บทที่ 5

สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ

5.1 สรุปผลการทดลอง

ในการวิจัยเพื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติไดนามิกของยางมะตอยน้ำประเภทไฮโฟลต และยางมะตอยน้ำประเภทมีเดียมเซ็ตติง ได้ทำการตรวจสอบคุณสมบัติวัสดุต่าง ๆ ที่ได้นำเอามาใช้ในการทดลองนี้ พร้อมทั้งทำการออกแบบส่วนผสมวัสดุมวลรวมกับยางมะตอยน้ำทั้ง 2 ชนิด และทำการเตรียมตัวอย่างขนาด $\phi 4" \times 8"$ เพื่อที่จะทดสอบน้ำหนักกระทำซ้ำ จากการทดลองยาง HFMS-2 และยาง MS-2 จะพบว่า

5.1.1 คุณสมบัติต่าง ๆ ของยาง HFMS-2 และยาง MS-2 ที่ทำการทดลองหาคุณสมบัติตามมาตรฐาน ASTM D977 ตั้งแต่การหาความหนืดด้วยวิธี Saybolt Furol เสถียรภาพในการเก็บรักษา การกลั่น Penetration การดึงยืดเป็นเส้น การละลายในสารละลายอินทรีย์ และการทดสอบ Float Test ปรากฏว่า อยู่ในเกณฑ์กำหนดตามมาตรฐาน ASTM D977 สำหรับวัสดุมวลรวมที่ใช้ทดลองก็มีคุณสมบัติตรงตามมาตรฐานของ ASTM และข้อกำหนดของการจัดเรียงขนาดที่เหมาะสมสำหรับการผสมแบบเย็น (Cold Mix)

5.1.2 ในการออกแบบส่วนผสมระหว่างวัสดุมวลรวม กับยาง HFMS-2 และยาง MS-2 ตามวิธีของมาร์แชล (Marshall Method) ผลปรากฏว่า การใช้ยาง HFMS-2 จะใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม 3.00 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสม 4.00 เปอร์เซ็นต์ ยาง MS-2 จะใช้ปริมาณน้ำที่เหมาะสม 2.75 เปอร์เซ็นต์ และปริมาณเนื้อยางที่เหมาะสม 3.75 เปอร์เซ็นต์ ค่าเสถียรภาพของยาง MS-2 เมื่อนำไปแช่น้ำ 4 วัน จะมีค่าสูงกว่ายาง HFMS-2 อยู่ 21.30 เปอร์เซ็นต์ แต่ยางมะตอยน้ำทั้ง 2 ชนิดจะอยู่ในเกณฑ์ใช้ได้กับการจราจรประเภทปานกลาง สำหรับคุณสมบัติอื่น ๆ เช่น การดูดซึมความชื้น, การเปลี่ยนแปลงค่าเสถียรภาพ จะอยู่ในเกณฑ์กำหนด ส่วนช่องว่างทั้งหมด (Total Void) จะเกินกำหนดอยู่ 1-2 เปอร์เซ็นต์

5.1.3 ตัวอย่างที่เตรียมขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 4 นิ้ว สูง 8 นิ้ว โดยวิธี Double Plunger อัดความดันเข้าไปในแบบ (Mold) 2,500 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว ตามปกติแล้วการเตรียมตัวอย่างขนาดนี้ จะได้ขนาดไม่ตรงตามที่กำหนดจะขึ้นอยู่กับการยุบตัวของส่วนผสมและกรรมวิธีในการผสมแต่ละครั้ง แต่ต้องอยู่ในช่วงอัตราส่วนความสูงต่อเส้นผ่าศูนย์กลาง 1.75 - 2.00 ซึ่งความสูงของตัวอย่างที่อยู่ในช่องนี้จะมีผลต่อกำลังของตัวอย่างน้อยมาก ปรากฏว่า ตัวอย่างที่ทำการเตรียมทั้งยาง HFMS-2 และยาง MS-2 อยู่ในเกณฑ์กำหนด

5.1.4 ความสัมพันธ์ของค่าความเค้นต่อความเครียดของตัวอย่างขนาด ϕ4" × 8" โดยใช้ความถี่คงที่ 1 รอบต่อวินาที จะพบว่ายาง HFMS-2 มีค่าความเครียด (Strain) มากกว่ายาง MS-2 ที่อุณหภูมิต่ำ (20°C) ซึ่งจะให้ค่า Resilient Modulus ต่ำกว่ายาง MS-2 ด้วย เมื่อทำการเปรียบเทียบที่อุณหภูมิเดียวกันของยาง HFMS-2 และยาง MS-2 แล้วจะพบว่ายาง HFMS-2 มีค่า Resilient Modulus ต่ำกว่ายาง MS-2 อยู่ 49.74 เปอร์เซ็นต์ ของที่อุณหภูมิ 20°C ส่วนที่อุณหภูมิสูง (60°C) จะมีค่าต่างกัน 9.14 เปอร์เซ็นต์ ซึ่งจะเห็นว่ามีผลต่อค่า Resilient Modulus น้อย (แบบไม่มีความดันด้านข้าง) ส่วนแบบที่มีความดันด้านข้างจะมีพฤติกรรมแบบเดียวกัน เมื่อนำไปหาค่าความสัมพันธ์ระหว่าง Resilient Modulus กับอุณหภูมิ จะพบว่ายาง HFMS-2 มีการเปลี่ยนแปลงค่า Resilient Modulus ระหว่างอุณหภูมิ 20°C กับ 60°C อยู่ 38.95 เปอร์เซ็นต์ ของค่า Mr ยาง HFMS-2 ที่อุณหภูมิ 20°C ส่วนยาง MS-2 มีค่าเปลี่ยนแปลง 72.12 เปอร์เซ็นต์ ของค่า Mr ยาง MS-2 ที่อุณหภูมิ 20°C จะเห็นได้ว่ายาง HFMS-2 มีความไวต่อการเปลี่ยนแปลงอุณหภูมิน้อยกว่ายาง MS-2 และยางชนิดอื่นด้วย

5.1.5 ในการทดลองหาผลเนื่องจากความดันด้านข้างและน้ำหนักที่กด ของยางทั้ง 2 ชนิด โดยใช้ความถี่คงที่ 1 รอบต่อวินาที ปรากฏว่า ทั้งความดันด้านข้างและน้ำหนักที่กดจะมีผลต่อค่า Resilient Modulus โดยเมื่อเพิ่มความดันด้านข้างแล้วจะทำให้ค่า Resilient Modulus มีค่าสูงกว่าเดิม ซึ่งจะเป็นทั้งยาง HFMS-2 และยาง MS-2 จะให้ค่า ซึ่งอยู่ในรูปของ $Mr = K\theta^n$ สำหรับค่า Mr ที่ได้ยาง MS-2 จะมีค่ามากกว่ายาง HFMS-2 ซึ่งแสดงให้เห็นได้ว่ายาง MS-2 จะมีความแข็งแรงกว่ายาง HFMS-2 ไม่ว่าจะมีอุณหภูมิสูงขึ้นพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจะมีลักษณะอย่างเดียวกัน

ตารางที่ 5.1 สรุปผลการทดลองคุณสมบัติต่าง ๆ ของยาง HFMS-2 และยาง MS-2

วัสดุมวลรวมที่ใช้ทดลอง	ชนิดของยางและคุณสมบัติของยาง	การออกแบบส่วนผสม	คุณสมบัติที่ทดลองตัวอย่าง $\phi 4" \times 8"$	อุณหภูมิ 20°C	อุณหภูมิ 40°C	อุณหภูมิ 60°C
1) ความถ่วงจำเพาะวัสดุมวลรวม แบบหยาบ = 2.677 แบบละเอียด = 2.642 ฝุ่น = 2.631 2) ความถ่วงจำเพาะวัสดุมวลรวมเฉลี่ย = 2.662 3) ค่าความสึกกร่อนด้วย los Angeles = 23.61 % 4) ค่า Sand Equivalent มีค่า = 55 % 5) การเคลือบและการอุดร่อนสามารถเคลือบได้ 100% แบบไม่แช่น้ำ แบบแช่น้ำได้ 90-95 %	ยาง HFMS-2 1) กลั่นหาเนื้อยาง = 73.0 % 2) ปริมาณน้ำ = 20.89 % 3) ความหนืด Saybolt Furol = 208 4) Penetration = 154 5) การตั้งเป็นเส้น = 55 ซม. 6) การละลาย = 99.26 %	1) เนื้อยางที่เหมาะสม = 4.00 % 2) ปริมาณน้ำที่เหมาะสม = 3.00 %	1) Mr, σ_3 = 0, psi 2) Mr, σ_3 = 15 psi, psi 3) Mr (θ), psi 4) จำนวนรอบ (σ_2 = 15 psi, σ_3 = 0)	12461 25545 $Mr = 2613\ \theta^{0.793}$ 2785	9942 20592 $Mr = 2293\ \theta^{0.744}$ 1785	7607 15305 $Mr = 4055\ \theta^{0.243}$ 1473
	ยาง MS-2 1) กลั่นหาเนื้อยาง = 65.0 % 2) ปริมาณน้ำ = 25.74 % 3) ความหนืด Saybolt Furol = 169 4) Penetration = 169 5) การตั้งเป็นเส้น = 58 6) การละลาย = 99.55 %	1) เนื้อยางที่เหมาะสม = 3.75 % 2) ปริมาณน้ำที่เหมาะสม = 2.75 %	1) Mr, σ_3 = 0, psi 2) Mr, σ_3 = 15 psi, psi 3) Mr (θ), psi 4) จำนวนรอบ (σ_2 = 15 psi, σ_3 = 0)	24795 32204 $Mr = 6433\ \theta^{0.579}$ 3894	15589 22954 $Mr = 2078\ \theta^{0.579}$ 2678	6912 12556 $Mr = 4140\ \theta^{0.163}$ 1426

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

5.1.6 เมื่อตัวอย่างได้รับน้ำหนักกระทำซ้ำ (1 รอบต่อวินาที) ถ้ายิ่งจำนวนรอบสูง ๆ ขึ้น จะทำให้เกิดความเครียดเพิ่มขึ้นตามไปด้วย สำหรับยาง HFMS-2 และยาง MS-2 แล้วจะพบว่าหลังจาก 1,000 รอบไปแล้ว ค่าความเครียดจะเพิ่มขึ้นมากอย่างรวดเร็ว จนกระทั่งตัวอย่างเกิดความเสียหาย (Failure) แต่ยาง MS-2 จะมีจำนวนรอบที่ทำให้เกิดความเสียหายมากกว่ายาง HFMS-2 ที่อุณหภูมิ 20°C อยู่ 39.82 เปอร์เซ็นต์ ส่วนที่อุณหภูมิ 60°C จะมีจำนวนรอบที่ทำให้เกิดความเสียหายใกล้เคียงกัน ซึ่งอยู่ระหว่าง 1,400-1,500 รอบ ดังนั้นจะเห็นว่าที่อุณหภูมิต่ำจะมีผลต่อความแข็งแรง และความทนทานของยางทั้ง 2 ชนิด มากกว่าที่อุณหภูมิสูง ซึ่งจะให้ค่าความแข็งแรงและความทนทานใกล้เคียงกัน

5.2 ข้อเสนอแนะ

ในการทดลองครั้งนี้จะเป็นการหาคุณสมบัติไดนามิกของยางมะตอย ซึ่งจะใช้น้ำหนักกระทำซ้ำแก่ตัวอย่างทดลอง สำหรับยางที่ใช้ทดลองเป็นยางมะตอยน้ำประเภทไอโฟลต กับมีเดียมเซ็ตติง ซึ่งจะให้คุณสมบัติเฉพาะตัวของแต่ละชนิด ผลที่ได้จากการทดลองยังมีข้อพิจารณาได้อีกดังต่อไปนี้

5.2.1 ในการออกแบบส่วนผสมสำหรับยางมะตอยน้ำประเภทไอโฟลตนี้ ควรที่จะตรวจสอบการจัดเรียงขนาด (Gradation) เนื่องจากว่าการจัดเรียงขนาดที่ใช้ทดลองนี้จะทำให้ช่องว่างทั้งหมด (Total Void) เกินอยู่ 1-2 เปอร์เซ็นต์ โดยทำการเพิ่มวัสดุละเอียดและฝุ่นเพิ่มขึ้นแต่ก็ให้อยู่ในขอบเขตที่กำหนด นอกจากนี้ยังต้องหาปริมาณน้ำและเนื้อยางที่เหมาะสม เพื่อที่จะได้ให้ค่าเสถียรภาพสูงสุด สามารถนำไปใช้งานได้ดี หรือนำมาเปรียบเทียบกับการนำไปทำจริงในสนาม

5.2.2 ในการทดลองหาคุณสมบัติไดนามิกโดยใช้น้ำหนักกระทำซ้ำ ยังที่สามารถเปลี่ยนแปลงค่าความเค้น, Deviator Stress (σ_d) และความดันด้านข้าง (σ_3) ได้อีกมากกว่านี้ เนื่องจากแฟคเตอร์เหล่านี้ควรจะต้องมีผลต่อค่า Resilient Modulus ที่อุณหภูมิต่าง ๆ เพื่อดูพฤติกรรมที่เกิดขึ้นจะตรงกับที่ได้มีการศึกษามาแล้วหรือไม่ และทราบความสามารถของส่วนผสมในการรับน้ำหนักในลักษณะต่าง ๆ

5.2.3 ยางมะตอยน้ำประเภทไอโฟลดก็ยังจะสามารถใช้ในการซีลรอยแตก (Crack Sealing) ได้ เนื่องมาจากว่ายางมะตอยน้ำชนิดนี้มีการเปลี่ยนแปลงต่ออุณหภูมิน้อย และมีการแตกตัวไม่เร็วนัก จะสามารถทำงานได้สะดวก ไม่ต้องรับร้อน รอยแตกที่จะทำการซีล ควรที่จะได้รับการทำความสะอาด โดยการเป่าลมเสียก่อน หลังจากนั้นก็เทยางมะตอยน้ำลงบนบริเวณรอยแตกแล้วโรยทรายเพื่อป้องกันไม่ให้ยางมะตอยติดล้อรถ ในการซีลจะทำเพื่อป้องกันการซึมของน้ำที่จะลงจากผิวทางลงสู่ชั้นพื้นทาง ป้องกันวัสดุที่ใช้อุดรอยต่อไม่ให้หลุดร่อน วัสดุที่ใช้ซีลจะต้องไม่เปราะง่ายในสภาพอากาศเย็น และไม่อ่อนตัว หรือเป็นรอยล้อเมื่อมีการจราจรในสภาพอากาศร้อน ซึ่งยางมะตอยน้ำประเภทไอโฟลดสามารถที่จะนำไปใช้ได้

นอกจากนี้แล้วยังจะสามารถนำไปทำเป็น Pre-mix ที่มาใช้กับงานซ่อม (Patching) ซึ่งตามปกติ Pre-mix ที่ใช้กันอยู่จะใช้ยางคัทแบคแอสฟัลท์ (Cut back Asphalt) มาทำ ซึ่งจะมีอายุการเก็บรักษาไว้ได้ไม่นาน และไม่สามารถผสมกับหินที่เปียกได้ จึงทำให้การซ่อมไม่ทันทีกับความต้องการ ยางมะตอยน้ำประเภทไอโฟลดจะสามารถผสมกับหินที่เปียกได้และเก็บไว้ได้นาน ถ้ามีการป้องกันการระเหยของน้ำที่ดี ทำการซ่อมได้ทันทีโดยไม่ต้องรอ

ศูนย์วิทยทรัพยากร
จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย