

วิธีการ

ในการศึกษานี้ จะทำการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตโดยใช้วัสดุมวลรวม 2 ชนิดคือ หินแกรนิต และตะกรันเตาหลอม

1. วิธีการตรวจสอบวัสดุมวลรวม

ในการตรวจสอบวัสดุมวลรวมนั้นแยกออกเป็น การตรวจสอบวัสดุมวลรวมละเอียด และการตรวจสอบวัสดุมวลรวมหยาบ ซึ่งมีดังต่อไปนี้

1.1 วัสดุมวลรวมละเอียด ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมละเอียด ดังนี้

ขนาดกะ (Gradation) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.205/2517 หรือ AASHTO T37 – 77 หรือ ASTM C136 – 84A

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.209/2517 หรือ AASHTO T84 – 77 หรือ ASTM C128 – 84

ความคงทน (Soundness) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.- ท. 213/2531 ค่าทรายสมมูล (Sand Equivalent) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.- ท.203/2515 หรือ AASHTO T176 – 73 หรือ ASTM D2419 – 74

1.1.1 ขนาดกะ (Gradation) วิธีการนี้เป็นการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุ โดยการร่อนผ่านตะแกรงแบบล้าง แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่าน หรือค้างตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้จากสมการ

$$P = \frac{R \times 100}{T}$$

เมื่อ

P = เปอร์เซนต์รวมที่ผ่านตะแกรงโดยน้ำหนัก

R = มวลของตัวอย่างที่ผ่านตะแกรงแต่ละขนาด

T = มวลของตัวอย่างทั้งหมด

1.1.2 ความถ่วงจำเพาะ และปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ ในการทดสอบ จะต้องทำการแยกวัสดุมวลรวมละเอียดนี้ออกเป็น 2 ส่วนที่ล้างตะแกรงเบอร์ 200 กับส่วนที่ผ่าน ตะแกรงเบอร์ 200 แล้วทำการคำนวณจากสมการดังนี้

ความถ่วงจำเพาะแบบส่วนใหญ่ (Bulk Specific Gravity)

$$G_B (30^{\circ}\text{C}) = \frac{W_D \times d_t}{0.9957 \times (W_S + W_2 - W_1)}$$

เมื่อ

G_B = ค่าความหนาแน่นของน้ำขณะทำการทดสอบ ณ อุณหภูมิ $t^{\circ}\text{C}$

W_D = น้ำหนักของตัวอย่างแห้ง (Weight of Dry Sample) ; gm

W_S = น้ำหนักของตัวอย่างชื้น (Weight of Saturated Surface Sample) ; gm

W_2 = น้ำหนักภาชนะ (Pycnometer) + น้ำ ; gm

W_1 = น้ำหนักภาชนะ (Pyonomiter) + น้ำ + ตัวอย่าง ; gm

D_t = ค่าความหนาแน่นของน้ำขณะทำการทดสอบ ณ อุณหภูมิ $t^{\circ}\text{C}$.

ความถ่วงจำเพาะที่ปรากฏ (Apparent Specific Gravity)

$$G_A (30^{\circ}\text{C}) = \frac{W_D \times d_t}{0.9957 \times (W_D + W_2 + W_1)}$$

สำหรับวัสดุมวลรวมที่ผ่านตะแกรงเบอร์ 200 นั้น ไม่สามารถจะหาความ ถ่วงจำเพาะแบบส่วนใหญ่ได้ เพราะไม่สามารถทำให้ผิวนอกของมวลรวมแห้ง โดยที่ยังมีความชื้น อยู่ภายในได้ (เนื่องจากมวลรวมนั้นมีความเป็นพลาสติกมาก)

1.1.3 ค่าความคงทน (Soundness) วิธีการนี้ เป็นการทดสอบที่ครอบคลุมถึงการ ทดสอบเพื่อหาค่าความต้านทานต่อการแตก หรือการแยกของมวลรวมในสารละลายอิมัลชัน โซเดียม ซัลเฟต หรือ แมกนีเซียมซัลเฟต เพื่อจะได้ใช้เป็นข้อมูลในการช่วยพิจารณาค่าความคงทนของ มวลรวมที่ถูกกระทำโดยสภาพดินฟ้าอากาศ

1.1.4 ค่าทรายสมมูล (Sand Equivalent) วิธีการนี้ เป็นการทดสอบเพื่อหาสัดส่วนระหว่างฝุ่น หรือวัสดุประเภทเหมือนดินเหนียว กับ วัสดุเม็ดหยาบจำพวกกรวด หรือทรายที่มีขนาดผ่านตะแกรงเบอร์ 4 ซึ่งได้กำหนดค่าต่ำสุดของทรายสมมูลที่จะใช้ ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 50 % โดยหาได้ดังสมการ

$$SE = \frac{\text{Sand Reading}}{\text{Clay Reading}} \times 100$$

เมื่อ

SE = ทรายสมมูล (Sand Equivalent)

1.2 วัสดุมวลรวมหยาบ ทำการตรวจสอบคุณสมบัติของวัสดุมวลรวมหยาบ ดังนี้

ขนาดกละ (Gradation) ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.204/2516 หรือ AASHTO T27 – 78 หรือ ASTM C136 – 84 A

ความถ่วงจำเพาะ (Specific Gravity) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.207/2517 หรือ AASHTO T85 – 77 หรือ ASTM C127 – 84

ความคงทน (Soundness) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.213/2531 หรือ AASHTO T104 – 77 หรือ ASTM C88 – 83

ดัชนีความแบน (Flakiness Index) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.210/2518

ดัชนีความยาว (Elongation Index) ทำการทดสอบตาม การทดลองที่ ทล.-ท.211/2518

ความสึกหรอของมวลรวมหยาบ โดยใช้เครื่อง Los Angeles Abrasion ทำการทดสอบตามการทดลองที่ ทล.-ท.202/2518 หรือ AASHTO T96 – 77 หรือ ASTM C131 – 81

1.2.1 ขนาดกละสำหรับมวลรวมหยาบ จะทำการทดสอบหาขนาดเม็ดของวัสดุโดยการร่อนผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง แล้วเปรียบเทียบมวลของตัวอย่างที่ผ่าน หรือค่าตะแกรงขนาดต่าง ๆ กับมวลทั้งหมดของตัวอย่าง ซึ่งสามารถคำนวณได้ตามสมการในหัวข้อ 1.1.1

1.2.2 ความถ่วงจำเพาะของวัสดุชนิดเม็ดหยาบ (ขนาดโตกว่า 4.75 มม.) แบบส่วนใหญ่ (Bulk Specific Gravity) และแบบปรากฏ (Apparent Specific Gravity) และปริมาณน้ำที่ซึมเข้าไปในเนื้อวัสดุ (Water Absorption) ซึ่งสามารถคำนวณจากสมการดังนี้

$$\text{Bulk Specific Gravity (Dry)} = \frac{W_D}{W_S - W_W}$$

$$\text{Bulk Specific Gravity (Sat)} = \frac{W_S}{W_S - W_W}$$

$$\text{Apparent Specific Gravity} = \frac{W_D}{W_D - W_W}$$

$$\text{Water Absorption} = \frac{W_S - W_D}{W_D}$$

เมื่อ

W_D = มวลของวัสดุอบแห้งในอากาศ ; gm

W_S = มวลของวัสดุผิวแห้ง (Saturated Surface Dry) ; gm

W_W = มวลของวัสดุในน้ำ ; gm

1.2.3 ค่าความคงทน (Soundness) โดยการหาค่าความคงทนของวัสดุมวลรวมหยาบ ตามวิธีการเดียวกันกับการหาค่าความคงทนของวัสดุมวลรวมละเอียดในหัวข้อ 1.1.3

1.2.4 ดัชนีความแบน (Flakiness Index) เป็นการหามวลของวัสดุที่มีความหนาของด้านแบนที่น้อยกว่า 3/5 เท่าของขนาดเฉลี่ยของวัสดุนั้น โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เมื่อเทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดสอบ สำหรับข้อกำหนดของกรมทางหลวง ค่าดัชนีความแบนต้องมีค่าไม่มากกว่าร้อยละ 30 ซึ่งค่าดัชนีความแบนจะคำนวณได้จากสมการ

$$FI = \frac{100 \times X}{X + y}$$

เมื่อ

FI = ดัชนีความแบน

X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความหนาทุกช่อง ; gm

y = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ค้างช่องวัดความหนาทุกช่อง ; gm

1.2.5 ดัชนีความยาว (Elongation Index) เป็นการหามวลของวัสดุที่มีความยาวของส่วนยาวมากกว่า 1.8 เท่า ของขนาดเฉลี่ยของวัสดุ โดยคิดเป็นเปอร์เซ็นต์เทียบกับมวลของวัสดุที่นำมาทดสอบ สำหรับข้อกำหนดของกรมทางหลวง ค่าดัชนีความยาวต้องมีค่าไม่มากกว่าร้อยละ 30 ซึ่งค่าดัชนีความยาวจะคำนวณได้จากสมการ

$$EI = \frac{100 \times X}{X + y}$$

เมื่อ

EI = ดัชนีความยาว

X = มวลรวมของตัวอย่างส่วนที่ลอดผ่านช่องวัดความยาวทุกช่อง ; gm

y = มวลรวมของตัวอย่าง ส่วนที่ค้างช่องวัดความยาวทุกช่อง ; gm

ขนาดกะ (Gradation) ของวัสดุรวมที่ใช้ในการศึกษานี้เป็นไปตามขนาดกะสำหรับชั้นผิวทางแบบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยใช้ขนาดกะวัสดุรวม 3 ขนาดคือขนาดกะวัสดุรวมของ National Center for Asphalt Technology โครงการ NCHRP Project 9-8 ที่มีขนาดใหญ่สุดของวัสดุรวมเท่ากับ 12.5 และ 9.5 มิลลิเมตรและขนาดกะที่ปรับปรุงในการวิจัยนี้ โดยมีขนาดกะดังตารางที่ 8

ตารางที่ 8 ตารางขนาดละวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบ

ขนาดที่เรียกใช้ มม.		12.5 mm	9.5 mm	12.5 mm
		NCHRP Project	NCHRP Project	สัดส่วนที่ออกแบบใหม่
ขนาดตะแกรง		ปริมาณผ่านตะแกรง		
มม.	นิ้ว	ร้อยละโดยมวล		
19	3/4	100	-	100
12.5	1/2	90-100	100	65 – 85
9.5	3/8	26-78	90-100	38 – 65
4.75	# 4	20-28	26-60	20 – 30
2.36	# 8	16-24	20-28	15 – 25
1.18	#16	-	-	11-20
0.6	#30	13-21	13-21	10-18
0.3	# 50	12-18	12-18	9-14
0.15	#100	12-15	12-15	9-12
0.075	# 200	8-10	8-10	8-10
0.02	Pan	-	-	-
ปริมาณวัสดุเชื่อมประสานร้อยละของมวลรวม		4-8	4-8	4-8

2. การออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามวิธีมาร์แชลล์

คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต นอกจากจะขึ้นอยู่กับคุณสมบัติของวัสดุที่นำมาผสมแล้ว ยังขึ้นอยู่กับอัตราส่วนผสมของวัสดุที่ใช้ด้วย ดังนั้นการออกแบบเพื่อหาอัตราส่วนผสมของแอสฟัลต์คอนกรีตที่เหมาะสมจึงเป็นสิ่งจำเป็น ซึ่งมีอันดับขั้นตอนดังต่อไปนี้

2.1 การเลือกแหล่งวัสดุ ในขั้นตอนแรก จะต้องศึกษารายละเอียดของแบบก่อสร้าง และข้อกำหนดอย่างละเอียด รวมทั้งปริมาณการจราจร ภูมิประเทศ ภูมิอากาศ ฯลฯ เพื่อนำมาใช้เป็นข้อมูลสำหรับพิจารณาว่า ควรใช้วัสดุชนิดใด จากแหล่งใด โดยคำนึงถึงความสะดวก ประหยัด กำลังการผลิต ความมั่นคงแข็งแรงของวัสดุแหล่งนั้นเพื่อนำมาใช้งาน

2.2 วัสดุแอสฟัลต์ วัสดุแอสฟัลต์ที่ใช้ต้องมีคุณสมบัติถูกต้องตามข้อกำหนดของกรมทางหลวง โดยทำการตรวจสอบคุณสมบัติก่อนนำมาใช้งาน

2.3 วัสดุมวลรวม เมื่อทำการทดสอบคุณสมบัติต่างๆ ของวัสดุมวลรวมแล้ว ต้องคำนวณหาอัตราส่วนผสมของวัสดุมวลรวมทั้งหมด เพื่อให้ได้ขนาดกะทัดรัดที่เหมาะสม ทดลองผสมเพื่อทำก้อนตัวอย่างแอสฟัลต์คอนกรีต ขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 101.6 มม. (4 นิ้ว) สูง $63.5 + 1.3$ มม. ($2.5 + 0.05$ นิ้ว) ตามวิธี ASTM D1559

3. การทดสอบคุณสมบัติของวัสดุผสม

3.1 ทดสอบหาค่าความแน่น (Density) ตามวิธี ASTM D2726 แล้วหาค่าเฉลี่ย (ค่าที่ผิดปกติไม่นำมาคำนวณด้วย)

3.2 ทดสอบหาค่าเสถียรภาพ (Stability) และค่าการไหล (Flow) ตามวิธี ASTM D1559 แล้วหาค่าเฉลี่ย (ค่าที่ผิดปกติไม่นำมาคำนวณด้วย)

3.3 การคำนวณหาค่าปริมาตรและองค์ประกอบของส่วนต่าง ๆ ของแอสฟัลต์คอนกรีต

- Air Void
- ค่า % VFA
- ค่า % VMA

เมื่อทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามวิธีมาร์แชลล์ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของวัสดุ โตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยคัดเลือกเฉพาะขนาดกะที่ได้ปรับปรุงออกแบบใหม่ ขนาด 12.5 มม. มาใช้ในการทดสอบขั้นต่อไป โดยยังทำการทดสอบโดยใช้วัสดุรวมรวมทั้ง 2 ชนิดคือ หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม

4. การทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของวัสดุวัสดุโตนแมสติกแอสฟัลต์

4.1 การทดสอบวัสดุโดยวิธีแรงดึงทางอ้อม (Indirect Tensile Test) โดยการเตรียมตัวอย่างโดยการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์

4.2 การทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) โดยวิธีแรงดึงทางอ้อม โดยการเตรียมตัวอย่างโดยการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor

4.3 การทดสอบความต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent deformation) ด้วยวิธี Dynamic Creep Test โดยการเตรียมตัวอย่างโดยการบดอัดด้วยเครื่อง Gyratory Compactor

4.4 การทดสอบค่าความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance) ด้วยวิธี Pendulum Test โดยการเตรียมตัวอย่างโดยการบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์

5. การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำ (Moisture Damage)

Lottman ได้ทำการศึกษาวิธีทดสอบเพื่อหาผลกระทบจากน้ำต่อผิวทางแอสฟัลต์คอนกรีต (Standard Test for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures ASTM D4867/MN DOT MODIFIED Revised 2/19/99) โดยให้ทำการหาจำนวนครั้งการบดอัดเพื่อหาช่องว่างอากาศในสนามที่ 7 ± 1 เปอร์เซ็นต์ สำหรับวิธีมาร์แชลล์ แล้วนำมาบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์

หากเป็นวัสดุมวลรวมที่มีขนาดละเอียดเยือกมาก (low crushing) ให้ทำการบดอัด 11 – 13 ครั้งต่อด้าน และหากเป็นวัสดุมวลรวมที่มีขนาดหยาบมาก (High crush) ให้ทำการบดอัด 15 – 17 ครั้งต่อด้าน

การวิจัยนี้ได้ทำการบดอัดที่จำนวน 25 30 35 40 45 และ 50 ครั้งด้านเดียว ที่วัสดุสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ขนาดละเอียดที่ได้ออกแบบปรับปรุงใหม่ ขนาด 12.5 มม. ทั้งหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม รวม 12 ก้อนตัวอย่าง แล้วทำการเขียนกราฟเพื่อให้จำนวนการบดอัดให้ได้ค่าช่องว่างอากาศที่กำหนดไว้ตามทฤษฎีของ Lottman

เตรียมก้อนตัวอย่างโดยใช้เปอร์เซ็นต์วัสดุเชื่อมประสานที่เหมาะสม และบดอัดด้วยวิธีมาร์แชลล์ ตามจำนวนการบดอัดที่ได้ช่องว่างอากาศ ในสนาม 7 ± 1 เปอร์เซ็นต์ โดยใช้วัสดุมวลรวม 2 ชนิด และขนาดละเอียดที่ทำการออกแบบสัดส่วนใหม่ เพื่อให้เหมาะสมกับสภาพใช้งานตามที่ได้ปรากฏมาแล้วในการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์ นำมาทดสอบค่าความเสียหายที่เกิดจากความชื้นเพื่อใช้ในการศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำ ซึ่งใช้ก้อนตัวอย่างละวัสดุมวลรวมและขนาดละเอียดจำนวน 6 ก้อนตัวอย่าง สำหรับก้อนตัวอย่างที่ไม่ผ่านความชื้นและผ่านความชื้น รวมก้อนตัวอย่าง 12 ก้อนตัวอย่าง

การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำ สามารถอ้างอิงทฤษฎีของลอทท์แมนได้จากการทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D4867 เป็นการหาความเสียหายภายในที่เกิดจากความชื้น โดยการหาอัตราส่วนแรงดึงของก้อนตัวอย่างที่บดอัดในห้องปฏิบัติการ ระหว่างก้อนตัวอย่างที่นำไปขึ้นตอนให้เกิดความชื้นกับก้อนตัวอย่าง กับ ก้อนตัวอย่างที่ได้จากการบดอัดแล้วนำไปทดสอบหาแรงดึง

ขั้นตอนการเตรียมก้อนตัวอย่างเพื่อใช้ในการทดสอบ

5.1 เตรียมก้อนตัวอย่างจำนวน 6 ก้อนตัวอย่างสำหรับการบดด้วยวิธีมาร์แชลล์ AASHTO Test Methods T245 (Marshall) โดยกำหนดช่องว่างอากาศที่ $7 \pm 1\%$ เพื่อใช้ในการทดสอบแบบไม่ไปทำให้เกิดความชื้นกับก้อนตัวอย่างจำนวน 3 ก้อนตัวอย่างและ อีก 3 ก้อนตัวอย่างนำไปผ่านกระบวนการเกิดความชื้น

5.2 ในการบดนั้นให้ใช้แบบสำหรับบดก้อนตัวอย่างขนาด 4 นิ้วสำหรับมาร์แชลล์

5.3 ในการบดก้อนตัวอย่างทั้งวิธีมาร์แชลล์ เตรียมวัสดุตามคุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีตที่กล่าวมาแล้วในขั้นตอนการวิเคราะห์คุณสมบัติของแอสฟัลต์คอนกรีต

ภายหลังจากการบดแล้วจะได้ก้อนตัวอย่างทั้งหมด 6 ก้อนตัวอย่างแบ่งออกเป็น 2 กลุ่ม

กลุ่มที่ 1 ก้อนตัวอย่างที่บดด้วยวิธีมาร์แชลล์ 3 ก้อนตัวอย่างนำไปดูอากาศ AASHTO Test Method T209 ออกให้ได้ระดับความอิมดั่วที่ 60 – 80 % และนำไปแชในอ่างแชน้ำที่อุณหภูมิ $60 \pm 1.0^{\circ} \text{C}$ ($140 \pm 1.8^{\circ} \text{F}$) เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

กลุ่มที่ 2 นำก้อนตัวอย่างที่เหลือ 3 ก้อนตัวอย่าง ทิ้งไว้ที่อุณหภูมิ $25 \pm 1.0^{\circ} \text{C}$ ($77 \pm 1.8^{\circ} \text{F}$). เป็นเวลา 24 ชั่วโมง

ภายหลังจากผ่านไป 24 ชั่วโมงนำก้อนตัวอย่างที่ ผ่านการแชน้ำที่ระดับความอิมดั่ว 100 เปอร์เซ็นต์ และก้อนตัวอย่างที่ทิ้งไว้ ณ อุณหภูมิห้อง มาทดสอบหาแรงดึงก้อนตัวอย่างโดยวิธี Indirect Tensile Strength (ITS) AASHTO Test Methods T245

เมื่อได้ผลจากการทดสอบ Indirect Tensile Strength (ITS) แล้วสามารถนำมาคำนวณหา อัตราส่วนแรงดึง (TSR = Tensile Strength Ratio) ได้ดังนี้

สูตรการคำนวณหาอัตราส่วนแรงดึง

$$TSR = \frac{S_{tm}}{S_{td}} \times 100$$

TSR = อัตราส่วนแรงดึง ,เปอร์เซ็นต์

S_{td} = แรงดึงที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการความชื้น dry (“untreated”) ,psi

S_{tm} = แรงดึงที่ผ่านกระบวนการความชื้น ,psi

โดยผลการทดสอบผลกระทบที่จากน้ำ โดยวิธีการหาแรงดึงนั้นอัตราส่วนที่ออกมาต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 80