

สารบัญ

หน้า

สารบัญ	(1)
สารบัญตาราง	(2)
สารบัญภาพ	(5)
คำนำ	1
วัตถุประสงค์	2
ขอบเขตการวิจัย	3
การตรวจเอกสาร	4
เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	4
อุปกรณ์และวิธีการ	26
อุปกรณ์	26
วิธีการ	29
ผลและวิจารณ์	40
ผลการตรวจสอบคุณภาพวัสดุรวม	40
ผลการออกแบบส่วนผสมร้อนสโตนมาستيكแอสฟัลต์ตามวิธีมาร์แชลล์	42
ผลการทดสอบประสิทธิภาพในการใช้งานของวัสดุวัสดุสโตนมาستيكแอสฟัลต์	47
การศึกษาผลกระทบที่เกิดจากน้ำต่อสโตนมาستيكแอสฟัลต์ (Moisture Damage)	52
สรุป	56
คุณสมบัติทางด้านวัสดุสโตนมาستيكแอสฟัลต์	56
คุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของสโตนมาستيكแอสฟัลต์	57
คุณสมบัติทางด้านผลกระทบของน้ำต่อสโตนมาستيكแอสฟัลต์	58
ข้อเสนอแนะ	61
เอกสารและสิ่งอ้างอิง	62
ภาคผนวก	64
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติของสโตนมาستيكแอสฟัลต์	65
ภาคผนวก ข รายละเอียดวิธีการทดลอง	118

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
1 ขนาดคละของมวลรวมจากโครงการ NCHRP Project 9-8	8
2 คุณสมบัติของผิวทางสโตนแมสติกแอสฟัลต์	8
3 แสดงค่าคุณสมบัติความปลอดภัยจากการลื่นไถล	13
4 แสดงค่าความสึกหรอของวัสดุมวลรวม	14
5 ค่า Polish Stone Value ณ บริเวณจุดต่างๆ	17
6 ค่า BPN ที่แนะนำสำหรับในประเทศไทย	18
7 คุณสมบัติวัสดุเชื่อมประสานโพลิเมอร์โมดิฟายด์แอสฟัลต์	28
8 ตารางขนาดคละวัสดุมวลรวมที่ใช้ในการทดสอบ	34
9 ตารางผลการตรวจสอบคุณภาพวัสดุมวลรวม	39
10 ตารางผลการออกแบบส่วนผสมร้อนสโตนแมสติกแอสฟัลต์ โดยวิธีมาร์แชลล์	43
11 ผลทดสอบค่าโมดูลัสคืนตัว และค่าการคืนตัวของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสานชนิด ต่างๆประสาน ชนิดต่างๆ	49
12 ตารางแสดงคุณสมบัติเฉพาะสำหรับการทดสอบหาค่าผลกระทบที่เกิดจากน้ำ โดยใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอมที่ขนาดคละ SMA ที่ออกแบบใหม่	54
13 ตารางสรุปผลการทดสอบต่างๆ ในงานวิจัย	60
 ตารางผนวกที่	
ก 1 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาด 9.5 mm	66
ก 2 อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาด 9.5 mm	67
ก 3 การออกแบบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ มวลรวม หินแกรนิตขนาด 9.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA	68
ก 4 ผลการทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์หินแกรนิตขนาด 9.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ด้วยวิธีมาร์แชลล์	70

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่	หน้า
ก 5 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm	71
ก 6 อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm	72
ก 7 การออกแบบสโตนมาสติกแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ มวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA	73
ก 8 ผลการทดสอบสโตนมาสติกแอสฟัลต์หินแกรนิตขนาด 12.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ด้วยวิธีมาร์แชลล์	75
ก 9 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่	76
ก 10 อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่	77
ก 11 การออกแบบสโตนมาสติกแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ มวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่ และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA	78
ก 12 ผลการทดสอบสโตนมาสติกแอสฟัลต์หินแกรนิตขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่ และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ด้วยวิธีมาร์แชลล์	80
ก 13 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 9.5 mm	81
ก 14 อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 9.5 mm	82
ก 15 การออกแบบสโตนมาสติกแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ มวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 9.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA	83
ก 16 ผลการทดสอบสโตนมาสติกแอสฟัลต์ตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 9.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ด้วยวิธีมาร์แชลล์	85
ก 17 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 12.5 mm	86
ก 18 อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 12.5 mm	87
ก 19 การออกแบบสโตนมาสติกแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ มวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 12.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA	88
ก 20 ผลการทดสอบสโตนมาสติกแอสฟัลต์ตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 12.5 mm และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ด้วยวิธีมาร์แชลล์	90
ก 21 ผลการทดสอบวัสดุมวลรวมตะกั่วหินเตาหลอมขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่	91

สารบัญตาราง (ต่อ)

ตารางผนวกที่		หน้า
ก 22	อัตราส่วนผสมวัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอมขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่	92
ก 23	การออกแบบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ด้วยวิธีมาร์แชลล์ มวลรวมตะกรันเตาหลอมขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่ และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA	93
ก 24	ผลการทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ตะกรันเตาหลอมขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่และวัสดุเชื่อมประสานชนิด PMA ด้วยวิธีมาร์แชลล์	95
ก 25	ผลการทดสอบ Tensile Strength โดยวิธี Indirect Tensile ของสโตนแมสติกแอสฟัลต์ เมื่อใช้วัสดุมวลรวมชนิดต่างๆ และวัสดุเชื่อมประสาน PMA	108
ก 26	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 25 °C วัสดุมวลรวมหินแกรนิต	109
ก 27	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 35 °C วัสดุมวลรวมหินแกรนิต	110
ก 28	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 45 °C วัสดุมวลรวมหินแกรนิต	111
ก 29	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 25 °C วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม	112
ก 30	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 35 °C วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม	113
ก 31	ผลการทดสอบโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่อุณหภูมิ 45 °C วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม	114
ก 32	ผลการทดสอบด้านความปลอดภัย เพื่อหาความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance)	115
ก 33	ผลการทดสอบผลกระทบจากน้ำ (Moisture Damage) สโตนแมสติกแอสฟัลต์ วัสดุมวลรวมหินแกรนิต ขนาดคละ 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่	116
ก 34	ผลการทดสอบผลกระทบจากน้ำ (Moisture Damage) สโตนแมสติกแอสฟัลต์ วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม ขนาดคละ 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่	117

สารบัญภาพ

ภาพที่	หน้า
1 แสดงการเปรียบเทียบลักษณะ โครงสร้างของสโตนเมสติกแอสฟัลต์ กับผิวทางประเภท ต่างๆ	7
2 แสดงขนาดกะของวัสดุมวลรวมตามข้อกำหนดของ Swiss standard	11
3 การเคลื่อนตัวของจุดสัมผัสร่วมระหว่างแอสฟัลต์กับมวลรวมจากสภาพแห้ง เปลี่ยนเป็นสภาพเปียกชื้น	20
4 การเกิดความดันโพรงในส่วนผสมแอสฟัลต์คอนกรีต	23
5 การทดสอบค่าความชื้นจากน้ำต่อแอสฟัลต์คอนกรีต ASTM D 4867	25
6 แผนภูมิการเรียงขนาดกะของ SMA NCHRP Project ขนาด 9.5 mm	41
7 แผนภูมิการเรียงขนาดกะของ SMA NCHRP Project ขนาด 12.5 mm	41
8 แผนภูมิการเรียงขนาดกะของ SMA ขนาด 12.5 mm. ที่ทำการออกแบบขนาดกะใหม่	42
9 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Density ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและ ตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกะทั้ง 3 ชนิด	44
10 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Air Void ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและ ตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกะทั้ง 3 ชนิด	44
11 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า VMA ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและ ตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกะทั้ง 3 ชนิด	45
12 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า VFB ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตและ ตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกะทั้ง 3 ชนิด	45
13 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Stability ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต และตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกะทั้ง 3 ชนิด	46
14 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Flow ของ SMA ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต และตะกรันเตาหลอม เมื่อใช้ขนาดกะทั้ง 3 ชนิด	46
15 แผนภูมิเปรียบเทียบค่า Tensile Strength ของสโตนเมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้ วัสดุมวลรวหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม	48

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพที่	หน้า
16	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่ใช้วัสดุมวลรวม หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม
17	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าการเปลี่ยนรูปถาวร (Permanent Deformation) ที่ใช้วัสดุ มวลรวมหินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม
18	แผนภูมิผลการทดสอบด้านความปลอดภัย เพื่อหาความต้านทานแรงเสียดทาน (Skid Resistance)
19	แผนภูมิหาจำนวนครั้งในการบดอัดเพื่อนำมาหาค่าผลกระทบของน้ำวัสดุ มวลรวมหินแกรนิต ที่ขนาดคละ 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่
20	แผนภูมิหาจำนวนครั้งในการบดอัดเพื่อนำมาหาค่าผลกระทบของน้ำวัสดุ มวลรวมตะกรันเตาหลอม ที่ขนาดคละ 12.5 mm ที่ออกแบบใหม่
21	แผนภูมิเปรียบเทียบค่าโมดูลัสคืนตัว (Resilient Modulus) ที่ใช้วัสดุมวลรวม หินแกรนิตและตะกรันเตาหลอม ณ อุณหภูมิที่ต่างกัน
22	แผนภูมิผลการทดสอบผลกระทบจากน้ำที่กระทำต่อสโตนแมสติกแอสฟัลต์
 ภาพผนวกที่	
ก 1	กราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ของการทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ใช้ วัสดุมวลรวม หินแกรนิตขนาด 9.5 mm เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสาน PMA
ก 2	กราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ของการทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุ มวลรวมหินแกรนิตขนาด 12.5 mm เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสาน PMA
ก 3	กราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ของการทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุ มวลรวม หินแกรนิตขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบปรับปรุงขนาดคละใหม่ เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสาน PMA
ก 4	กราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ของการทดสอบสโตนแมสติกแอสฟัลต์ที่ใช้วัสดุมวล รวมตะกรันเตาหลอมขนาด 9.5 mm เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสาน PMA

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก 5 กราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ของการทดสอบสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุ มวลรวมตะกรันเตาหลอมขนาด12.5mmเมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสานPMA	100
ก 6 กราฟความสัมพันธ์ต่างๆ ของการทดสอบสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุ มวลรวมตะกรันเตาหลอมขนาด 12.5 mm ที่ออกแบบปรับปรุงขนาดกะโหลกใหม่ เมื่อใช้วัสดุเชื่อมประสาน PMA	101
ก 7 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น (Density) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต ขนาดต่างๆ	102
ก 8 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศ (Air Voids) ของสโตนมาสดิก แอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาดต่างๆ	102
ก 9 กราฟเปรียบเทียบเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศระหว่างมวลรวม (VMA) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาดต่างๆ	103
ก 10 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โพรงที่เติมเต็มด้วยแอสฟัลต์ (VFB) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาดต่างๆ	103
ก 11 กราฟเปรียบเทียบค่าเสถียรภาพ (Stability) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิต ขนาดต่างๆ	104
ก 12 กราฟเปรียบเทียบค่าการไหล (Flow) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมหินแกรนิตขนาดต่างๆ	104
ก 13 กราฟเปรียบเทียบค่าความหนาแน่น (Density) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม ขนาดต่างๆ	105
ก 14 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โพรงอากาศ (Air Voids) ของสโตนมาสดิก แอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม ขนาดต่างๆ	105
ก 15 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โพรงระหว่างมวลรวม (VMA) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม ขนาดต่างๆ	106
ก 16 กราฟเปรียบเทียบค่าเปอร์เซ็นต์โพรงที่เติมเต็มด้วยแอสฟัลต์ (VFB) ของสโตนมาสดิกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุมวลรวมตะกรันเตาหลอม ขนาดต่างๆ	106

สารบัญภาพ (ต่อ)

ภาพผนวกที่	หน้า
ก 17 กราฟเปรียบเทียบค่าเสถียรภาพ (Stability) ของสโตนมาสติกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุผสมรวมตะกรันเตาหลอม ขนาดต่างๆ	107
ก 18 กราฟเปรียบเทียบค่าการไหล (Flow) ของสโตนมาสติกแอสฟัลต์ ที่ใช้วัสดุผสมรวมหินตะกรันเตาหลอม ขนาดต่างๆ	107
ข 1 เครื่องมือทดสอบเสถียรภาพและการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีตด้วยวิธี มาร์แชลล์	121
ข 2 เครื่องมือทดลองมาร์แชลล์ ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ Indirect Tensile	122
ข 3 กราฟตัวอย่างข้อมูลของแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการทดสอบด้วยวิธี มาร์แชลล์	123
ข 4 เครื่อง Gyratory Compactor	124
ข 5 ลักษณะการทำงานในการบดอัดด้วยเครื่อง Superpave Gyratory Compactor (SGC)	125
ข 6 เครื่องบดอัด Gyratory Compactor ของสำนักงานวิจัยและพัฒนาทาง กรมทางหลวง	125
ข 7 การป้อนน้ำหนักและลักษณะการแตกร้าวของก้อนตัวอย่างจากการทดสอบด้วย Indirect Tensile Test	127
ข 8 ชุดเครื่องมือทดสอบ Universal Testing Machine (UTM-5P)	128
ข 9 Reaction Loading Frame พร้อมอุปกรณ์ชุดทดสอบแรงดึงทางอ้อม	129
ข 10 การจัดเตรียมก้อนตัวอย่างทดสอบ ภายในห้องควบคุมอุณหภูมิ	129
ข 11 การจัดชุด LVDTs สำหรับวัดการเคลื่อนตัวด้านข้าง	130
ข 12 เครื่อง British Pendulum Tester	131
ข 13 ลักษณะของเข็มชี้ของเครื่องทดสอบความต้านทานแรงเสียดทาน	133
ข 14 เครื่องมือทดลองมาร์แชลล์ ติดตั้งอุปกรณ์ทดสอบ Indirect Tensile	135