

ผลและวิจารณ์

1. ผลการตรวจสอบคุณภาพวัสดุมวลรวม

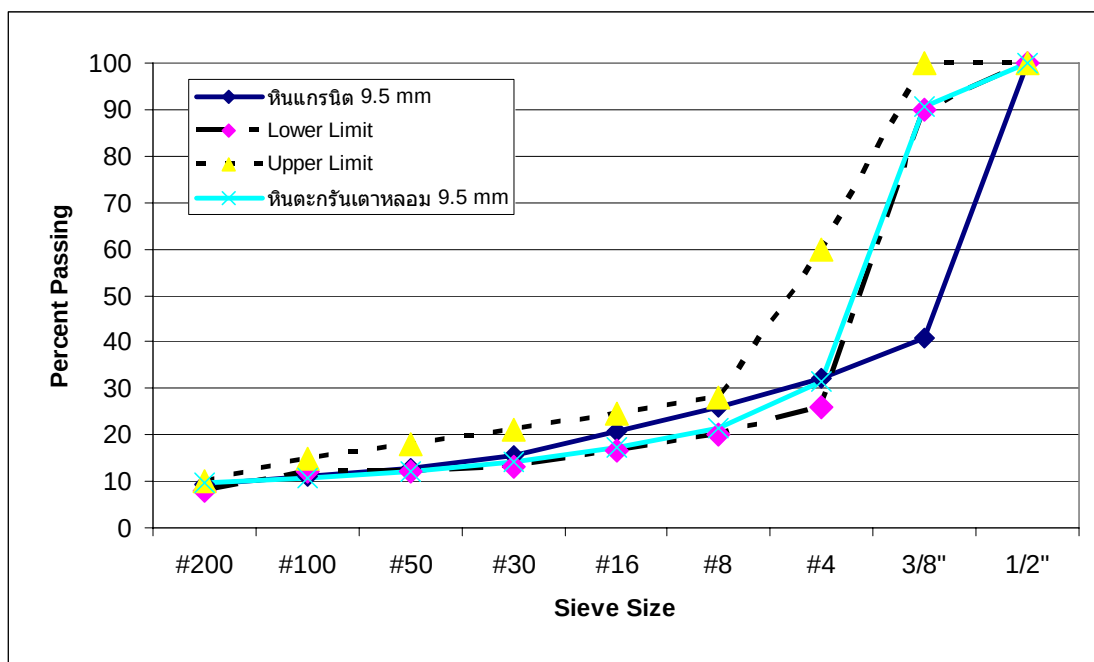
การตรวจสอบคุณภาพวัสดุมวลทั้ง 2 ชนิด ผลการทดสอบของวัสดุมวลรวมและขนาดกะของวัสดุมวลรวม ของขนาดกะ SMA NCHRP Project 9.5 mm. SMA NCHRP Project 12.5 mm. และ ขนาดกะที่ออกแบบปรับปรุงใหม่ 12.5 mm. และชนิดของวัสดุมวลรวม เป็นไปตามตารางภาคผนวกที่ 1-2 5-6 9-10 13-14 17-18 และ 21-22 ตามลำดับ และพบว่าการจัดขนาดกะเป็นไปตามตารางที่ 9

การวิเคราะห์ผลการทดสอบเพื่อให้เป็นไปตามขนาดกะของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ดั่งภาพที่ 6 ถึง 8

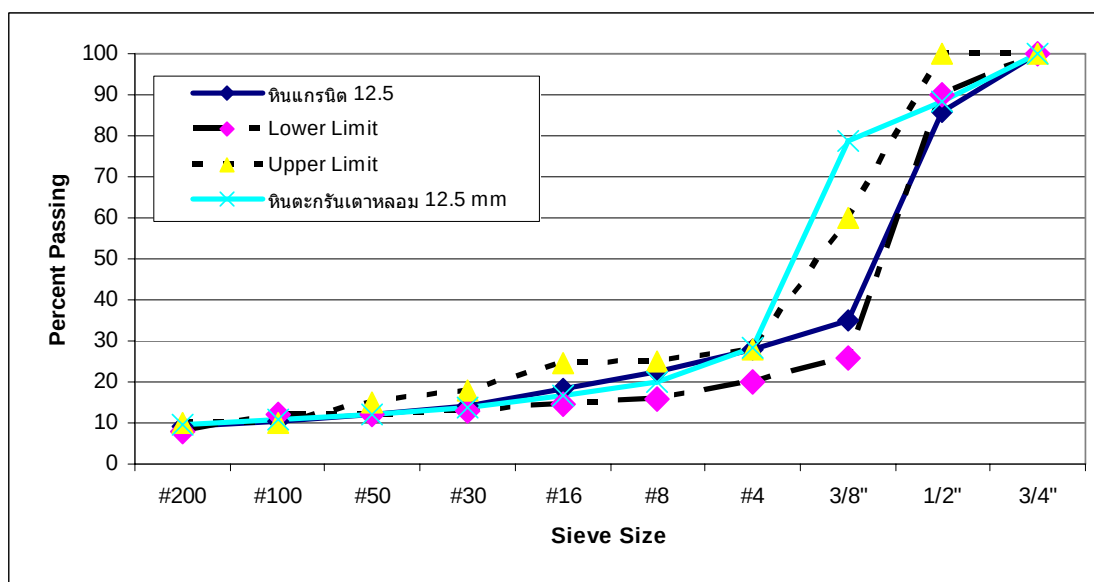
ตารางที่ 9 ตารางผลการตรวจสอบคุณภาพวัสดุมวลรวม

ประเภทขนาดกะ	SMA NCHRP Project 9.5 mm.	SMA NCHRP Project 12.5 mm.	ขนาดกะที่ออกแบบปรับปรุงใหม่ 12.5 mm.
	Filler : Bin 1 : Bin 2 : Bin 3	Filler : Bin 1 : Bin 2 : Bin 3 : Bin 4	Filler : Bin 1 : Bin 2 : Bin 3 : Bin 4
ประเภทวัสดุมวลรวม			
หินแกรนิต	8 : 21 : 65 : 6	8 : 17 : 55 : 15 : 5	8 : 18 : 51 : 17 : 6
ตะกรันเตาหลอม	10 : 17 : 69 : 4	10 : 15 : 54 : 14 : 7	9 : 17 : 26 : 23 : 25

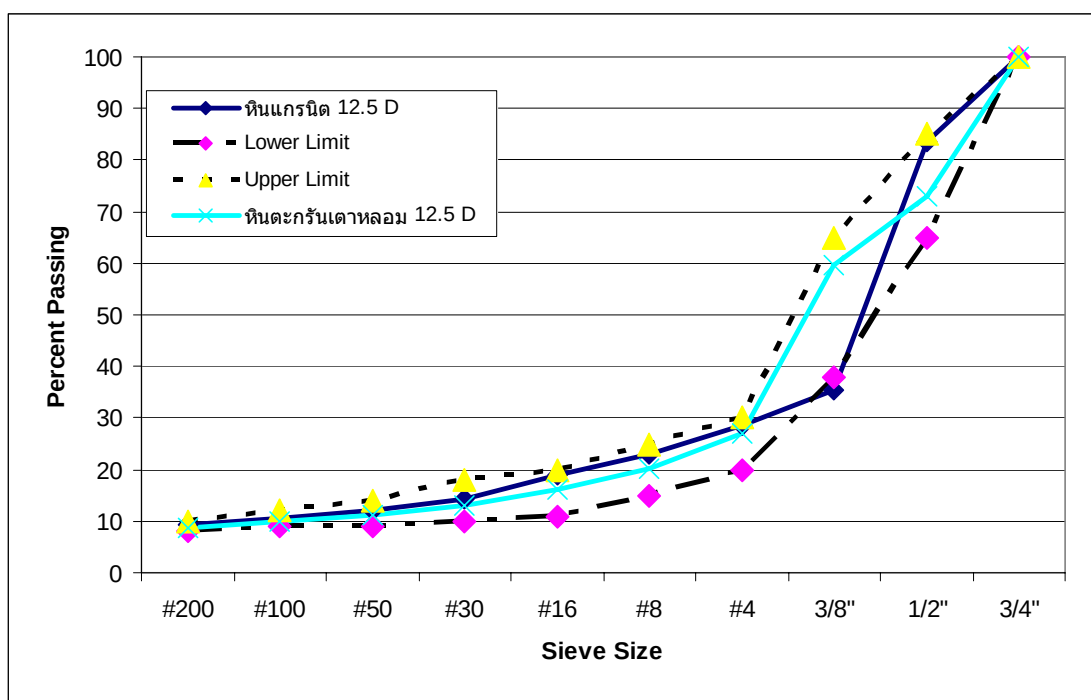
การออกแบบสัดส่วนแอสฟัลต์คอนกรีตในการวิจัยนี้มีปัจจัยเกี่ยวกับวัตถุดิบวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด ที่อาจควบคุมให้เป็นไปตามขนาดกะที่ใช้ในการออกแบบได้ยาก แต่ได้ควบคุมการจัดเรียงขนาดกะให้อยู่ใกล้เคียงเกณฑ์กำหนดมากที่สุด



ภาพที่ 6 แผนภูมิการเรียงขนาดคละของ SMA NCHRP Project ขนาด $\frac{3}{8}$ " (9.5 mm)



ภาพที่ 7 แผนภูมิการเรียงขนาดคละของ SMA NCHRP Project ขนาด $\frac{1}{2}$ " (12.5 mm)



ภาพที่ 8 แผนภูมิการเรียงขนาดผลของ SMA ที่ทำการออกแบบขนาดผลใหม่ ขนาด

$$\frac{1}{2}'' (12.5 \text{ mm})$$

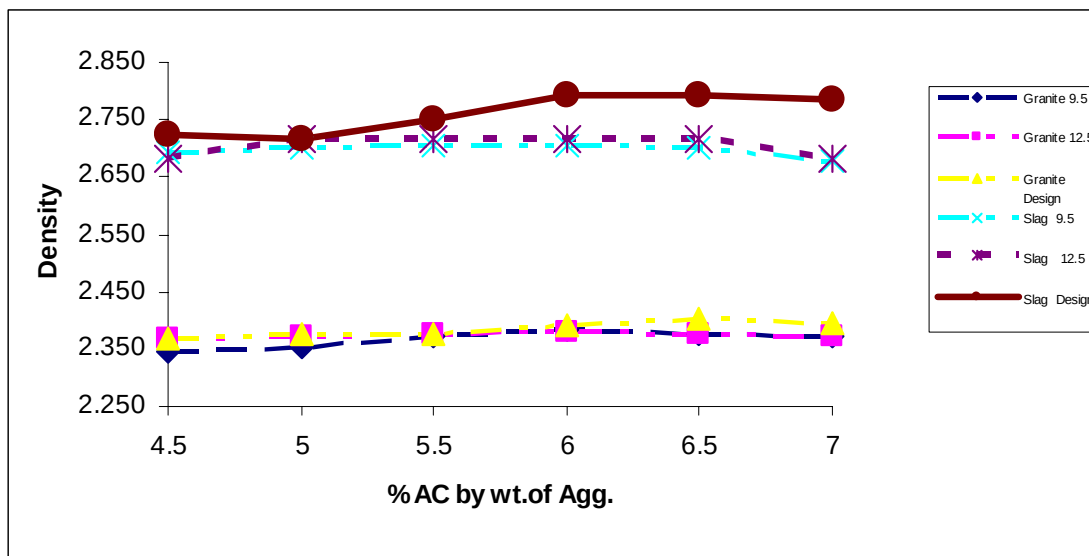
2. ผลการออกแบบส่วนผสมร้อนสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยวิธีมาร์แชลล์

เมื่อทำการตรวจสอบคุณสมบัติด้านวัสดุของมวลรวมและทำการออกแบบส่วนผสมเสร็จเรียบร้อยแล้ว ได้นำมาทำการทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์ ด้วยการออกแบบ Air Voids เท่ากับ 4 % และทำการหาผลการทดสอบหาค่าต่างๆ โดยการเปรียบเทียบระหว่างวัสดุมวลรวม 2 ชนิด คือ หินแกรนิต และ ตะกั่วแดงหยาบ บนพื้นฐานของการออกแบบขนาดผล 3 แบบ ดังตารางที่ 10 และการแสดงผลเปรียบเทียบระหว่างวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด ดังภาพที่ 9 ถึง 14

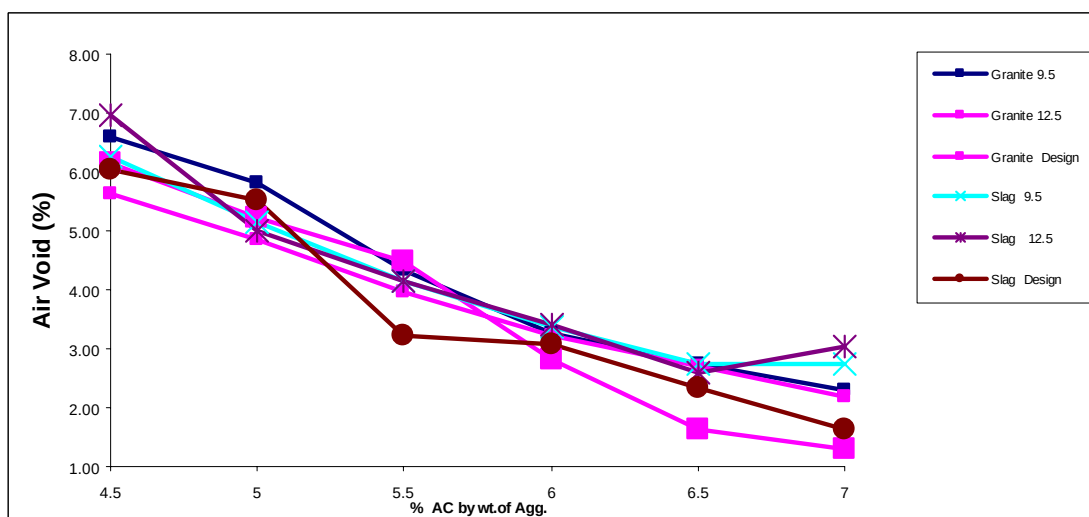
ตารางที่ 10 ตารางผลการออกแบบส่วนผสมร้อนสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยวิธีมาร์แชลล์

ผลการทดสอบ คุณสมบัติของส โตนแมสติก แอสฟัลต์		วัสดุมวลรวมหินแกรนิต			วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม		
		ขนาดกละ			ขนาดกละ		
		ที่ออกแบบ			ที่ออกแบบ		
		NCHRP Project 9.5 mm.	NCHRP Project 12.5 mm.	ใหม่ 12.5 mm.	NCHRP Project 9.5 mm.	NCHRP Project 12.5 mm.	ใหม่ 12.5 mm.
Asphalt Content (PMA) (% by mass of Aggregate)		5.7	5.5	5.5	5.6	5.6	5.3
Density	g/ml	2.374	2.377	2.377	2.706	2.716	2.742
VMA	%	15.70	15.50	15.50	16.70	16.80	16.30
VFB	%	74.50	74.20	74.30	76.10	76.20	75.60
Stability	Lbs.	3,124	2,847	3,116	3,993	3,855	4,301
Flow	0.01 "	22	15	21	26	25	18
AirVoids	%	4	4	4	4	4	4

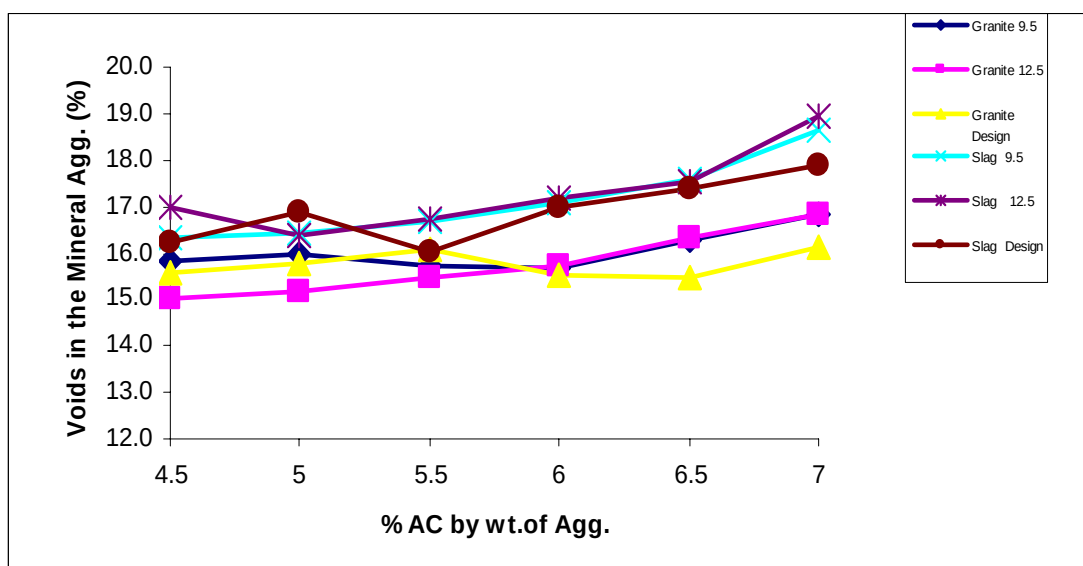
การทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์โดยใช้ขนาดกละจำนวน 3 แบบ และใช้วัสดุมวลรวม 2 ชนิด ด้วยวิธีมาร์แชลล์ แล้วพบว่า ขนาดกละ 12.5 mm. ที่ออกแบบใหม่ มีความเหมาะสมในหลายปัจจัย จึงได้เลือกใช้ขนาดกละดังกล่าวและวัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิด ทำการทดสอบในขั้นตอนต่อไปเพียงอย่างเดียว



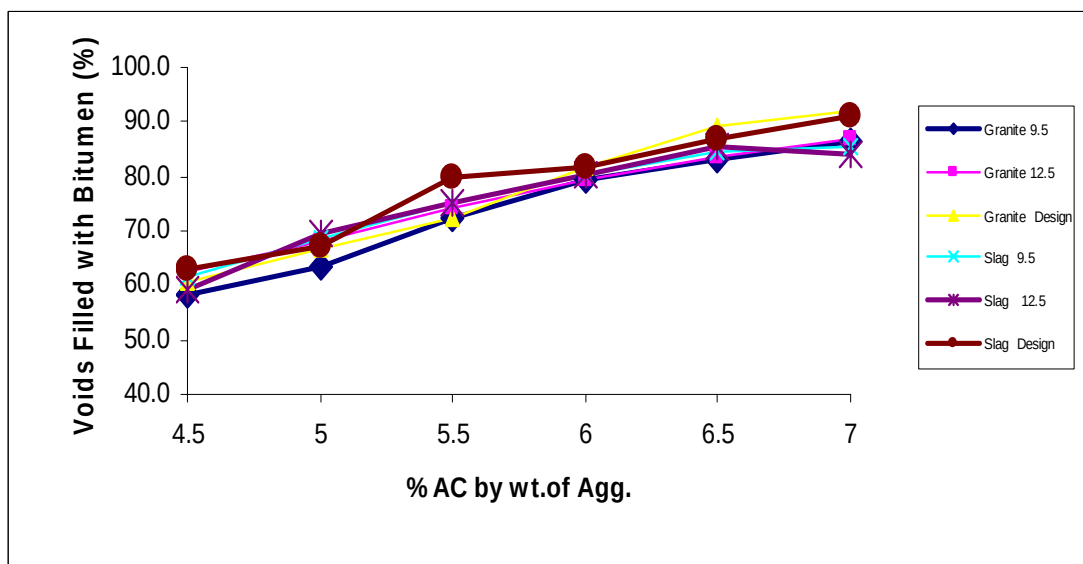
ภาพที่ 9 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Density ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดคละทั้ง 3 ชนิด



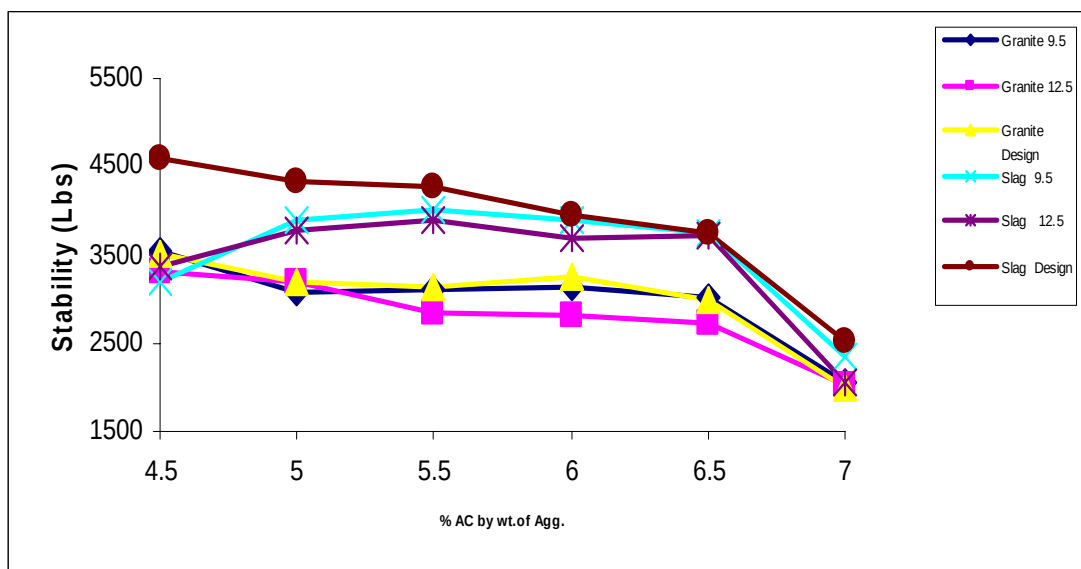
ภาพที่ 10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Air Void ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดคละทั้ง 3 ชนิด



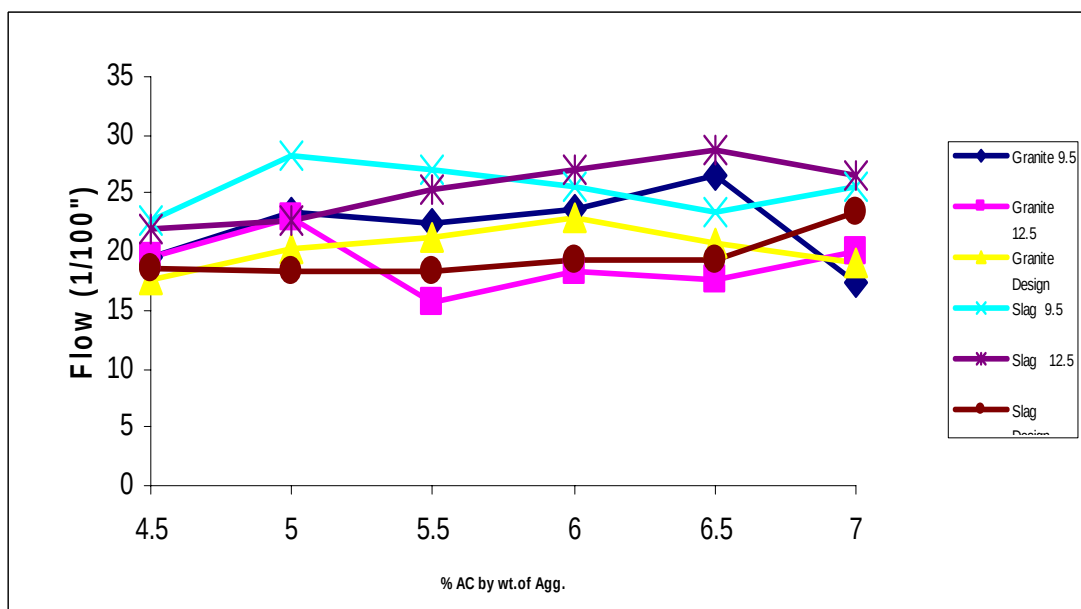
ภาพที่ 11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า VMA ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดคละทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า VFB ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดคละทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 13 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Stability ของ SMA ที่ใช้วัสดุรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกละทั้ง 3 ชนิด



ภาพที่ 14 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Flow ของ SMA ที่ใช้วัสดุรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกละทั้ง 3 ชนิด

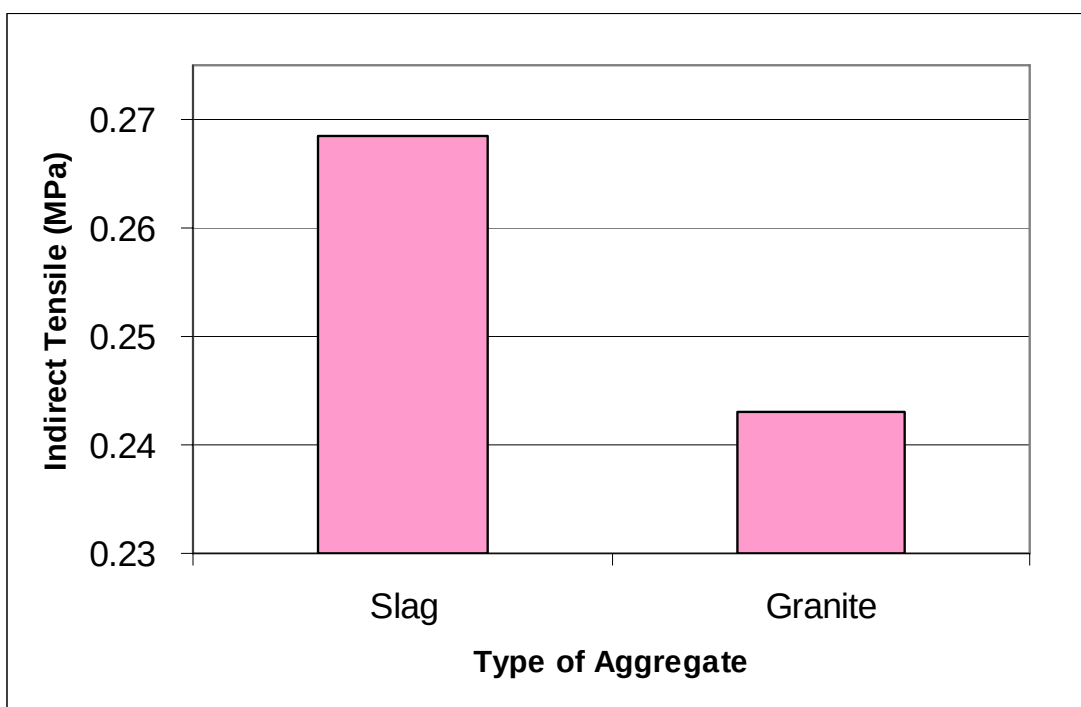
3. ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของวัสดุวัสดุโตนแมสติกแอสฟัลต์

เมื่อทดสอบการออกแบบส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตตามวิธีมาร์แชลล์ เสร็จเรียบร้อยแล้ว ก็จะทำการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของวัสดุโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยคัดเลือกเฉพาะขนาดผลที่ได้ปรับปรุงออกแบบใหม่ ขนาด 12.5 มม. มาใช้ในการทดสอบขั้นต่อไปนี้ โดยยังทำการทดสอบโดยใช้วัสดุมวลรวมทั้ง 2 ชนิดคือ หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม

3.1 การทดสอบ Tensile Strength โดยวิธี Indirect Tensile Test

การทดสอบ Tensile Strength เป็นการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต โดยใช้แรงกดกระทำต่อก้อนตัวอย่างในแนวดิ่ง ซึ่งแรงกดที่กระทำกับก้อนตัวอย่างจะทำให้เกิดการยุบตัวในแนวดิ่งและแยกออกจากกันตามระนาบของเส้นผ่านศูนย์กลาง การแยกจากกันในลักษณะนี้ คล้ายกับการเกิดแรงดึงในก้อนตัวอย่าง ส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีตที่มีค่า Tensile Strength สูง เมื่อนำมาใช้ทำผิวทางจะมีค่าความสามารถในการรับแรงดึง ที่เกิดจากน้ำหนักบรรทุกจากการจราจรได้สูงกว่า ส่วนผสมที่มีค่า Tensile Strength ต่ำกว่า

ผลการทดสอบ Tensile Strength ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต และตะกรันเตาหลอม พบว่ามีค่า Tensile Strength คือ 0.238 และ 0.264 MPa ตามลำดับ



ภาพที่ 15 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Tensile Strength ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ที่ใช้วัสดุมวลรวม หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม

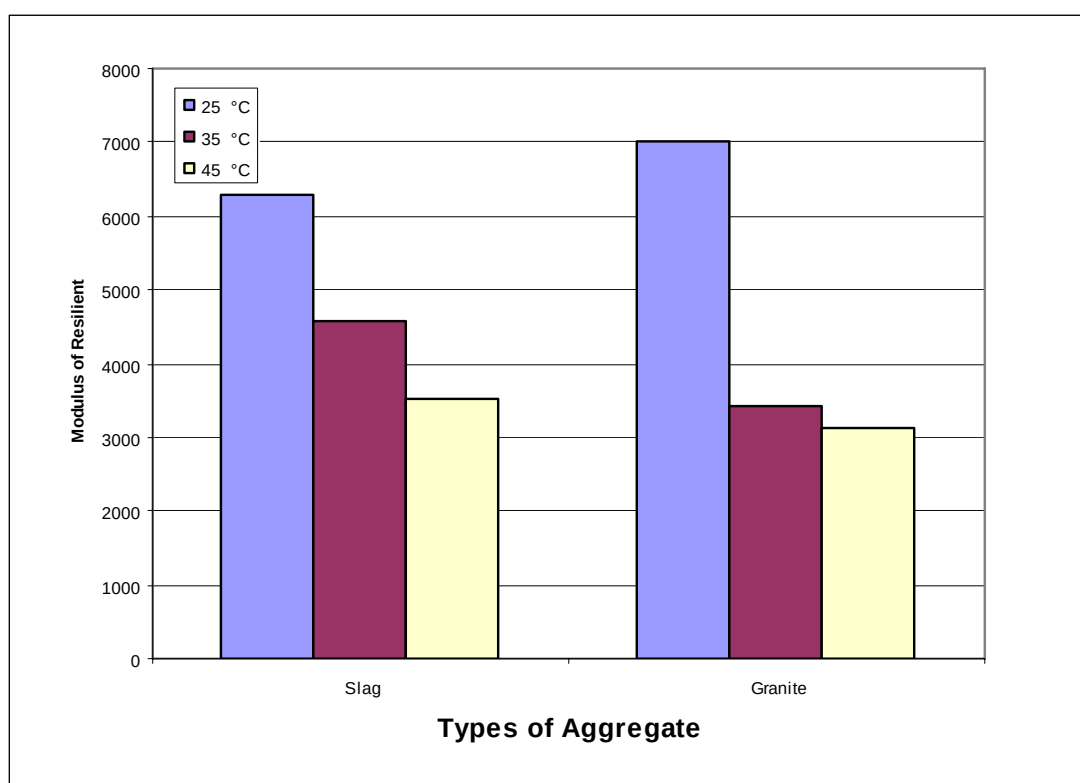
3.2 การทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus)

จากการทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัวของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้อุณหภูมิ 25°C , 35°C และ 45°C ที่ระดับของน้ำหนักระทำต่างๆ กัน โดยใช้ความถี่ 1 Hz (1 รอบ/วินาที) ช่วงเวลาในการกดน้ำหนักคือ 0.1 วินาที การวัดค่าโมดูลัสคืนตัวจะทำการทดสอบให้น้ำหนักระทำซ้ำ จนกระทั่งค่าการคืนตัวค่อนข้างคงที่ จึงจัดเป็นค่าโมดูลัสคืนตัวที่ต้องการ

ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว และการคืนตัวของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต และ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ดังแสดงในตารางที่ 11 และภาพที่ 16 พบว่าเมื่ออุณหภูมิ ณ จุดหนึ่ง ค่าโมดูลัสคืนตัวจะต่ำกว่าหินแกรนิตและกับเพิ่มขึ้นเมื่ออุณหภูมิสูงขึ้นและค่าโมดูลัสคืนตัวเมื่อใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม มีแนวโน้มสูงกว่าเมื่อใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต

ตารางที่ 11 ผลทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว และค่าการคืนตัวของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสานชนิดต่างๆ

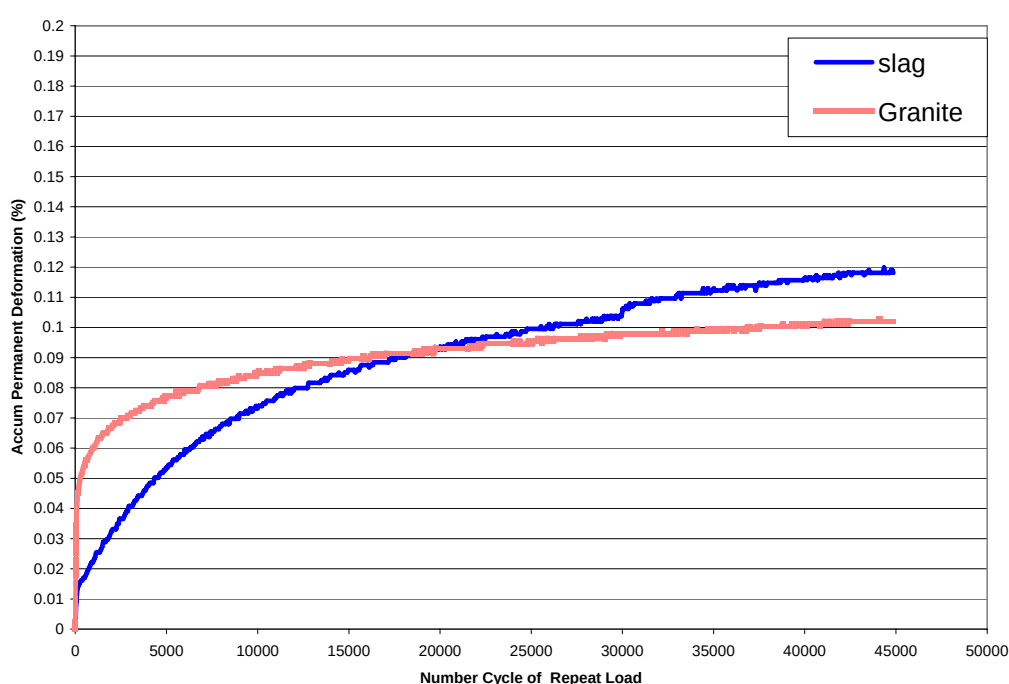
	25°C	35°C	45°C
Type of Aggregate	Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (MPa)	Resilient Modulus (MPa)
Slag	6272	4585	3539
Granite	7029	3437	3125



ภาพที่ 16 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม

3.3 ค่าความต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation)

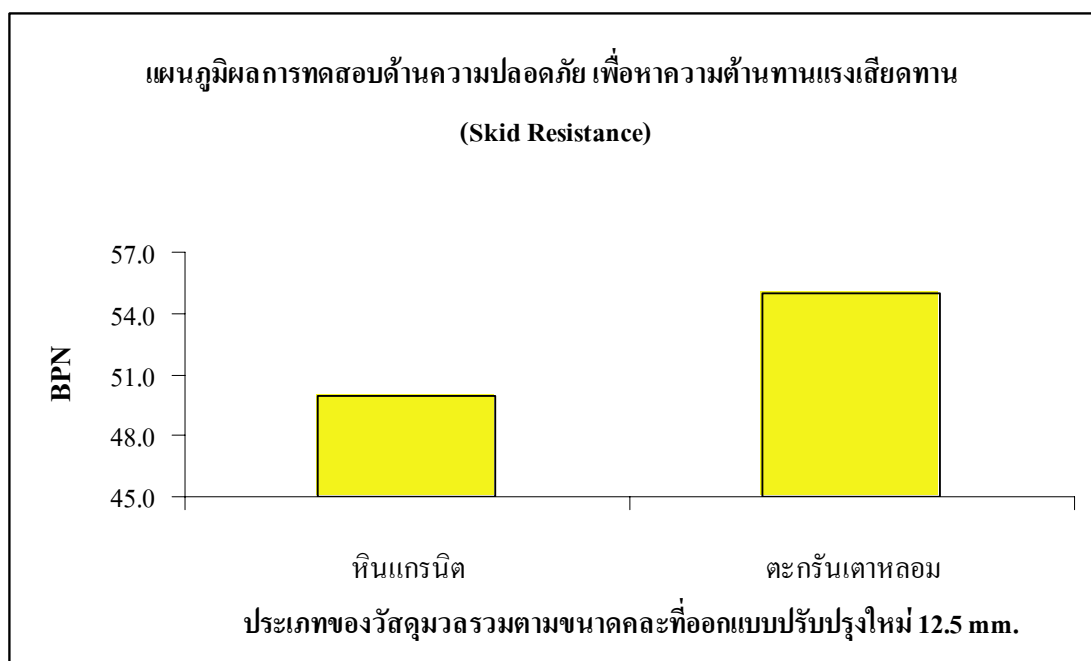
จากการทดสอบเพื่อศึกษาความสามารถของการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอมที่ใช้ขนาดคละขนาด 12.5 mm. ที่ทำการออกแบบใหม่มาศึกษาพบว่า หากมีแรงกระทำในช่วงแรกวัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอมจะมีการเปลี่ยนค่อนข้างช้ากว่าหินแกรนิต แต่เมื่อแรงกระทำมากขึ้นวัสดุตะกรันเตาหลอมจะมีความสามารถในการต้านทานการเปลี่ยนรูปถาวรที่ต่ำกว่าหินแกรนิต ดังแสดงในภาพที่ 17



ภาพที่ 17 แผนภูมิเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation) ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม

3.4 การทดสอบทดสอบหาความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance)

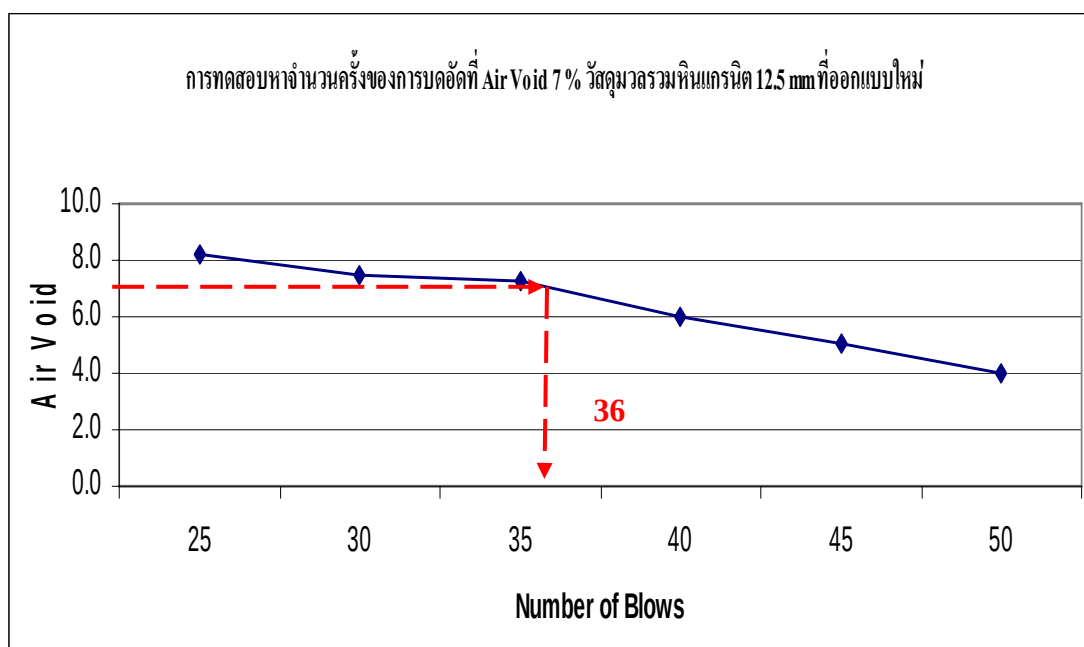
จากการทดสอบหาความต้านทานแรงเสียดทาน(Skid Resistance) สโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม และสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอมมีค่าความต้านทานแรงเสียดทานมากกว่า ดังภาพที่ 18



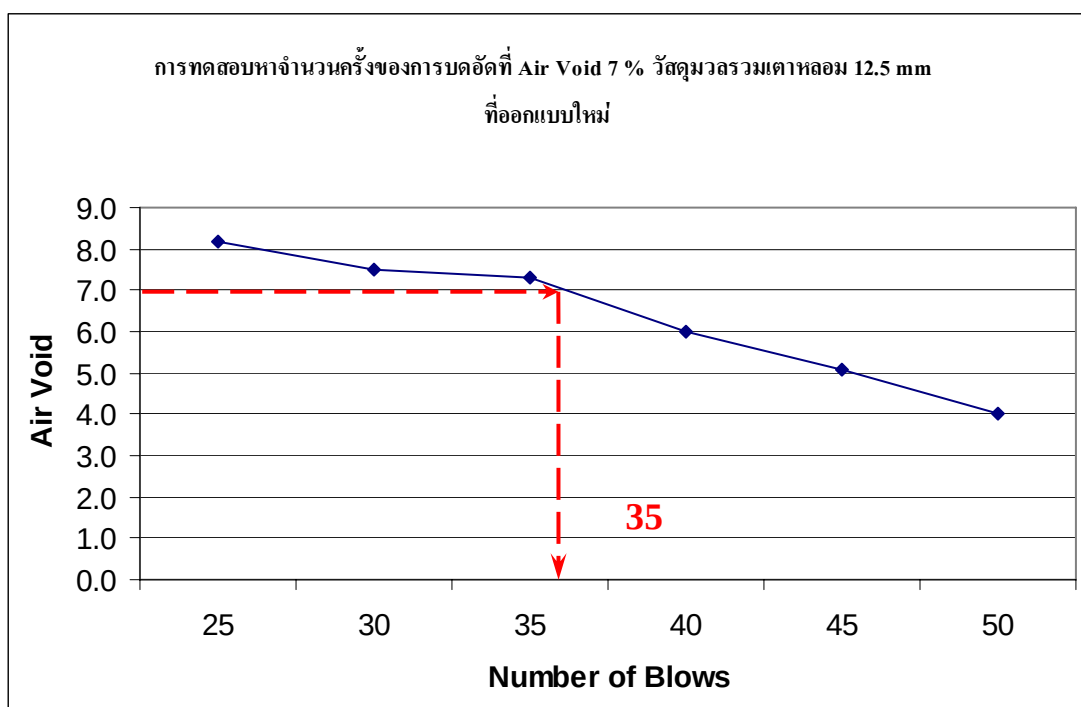
ภาพที่ 18 แผนภูมิผลการทดสอบด้านความปลอดภัย เพื่อหาความต้านทานแรงเสียดทาน
(Skid Resistance)

4. การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำต่อสโตนแมสติกแอสฟัลต์ (Moisture Damage)

4.1 การทดสอบผลกระทบที่เกิดจากน้ำโดยใช้ทฤษฎีของ Lottman ที่กำหนดให้ทดสอบวัสดุแอสฟัลต์คอนกรีตที่ช่องว่างอากาศ (Air Voids) $7.0\% \pm 1.0$ ซึ่งจำเป็นต้องมีการหาจำนวนครั้งในการบดอัดโดยการลากเส้นที่กราฟจากตำแหน่ง (Air Voids) 7 % มาบรรจบกราฟ ดังภาพที่ 19 และ 20 จะได้จำนวนครั้งในการบดอัดเพื่อเตรียมตัวอย่างในการทดสอบหาผลกระทบของน้ำต่อไป



ภาพที่ 19 แผนภูมิหาจำนวนครั้งในการบดอัดเพื่อนำมาหาค่าผลกระทบของน้ำวัสดุมวลรวมหินแกรนิต ที่ขนาดคละ 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่



ภาพที่ 20 แผนภูมิหาจำนวนครั้งในการบดอัดเพื่อนำมาหาค่าผลกระทบของน้ำวัสดุมวลรวม
ตะกรันเตาหลอม ที่ขนาดคละ 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่

4.2 จากนั้นเตรียมตัวอย่างตัวเปอร์เซ็นต์ยาง และ จำนวนครั้งการบดอัดที่หาได้แล้วนำมาทดสอบผลกระทบจากน้ำปรากฏผลว่า ผลกระทบที่เกิดจากน้ำวัสดุมวลรวมหินแกรนิตและวัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอมที่ใช้ขนาดคละ SMA ที่ออกแบบใหม่ 12.5 mm มีค่าดังตารางที่ 12

ตารางที่ 12 ตารางแสดงคุณสมบัติเฉพาะสำหรับการทดสอบหาค่าผลกระทบที่เกิดจากน้ำโดยใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอมที่ขนาดคละ SMA ที่ออกแบบใหม่

ประเภทของวัสดุมวลรวม SMA ที่ออกแบบใหม่	Asphalt Content (PMA) (%) by mass of Aggregate)	Number of Blow
หินแกรนิต	5.5	36
ตะกรันเตาหลอม	5.3	35

เมื่อทำการทดสอบผลกระทบที่เกิดจากน้ำ จากประเภทตัวอย่างสโตนแมสติกแอสฟัลต์ขนาดคละที่ปรับปรุงออกแบบใหม่ วัสดุมวลรวม 2 ชนิดได้แก่ หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม และวัสดุเชื่อมประสานโพลิเมอร์มอดิฟายด์แอสฟัลต์ ตามมาตรฐาน มอก. 2156 – 2547

4.3 ปรากฏผลการทดสอบผลกระทบจากน้ำของก้อนตัวอย่างที่ไม่ผ่านกระบวนการความชื้นและก้อนตัวอย่างที่ผ่านกระบวนการความชื้นดังในตารางภาคผนวกที่ 33 - 34 นำมาคำนวณด้วยสมการของ Lottman

4.3.1 สูตรการคำนวณหาอัตราส่วนค่าผลกระทบจากน้ำของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ตามขนาดคละที่ออกแบบปรับปรุงใหม่ โดยใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต

$$S_{id} = 7,142 \text{ lb.}$$

$$S_{tm} = 8,194 \text{ lb.}$$

สูตรการคำนวณหาอัตราส่วนแรงดึง

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

TSR = อัตราส่วนแรงดึง ,เปอร์เซ็นต์
 S_{td} = แรงดึงที่ไม่ได้ผ่านกระบวนการความชื้น dry (“untreated”) ,psi
 S_{tm} = แรงดึงที่ผ่านกระบวนการความชื้น ,psi

$$TSR = \frac{8,194}{7,142} \times 100$$

$$TSR = 87.17\%$$

4.3.2 สูตรการคำนวณหาอัตราส่วนค่าผลกระทบจากน้ำของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ตามขนาดกะที่ออกแบบปรับปรุงใหม่ โดยใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม

$$S_{td} = 6,037 \text{ lb.}$$

$$S_{tm} = 6,835 \text{ lb.}$$

$$TSR = \frac{6,037}{6,835} \times 100$$

$$TSR = 88.32\%$$

จากการทดสอบทั้งหมดจึงผ่านเกณฑ์การทดสอบตามทฤษฎีของ LOTTMAN TEST Standard Test for Effect of Moisture on Asphalt Concrete Paving Mixtures ASTM D4867/MN DOT MODIFIED ที่ 80 เปอร์เซนต์ ได้ทั้ง 2 วัสดุมวลรวม และอยู่ในเกณฑ์ที่ค่อนข้างสูง