างแอสฟัลท์และผิวของมวลรวมได้ โดยกลไกการเกิดความไวต่อความชื้นในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นยังไม่ชัดเจนดังปรากฏในการศึกษาของ Hurley และ Prowell [1] และ Kvasnak และ West [4] ซึ่งการเลือกประเภทและคุณสมบัติของมวลรวม เป็นปัจจัยสำคัญหนึ่งที่ส่งผลกระทบต่อโครงสร้างของมวลรวม และคุณสมบัติทางกายภาพของกลไกการเกิดความเสียหายจากความชื้นของแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น จากผลการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าแรงดันน้ำภายในช่องว่างมวลรวมเป็นหนึ่งในกลไกการหลุดลอก เนื่องจากน้ำสามารถไหลได้อย่างอิสระระหว่างช่องว่างระหว่างมวลรวมในแอสฟัลท์คอนกรีต [5, 6] และเมื่อเกิดการแน่นตัวของแอสฟัลท์คอนกรีตเนื่องจากน้ำหนักการจราจร อาจทำให้ช่องว่างที่น้ำไหลผ่านได้อย่างอิสระ กลายเป็นช่องว่างที่ทึบน้ำ เมื่อเกิดการกระทำซ้ำของน้ำหนักการจราจรอาจก่อให้เกิดแรงดันน้ำส่วนเกินเพิ่มสูงขึ้น เนื่องจากน้ำถูกกักไว้ไม่ให้ไหลได้อย่างอิสระ อาจทำให้เริ่มเกิดความเสียหาย และหากเกิดการเพิ่มขึ้นของแรงดัน

น้ำอย่างต่อเนื่อง อาจส่งผลทำให้แอสฟัลท์ที่เคลือบมวลรวมอยู่หลุดลอกออก หรือก่อให้เกิดการเพิ่มขึ้นของรอยแตกขนาดเล็กในเนื้อแอสฟัลท์

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินความไวต่อความชื้นของแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและชนิดผสมอุ่นโดยการวัดการยุบตัวถาวรจากการทดสอบการคืบแบบการให้แรงกระทำซ้ำ นอกจากนี้ ยังศึกษาถึงผลกระทบของชนิดและขนาดผลของมวลรวมที่มีผลกระทบต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น

2. วัสดุและแผนการทดสอบ

ในการศึกษานี้ได้เลือกใช้มวลรวมสองชนิด ซึ่งได้แก่หินแกรนิตและตะกรันเหล็ก เพราะวัสดุทั้งสองชนิดมีการใช้อย่างแพร่หลายในงานก่อสร้างผิวทางของทางหลวงในประเทศไทย โดยคุณสมบัติของมวลรวมทั้งสองดังแสดงไว้ในตารางที่ 1

การเตรียมตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนใช้อุณหภูมิผสมที่ 150 องศาเซลเซียส สำหรับแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นทำโดยใช้แอสฟัลท์ชนิด AC60/70 ผสมด้วยสารผสมเพิ่ม Sasobit ในปริมาณ 3% ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นอุณหภูมิหลอมเหลวของสารผสมเพิ่ม Sasobit และควบคุมให้ส่วนผสมเป็นเนื้อเดียวกัน หลังจากนั้นทำการผสมเข้ากับมวลรวมทั้งสองชนิด ที่อุณหภูมิ 110 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกัน โดยตัวอย่างทดสอบทั้งหมด แสดงดังตารางที่ 2

2.1 การเตรียมตัวอย่างทดสอบ

การศึกษานี้ได้ใช้เครื่อง Superpave Gyratory Compactor ในการเตรียมตัวอย่าง และทำการออกแบบส่วนผสมโดยกำหนด nominal maximum aggregate size ไว้ที่ 19 มิลลิเมตร ทั้งสำหรับขนาดผล

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลรวมที่ใช้ในการศึกษา

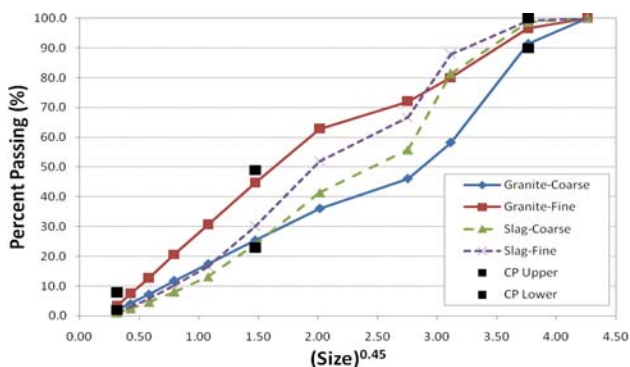
ชนิดมวลรวม	ความ ถ่วงจำเพาะ	ความดูดซึม (% ลอสมองเจลิส	ความสึกหรอ Flat and Elongated	
		(%)		
หินแกรนิต	2.670	0.29	25.7	0.16
ตะกรันเหล็ก	3.300	2.74	28.8	0.10

ตารางที่ 2 รายการตัวอย่างทดสอบแอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบการ
กึ่งแบบการให้แรงกระทำซ้ำ

ตัวอย่าง	ชนิด	ชนิด	ขนาด	ชนิด	สาร	สภาวะ
ทดสอบ	ส่วนผสม	มวลรวม	กละ	แอสฟัลท์	ผสมเพิ่ม	ทดสอบ
H-G-F	ผสมร้อน	แกรนิต	ละเอียด	AC60/70	-	Dry&Wet
H-G-C	ผสมร้อน	แกรนิต	หยาบ	AC60/70	-	Dry&Wet
W-G-F	ผสมอุ่น	แกรนิต	ละเอียด	AC60/70	3% Sasobit	Dry&Wet
W-G-C	ผสมอุ่น	แกรนิต	หยาบ	AC60/70	3% Sasobit	Dry&Wet
H-S-F	ผสมร้อน	ตะกรันเหล็ก	ละเอียด	AC60/70	-	Dry&Wet
H-S-C	ผสมร้อน	ตะกรันเหล็ก	หยาบ	AC60/70	-	Dry&Wet
W-S-F	ผสมอุ่น	ตะกรันเหล็ก	ละเอียด	AC60/70	3% Sasobit	Dry&Wet
W-S-C	ผสมอุ่น	ตะกรันเหล็ก	หยาบ	AC60/70	3% Sasobit	Dry&Wet

แบบละเอียดและหยาบ แสดงดังรูปที่ 1 และกำหนดจำนวน ESAL เท่ากับ 10,000,000 (E-10) เพื่อให้สอดคล้องกับปริมาณการจราจรบนทางหลวงสายหลักในประเทศไทย สำหรับการหาปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสม ได้เตรียมตัวอย่างทดสอบขนาด 4700 กรัม ทั้งสำหรับแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น

ตารางที่ 3 แสดงผลการทดสอบคุณสมบัติเชิงปริมาตรในการออกแบบส่วนผสมมวลรวมทั้งสองชนิด พบว่า ปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมของแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่นไม่มีความแตกต่างกันอย่างมีนัยสำคัญ ทั้งสำหรับขนาดแบบละเอียดและแบบหยาบ เช่นเดียวกันกับสารผสมเพิ่ม Sasobit ที่มีผลเล็กน้อยต่อค่า Theoretical Maximum Specific Gravity (Gmm) ของส่วนผสมแอสฟัลท์คอนกรีต ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษาที่ผ่านมา [1]



รูปที่ 1 ขนาดกละของมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบ

ตารางที่ 3 คุณสมบัติเชิงปริมาตรของตัวอย่างทดสอบ

ตัวอย่าง	ปริมาณ แอสฟัลท์ (%)	Gmm	VMA (%)	VFA (%)
H-G-F	5.4	2.449	18.35	77.50
H-G-C	4.5	2.484	12.60	69.70
W-G-F	5.4	2.450	14.58	72.50
W-G-C	4.9	2.460	13.40	70.08
H-S-F	7.3	2.897	13.86	71.00
H-S-C	7.3	2.933	14.47	72.05
W-S-F	7.4	2.869	14.25	71.90
W-S-C	7.5	2.881	14.87	73.00

อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตะกรันเหล็กมีความพรุนสูง โดยมีค่าความดูดซึมน้ำที่ 2.74% (ตารางที่ 1) จึงต้องการปริมาณแอสฟัลท์ในการปิดช่องว่างระหว่างมวลรวมมาก ทำให้สัดส่วนร้อยละของปริมาณแอสฟัลท์ที่เหมาะสมของตะกรันเหล็กมีค่าสูง

ตัวอย่างทดสอบขนาด 6800 กรัม ถูกบดอัดด้วยจำนวนครั้งที่ทำให้สัดส่วนช่องว่างอากาศ (Air void) เท่ากับ 7% โดยมีเส้นผ่านศูนย์กลางเท่ากับ 150 มิลลิเมตร และความสูงเท่ากับ 165 มิลลิเมตร หลังจากนั้นทำการเจาะแก่น (coring) และตัดเพื่อให้ตัวอย่างทดสอบมีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 100 มิลลิเมตร และความสูง 150 มิลลิเมตร ตามข้อแนะนำใน Simple Performance Test [7]

2.2 การทดสอบการกึ่งแบบการให้แรงกระทำซ้ำเพื่อประเมินความไวต่อความชื้น

การทดสอบหาค่าความต้านทานต่อการยุบตัวถาวร ได้ดำเนินการตามวิธีการทดสอบใน Simple Performance Test for Superpave Mix Design [7] ซึ่งการทดสอบเพื่อประเมินความไวต่อความชื้นของแอสฟัลท์ชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น ต้องกระทำในสองสภาวะคือแห้งและเปียก โดยในหนึ่งชุดทดสอบ จะประกอบไปด้วยสองตัวอย่างสำหรับการทดสอบสภาวะแห้ง และสองตัวอย่างสำหรับการทดสอบในสภาวะแช่น้ำ

ในการทดสอบแบบไม่กำหนดสภาวะ หรือสภาวะแห้ง ตัวอย่างทดสอบจะถูกรักษาอุณหภูมิไว้ในตู้ควบคุมสภาวะของเครื่อง Universal Testing Machine (UTM) ที่ 50 องศาเซลเซียส ก่อนทำการ

ทดสอบเป็นเวลาสองชั่วโมง โดยอุณหภูมิดังกล่าวเป็นอุณหภูมิถนนสูงสุดเฉลี่ยที่ใช้ในการออกแบบสำหรับประเทศไทย แสดงดังรูปที่ 2 (ก) สำหรับการทดสอบแบบกำหนดสภาวะ หรือสภาวะเปียก ตัวอย่างทดสอบจะถูกเตรียมให้เป็นไปตามข้อกำหนดของมาตรฐาน ASTM D4867 เพื่อให้มีความอิ่มตัวด้วยน้ำในช่วง 55 ถึง 80 % จากนั้นจะแช่น้ำไว้ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมง ก่อนทำการทดสอบ ในขณะที่ทดสอบตัวอย่างจะถูกบรรจุลงในหลอดทดสอบแรงดันแบบสามแกน และเติมน้ำให้มีระดับต่ำกว่าผิวบนของตัวอย่าง 1 เซนติเมตร ดังแสดงในรูปที่ 2 (ข) เพื่อควบคุมไม่ให้มีแรงดันด้านข้าง เนื่องจากน้ำสามารถไหลผ่านเข้าออกจากช่องว่างภายในตัวอย่างได้อย่างอิสระในแต่ละรอบของแรงกระทำซ้ำ และถูกรักษาอุณหภูมิไว้ที่ 50 องศาเซลเซียสเช่นเดียวกับการทดสอบในสภาวะแห้ง

ในการทดสอบได้กำหนดค่าความเค้นแนวดิ่งโดยไม่มีแรงดันด้านข้าง (Unconfined stress) เท่ากับ 200 กิโลปาสกาล ความถี่ในการให้แรงกระทำเท่ากับ 1 รอบต่อวินาที ซึ่งเป็นความถี่ที่ใช้สำหรับจำลองการเคลื่อนตัวของจราจรแบบซ้ำ และมีช่วงเวลาการให้แรงกระทำ (Loading Pulse Width) เท่ากับ 0.1 วินาทีและช่วงเวลาหยุดกระทำด้วยแรง 10% ของแรงกระทำสูงสุด (Contact Pressure) เป็นระยะเวลา 0.9 วินาที และกำหนดรูปแบบของแรงกระทำ (Loading Waveshape) ให้เป็นรูป Haversine กระทำซ้ำจนถึงจำนวนรอบเท่ากับ 20,000 รอบ (5.6 ชั่วโมง) หรือจนกระทั่งตัวอย่างเริ่มเสียหาย ค่าการเคลื่อนตัวในแนวดิ่งเฉลี่ยของแต่ละตัวอย่าง ถูกคำนวณจากค่าที่วัดได้จาก LVDT ในแนวดิ่งทั้งสองตัว และจะถูกคำนวณเป็นค่า



รูปที่ 2 การเตรียมการทดสอบการกีดแบบให้แรงกระทำซ้ำ (ก) แบบไม่กำหนดสภาวะ (ข) แบบกำหนดสภาวะ

ความเครียดดวารในแนวนอน และแสดงอยู่ในรูปกราฟเทียบกับจำนวนรอบในการให้แรงกระทำ

ตัวแปรที่ใช้ในการวิเคราะห์ผลการทดสอบการหาค่าการยุบตัวแบบถาวรตามวิธีการทดสอบใน [7] ได้แก่ ค่า Flow Number (FN) และอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดดวารซึ่งคำนวณได้จากความชันของเส้นตรงที่สัมผัสกับเส้นกราฟความเครียดดวารในช่วงที่สอง ซึ่งเป็นช่วงที่มีความเป็นเส้นตรงมากที่สุด ส่วน Flow Number จะหมายถึงจำนวนรอบที่มีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดดวารต่ำที่สุด โดยปกติจะเกิดก่อนเริ่ม tertiary creep stage

3. ผลการทดสอบและการอภิปรายผล

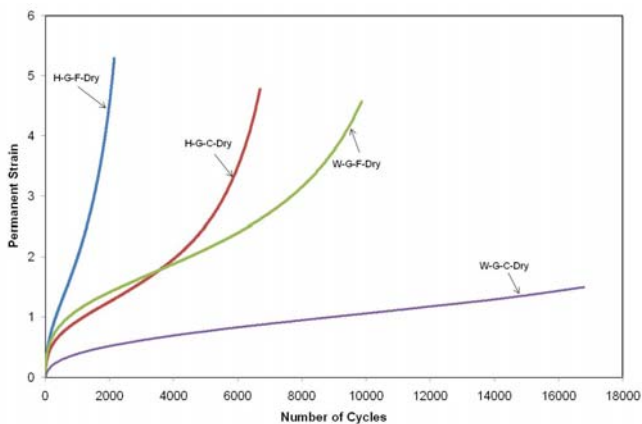
3.1 ผลการทดสอบหาค่าความยุบตัวแบบถาวร

ตารางที่ 4 ได้แสดงผลการทดสอบค่าความยุบตัวแบบถาวรประกอบไปด้วย ค่า FN อัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียด Flow Number Ratio (FNR) ซึ่งคืออัตราส่วนค่า FN ของตัวอย่างทดสอบในสภาวะเปียกเทียบกับสภาวะแห้ง และค่า Permanent Deformation Ratio (PDR) โดยหมายถึงอัตราส่วนของอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดของตัวอย่างทดสอบในสภาวะแห้งเทียบกับสภาวะเปียก และตัวอย่างทดสอบที่มีค่าอัตราส่วนทั้งสองสูงกว่า จะแสดงว่ามีความต้านทานต่อความไวต่อความชื้นมากกว่า

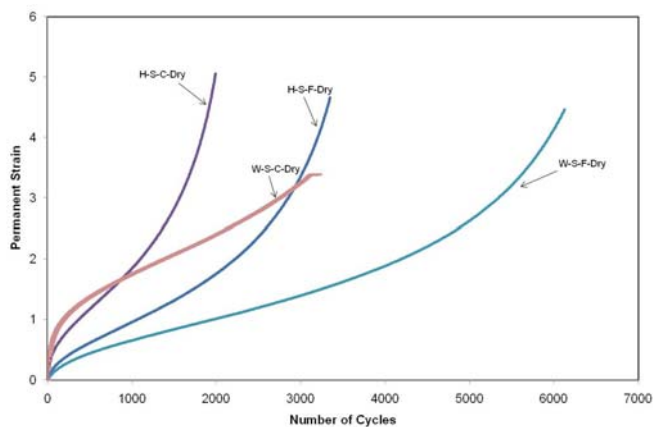
รูปที่ 3 และ 4 แสดงการเปรียบเทียบความเครียดดวารของแอสฟัลท์คอนกรีตที่ผสมด้วยหินแกรนิตและตะกรันเหล็ก จากการสังเกต

ตารางที่ 4 ผลการทดสอบการหาค่าความยุบตัวถาวร

ตัวอย่าง	สภาวะเปียก		สภาวะแห้ง		Ratio	
	FN	อัตราการ ยุบตัวถาวร	FN	อัตราการ ยุบตัวถาวร	FNR (Wet/Dry)	PDR (Dry/Wet)
H-G-F	1425	1.44×10^{-3}	1541	9.84×10^{-4}	1.08	1.46
H-G-C	4417	3.20×10^{-4}	1781	4.57×10^{-4}	0.40	0.70
W-G-F	6785	2.40×10^{-4}	5513	2.65×10^{-4}	0.81	0.91
W-G-C	14753	6.00×10^{-5}	8465	1.66×10^{-4}	0.57	0.36
H-S-F	2017	7.06×10^{-4}	3129	2.92×10^{-4}	1.55	2.42
H-S-C	1209	1.30×10^{-3}	1393	1.32×10^{-3}	1.15	0.98
W-S-F	3817	3.60×10^{-4}	2513	4.47×10^{-4}	0.66	0.81
W-S-C	2573	6.79×10^{-4}	1653	8.91×10^{-4}	0.64	0.76



รูปที่ 3 การเปรียบเทียบความเครียดการระหว่างแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น โดยใช้หินแกรนิต



รูปที่ 4 การเปรียบเทียบความเครียดการระหว่างแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น โดยใช้ตะกรันเหล็ก

พบว่าตัวอย่างทดสอบแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความต้านทานการยุบตัวแบบถาวรมากกว่าชนิดผสมร้อนเมื่อเปรียบเทียบที่ขนาดผลของมวลรวมเดียวกัน

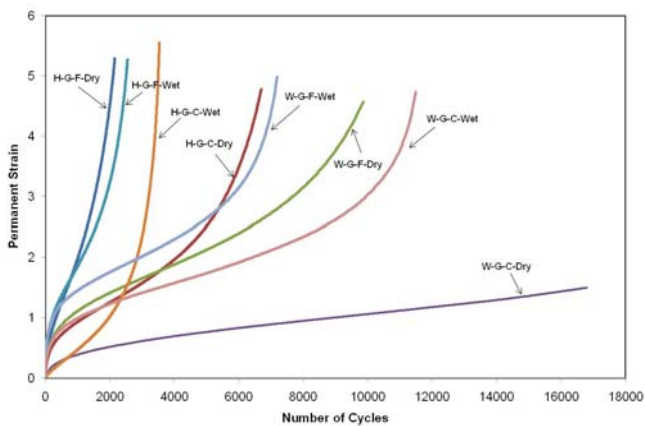
จากตารางที่ 4 ยังพบว่าแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีค่า FN สูงกว่า และมีอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดที่ต่ำกว่าชนิดผสมร้อน ซึ่งเป็นไปตามผลการศึกษาที่ผ่านมา [1,8] ที่พบว่าสารผสมเพิ่ม Sasobit สามารถเพิ่มความต้านทานต่อความเสียหายแบบร่อนล้อ (Rutting) ภายใต้อิทธิพลของน้ำหนักกดจราจร

● ผลกระทบของชนิดและขนาดผลของมวลรวมต่อการยุบตัวแบบถาวร

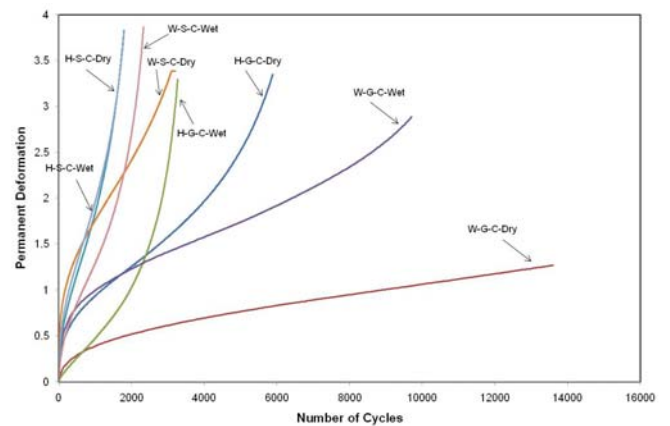
เมื่อสังเกตผลทดสอบการยุบตัวแบบถาวรของแอสฟัลท์คอนกรีตที่ผสมด้วยหินแกรนิตและมีขนาดผลแบบหยาบ พบว่า มีค่าความต้านทานต่อความเสียหายแบบร่อนล้อมากกว่าตัวอย่างทดสอบที่มีขนาดผลแบบละเอียด เนื่องจากส่วนผสมที่มีขนาดผลแบบหยาบจะมีสัดส่วนร้อยละของมวลรวมหยาบมากกว่า ทำให้การชิดแนบระหว่างมวลรวมเป็นแบบ Stone-on-stone contact ทำให้เพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของแอสฟัลท์คอนกรีต ซึ่งเป็นการลดโอกาสการเกิดความเสียหายแบบร่อนล้อ ในทางตรงกันข้ามกับตัวอย่างทดสอบที่ผสมด้วยตะกรันเหล็กและมีขนาดผลแบบหยาบจะมีค่าการยุบตัวถาวรที่สูงกว่าทั้งในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น เพราะตะกรันเหล็กมีค่าความสึกหรอสูงถึง 28.8% ดังแสดงในตารางที่ 1 ส่งผลให้มวลรวมมีความทนทานต่ำและไม่มีความสามารถเพียงพอในการส่งถ่ายแรง ผ่านจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคของหิน [9] นอกจากนี้ จากการสังเกตยังพบว่าตะกรันเหล็กที่เป็นมวลรวมหยาบมีความเปราะสูงและง่ายต่อการแตกหักในระหว่างการบดอัด ส่งผลให้มีประสิทธิภาพในการต้านทานแรงกระทำต่ำ

3.2 ผลการทดสอบความไวตัวต่อความชื้น และผลกระทบต่อการยุบตัวแบบถาวร

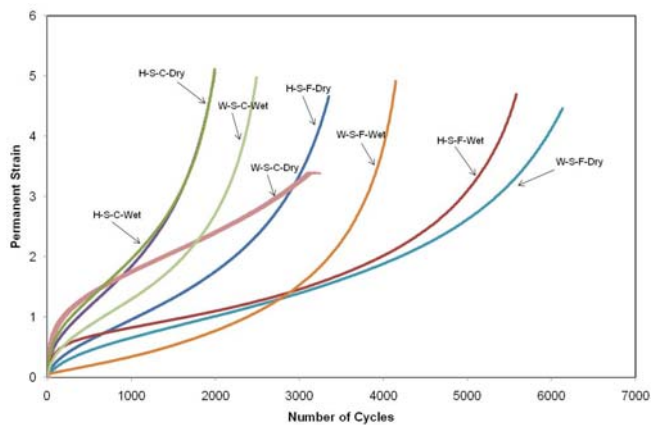
รูปที่ 5 และ 6 แสดงผลกระทบของความชื้นต่อความเครียดเปรียบเทียบแอสฟัลท์ชนิดผสมร้อนกับชนิดผสมอุ่น พบว่า ความไวตัวต่อความชื้นของส่วนผสมที่ใช้หินแกรนิต มีแนวโน้มเช่นเดียวกับส่วนผสมที่ใช้ตะกรันเหล็ก ในรูปที่ 5 จะพบว่าตัวอย่างทดสอบในสภาวะเปียกส่วนใหญ่มีความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรต่ำกว่าตัวอย่างในสภาวะแห้ง ซึ่งเห็นได้จากการที่มีค่าอัตราการยุบตัวถาวรที่สูงกว่าและมีค่า FN ต่ำกว่า สำหรับส่วนผสมที่ใช้ตะกรันเหล็กมีแนวโน้มเช่นเดียวกัน จะสังเกตได้จากรูปที่ 6 อย่างไรก็ตาม ตัวอย่างแอสฟัลท์คอนกรีตผสมร้อนที่มีขนาดผลแบบละเอียดในการทดสอบสภาวะแห้งมีความต้านทานการยุบตัวถาวรสูงกว่าในสภาวะเปียก ที่ไม่เป็นไปตามความคาดหมาย



รูปที่ 5 ผลกระทบของความชื้นต่อความเครียดการของแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น โดยใช้หินแกรนิต



รูปที่ 7 ผลกระทบของความชื้นต่อการยุบตัวการของแอสฟัลท์คอนกรีตที่ใช้หินแกรนิตและตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมมวลรวม



รูปที่ 6 ผลกระทบของความชื้นต่อความเครียดการของแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น โดยใช้ตะกรันเหล็ก

- ผลกระทบของชนิดและขนาดของมวลรวมต่อความไวต่อความชื้น

จากตารางที่ 4 พบว่า ส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดและละเอียดมีความต้านทานต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นสูงกว่าส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดหยาบ ทั้งในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น จากการศึกษาอธิบายได้ว่า การที่ส่วนผสมมีขนาดละเอียดแตกต่างกันทำให้มีโครงสร้างการกระจายตัวของช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่แตกต่างกันด้วย และแม้ว่าขนาดละเอียดทั้งสองแบบจะมีสัดส่วนร้อยละของช่องว่างอากาศที่เท่ากัน แต่ส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดละเอียดจะมีช่องว่างที่บีบอัดน้ำที่มากกว่า ทำให้ส่วนผสมมีความอิ่มตัวด้วยน้ำที่ต่ำกว่า ขณะที่ส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดหยาบมีความต่อเนื่องของช่องว่างที่มากกว่าทำให้น้ำสามารถซึมผ่านเข้าได้

ง่ายแต่ไม่สามารถไหลออกมาได้อย่างอิสระ โดยในแต่ละรอบของแรงกระทำซ้ำจะสร้างแรงดันน้ำให้เกิดขึ้นภายในช่องว่าง ส่งผลให้ฟิล์มยางที่เคลือบผิวหลุดออกจากมวลรวม

จากรูปที่ 7 พบว่าแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมมวลรวม มีความไวต่อความชื้นต่ำกว่าการใช้หินแกรนิต เนื่องจากตะกรันเหล็กมีองค์ประกอบเป็นแคลเซียมออกไซด์ (CaO) สูง ทำให้ผิวสัมผัสของตะกรันเหล็กมีความเป็น Hydrophobic หรือ water-hating ซึ่งสามารถรวมตัวกับแอสฟัลท์ที่ได้ดีกว่าน้ำ ดังนั้นการใช้ตะกรันเหล็กในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนจะช่วยเพิ่มความต้านทานต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นสูงขึ้น อย่างไรก็ตาม แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นที่ใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมมวลรวมมีค่า FNR และ PDR ต่ำ เพราะตะกรันเหล็กมีความพรุนสูง ก่อปรกับการผสมที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ความชื้นที่ค้างอยู่ในรูพรุนไม่สามารถระเหยออกไปได้หมด ดังนั้นการใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมมวลรวมในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น ไม่ได้ช่วยเพิ่มความต้านทานความเสียหายเนื่องจากความชื้นมากนัก จะสังเกตได้จากค่า FNR และ PDR ของหินแกรนิตและตะกรันเหล็กมีค่าใกล้เคียงกัน

4. สรุปผลการศึกษา

ในการศึกษานี้ ได้ทดสอบการก๊อปปี้แบบให้แรงกระทำซ้ำเพื่อประเมินผลกระทบเนื่องจากชนิดและขนาดของมวลรวม ที่มีต่อ

ความไวต่อความชื้นของแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมร้อนและผสมอุ่น สามารถสรุปได้ดังนี้

- 1) แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความต้านทานต่อการยุบตัวถาวรสูงกว่าชนิดผสมร้อน ทั้งการใช้หินแกรนิตและตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมมวลรวม โดยมีค่าอัตราการเปลี่ยนแปลงความเครียดต่ำกว่าและมี ค่า FN ที่สูงกว่า
- 2) ในการใช้หินแกรนิตเป็นส่วนผสมมวลรวมที่มีขนาดละเอียดหยาบ มีค่าการยุบตัวถาวรต่ำกว่าส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดละเอียด เนื่องจากการมีสัดส่วนร้อยละของมวลรวมหยาบมากกว่า ทำให้การยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมเป็นแบบ Stone-on-stone contact จะเพิ่มความสามารถในการรับน้ำหนักของแอสฟัลท์คอนกรีต ซึ่งเป็นการลดโอกาสการเกิดความเสียหายแบบร่อนล่อ ซึ่งมีตรงข้ามกับการใช้ตะกรันเหล็กเป็นส่วนผสมมวลรวม เนื่องจากตะกรันเหล็กมีค่าความสึกหรอสูงส่งผลให้มวลรวมมีความทนทานต่ำและไม่สามารถเพียงพอในการส่งถ่ายแรงผ่านจุดสัมผัสระหว่างอนุภาคของหินได้
- 3) ตัวอย่างทดสอบแบบกำหนดสภาวะมีความต้านทานต่อการยุบตัวต่ำกว่าตัวอย่างทดสอบแบบไม่กำหนดสภาวะ
- 4) แอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่นมีความไวต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นมากกว่าชนิดผสมร้อน โดยสังเกตได้จากกรณีความแตกต่างของค่ายุบตัวถาวรในสภาวะเปียกเทียบกับสภาวะแห้งที่มากกว่า
- 5) ส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดละเอียดจะมีความต้านทานต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้นมากกว่าส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดหยาบ เนื่องจากมีโครงสร้างการกระจายตัวของช่องว่างอากาศในส่วนผสมที่แตกต่างกัน โดยที่ส่วนผสมที่มีขนาดละเอียดหยาบจะมีช่องว่างที่ต่อเนื่องกันมากกว่า น้ำจึงสามารถซึมผ่านเข้าได้ง่ายแต่ไม่สามารถไหลออกได้อย่างอิสระ ส่งผลให้เกิดการสะสมของแรงดันน้ำภายในช่องว่างเนื่องจากแรงกระทำซ้ำ และไปทำลายการเคลือบผิวมวลรวมของแอสฟัลท์
- 6) การใช้มวลรวมชนิดตะกรันเหล็กจะเพิ่มความต้านทานต่อการเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลท์คอนกรีตผสมร้อน แต่อย่างไรก็ตาม เนื่องจากตะกรันเหล็กมีความพรุนสูง และการผสมแอสฟัลท์ชนิดผสมอุ่นทำที่อุณหภูมิต่ำ ทำให้ความชื้นที่ค้างอยู่ในรูพรุนไม่สามารถระเหยได้หมด อาจกล่าวได้ว่าแอส

ฟัลท์ชนิดผสมอุ่นยังคงมีความไวต่อความเสียหายเนื่องจากความชื้น

- 7) การลดปัญหาความเสียหายเนื่องจากความชื้นในแอสฟัลท์คอนกรีตชนิดผสมอุ่น ทำได้โดยการเลือกชนิดมวลรวมที่มีคุณสมบัติและโครงสร้างที่เหมาะสม

5. เอกสารอ้างอิง

- [1] Hurley, G.C. and Prowell, B.D., Evaluation of Sasobit for Use in Warm Mix Asphalt, NCAT Report 05-06, National Center for Asphalt Technology, 2005.
- [2] NAPA, Warm-Mix Asphalt: The Wave of the Future?, National Asphalt Pavement Association, <http://www.hotmix.org/view_article.php?ID=536>.
- [3] NAPA, Warm Mix Asphalt Technology, Presented at the AASHTO Standing Committee on Highways Technical Meeting, 2005.
- [4] Kvasnak, A. and West, R.C., Case Study of Warm-Mix Asphalt Moisture Susceptibility in Birmingham, Alabama, the Proceedings of Transportation Research Board, January 11-15, Washington, D.C., 2009.
- [5] Taylor, M.A. and Khosla, N.P., Stripping of Asphalt Pavements: State of the Art, Transportation Research Record 911, 1983.
- [6] Majidzadeh, K. and Brovold, F.N. Special Report 98: State of the Art: Effect of Water on Bitumen-Aggregate Mixtures, Highway Research Board, National Research Council, Washington, DC, 1968.
- [7] NCHRP 465, Simple Performance Test for Superpave Mix Design, Federal Highway Administration, National Research Council (U.S.), Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program, 1998.
- [8] You, Z., Goh, S.W., and Colbert, B., Field and Laboratory Experience with Warm-Mix Asphalt, the Proceedings of Transportation Research Board, January 11-15, Washington, D.C., 2009.
- [9] Prowell, B.D., Zhang, J., Brown, E.R., Aggregate Properties and the Performance of Superpave-Designed Hot Mix Asphalt, NCHRP 539, Federal Highway Administration, National Research Council (U.S.), Transportation Research Board, National Cooperative Highway Research Program, 2005.

6. เกี่ยวกับผู้เขียน



ณัฐภรณ์ เจริญธรรม

อาจารย์ประจำสาขาวิชาวิศวกรรมขนส่ง
สำนักวิชาวิศวกรรมศาสตร์
ม.เทคโนโลยีสุรนารี



ผศ.ดร. กัญวีร์ กนิษฐ์พงศ์

อาจารย์ประจำภาควิชาวิศวกรรมขนส่ง
คณะวิศวกรรมศาสตร์และเทคโนโลยี
สถาบันเทคโนโลยีแห่งเอเชีย