

การศึกษาผลกระทบของอุณหภูมิต่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต Temperature effects on a mixture of asphalt concrete

รุ่งโรจน์ จักภีระ¹ และ บำรุง บัวชื่น^{2,*}

^{1,2} สาขาวิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี จ.ตา

*Corresponding author; E-mail address: bumrung1522558@gmail.com

บทคัดย่อ

การศึกษานี้มีวัตถุประสงค์เพื่อประเมินผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าเสถียรภาพ (Stability) และอัตราการไหล (Flow) ของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532 การออกแบบส่วนผสมได้กำหนดปริมาณช่องว่างอากาศไว้ที่ 3.0%, 3.1% และช่วง 3.4–5.0% และทำการทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียสตามลำดับ ผลการวิเคราะห์พบว่า อุณหภูมิที่ 50 องศาเซลเซียสก่อให้เกิดค่าเสถียรภาพสูงสุดในทุกระดับปริมาณช่องว่างอากาศ ในขณะที่อัตราการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ โดยที่ 70 องศาเซลเซียสมีค่าอัตราการไหลสูงสุด ข้อมูลดังกล่าวชี้ให้เห็นถึงความสัมพันธ์เชิงลบระหว่างเสถียรภาพของวัสดุและอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น และมีนัยสำคัญต่อการออกแบบโครงสร้างผิวทางสำหรับพื้นที่ที่มีอุณหภูมิสูง

คำสำคัญ: แอสฟัลต์คอนกรีต, ปริมาณช่องว่างอากาศ, ค่าเสถียรภาพ, อัตราการไหล, อุณหภูมิ

Abstract

This study aims to evaluate the impact of temperature on the stability and flow properties of asphalt concrete through tests conducted in accordance with the DLT Standard Specification No. 408/2532. The mix designs were prepared with air void contents of 3.0%, 3.1%, and a range between 3.4–5.0%. Specimens were tested at temperatures of 50°C, 60°C, and 70°C, respectively. The results indicate that the specimens tested at 50°C exhibited the highest stability across all air void levels. Conversely, the flow values showed an increasing trend with rising temperatures, with the highest flow observed at 70°C. These findings reveal a negative correlation between stability and temperature, highlighting the importance of considering temperature effects when designing asphalt concrete pavements, particularly for regions subjected to high thermal conditions.

Keywords: Asphalt Concrete, Air Voids, Stability, Flow, Temperature

1. บทนำ

ในปัจจุบัน วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete) ถือเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมอย่างแพร่หลายในการก่อสร้างถนนในหลายประเทศ โดยเฉพาะในประเทศไทยที่มีการใช้งานถนนแอสฟัลต์คอนกรีตมากกว่าร้อยละ 70 ของโครงข่ายถนนทั้งหมด เนื่องจากมีคุณสมบัติที่เหมาะสมในด้านราคาที่คุ้มค่า การก่อสร้างที่รวดเร็ว และสะดวกต่อการบำรุงรักษาที่ (กรมทางหลวง, 2532) การออกแบบส่วนผสมวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตประกอบด้วยแอสฟัลต์ซีเมนต์และวัสดุผสมรวม ซึ่งจำเป็นต้องควบคุมอัตราส่วนผสมอย่างแม่นยำ และทดสอบคุณสมบัติของวัสดุด้วยวิธีมาร์แชลล์ (Marshall Method) ซึ่งพัฒนาโดยบรูซ มาร์แชลล์ของกรมทางหลวงมิสซิสซิปปีในปี พ.ศ. 2482 เพื่อให้ได้อัตราส่วนผสมที่สามารถตอบสนองต่อความต้องการทางวิศวกรรมและการใช้งานในสภาพแวดล้อมต่างๆ

การเสื่อมสภาพของผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีตภายใต้สภาวะแวดล้อมที่มีอุณหภูมิสูง ถือเป็นปัจจัยสำคัญที่มีผลกระทบต่อความคงทนและอายุการใช้งานของโครงสร้างถนนอย่างมีนัยสำคัญ โดยเฉพาะในประเทศที่มีภูมิอากาศร้อน เช่น ประเทศไทย ปัจจัยอุณหภูมิมีอิทธิพลโดยตรงต่อคุณสมบัติเชิงกลของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต โดยเฉพาะค่าเสถียรภาพ (Stability) และอัตราการไหล (Flow) ซึ่งเป็นตัวชี้วัดความสามารถในการต้านทานการเสียดสีของวัสดุ [1] งานวิจัยของต่างประเทศที่ผ่านมา [2, 3] พบว่าอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้ค่าความแข็งแรงของแอสฟัลต์คอนกรีตลดลงอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้ยังแสดงให้เห็นว่าวัสดุแอสฟัลต์มีความอ่อนไหวต่ออุณหภูมิสูง ทำให้เกิดการเสียดสีได้ง่าย ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยในประเทศไทย [4] ที่พบว่า การเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิส่งผลให้ค่าความเสถียรลดลงและอัตราการไหลเพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ

ดังนั้น ในบริบทของประเทศไทยซึ่งมีอุณหภูมิสูงเฉลี่ยเกือบตลอดปี การประเมินผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตจึงมีความสำคัญอย่างยิ่งต่อการออกแบบผิวทางที่มีความทนทาน งานศึกษานี้มุ่งเน้นการประเมินผลกระทบของอุณหภูมิต่อค่าความเสถียรและอัตราการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต ผ่านการทดสอบตามมาตรฐาน ทล.-ม. 408/2532 โดยกำหนดปริมาณช่องว่างอากาศที่ 3.0%, 3.1% และช่วง 3.4–5.0% และทำการทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส

2. วัสดุ

2.1 วัสดุมวลรวม (Aggregate)

ใช้วัสดุมวลรวม ชนิดหินปูน (Limestone) ขนาด 3/4", ขนาด 1/2", ขนาด 3/8" และหินปูน เตรีมตัวอย่างและทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น เพื่อนำข้อมูลไปออกแบบส่วนผสมที่เหมาะสมตามมาตรฐานที่กำหนด ดังแสดงในรูปที่ 1



รูปที่ 1 วัสดุหินปูน (Limestone)

2.2 วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ (Asphalt Cement) ชนิด AC 60/70

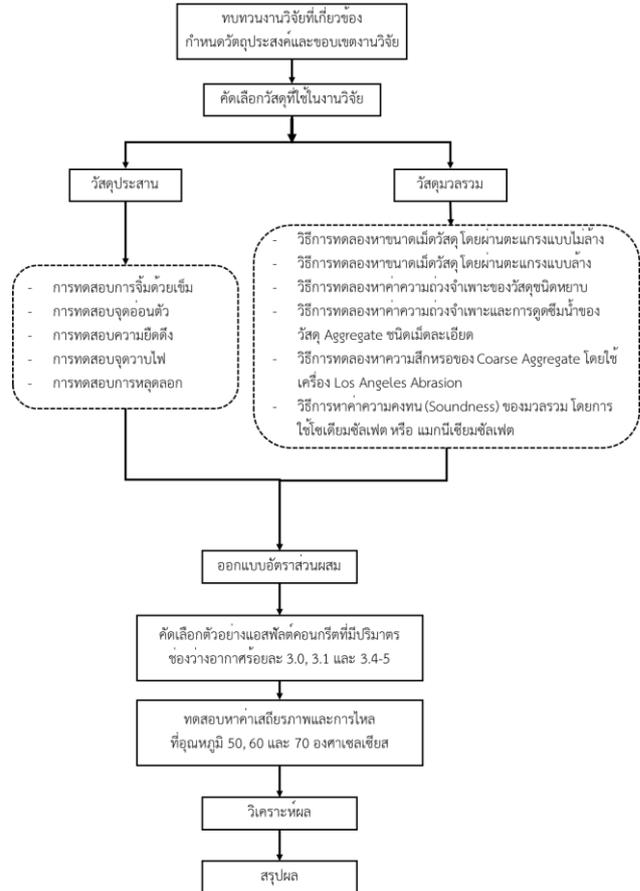
ใช้วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ชนิด AC 60/70 เป็นวัสดุประสาน ดังแสดงตัวอย่างแอสฟัลต์ซีเมนต์ในรูปที่ 2 และทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นเพื่อนำไปใช้ในการออกแบบอัตราส่วนผสมด้วยวิธีมาร์แชล ตามข้อกำหนดและมาตรฐานงานทาง



รูปที่ 2 แอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70

3. ขั้นตอนการดำเนินงาน

สำหรับขั้นตอนการดำเนินงานประกอบไปด้วย การทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวม การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ การนำคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและวัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์มาออกแบบอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีตผสมร้อนโดยวิธีมาแชลล์ การคัดเลือกตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจากปริมาตรช่องว่างอากาศที่ร้อยละ 3.0 ร้อยละ 3.1 และร้อยละ 3.4-5 รวมถึงการทดสอบหาค่าเสถียรภาพและการไหล โดยการทดสอบภายใต้อุณหภูมิที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ดังแสดงขั้นตอนการดำเนินงานในรูปที่ 3



รูปที่ 3 ขั้นตอนการดำเนินงาน

3.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

3.1.1 การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

ในการออกแบบอัตราส่วนผสม แบ่งขนาดวัสดุมวลรวมออกเป็น 4 Bin ได้แก่ Bin1 หินปูน Bin2 หินขนาด 3/8" Bin3 หินขนาด 1/2" และ Bin4 หินขนาด 3/4" จากนั้นทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม ตามมาตรฐานงานทางที่ ทล.-ม. 408/2532 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot - Mix Asphalt) [5] ได้แก่

มาตรฐานวิธีการทดลอง ทล.-ท. 204/2516 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไมลิ่ง (เทียบเท่า AASHTO T 27 - 70) และ ทล.-ท. 205/2516 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง (เทียบเท่า AASHTO T27-70) [6-7]

มาตรฐานที่ ทล.-ท. 207/2517 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดหยาบ (เทียบเท่า AASHTO T 85-70)" [8]

มาตรฐานที่ ทล.ท. 209/2518 "วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด (เทียบเท่า AASHTO T 85-70)" [9]

มาตรฐานวิธีการทดลอง ทล.-ท. 202/2547 วิธีการทดลองหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion (เทียบเท่า ASTM C131 และ C 535) [10]

มาตรฐานวิธีการทดลอง ทล.-ท. 213/2531 วิธีการหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยการใช้โซเดียมซิลเฟต หรือ แมกนีเซียมซิลเฟต (เทียบเท่า AASHTO T 104 หรือ ASTM C88)

3.1.2 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ เพื่อตรวจสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70 ได้แก่

การทดสอบการจุ่มด้วยเข็ม (Penetration Test) ตามมาตรฐาน ทล.-ท. 403/2518 หรือ ASTM D5-73

การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test) ตามมาตรฐาน ASTM D2398-76

การทดสอบความยืดดึง (Ductility of Bituminous) ตามมาตรฐาน ASTM D113-69

การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash point by Cleveland) ตามมาตรฐาน ทล.ท.405/2519 หรือ ASTM D92-77

การทดสอบการหลุดลอก (Resistance to Stripping of Aggregates and Binder) ตามมาตรฐาน ทล.ท.605/2518

3.1.3 การออกแบบอัตราส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมและวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์แล้ว คณะผู้วิจัยได้ทำการเตรียมตัวอย่างสำหรับการออกแบบก่อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ดังต่อไปนี้

- ชั่งน้ำหนักของวัสดุมวลรวมทั้ง 4 ขนาด จากการออกแบบอัตราส่วนผสม โดยตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตจะต้องมีน้ำหนักรวม 1,200 กรัม ให้ความร้อนที่อุณหภูมิ 180 องศาเซลเซียส เป็นระยะเวลา 4 ชั่วโมง

- ให้ความร้อนกับวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70 และ ที่อุณหภูมิ 135-150 องศาเซลเซียส

- ผสมวัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์เข้าด้วยกัน โดยควบคุมอุณหภูมิไม่ต่ำกว่า 130 องศาเซลเซียส

- ให้ความร้อนกับแบบหล่อ (Mold) และค้อนบดอัด ใช้อุณหภูมิ 150 ± 20 องศาเซลเซียส

- ทำการบดอัดตัวอย่าง โดยใช้จำนวนครั้งในการบดอัดที่ด้านละ 75 ครั้ง ทั้ง 2 ด้าน ซึ่งจำลองปริมาณการจราจรหนาแน่น เมื่อบดอัดแล้วให้พักก่อนตัวอย่างไว้ที่อุณหภูมิห้อง เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

- นำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตออกจากแบบ เพื่อเตรียมทดสอบเสถียรภาพและการไหลในขั้นตอนต่อไป



รูปที่ 4 ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

3.2 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

ในขั้นตอนนี้คณะผู้วิจัยได้ทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของแอสฟัลต์คอนกรีต ได้แก่ ความหนาแน่น (Density) ช่องว่างในอากาศ (Void Analysis) เสถียรภาพ (Stability) และการไหล (Flow) ซึ่งในการทดสอบนี้ ผู้วิจัยได้จัดกลุ่มก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีความสมบูรณ์และคัดเลือกแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีผลของคุณสมบัติของค่าเฉลี่ยของความหนาแน่น และปริมาตรช่องว่างของอากาศ (Air Void) ที่มีค่าใกล้เคียงกันได้แก่ กลุ่มตัวอย่างที่มีปริมาตรช่องว่างอากาศในอัตราร้อยละ 3.0, 3.1 และร้อยละ 3.4-5 โดยกำหนดให้ตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตทั้งหมดที่นำมาทำการทดสอบที่อุณหภูมิอุณหภูมิ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผ่านตามข้อกำหนดและมาตรฐานงานทาง ประกอบไปด้วย ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต จำนวน 3 ชุด (ชุดข้อมูลละ 27 ตัวอย่าง) โดยจัดกลุ่มของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่จะนำมาทดสอบหาค่าคุณสมบัติของเสถียรภาพและการไหล ดังนี้

ชุดที่ 1 ปริมาตรช่องว่างอากาศร้อยละ 3.0 ทดสอบ โดยทำการทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง) และ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง)

ชุดที่ 2 ปริมาตรช่องว่างอากาศร้อยละ 3.1 ทำการทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง) และ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง)

ชุดที่ 3 ปริมาตรช่องว่างอากาศร้อยละ 3.4 – 5 ทดสอบเปรียบเทียบตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง) ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง) และ ที่อุณหภูมิ 70 องศาเซลเซียส (จำนวน 9 ตัวอย่าง)

4. วิเคราะห์ผล

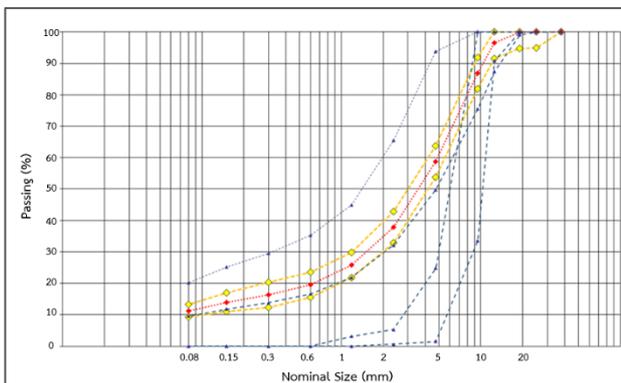
4.1 ผลการทดสอบหาค่าคุณสมบัติของวัสดุมวลรวม

จากการทดสอบการหาขนาดคละและคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุมวลรวมทั้ง 4 ขนาด ได้แก่ Bin1 Bin2 Bin3 และ Bin4 โดยแสดงข้อมูล Mix Proportion ในตารางที่ 1 และการออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต ดังรูปที่ 5 คณะผู้วิจัยได้นำค่าข้อมูลมาใช้ในการออกแบบวิเคราะห์หาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม (Mix Proportion) พบว่าคุณสมบัติจากการทดสอบวัสดุมวลรวมเมื่อนำมาออกแบบหาอัตราส่วนผสม ข้อมูลที่ได้อยู่ในช่วงที่กำหนดและเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐานชั้นผิวทางของกรมทางหลวง ที่ ทล.ม 408/2532

ตารางที่ 1 Mix Proportion

Proportion %	CB1	CB2	CB3	CB4	Combine	Design	Tolerant Limit	
	47	22	13	18	100			
Mesh								
1 1/2	100	100	100	100	100.0	100	100	

Proportion %	CB1	CB2	CB3	CB4	Combine	Design	Tolerant Limit
	47	22	13	18	100		
Mesh							
1	100	100	100	100	100	100	100
3/4	100	100	100	95.2	99.1	100	100
1/2	100	100	90.8	36.7	87.4	80-100	82-92
3/8	100	100	33.6	12.0	75.5	-	71-78
4	93.8	24.8	1.5	0.3	49.8	44-47	45-55
8	65.5	5.3	0.6	0.0	32.1	28-58	27-37
16	45.0	3.1	0.0	0.0	21.8	-	18-26
30	35.3	0.0	0.0	0.0	16.6	-	13-21
50	29.5	0.0	0.0	0.0	13.8	5-21	10-18
100	25.2	0.0	0.0	0.0	11.8	-	9-15
200	20.2	0.0	0.0	0.0	9.5	2-10	8-12



รูปที่ 5 การออกแบบอัตราส่วนผสมของวัสดุรวมสำหรับแอสฟัลต์คอนกรีต

4.2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์ซีเมนต์

จากการทดสอบคุณสมบัติของวัสดุประสานแอสฟัลต์ซีเมนต์ ชนิด AC 60/70 พบว่าการทดสอบการจุ่มด้วยเข็มให้ค่าอยู่ในช่วงมาตรฐานที่ 60.5 (0.1 มิลลิเมตร) การทดสอบจุดอ่อนตัวให้ค่าอยู่ในช่วง 50 องศาเซลเซียส ซึ่งเป็นค่าที่สูงกว่ามาตรฐานอาจ ซึ่งส่งผลต่อคุณสมบัติการยึดเกาะและเชื่อมประสาน การทดสอบความยืดหยุ่นอยู่ในช่วง 112.3 เซนติเมตร ซึ่งเป็นไปตามมาตรฐาน การทดสอบจุดวาบไฟอยู่ที่ 242 องศาเซลเซียส และการทดสอบการหลุดลอก อยู่ที่ 10.2

ตารางที่ 2 คุณสมบัติของ AC 60/70

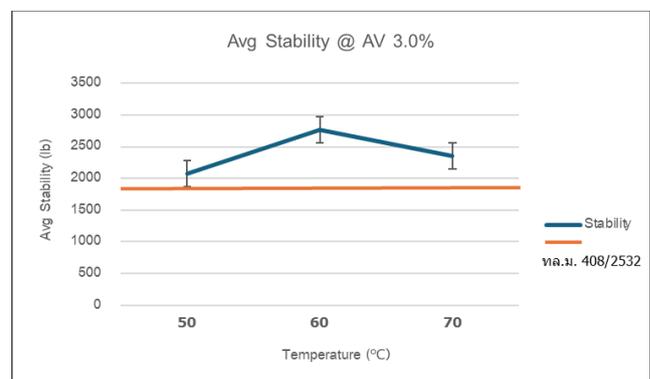
Parameters	Spec	Standard	AC 60/70
การทดสอบการจุ่มด้วยเข็ม (Penetration Test) [0.1 มิลลิเมตร]	ทล.-ท. 403/2518 ASTM D5-73	60-70	60.5

Parameters	Spec	Standard	AC 60/70
การทดสอบจุดอ่อนตัว (Softening Point Test) [องศาเซลเซียส]	ASTM D2398-76	44-45	50
การทดสอบความยืดหยุ่น (Ductility of Bituminous) [เซนติเมตร]	ASTM D113-69	>100	112.3
การทดสอบจุดวาบไฟ (Flash point by Cleveland open Cup) [องศาเซลเซียส]	ทล.ท. 405/2519 ASTM D92-77	>232	242
การทดสอบการหลุดลอก (Resistance to Stripping of Aggregates and Binder)	ทล.ท. 605/2518	-	10.42

4.3 ผลการทดสอบหาค่าเสถียรภาพและอัตราการไหลของก้อนแอสฟัลต์คอนกรีต

4.3.1 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.0

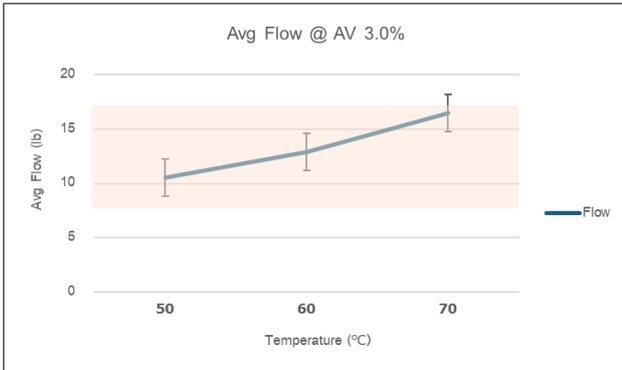
จากการทดสอบหาค่าเสถียรภาพที่ปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.0 ภายใต้อุณหภูมิการทดสอบที่ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส พบว่าที่อุณหภูมิการทดสอบ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2074 ปอนด์ อุณหภูมิการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2767 ปอนด์ และอุณหภูมิการทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2356 ปอนด์ โดยทั้ง 3 กลุ่มตัวอย่างภายใต้การทดสอบที่อุณหภูมิต่างๆ ให้ค่าเสถียรภาพสูงกว่าค่าเสถียรภาพมาตรฐานที่ ทล.ม.408/2532 ซึ่งการทดสอบที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.0

4.3.2 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล (Flow) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.0

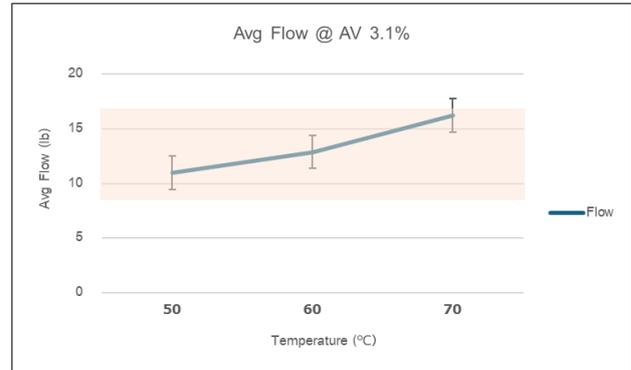
จากการทดสอบหาค่าอัตราการไหลที่ปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.0 พบว่าที่อุณหภูมิการทดสอบ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าอัตราการไหลอยู่ที่ 11 มม. ที่อุณหภูมิการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าการไหลอยู่ที่ 13 มม. และอุณหภูมิการทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าการไหลอยู่ที่ 16 มม. ผลการทดสอบอยู่ช่วงค่ามาตรฐานที่ ทล.ม.408/2532 ดังแสดงในรูปที่ 7



รูปที่ 7 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล (Flow) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.0

4.3.4 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล (Flow) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.1

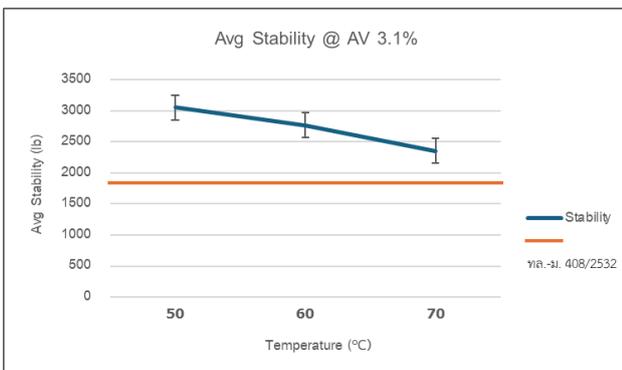
จากการทดสอบหาค่าอัตราการไหลที่ปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.1 พบว่าที่อุณหภูมิการทดสอบ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าอัตราการไหลอยู่ที่ 11 มม. ที่อุณหภูมิการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าการไหลอยู่ที่ 13 มม. และอุณหภูมิการทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าการไหลอยู่ที่ 16 มม. ผลการทดสอบอยู่ช่วงค่ามาตรฐานที่ ทล.ม.408/2532 ดังแสดงในรูปที่ 9



รูปที่ 9 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล (Flow) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.1

4.3.3 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.1

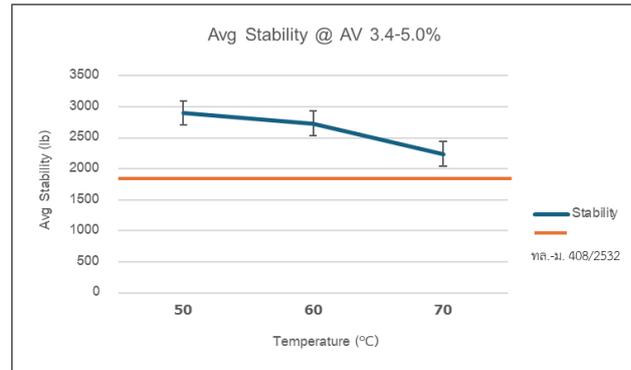
จากการทดสอบหาค่าเสถียรภาพที่ปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.1 พบว่าที่อุณหภูมิการทดสอบ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 3051 ปอนด์ อุณหภูมิการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2767 ปอนด์ และอุณหภูมิการทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2356 ปอนด์ โดยการทดสอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.1

4.3.5 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.4-5.0

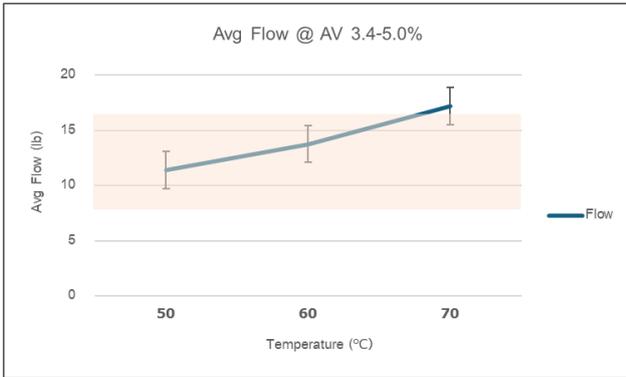
จากการทดสอบหาค่าเสถียรภาพที่ปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.4-5.0 พบว่าที่อุณหภูมิการทดสอบ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2901 ปอนด์ อุณหภูมิการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2729 ปอนด์ และอุณหภูมิการทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพอยู่ที่ 2237 ปอนด์ โดยการทดสอบที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าเสถียรภาพสูงสุด ดังแสดงในรูปที่ 10



รูปที่ 10 ผลการทดสอบค่าเสถียรภาพ (Stability) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.4-5.0

4.3.6 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล (Flow) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.4-5.0

จากการทดสอบหาอัตราการไหลที่ปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.4-5.0 พบว่าที่อุณหภูมิการทดสอบ 50 องศาเซลเซียสให้ค่าอัตราการไหลอยู่ที่ 11 มม. ที่อุณหภูมิการทดสอบที่ 60 องศาเซลเซียสให้ค่าอัตราการไหลอยู่ที่ 14 มม. และอุณหภูมิการทดสอบที่ 70 องศาเซลเซียสให้ค่าอัตราการไหลอยู่ที่ 17 มม. ผลการทดสอบอยู่ช่วงค่ามาตรฐานที่ ทล.ม.408/2532 ดังแสดงในรูปที่ 11



รูปที่ 9 ผลการทดสอบค่าอัตราการไหล (Flow) ที่ปริมาตรช่องว่างอากาศ (Air Void) ร้อยละ 3.4-5.0

5. สรุปผล

ในการศึกษานี้ได้ทำการทดสอบเสถียรภาพ (Stability) และอัตราการไหล (Flow) ของแอสฟัลต์คอนกรีตภายใต้สภาวะที่มีปริมาตรช่องว่างในอากาศ (Air Void) ที่ร้อยละ 3.0, 3.1 และ 3.4-5.0 โดยทำการทดสอบภายใต้อุณหภูมิที่แตกต่างกันคือ 50, 60 และ 70 องศาเซลเซียส ผลการทดสอบสรุปได้ดังนี้

สำหรับปริมาตรช่องว่างในอากาศที่ร้อยละ 3.0 พบว่า ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุดอยู่ที่ 2,767 ปอนด์ ขณะที่ที่อุณหภูมิ 50 และ 70 องศาเซลเซียส ให้ค่าเสถียรภาพที่ 2,074 และ 2,356 ปอนด์ ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าดังกล่าวสูงกว่าค่ามาตรฐานที่กำหนดในข้อกำหนด ทล.ม. 408/2532 โดยอัตราการไหลที่วัดได้อยู่ระหว่าง 11-16 มิลลิเมตร ซึ่งสอดคล้องกับช่วงค่ามาตรฐานที่กำหนด

ปริมาตรช่องว่างในอากาศที่ร้อยละ 3.1 พบว่า ที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุดที่ 3,051 ปอนด์ ซึ่งสูงกว่าอุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสที่มีค่าเสถียรภาพ 2,767 และ 2,356 ปอนด์ ตามลำดับ ทั้งนี้ค่าอัตราการไหลที่วัดได้มีค่าระหว่าง 11-16 มิลลิเมตร และอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานเช่นเดียวกัน

ปริมาตรช่องว่างในอากาศที่ร้อยละ 3.4-5.0 พบว่า ค่าเสถียรภาพที่อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียสสูงสุดอยู่ที่ 2,901 ปอนด์ ในขณะที่อุณหภูมิ 60 และ 70 องศาเซลเซียสมีค่าเสถียรภาพลดลงเป็น 2,729 และ 2,237 ปอนด์

ตามลำดับ อัตราการไหลที่วัดได้มีค่าระหว่าง 11-17 มิลลิเมตร ซึ่งยังคงอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน ทล.ม.408/2532

การทดสอบภายใต้อุณหภูมิ 50 องศาเซลเซียส วัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าเสถียรภาพสูงสุดในทุกระดับของปริมาตรช่องว่างอากาศ ขณะที่อัตราการไหลมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของอุณหภูมิ โดยที่ 70 องศาเซลเซียสพบว่าอัตราการไหลสูงสุด ซึ่งสอดคล้องกับผลการศึกษานี้ของ Elseifi et al. (2012) และผดุงศักดิ์ ลิ้มเจริญ (2560) ที่เน้นถึงความสำคัญของการปรับสัดส่วนวัสดุผิวทางตามสภาวะอุณหภูมิ เพื่อให้ได้สมบัติเชิงกลที่เหมาะสมในสภาวะจริง

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณสาขาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลล้านนาตาก ที่กรุณาให้ความอนุเคราะห์สถานที่และเครื่องมือรวมถึงอุปกรณ์ในการทดสอบและดำเนินงานวิจัย

ขอขอบคุณนายธีปกรณ์ ประคำ นางสาวกณิศา เกิดระมัด และนายอนุรัตน์ น่วมบุญลือ ที่มีส่วนร่วมและช่วยในการดำเนินการทดสอบในขั้นตอนต่างๆของงานวิจัย

เอกสารอ้างอิง

- [1] Brown, E. R., & Scholz, T. V. (2006). Development of a simple performance test for asphalt concrete. *Journal of the Association of Asphalt Paving Technologists*, 75, 1-33.
- [2] Al-Qadi, I. L., Elseifi, M. A., & Carpenter, S. H. (2008). Reclaimed asphalt pavement—a literature review. *Federal Highway Administration (FHWA)*.
- [3] Huang, B., Shu, X., & Woods, M. (2005). Temperature effects on fatigue performance of asphalt mixtures containing RAP. *Construction and Building Materials*, 19(7), 627-633.
- [4] วิจิตร ศรีสุข. (2558). ผลกระทบของอุณหภูมิต่อสมบัติของวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีต. *วิศวกรรมสาร มก.*, 28(1), 18-26.
- [5] กรมทางหลวง. มาตรฐานแอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt Concrete or Hot-Mix Asphalt), มาตรฐานที่ ทล.-ม 408/2532. กรุงเทพมหานคร: 2532
- [6] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 204/2516. กรุงเทพมหานคร: 2516
- [7] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบล้าง, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 205/2517. กรุงเทพมหานคร: 2517
- [8] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 207/2517. กรุงเทพมหานคร: 2517
- [9] กรมทางหลวง. วิธีการทดลองหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 208/2518. กรุงเทพมหานคร: 2518

- [10] วิธีการทดสอบหาค่าความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้
เครื่อง Los Angeles Abrasion, มาตรฐานที่ ทล.-ท. 202/2515.
กรุงเทพมหานคร: 2515