

สารบัญ

บทที่	หน้า
บทคัดย่อ (ภาษาไทย)	ก
บทคัดย่อ (ภาษาอังกฤษ)	ข
กิตติกรรมประกาศ	ค
สารบัญ	ง
สารบัญตาราง	ช
สารบัญภาพ	ณ
คำนิยามศัพท์	ณ
1 บทนำ	1
1.1 ประวัติความเป็นมาและความสำคัญ	1
1.2 วัตถุประสงค์ของโครงการ	2
1.3 ขอบเขตการวิจัย	2
1.4 ผลที่คาดว่าจะได้รับ	2
1.5 แผนการดำเนินงานตลอดโครงการ	3
1.6 รายละเอียดงบประมาณของโครงการ	3
2 หลักการและทฤษฎี	4
2.1 แอสฟัลต์คอนกรีต (Asphalt concrete)	4
2.2 ถ้ำหนัก (Bottom Ash)	4
2.2.1 การศึกษากระบวนการผลิตของถ้ำหนัก	5
2.3 วัสดุมวลรวม	7
2.3.1. วัสดุมวลรวมหยาบ	7
2.3.2. วัสดุมวลรวมละเอียด	7
2.4 ยางแอสฟัลต์ AC (60/70)	7

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
2.5 การออกแบบแอสฟัลต์คอนกรีต ตามวิธีมาร์แชลล์	8
2.5.1 ทั่วไป	8
2.5.1.1. ความหนาแน่น (Density, D)	8
2.5.1.2. เสถียรภาพ (Stability)	8
2.5.1.3. ค่าการไหล (Flow)	9
2.5.1.4. ช่องว่างอากาศ (Air Voids , AV)	9
2.5.1.5. ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (Voids in Mineral Aggregate, VMA)	10
2.5.1.6. ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (Voids Filled with Bituminous ,VFB)	10
3 วิธีการทดลอง	11
3.1 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง	11
3.2 วัสดุที่ใช้	13
3.3 การเตรียมวัสดุ	13
3.3.1 ถ้ำหนัก (Bottom ash)	13
3.3.2 ยางแอสฟัลต์คอนกรีต AC (60/70)	13
3.3.3 หิน	13
3.4 วิธีการดำเนินโครงการ	15
3.5 การทดสอบวัสดุ	16
3.5.1 การทดลองหาขนาดคละผ่านตะแกรงขนาดแบบล้าง	16
3.5.1.1 การทดลองหาขนาดเม็ดวัสดุสำหรับวัสดุเล็กกว่า เบอร์ 4 (4.75 มม.)	16

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
3.5.2 การทดสอบหาขนาดของเม็ดของวัสดุ โดยผ่านตะแกรงแบบไม่ล้าง	17
3.5.3 การทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของ วัสดุ Aggregate ชนิดเม็ดละเอียด	17
3.5.4 การทดสอบหาค่า Sand Equivalent	17
3.5.5 การทำแอสฟัลต์คอนกรีต โดยวิธี Marshall	19
3.5.6 ขั้นตอนการทดสอบ	20
3.5.6.1 ทำการทดสอบหาความแน่น	20
3.5.6.2 ทำการทดสอบหาค่า Stability และ Flow	20
4 ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผล	22
4.1 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของถ้ำหนัก (Bottom Ash)	22
4.2 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมรวม (Aggregates)	22
4.3 ค่าความถ่วงจำเพาะ และการดูดซึมน้ำของยางแอสฟัลต์ AC (60/70)	23
4.4 การทดสอบความหนาแน่น	23
4.4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70)โดยน้ำหนัก	24
4.5 การทดสอบความเสถียรภาพของแอสฟัลต์คอนกรีต	25
4.5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70)โดยน้ำหนัก	25
4.6 การทดสอบค่าการไหลของแอสฟัลต์คอนกรีต	26
4.6.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70)โดยน้ำหนัก	27
4.7 ผลการทดสอบแอสฟัลต์คอนกรีตที่ได้จากการคำนวณ	28

สารบัญ(ต่อ)

บทที่	หน้า
4.7.1 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70)โดยน้ำหนัก	28
4.7.2 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาค ของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70)โดยน้ำหนัก	29
4.7.3 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วย ยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70)โดยน้ำหนัก	31
5 สรุปผลการทดลอง	33
5.1 บทสรุป	33
5.2 ข้อเสนอแนะ	34
บรรณานุกรม	35
ภาคผนวก	36
ภาคผนวก ก	37
ภาคผนวก ข	43
ภาคผนวก ค	47
ภาคผนวก ง	72
ประวัติผู้เขียน	95

สารบัญตาราง

ตารางที่	หน้า
4.1 แสดงค่าความถ่วงจะเพาะ และการดูดซึมน้ำของ ถ้ำหนัก (Bottom Ash)	22
4.2 แสดงค่าความถ่วงจะเพาะ และการดูดซึมน้ำของวัสดุผสมรวม (Aggregates) ขนาด $\frac{3}{4}$ นิ้ว, $\frac{1}{2}$ นิ้ว, $\frac{3}{8}$ นิ้ว และหินฝุ่น	23
4.3 แสดงค่าความถ่วงจะเพาะ และการดูดซึมน้ำของยางแอสฟัลต์ AC (60/70)	23



สารบัญรูป

รูปที่	หน้า
2.1 รูปแสดงขบวนการผลิตกระแสไฟฟ้า	5
2.2 รูปแสดงการขนย้ายเจ้าหน้าที่ออกจากโรงไฟฟ้า	6
3.1 ผังแสดงขั้นตอนการดำเนินโครงการ	15
4.1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	24
4.2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	25
4.3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	27
4.4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	28
4.5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	29
4.6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	31
ค-1 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	50
ค-2 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	51
ค-3 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	51

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-4 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	52
ค-5 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาค ของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	52
ค-6 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	53
ค-7 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	54
ค-8 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	54
ค-9 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	55
ค-10 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับค่า ปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	55
ค-11 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่าง อนุภาคของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	56
ค-12 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทน ที่ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	56
ค-13 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	57

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-14 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	57
ค-15 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	58
ค-16 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศ กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	58
ค-17 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่าง อนุภาคของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	59
ค-18 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	59
ค-19 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	60
ค-20 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	60
ค-21 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	61
ค-22 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	61
ค-23 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาค ของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	62

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-24 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	62
ค-25 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	63
ค-26 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	63
ค-27 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	64
ค-28 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	64
ค-29 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาค ของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	65
ค-30 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	65
ค-31 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	66
ค-32 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	66
ค-33 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	67

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ค-34 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	67
ค-35 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่างอนุภาค ของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	68
ค-36 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วย ยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	68
ค-37 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความหนาแน่นกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	69
ค-38 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าความเสถียรภาพกับค่าปริมาณ ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	69
ค-39 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการไหลกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	70
ค-40 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างอากาศกับ ค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	70
ค-41 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างระหว่าง อนุภาคของมวลรวมกับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	71
ค-42 กราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าร้อยละของช่องว่างที่ถูกแทนที่ ด้วยยาง AC (60/70) กับค่าปริมาณยางแอสฟัลต์ AC (60/70) โดยน้ำหนัก	71
ง-1 ถ่านหินลิกไนต์	72
ง-2 ถ่านหินที่ได้จากการเผาไหม้ถ่านหินลิกไนต์	73
ง-3 ถ่านหินที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4	73

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง-4 วัสดุมวลรวมละเอียด(หินฝุ่น)ที่ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4	74
ง-5 ยางแอสฟัลต์ AC (60/70)	74
ง-6 วัสดุมวลรวมหยาบ (หิน $\frac{3}{8}$ นิ้ว)	75
ง-7 วัสดุมวลรวมหยาบ (หิน $\frac{1}{2}$ นิ้ว)	75
ง-8 วัสดุมวลรวมหยาบ (หิน $\frac{3}{4}$ นิ้ว)	76
ง-9 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมละเอียด	76
ง-10 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหาขนาดคละของวัสดุมวลรวมหยาบ	77
ง-11 ชุดเครื่องมือซึ่งของวัสดุมวลรวมละเอียด	77
ง-12 ชุดเครื่องมือซึ่งของวัสดุมวลรวมหยาบ	78
ง-13 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมละเอียด	78
ง-14 การตรวจเช็ค และทดสอบการหาค่าความถ่วงจำเพาะของวัสดุมวลรวมละเอียด	79
ง-15 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบค่าทรายผสมมูล	79
ง-16 น้ำยาที่ใช้ในการทดสอบหาค่าทรายผสมมูล(สารละลายเข้มข้น)	80
ง-17 หลังจากใช้ท่อควนเพื่อให้มวลรวมเม็ดละเอียดลอยขึ้นทิ้งไว้ 30 นาที	80
ง-18 อุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบหาค่าการสึกหรอ	81
ง-19 อุปกรณ์ที่ใช้ในการผสมแอสฟัลต์คอนกรีต ชนิดผสมร้อน	82
ง-20 อุปกรณ์ที่ใช้ในการบดอัดแอสฟัลต์คอนกรีต แทนรอง และที่จับแบบ	82
ง-21 เตรียมตัวอย่างวัสดุตามอัตราส่วนที่ออกแบบ	83
ง-22 ผสมตัวอย่างให้คละกันโดยทั่ว ณ อุณหภูมิห้อง	83
ง-23 ให้ความร้อนกับค้อนและโมล ที่ อุณหภูมิ 60 ± 5 องศาเซลเซียส	84
ง-24 ให้ความร้อนกับตัวอย่างที่เตรียมไว้แล้ว ที่ อุณหภูมิ 180 ± 5 องศาเซลเซียส	84

สารบัญรูป(ต่อ)

รูปที่	หน้า
ง-25 ให้ความร้อนยางแอสฟัลต์ AC (60/70) ที่ อุณหภูมิ 150±5 องศาเซลเซียส	85
ง-26 ตัวอย่างที่มีอุณหภูมิ 180±5 องศาเซลเซียส นำมาผสมยางแอสฟัลต์ตามที่ออกแบบ	85
ง-27 ผสมตัวอย่างร้อนให้ยางแอสฟัลต์ AC (60/70) เคลือบโดยทั่ว	86
ง-28 ตรวจวัดอุณหภูมิให้ได้ 150±5 องศาเซลเซียส	86
ง-29 ตรวจวัดอุณหภูมิให้ได้ 150±5 องศาเซลเซียส	87
ง-30 นำตัวอย่างที่ผสมแล้วใส่ลงในแบบ	87
ง-31 แช่ตัวอย่างโดยรอบๆ 15 ครั้ง	88
ง-32 ทำการบดอัด 75 ครั้ง 2 หน้า (การจราจรหนาแน่น)	88
ง-33 ทิ้งตัวอย่างให้เย็นตัวลง 24 ชั่วโมง	89
ง-34 ทิ้งตัวอย่างให้เย็นตัวลง 24 ชั่วโมง	89
ง-35 ดันตัวอย่างออกจากแบบ	90
ง-36 จัดเก็บตัวอย่างตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบ	90
ง-37 ตรวจเช็คตัวอย่างตามอัตราส่วนผสมที่ออกแบบ	91
ง-38 เตรียมตัวอย่างในขั้นตอนการทดสอบขั้นต่อไป	91
ง-39 ทำความสะอาดก้อนตัวอย่างโดยการบิดเศษให้หลุดร่อนออกก่อนทำการทดสอบ	92
ง-40 ทำการทดสอบหาค่าความหนาแน่น ค่าความถ่วงจำเพาะ และค่าการดูดซึ่ม	92
ง-41 อ่างต้มน้ำที่ควบคุมอุณหภูมิได้	93
ง-42 เครื่องทดสอบด้วยวิธีมาร์แชลล์	93
ง-43 ลักษณะการพังทลายของก้อนตัวอย่างหลังทำการทดสอบ	94
ง-44 ลักษณะการพังทลายของก้อนตัวอย่างหลังทำการทดสอบ	94

คำนิยามศัพท์

Density (D)	:	ความหนาแน่น (gm./ml.)
Stability (S)	:	เสถียรภาพ (Lbs.)
Flow (F)	:	ค่าการไหล (1/100 นิ้ว)
Air Voids (AV)	:	ช่องว่างอากาศ (%)
Voids in Mineral Aggregate (VMA)	:	ช่องว่างระหว่างอนุภาคของมวลรวม (%)
Voids Filled with Bituminous (VFB)	:	ช่องว่างที่ถูกแทนที่ด้วยแอสฟัลต์ (%)

