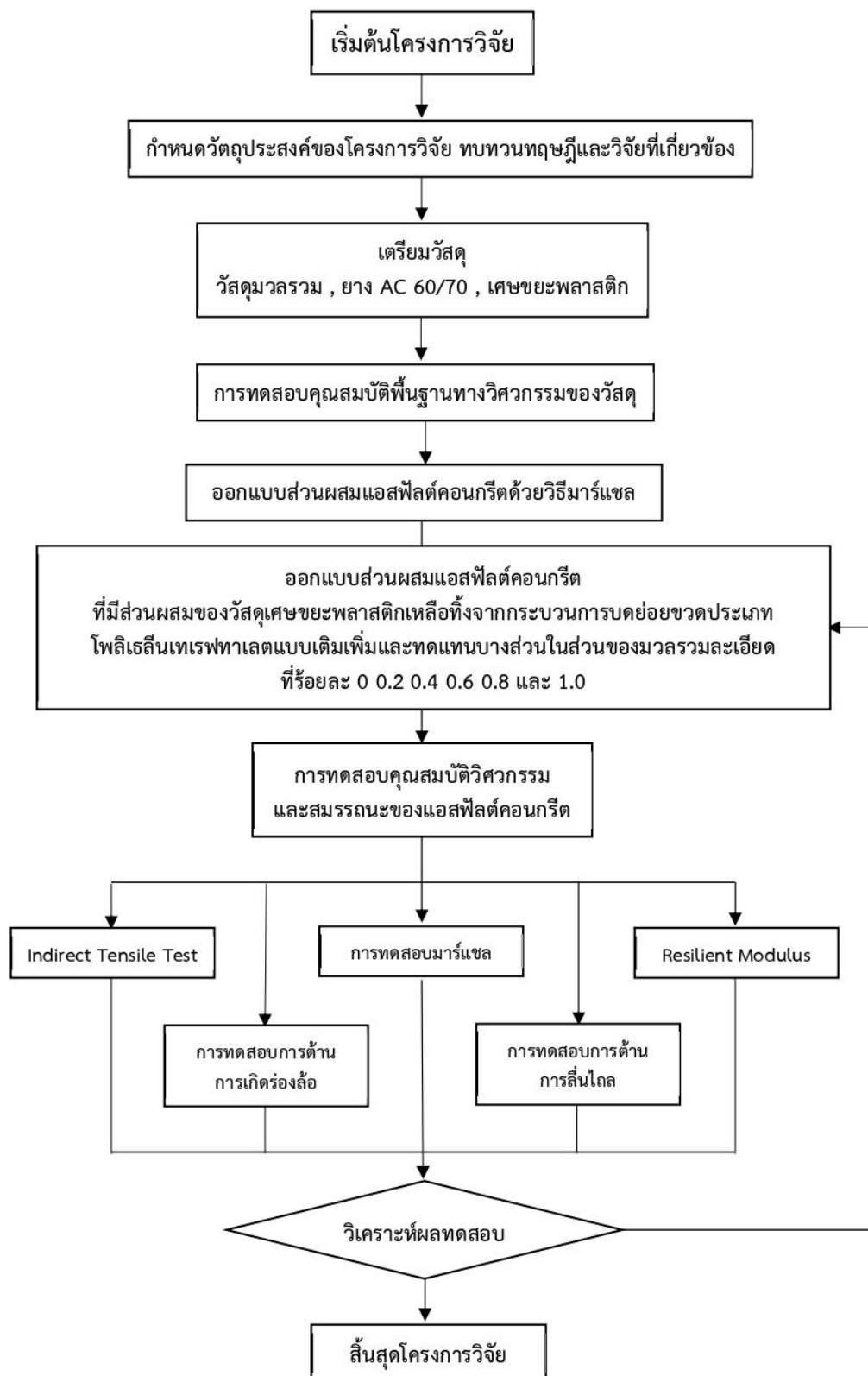


บทที่ 3

วิธีดำเนินการวิจัย

3.1 บทนำ

งานวิจัยนี้ศึกษาคุณสมบัติทางวิศวกรรมของแอสฟัลต์คอนกรีตผสมเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากกระบวนการบดย่อยขวดประเภทโพลิเอทิลีนเทรฟทาเลต โดยใช้อัตราส่วนผสมของขยะพลาสติกในส่วนผสมรวมทั้งหมด ซึ่งได้กำหนดชนิดแอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 เป็นการออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับผิวทางชั้นบน Wearing Course โดยแบ่งปริมาณร้อยละของขยะพลาสติกในส่วนผสมรวมทั้งหมด ที่ 0 0.2 0.4 0.6 0.8 และ 1.0 ก้อนตัวอย่าง 1 ก้อนจะมีน้ำหนักประมาณ 1,200 กรัม โดยงานวิจัยนี้จะประกอบด้วยงานสองส่วนหลักส่วนแรกจะเป็นการรวบรวมวัสดุและดำเนินการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุทั้งวัสดุผสมรวมและวัสดุปิทูเมน รวมถึงคุณสมบัติของเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากกระบวนการบดย่อยขวดประเภทโพลิเอทิลีนเทรฟทาเลต ส่วนที่สองจะเป็นการทดสอบสมรรถนะและคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชลล์ การทดสอบเสถียรภาพและการไหล (Stability and Flow) ดัชนีความแข็งแรง (Strength Index) และกำลังดึงทางอ้อม (Indirect tensile strength) การทดสอบสมรรถนะภายใต้แรงกระทำพลวัต ประกอบด้วย การทดสอบโมดูลัสคืนตัวเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Resilient Modulus) ความต้านทานการล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue) ความต้านทานการเกิดร่องล้อ (Rutting Resistance) และความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance) และทำการวิเคราะห์เปรียบเทียบค่าคุณสมบัติของก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตตามมาตรฐานกรมทางหลวง กับก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตผสมด้วยเศษขยะพลาสติกเหลือทิ้งจากกระบวนการบดย่อยขวดประเภท โพลิเอทิลีนเทรฟทาเลต โดยมีขั้นตอนการดำเนินการ แสดงดังรูปที่ 3.1



รูปที่ 3.1 แผนผังแสดงการดำเนินการวิจัยแอสฟัลต์คอนกรีต

ตารางที่ 3.1 การทดสอบ อัตราส่วนผสมและจำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบ

การทดสอบ	อัตราส่วน มวลรวม	แอสฟัลต์ซีเมนต์	ปริมาณเศษขวด PET (ร้อยละของ น้ำหนักมวลรวม)	อุณหภูมิ (C°)	ระดับหน่วยแรง กระทำ (kPa)	จำนวนตัวอย่าง ทดสอบต่อหนึ่งอัตรา ส่วนผสม (ตัวอย่าง)	รวมจำนวน ตัวอย่างทดสอบ ทั้งหมด (ตัวอย่าง)
1. ตรวจสอบปริมาณ และขนาดคละของมวลรวม	HB1, HB2, HB3, HB4	-	-	-	-	1	1
2. คุณสมบัติพื้นฐานและคุณสมบัติ ทางเคมีของแอสฟัลต์ซีเมนต์ AC60/70	-	AC60/70	-	-	-	1	1
3. ออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ด้วยวิธี Marshall	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0		-	1	135
4. ค่าเสถียรภาพและการยุบตัว	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	60	-	3	33
5. ดัชนีความแข็งแรง	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	-	-	3	66
6. ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	25, 40, 50, 60	-	3	132
7. โมดูลัสคืนตัว	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	25	-	3	33
8. ความล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	25	250, 300, 350	3	99
9. ความต้านทานการลื่นไถล และการเกิดร่องล้อ	Wearing Course	AC60/70	0, 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1.0	25	-	2	22

3.2 วัสดุที่ใช้ในการดำเนินงานวิจัย

โครงการวิจัยนี้ใช้วัสดุมวลรวมหลักในส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีต แอสฟัลต์คอนกรีต ออกแบบสำหรับชั้นทาง Wearing Course ตามมาตรฐานกรมทางหลวงที่ ทล.ม 408/2532 มีวัสดุในงานวิจัย กระกอบด้วย วัสดุมวลรวม แอสฟัลต์ซีเมนต์ และวัสดุผสมเพิ่ม

3.2.1 วัสดุมวลรวม

วัสดุมวลรวมในงานวิจัยนี้เลือกใช้วัสดุหินปูน (Limestone) จากแหล่งโรงโม่หิน ชุมเงินชุมทอง อำเภอปากช่อง จังหวัดนครราชสีมา โดยทำการเผาให้ความร้อนจากห้องเผาในโรงผสม แอสฟัลต์คอนกรีต จำแนกเป็น 4 ตัวอย่างหลักๆ ดังแสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 แหล่งวัสดุมวลรวม

ลำดับ	รายการ	ชนิด	แหล่งวัสดุ
1	Hot Bin 1	หินฝุ่น	โรงโม่ ชุมเงินชุมทอง จ.นครราชสีมา
2	Hot Bin 2	หิน 3/8	โรงโม่ ชุมเงินชุมทอง จ.นครราชสีมา
3	Hot Bin 3	หิน 1/2	โรงโม่ ชุมเงินชุมทอง จ.นครราชสีมา
4	Hot Bin 4	หิน 3/4	โรงโม่ ชุมเงินชุมทอง จ.นครราชสีมา



(ก) HB.1 หิน ฝุ่น



(ข) HB.2 หิน 3/8"



(ค) HB.3 หิน 1/2 "



(ง) HB.4 หิน 3/4"

รูปที่ 3.2 วัสดุมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.2 วัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์

งานวิจัยนี้ใช้แอสฟัลต์ซีเมนต์เกรด AC 60/70 จากบริษัท ทิปปโก้แอสฟัลต์ จำกัด (มหาชน) โรงงานพระประแดง ตำบลบางจาก อำเภอพระประแดง จังหวัดสมุทรปราการ โดยสรุปผลการทดสอบสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ ตามมาตรฐานกรมทางหลวง ทล.-ก 401/2531

ตารางที่ 3.3 รายละเอียดวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ใช้ในงานวิจัย

ชนิดยาง	ถังเก็บ	อ้างอิงผลการทดลอง	ขนาดบรรจุ	หมายเหตุ
Asphalt Cement AC 60-70 (F/P)	ถังเก็บหมายเลข AC08 ชุดที่ 104002456	อันดับการทดลองของ บริษัทฯ เลขที่ BATCH5399	ชนิดบรรจุ Bulk 22.00 TN. ซีล 896118-127	



รูปที่ 3.3 แอสฟัลต์ซีเมนต์ AC 60/70 ที่ใช้ในงานวิจัย

3.2.3 วัสดุผสมเพิ่ม

งานวิจัยนี้ใช้วัสดุ ขยะพลาสติก PET จากกระบวนการรีไซเคิล ซึ่งเป็นพลาสติกชนิด โพลีเอทรีลีนเทเลฟทาเลต (Poly Ethylene Terephthalate), PET ขวด PET สามารถนำไปรีไซเคิลได้ ร้อยละ 100 ในภาคธุรกิจรีไซเคิลขยะพลาสติกชนิดนี้ จะมีกระบวนการเปลี่ยนรูปพลาสติกหรือย่อยขนาดพลาสติกจากขนาดรูปร่างเดิมให้ได้ขนาดตามที่ต้องการก่อนจะนำไปสู่ขั้นตอนอื่นต่อไป ในขั้นตอนนี้จะเกิดเศษพลาสติกขนาดเล็กติดอยู่ในเครื่องจักร จึงต้องทำความสะอาดเครื่องจักร โดยนำเศษพลาสติก ดังกล่าวออก ซึ่งเศษพลาสติกเหล่านี้จะถูกมองเป็นขยะของกระบวนการบดย่อยขวดพลาสติก และจะถูกนำไปกำจัดทิ้ง ข้อมูลจากบริษัท สมคิดพลาสติกนำเข้าและส่งออก จำกัด จังหวัดนครราชสีมา เพียงแห่งเดียว มีปริมาณขยะพลาสติกจากกระบวนการนี้เกิดขึ้นประมาณ

40 กิโลกรัมต่อวัน หรือประมาณ 14.6 ตันต่อปี ขยะจากขบวนการรีไซเคิลพลาสติก PET ดังกล่าว มีลักษณะทางกายภาพโดยทั่วไป มีขนาดเล็ก มีความคล้ายคลึงกับทรายชนิดหยาบ และหากมองด้วยตาเปล่าอาจมีวัสดุอื่นเจือปนอยู่บ้างเล็กน้อย



รูปที่ 3.4 ขวดพลาสติก PET รอการบดย่อยในกระบวนการรีไซเคิล



รูปที่ 3.5 วัสดุเศษขยะพลาสติก PET ที่เหลือทิ้งจากขบวนการรีไซเคิล

การเตรียมตัวอย่างขยะพลาสติก PET ที่ได้จากอุตสาหกรรมการรีไซเคิลพลาสติก นำไปตาก หรืออบให้แห้ง แล้วนำมาร่อนผ่านตะแกรง เบอร์ 4 (ขนาด 4.5 มิลลิเมตร) และตะแกรง เบอร์ 8 (ขนาด 2.36 มิลลิเมตร) นำส่งตัวอย่างทดสอบวิธี X-ray Fluorescence Energy Dispersive Spectrometer, XRF และวิธี LECO (ASTM D5373-16) หาคุณสมบัติและสารประกอบต่าง ๆ ของวัสดุตัวอย่าง นำผลตัวอย่างการทดสอบใช้ตัดสินใจในการเลือกรูปแบบการนำไปผสมในการทดสอบ



รูปที่ 3.6 วัสดุผสมเพิ่ม เศษพลาสติก PET



รูปที่ 3.7 เครื่องทดสอบ X-ray Fluorescence Energy Dispersive Spectrometer, XRF
(ที่มา : ห้องปฏิบัติการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีสุรนารี)

3.3 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของแอสฟัลต์ซีเมนต์

ในการศึกษานี้ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุแอสฟัลต์ซีเมนต์ ดังนี้

3.3.1 การทดสอบความต้านทานการเจาะทะลุของบิทูมินัส Penetration

ทดสอบความแข็งของบิทูมินัส โดยจะใช้เข็มมาตรฐานกดอย่าง ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท. 403/2518วิธีการทดสอบค่า Penetration ของวัสดุแอสฟัลต์ เพื่อทำการทดสอบเพนิเทรชันของวัสดุแอสฟัลต์ที่อยู่ในสภาพกึ่งแข็ง (Semi – Solid) และในสภาพแข็ง (Solid) วัสดุที่มีค่าเพนิเทรชันต่ำกว่า 350 สามารถทดสอบได้โดยใช้เครื่องมือมาตรฐานและวิธีการทดสอบตามขั้นตอน ส่วนวัสดุที่มีค่าเพนิเทรชันระหว่าง 350 และ 500 จะทดสอบได้โดยใช้เครื่องมือพิเศษ (AASHTO T. 46)

การทดสอบที่ไม่ได้กำหนดเงื่อนไขใดๆ ไว้ ให้ใช้อุณหภูมิการทดสอบที่ 25°C (77°F) น้ำหนักกด 100 กรัม และเวลา 5 วินาที เงื่อนไขที่กำหนดเป็นอย่างอื่นสำหรับการทดสอบพิเศษอาจกำหนดได้ดังนี้

ตารางที่ 3.4 ตารางเปรียบเทียบอุณหภูมิ, น้ำหนัก, เวลา ในการทดสอบ

อุณหภูมิ. °C (°F)	น้ำหนักกด (กรัม)	เวลา (วินาที)
0 (32)	200	60
4 (39.2)	200	60
46.1(115)	50	5

3.3.2 การทดสอบจุดอ่อนตัวของวัสดุบิทูเมน

เพื่อทำการทดสอบหาจุดอ่อนตัวของบิทูเมนในช่วง 30°C-157°C (86°F-315°F) โดยใช้เครื่องวงแหวนและลูกปืน แช่ในน้ำกลั่น (ช่วงอุณหภูมิ 30°C-80°C) ใน USP กลีเซอริน (ช่วงอุณหภูมิ 80°C-157°C) และในเอทิลีนไกลคอล (Ethylene Glycol) (ช่วงอุณหภูมิ 30°C-110°C) ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ASTM D36/D36M14e1 Standard Test Method for Softening Point of Bitumen

1) จุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุน้ำจะมีค่าต่ำกว่าจุดอ่อนตัวในกระบอกแก้วที่บรรจุกลีเซอริน ในการแปลงค่าของจุดอ่อนตัวซึ่งหาในน้ำและมีค่าสูงกว่า 80 C (176°F) เล็กน้อย เป็นค่าจุดอ่อนตัวในกลีเซอริน ให้ใช้ค่าดังนี้

ค่าปรับแก้ + 4.2°C (+76°F) สำหรับแอสฟัลต์

2) ผลการทดสอบที่ใช้เอทิลีนไกลคอลบรรจุในกระบอกแก้ว จะมีค่าแตกต่างจากผลของการใช้น้ำหรือกลีเซอริน ซึ่งการแปลงค่าใช้สูตรดังนี้

แอสฟัลต์

จุดอ่อนตัว (ใช้กลีเซอริน) = $1.026583 \times \text{จุดอ่อนตัว (ใช้เอทิลีนไกลคอล)} - 1,334,968^{\circ}\text{C}$

จุดอ่อนตัว (ใช้น้ำ) = $0.974118 \times \text{จุดอ่อนตัว (ใช้เอทิลีนไกลคอล)} - 144,459^{\circ}\text{C}$

3.3.3 ทดสอบความหนืด (Viscosity)

โดยการทดสอบนี้จะใช้วิธี Brook Fields ในการทดสอบ และใช้เครื่องมือ Rotational Viscometer ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ASTM D4402 Standard Test Method for Viscosity Determination of Asphalt at Elevated Temperatures Using a Rotational Viscometer

3.3.4 การทดสอบความสามารถในการยืดตัว (Ductility)

มีวัตถุประสงค์เพื่อหาความ เหนียวของบิทูเมน ในการทดสอบนี้จะทำการทดสอบที่อุณหภูมิ 5°C 13°C และ 25°C ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล.-ท. 405/2519 วิธีการทดลองหาค่า Ductility ของวัสดุแอสฟัลต์ (เทียบเท่า AASHTO T.-51)

3.3.5 การทดสอบหาความยืดหยุ่นกลับของวัสดุแอสฟัลต์โดยเครื่องดึง (Elastic Recovery of Bituminous Materials by Ductilometer)

การทดสอบนี้เป็นการทดสอบหาความยืดหยุ่น แอสฟัลต์โดยวัดระยะคืนตัวกลับหลังจากตัวอย่างแอสฟัลต์ถูกดึงจนขาด ตัวอย่างจะถูกดึงที่อุณหภูมิ $25 \pm 0.5^{\circ}\text{C}$ ความเร็ว 5 เซนติเมตรต่อนาที ตามมาตรฐานการทดสอบที่ ทล.-ท. 415/2548 วิธีการ ทดลองหาความยืดหยุ่นกลับของวัสดุแอสฟัลต์โดยเครื่องดึง (Elastic Recovery of Bituminous Materials by Ductilometer)

3.4 การทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุมวลรวม

ในการศึกษานี้ทำการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐาน ของวัสดุมวลรวม ดังนี้

3.4.1 ค่าเทียบเท่าทราย (Sand Equivalent)

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.203/2515 วิธีการทดลองหาค่าเทียบเท่าทราย เพื่อทำการทดสอบหาค่าสัดส่วนระหว่างฝุ่นหรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียวกับวัสดุมวลรวมหยาบหรือทราย ASTM D 2419 – 74 (Reapproved 1979) AASHTO T 176 – 86

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของ Sand Equivalent (S.E.)} = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100 \quad (3.1)$$

3.4.2 ความสึกหรอ (Abrasion)

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.202/2515 วิธีการทดลองหาความสึกหรอของ Coarse Aggregate โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion เพื่อทำการทดสอบหาค่าการสึกหรอของหินย่อย กรวดย่อย กรวดและวัสดุมวลรวมหยาบอื่นๆ ASTM C 131 และ C 535

$$\text{เปอร์เซ็นต์ของความสึกหรอโดยใช้เครื่อง Los Angeles} = \frac{W_1 - W_2}{W_1} \times 100 \quad (3.2)$$

เมื่อ W_1 = มวลของตัวอย่างทั้งหมดที่ใช้ทดสอบ, กรัม

W_2 = มวลของตัวอย่างที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 12, กรัม

3.4.3 ขนาดคละ ของมวลรวม (Gradation)

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.ม.205/2517 วิธีการทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง เพื่อทำการทดสอบหาขนาดเม็ด (Particle Size Distribution) ของวัสดุ มวลรวมหยาบและวัสดุมวลรวมละเอียด โดยให้ผ่านตะแกรงจากขนาดใหญ่ถึงขนาดเล็ก มีขนาดช่องผ่านตะแกรงเบอร์ 200 (0.075 มิลลิเมตร) แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่านหรือค้างตะแกรง ขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง AASHTO T 27 – 70 และ AASHTO T 37 – 70

$$\text{เปอร์เซ็นต์ผ่านตะแกรงต่อมวลรวม} = \frac{P}{T} \times 100 \quad (3.3)$$

เมื่อ	P	=	มวลของตัวอย่างผ่านตะแกรงขนาดนั้น, กรัม
	T	=	มวลของตัวอย่างทั้งหมด, กรัม

3.4.4 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวมหยาบ

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.-ท.207/2517 วิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุ ชนิดเม็ดหยาบ เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุรวมหยาบ ซึ่งมีขนาดเม็ดโตกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) AASHTO T 84 – 70 (ปรับปรุงจาก AASHTO T 80 – 70)

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบทั้งหมด

$$\text{Bulk Specific Gravity (Oven Dry Basis)} = A/(B+500-C) \quad (3.4)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity (Saturated Surface-Dry Basis)} = 500/(B+500-C) \quad (3.5)$$

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบปรากฏ

$$\text{Apparent Specific Gravity} = A/(B+A-C) \quad (3.6)$$

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่ตัวอย่างดูดซึม

$$\text{Water Absorption, (\%)} = 500 - A/A \times 100 \quad (3.7)$$

เมื่อ	A	=	มวลของวัสดุอบแห้งซึ่งในอากาศ, กรัม
	B	=	มวลของขวดแก้ววัดความถ่วงจำเพาะกับมวลของน้ำ, กรัม
	C	=	มวลของขวดแก้ววัดความถ่วงจำเพาะกับมวลของวัสดุกับมวลของน้ำ, กรัม

3.4.5 ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) และการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวมละเอียด

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ทล.-ท.209/2518 วิธีการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของวัสดุ ชนิดเม็ดละเอียด เพื่อทำการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของวัสดุรวมหยาบซึ่งมีขนาดเม็ดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 4 (4.75 มิลลิเมตร) ASTM C 128 - 93 และ AASHTO T 84 – 95

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบทั้งหมด

$$\text{Bulk Specific Gravity (Oven Dry Basis)} = A/(B-C) \quad (3.8)$$

$$\text{Bulk Specific Gravity (Saturated Surface-Dry Basis)} = B/(B-C) \quad (3.9)$$

คำนวณหาค่าความถ่วงจำเพาะแบบปรากฏ

$$\text{Apparent Specific Gravity} = A/(A-C) \quad (3.10)$$

คำนวณหาเปอร์เซ็นต์ของปริมาณน้ำที่ตัวอย่างดูดซึม

$$\text{Water Absorption, (\%)} = B-A/A \times 100 \quad (3.11)$$

เมื่อ	A	=	มวลของตัวอย่างที่อยู่ในสภาพแห้งด้วยเตาอบที่ซึ่งในอากาศ, กรัม
	B	=	มวลของตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งที่ซึ่งในอากาศ, กรัม
	C	=	มวลของตัวอย่างที่ซึ่งในน้ำ, กรัม

3.4.6 ค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index)

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.- ท.210/2518 วิธีการหาค่าดัชนีความแบน (Flakiness Index) เพื่อทำการทดสอบหาค่าดัชนีความแบนของวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) โดยหามวลของวัสดุที่มีความหนาของด้านแบนน้อยกว่า 3/5 เท่าของขนาดเฉลี่ยวัสดุนั้น คิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับวัสดุที่นำมาทดสอบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ค่าดัชนีความแบน} = \frac{B}{(A+B)} \times 100 \quad (3.12)$$

เมื่อ	A	=	มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความหนาทุกช่อง, กรัม
	B	=	มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุกช่อง, กรัม

3.4.7 ค่าดัชนีความยาว (Elongation Index)

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.- ท.211/2518 วิธีการหาค่าดัชนีความยาว (Elongation Index) เพื่อทำการทดสอบหาค่าดัชนีความยาวของวัสดุมวลรวมหยาบ (Coarse Aggregate) โดยหามวลของวัสดุที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่า ของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้นคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดสอบ

$$\text{เปอร์เซ็นต์ค่าดัชนีความยาว} = \frac{C}{(C+D)} \times 100 \quad (3.13)$$

เมื่อ	C	=	มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้างตะแกรงช่องวัด, กรัม
	D	=	มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุกช่อง, กรัม

3.4.8 ความคงทนต่อการกัดกร่อน (Soundness)

ตามมาตรฐานวิธีการทดสอบที่ ทล.- ท.213/2531 วิธีการหาค่าความคงทน (Soundness) ของมวลรวม โดยการใช้โซเดียมซิลเฟต หรือแมกนีเซียมซิลเฟต ASTM C 88 – 83 และ

AASHTO T 104 – 86 เพื่อหาค่าความต้านทานต่อการแตกแยกของวัสดุมวลรวมในสารละลายอิมัลชันโซเดียมซิลิเฟตหรือแมกนีเซียมซิลิเฟต เพื่อใช้เป็นข้อมูลในการพิจารณาความคงทนของวัสดุมวลรวมที่กระทำโดยสภาพดินฟ้าอากาศ โดยเฉพาะวัสดุมวลรวมที่ได้จากแหล่งที่มีข้อมูลในการทนต่อขบวนการถูกทำลายทางธรรมชาติไม่เพียงพอวิธีทดสอบโดยใช้สารละลายอิมัลชันแต่ละชนิดจะให้ผลการทดสอบมีค่าแตกต่างกัน ในการทดสอบจึงระบุชนิดของสารละลายและจำนวนรอบในการทดสอบ

3.4.8.1 การวิเคราะห์เชิงปริมาณ (Quantitative Examination)

คำนวณหาผลที่หายไปหลังจากการทดสอบ คือ การหาค่าของส่วนที่ไม่คงทน (Actual Loss) Actual Loss (4) = Mass of Test Fraction Before Test (2) - Mass of Test Fraction Loss (3)

ก) คำนวณหา Actual Percentage Loss

$$\text{Actual \%Loss (5)} = \frac{\text{Actual Loss (4)}}{\text{Mass of Test Fraction Before Test (2)}} \times 100 \quad (3.14)$$

ข) คำนวณหา Weighted Percentage Loss

$$\text{Weghted \%Loss (6)} = \frac{\text{Actual \% Loss(5)} \times \% \text{ Retained of Original Sample(1)}}{100} \quad (3.15)$$

ค) คำนวณหา Total Percentage Loss

$$\text{Total \% Loss} = \text{ผลบวกของ Weighted \% Loss (6)} \quad (3.16)$$

3.4.8.2 การวิเคราะห์เชิงคุณภาพ (Qualitative Examination)

ให้นับตัวอย่างก้อนที่โตกว่า 19.0 มิลลิเมตร (3/4 นิ้ว) ดังนี้

ก) ให้แยกชิ้นส่วนของตัวอย่างเป็นกลุ่มตามสภาพการแตกที่เกิดขึ้น สภาพการแตกของตัวอย่างจากการทดสอบตามวิธีนี้ โดยทั่วไปพอจะแยกได้เป็น แยกแตก (Disintegration) หรือแยกออกจากกัน (Spitting) ยุ่ยสลายเป็นชิ้นเล็กๆ (Crumbing) เกิดรอยร้าว (Cracking) หลุดเป็นแผ่น ๆ (Flaking) ขณะที่มีการตรวจสอบตัวอย่างก้อนที่โตกว่า 19.0 มิลลิเมตร อยู่ นั้น อาจจะต้องมีการตรวจสอบก้อนที่มีขนาดเล็กกว่า 19.0 มิลลิเมตร ลงมาบ้าง ทั้งนี้เพื่อจะได้รู้ถึงสภาพการแตกแยกที่อาจจะมีเพิ่มขึ้น

ข) นับชิ้นส่วนที่ถูกแยกออกในแต่ละกลุ่มที่มีการแตกเกิดขึ้น

ค) เปรียบเทียบความไม่คงทนของแต่ละกลุ่มหาได้ดังนี้

$$\% \text{ความไม่คงทนของแต่ละกลุ่ม} = \frac{\text{จำนวนก้อนที่เปลี่ยนสภาพในแต่ละกลุ่ม} \times 100}{\text{จำนวนก้อนทั้งหมดก่อนการ}} \quad (3.17)$$

3.5 การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตโดยวิธีมาร์แชล

การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (Marshall) ตามทล.-ท 604/2517 ตาม ASTM D -1559 เป็นวิธีหาค่าคุณสมบัติต่างๆ ได้แก่ เสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (Air Voids) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) ค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (V/FA) ในส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมวลรวมชนิดต่างๆ เพื่อนำไปหาค่าร้อยละของแอสฟัลต์ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าร้อยละของช่องว่างประมาณร้อยละ 4 ซึ่งกระบวนการในการทดสอบ โดยวิธีมาร์แชล มีดังนี้

การคำนวณหาค่าคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

3.5.1 ประสิทธิภาพโดยน้ำหนักของส่วนผสม (Effective Asphalt Cement by Weight of Mix)

บันทึกเป็นค่า b ,

$$b = b - \frac{x(100-b)}{100} \quad (3.18)$$

เมื่อ	b	คือ	ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ในส่วนผสม
	X	คือ	ค่าร้อยละของแอสฟัลต์ที่สูญเสียไปในการดูดซึมโดยน้ำหนักของมวลรวม

3.5.2 ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อน (Bulk Specific Gravity)

ของตัวอย่างบันทึก เป็นค่า g โดยหาค่า g ได้ดังนี้

$$g = \frac{d}{d-e} \quad (3.19)$$

เมื่อ	d	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อชั่งในอากาศ, กรัม
	$d,$	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างขณะอิมเมอร์สในน้ำ, กรัม
	e	คือ	น้ำหนักของตัวอย่างเมื่อชั่งในน้ำ, กรัม

3.5.3 หาค่าร้อยละของปริมาตรของแอสฟัลต์ประสิทธิภาพ

บันทึกเป็นค่า i ได้ดังนี้

$$l = \frac{b_1 g}{G_{ac}} \quad (3.20)$$

เมื่อ	G_{ac}	คือ	ค่าความถ่วงจำเพาะของแอสฟัลต์ซีเมนต์
-------	----------	-----	-------------------------------------

3.5.4 หาค่าร้อยละของปริมาตรของมวลรวม

บันทึกเป็นค่า j

$$j = \frac{(100-b)g}{G_{ac}} \quad (3.21)$$

เมื่อ G_{ag} คือ ค่าความถ่วงจำเพาะทั้งก้อนของมวลรวมที่ใช้ในส่วนผสม

3.5.5 หาค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ

บันทึกเป็นค่า AV

$$AV = (100 - i - j) \quad (3.22)$$

3.5.6 หาค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม

บันทึกเป็นค่า VMA

$$VFA = (100 - j) \quad (3.23)$$

3.5.7 หาค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์

บันทึกเป็นค่า VFA

$$VFA = \frac{100 \times i}{j} \quad (3.24)$$

นำค่าที่คำนวณได้ไปเขียนกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าต่อไปนี้

1. เสถียรภาพ กับค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
2. การไหล กับค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม
3. ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของ

มวลรวม

4. ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม กับค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม

5. ค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ กับค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม

6. ค่าหน่วยน้ำหนักของส่วนผสม กับค่าร้อยละของแอสฟัลต์ซีเมนต์โดยน้ำหนักของมวลรวม

3.6 การออกแบบและทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต

การออกแบบและทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ดำเนินการตามมาตรฐาน ทล.-ท. 604/2517 "การออกแบบและทดสอบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล" ของกรมทางหลวง โดยมีขั้นตอนการเตรียมตัวอย่าง ดังนี้ วัสดุมวลรวมและแอสฟัลต์ซีเมนต์จะถูกให้ความร้อนจนมีอุณหภูมิ 160 องศาเซลเซียสจากนั้นผสมตัวอย่างเข้าด้วยกัน และนำไปบดอัดด้วยค้อนมาร์แชลด้านละ 75 ครั้ง ตัวอย่างที่ได้ต้องมีเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มิลลิเมตร สูง 63.5 มิลลิเมตร ปริมาณที่เหมาะสมของแอสฟัลต์ซีเมนต์และขนาดคละจะทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีสมบัติตามที่กำหนด



รูปที่ 3.8 การควบคุมอุณหภูมิขณะผสมแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 3.9 การผสมแอสฟัลต์คอนกรีต



รูปที่ 3.10 การบดอัดก้อนตัวอย่างด้วยเครื่อง Marshall Compactor Automatic



รูปที่ 3.11 ก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีตที่ผลิตเสร็จรอทดสอบ

3.7 การทดสอบสมรรถนะของแอสฟัลต์คอนกรีต

3.7.1 การทดสอบส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธีมาร์แชล

การทดสอบคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธีมาร์แชล (Marshall) โดยทำการทดสอบหาค่าคุณสมบัติ ได้แก่ เสถียรภาพ (Stability) การไหล (Flow) ค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ (Air Voids) หน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (VMA) ค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (VFA) ในส่วนผสมระหว่างแอสฟัลต์ซีเมนต์กับมวลรวม เพื่อนำไปหาค่าร้อยละของแอสฟัลต์ที่ทำให้แอสฟัลต์คอนกรีตมีค่าร้อยละของช่องว่างประมาณร้อยละ 4 ทำการทดสอบโดยวิธีมาร์แชล ดังนี้

1) เตรียมมวลรวม โดยตัวอย่างมวลรวมจะต้องผ่านการทดสอบและเป็นไปตามมาตรฐานที่กำหนด จากนั้นนำมวลรวมที่ผสมกันได้ขนาดความต้องการ จำนวน 1,200 กรัม ไปอบในตู้อบ หรือใส่กระทะเผาบนเตาแก๊ส ให้ได้อุณหภูมิประมาณ 180°C ซึ่งจะไม่ทำให้ยางติดแบบและค้อนนำแบบสำหรับใส่ตัวอย่างและค้อนตำตัวอย่างไปให้ความร้อน ให้อุณหภูมิแค่แอสฟัลต์ซีเมนต์ประมาณ 150°C นำมาผสมกันแต่ละครั้งจะต้องผสมแอสฟัลต์ซีเมนต์ที่ร้อยละ 4.0 4.5 5.0 5.5 6.0 และ 6.5 ตามลำดับของน้ำหนักของมวลรวม ในแต่ละค่าร้อยละจะใช้ทำตัวอย่าง 3 ก้อน นำแบบมาประกอบเข้าประจำที่ของเครื่องมือใส่ตัวอย่างที่ผสมแล้วลงไปแบบ บดอัดด้วยค้อนโดยการยกค้อนน้ำหนักแล้วปล่อยค้อนน้ำหนักให้ตกกระแทกลงบนแผ่นเหล็กวงกลมบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีตสำหรับถนนที่มีการจราจรหนาแน่น บดอัดด้วยจำนวน 75 ครั้ง ต่อด้าน เมื่อบดอัดด้านหนึ่งเสร็จเรียบร้อยแล้วให้กลับด้านเอาอีกด้านขึ้นมาบดอัดด้วยจำนวนครั้งที่เท่ากัน ปล่อยให้ตัวอย่างที่บดอัดมีอุณหภูมิลดลงแล้วจึงดันออกจากแบบด้วยเครื่องดันตัวอย่างแล้วทิ้งไว้ในอากาศธรรมดาไม่น้อยกว่า 16 ชั่วโมง



รูปที่ 3.12 การหาค่าคุณสมบัติต่าง ๆ ของตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต

- 2) นำไปทดสอบหาความหนาแน่น ดังต่อไปนี้
 - ก. นำตัวอย่างไปชั่งในอากาศ และบันทึกเป็นค่า
 - ข. นำตัวอย่างไปแช่ในน้ำธรรมดา 5 นาที แล้วเช็ดผิวให้แห้ง ชั่งในอากาศ

และบันทึก

ค. นำตัวอย่างในข้อ 10.2 ไปแช่ในน้ำ และบันทึกเป็นค่า

3) ทดสอบหาค่าเสถียรภาพและการไหล ดังต่อไปนี้

ก) นำตัวอย่างที่หาความหนาแน่นเสร็จแล้วไปแช่ในน้ำที่อุณหภูมิ 60°C เป็นเวลา 30 นาที ในอ่างต้มน้ำ เช็ดผิวตัวอย่างให้แห้ง แล้วนำไปใส่ในแบบที่ใช้สำหรับทดสอบหาค่าเสถียรภาพ นำแบบที่บรรจุตัวอย่างแล้วไปวางบนเครื่องกดหาค่าเสถียรภาพแล้วเดินเครื่องให้แบบเคลื่อนที่ไปสัมผัสกับท่อนกด จนกระทั่งเข็มของเกว็ด (Dial Gage) ที่ติดกับวงแหวนวัดแรง (Proving Ring) ขยับตัว ให้หยุดเครื่อง ตั้งเข็มของเกว็ดให้อยู่ที่เลขศูนย์ (0)

ข) เดินเครื่องกดเพื่อทดสอบหาค่าเสถียรภาพ โดยอ่านค่าน้ำหนักสูงสุดที่เกิดจากวงแหวนวัดแรง และอ่านค่าการไหลที่น้ำหนักสูงสุดเช่นเดียวกัน



รูปที่ 3.13 การทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต

3.7.2 การทดสอบกำลังดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Strength, ITS)

การทดสอบกำลังดึงทางอ้อมดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D6931 (ASTM, 2015) ค่ากำลังดึงทางอ้อมหาจากแรงกดตัวอย่างตามแนวขวางสูงสุดที่ทดสอบด้วยอัตรา 50.8 มิลลิเมตรต่อนาที ภายใต้อุณหภูมิการทดสอบ 25 40 50 และ 60 องศาเซลเซียส การทดสอบแรงดึงโดยอ้อมเป็นการทดสอบก้อนตัวอย่างโดยได้จากแรงกดในแนวดิ่งกระทำกับก้อนตัวอย่าง (ทดสอบทั้ง 2 ทิศทาง) จึงเกิดการขยายตัวด้านข้างของก้อนตัวอย่าง ในจุดที่ไม่เกิดจุด yield แล้วแต่ละตัวอย่างจะได้ค่าร้อยละการกระจายตัวเปรียบเทียบกับค่าเฉลี่ย (%CV) ไม่เกิน 10 % ขณะเกิดการขยายตัว ในด้านข้างนี้ใช้การตรวจจับการเปลี่ยนรูป (LVTD) ซึ่งในการให้น้ำหนักในลักษณะเป็นการอัดค่า Tensile Stress ของก้อนตัวอย่างโดยพิจารณาพร้อมกับค่า Poisson's ratio ซึ่งอ้างอิงจาก มาตรฐานวิธีการทดสอบ ASTM D 4123-82 โดยมีพารามิเตอร์ที่ใช้ในการทดสอบ คือ ชนิดของยางและอัตราส่วนผสมที่ใช้ อุณหภูมิทดสอบที่อุณหภูมิ 20 25 30 และ 35 องศาเซลเซียส เนื่องจากการทดสอบควรทำที่อุณหภูมิ

อย่างน้อย 3 ค่า เพื่อแสดงถึงผลกระทบของการเปลี่ยนแปลงของอุณหภูมิที่มีต่อคุณสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุ โดยบันทึกค่าน้ำหนักสูงสุด แล้วทำการคำนวณค่าความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม ดังสมการ

$$ITS = \frac{2P}{\pi DH} \quad (2.25)$$

เมื่อ	ITS	คือ	ความต้านทานต่อแรงดึงทางอ้อม กิโลปาสกาล (kPa)
	P	คือ	ค่าน้ำหนักสูงสุด-นิวตัน (N)
	D	คือ	เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของตัวอย่าง-มิลลิเมตร (mm.)
	H	คือ	ความหนาเฉลี่ยของตัวอย่าง-มิลลิเมตร (mm.)



รูปที่ 3.14 การทดสอบแรงดึงทางอ้อมของแอสฟัลต์คอนกรีต

3.7.3 การทดสอบโมดูลัสการคืนตัวเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Resilient Modulus, ITMR)

การทดสอบโมดูลัสการคืนตัวเนื่องจากแรงดึงทางอ้อมดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM D4123 (ASTM, 1995) การติดตั้งตัวอย่างจะเป็นลักษณะเดียวกันกับการทดสอบกำลังดึงทางอ้อม แต่จะมีการติดตั้ง Linear Variable Differential Transducers (LVDT) เพื่อวัดการเปลี่ยนแปลงรูปร่างด้านข้างแสดงดังรูปที่ 3.15 ทดสอบที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ให้แรงกระทำพลวัตแบบ Haversine ที่ความถี่ 1 รอบต่อวินาที โดยมี ระยะเวลาในการให้แรงกระทำ 0.1 วินาที และมีระยะเวลาพัก 0.9 วินาที หน่วยแรงทดสอบเท่ากับร้อยละ 15 ของกำลังดึงทางอ้อมดำเนินการทดสอบจำนวน 200 รอบ ค่าโมดูลัสการคืนตัวเป็นค่าเฉลี่ย 5 ค่าสุดท้าย คำนวณได้จากสมการ

$$IT_{MR} = \frac{P(0.27+v)}{\Delta H(D)} \quad (2.26)$$

เมื่อ	IT_{MR}	คือ	โมดูลัสคืนตัวเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (เมกะพาสคัล)
	v	คือ	อัตราส่วนปัวร์ซองมีค่าเท่ากับ 0.35
	ΔH	คือ	ผลต่างของการยุบตัวในแนวนอนของ 5 รอบสุดท้าย
	D	คือ	เส้นผ่านศูนย์กลางของก้อนตัวอย่าง (มิลลิเมตร)



รูปที่ 3.15 การทดสอบโมดูลัสคืนตัวเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม

3.7.4 การทดสอบการล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Fatigue)

การทดสอบการล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม ดำเนินการตามมาตรฐาน BS EN12697-24 (BSI, 2004) การจัดวางตัวอย่าง รูปแบบและความถี่ของแรงกระทำเหมือนกับการทดสอบหาค่าโมดูลัสคืนตัว แต่ใช้ค่าหน่วยแรงดึงทางอ้อมแบบพลวัต ที่การทดสอบแตกต่างกัน 3 ระดับ ได้แก่ 250 300 และ 350 กิโลพาสคัล ทดสอบ ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส โดยให้แรงกระทำซ้ำจนกระทั่งตัวอย่างวิบัติ(การทรุดตัวแนวดิ่งมากกว่า 9 มิลลิเมตร) อายุการล้า (Fatigue life, N) หาจากจุดตัดของส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงความเครียดน้อยและส่วนที่มีการเปลี่ยนแปลงความเครียดมากในความสัมพันธ์ระหว่างความเครียดแนวดิ่งและรอบทดสอบ เครื่องมือทดสอบและการจัดวางตัวอย่างทดสอบ



รูปที่ 3.16 การทดสอบการล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม



รูปที่ 3.17 ความเสียหายของก้อนตัวอย่างหลังการทดสอบการล้าเนื่องจากแรงดึงทางอ้อม

3.7.5 การทดสอบการเกิดร่องล้อ (Rutting Resistance)

การทดสอบการเกิดร่องล้อดำเนินการตามมาตรฐาน AASHTO T 324 (AASHTO, 2008) ด้วยเครื่อง Hamburg Wheel Track Device Test ตัวอย่างทดสอบเป็นแบบทรงกระบอก เส้นผ่านศูนย์กลาง 150 มิลลิเมตร หนา 60 มิลลิเมตร จำนวน 2 ชิ้นต่อกัน การทดสอบใช้ล้อเหล็กจำลอง ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 203 มิลลิเมตร กว้าง 47 มิลลิเมตร วิ่งกลับไปกลับมาบนตัวอย่างทดสอบ แรงกดทับมีค่าเท่ากับ 1,500 นิวตัน ซึ่งจะให้ความดันที่ผิวทางเทียบเท่ากับ 707 กิโลปาสกาลพาสคัล หรือเท่ากับแรงดันจากล้อรถบรรทุกขนาดมาตรฐาน การทดสอบสิ้นสุดเมื่อจำนวนวิ่งของล้อทดสอบ

บนตัวอย่างเท่ากับ 10,000 รอบหรือเมื่ออ่านค่าความลึกร่องล้อ (Rutting Depth) ได้เท่ากับ 20 มิลลิเมตร



รูปที่ 3.18 การทดสอบการเกิดร่องล้อ



รูปที่ 3.19 ก่อนตัวอย่างหลังจากการทดสอบการเกิดร่องล้อ

3.7.6 การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล (Skid Resistance)

ตามมาตรฐาน ASTM E303 การทดสอบความต้านทานการลื่นไถลดำเนินการตามมาตรฐานการทดสอบ ASTM E 303 (AST,2018) ด้วยเครื่อง British Pendulum Tester เครื่องทดสอบนี้ใช้หลักการวัดแรงเสียดทานด้วยการเหวี่ยงแท่งยางสัมผัสพื้นผิวทดสอบ แล้ววัดค่า British Pendulum

Number (BPN) ดำเนินการทดสอบความต้านทานการลื่นไถลบนตัวอย่างทดสอบการเกิดร่องล้อ
ก่อนการทดสอบการเกิดร่องล้อ



รูปที่ 3.20 เครื่อง British pendulum tester



รูปที่ 3.21 การทดสอบความต้านทานการลื่นไถล