

สารบัญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ก
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบัญตาราง	ฉ
สารบัญภาพ	๗
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเจ้าลอยแม่เมาะ	3
1.2.2 คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตผสมเจ้าลอยแม่เมาะ	4
1.2.3 ความสามารถในการทำงานของคอนกรีตสด และคอนกรีตที่มีการชุบตัวเป็นศูนย์	5
1.2.4 วิธีการออกแบบคอนกรีตผสมเจ้าลอย	6
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	10
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์	10
1.5 สมมุติฐานการวิจัย	10
1.6 ขอบเขตการศึกษา	10
บทที่ 2 ทฤษฎี	12
2.1 ทั่วไป	12
2.2 เจ้าลอย	13
2.2.1 ลักษณะการผสมเจ้าลอยลงในคอนกรีต	14
2.2.2 ปฏิกริยาเคมีของเจ้าลอย	15
2.2.3 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเจ้าลอย	16

2.3 การออกแบบคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์ ตามมาตรฐาน ACI 211.3-75 (Revised 1987) (Reapproved 1992)	17
2.4 การออกแบบคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้เถ้าลอยเป็นวัสดุผสมเพิ่ม ตามมาตรฐาน ACI 211.4R-93	26
บทที่ 3 วิธีการวิจัย	34
3.1 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต	34
3.2 การเตรียมชุดตัวอย่าง	38
3.3 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย	40
3.4 ขั้นตอนการผสมคอนกรีต	40
บทที่ 4 การทดลอง	42
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ	42
4.2 ผลการผสมคอนกรีตและค่าการยุบตัว	43
4.3 ผลการทดสอบกำลังอัด	44
4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต	50
บทที่ 5 วิเคราะห์และวิจารณ์ผล	52
5.1 ผลของเถ้าลอยต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด	52
5.2 การวิเคราะห์ผลของกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ	52
5.2.1 ผลของกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะเมื่อเปรียบเทียบ โดยให้ร้อยละการแทนที่ของเถ้าลอยคงที่	53
5.2.2 ผลของกำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะเมื่อเปรียบเทียบ โดยให้อัตราส่วน w/b คงที่	56
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน	59
5.3.1 การพิจารณาช่วงความเชื่อมั่น	65
5.3.2 การพิจารณาค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	66
5.3.3 วิธีการหาช่วงความเชื่อมั่นที่ร้อยละ 95 ของความสัมพันธ์ระหว่าง กำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน	67
บทที่ 6 สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ	72
6.1 สรุปผลงานวิจัย	72
6.2 ข้อเสนอปรับปรุงวิธีการออกแบบส่วนผสมของเอซีไอสำหรับ คอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะที่มีการยุบตัวเป็นศูนย์	73

6.3 ข้อเสนอแนะ	73
บรรณานุกรม	76
ภาคผนวก	81
ภาคผนวก ก. ตารางคำนวณสำหรับออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย	82
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ	87
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณส่วนผสมคอนกรีต	93
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดสอบก่อนตัวอย่าง	110
ภาคผนวก จ. การปรับค่าสัมประสิทธิ์แก้ไขค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน	121
ภาคผนวก ฉ. ตัวอย่างการประยุกต์ใช้	122
ประวัติผู้เขียน	124

สารบัญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะ	2
2.1 การแบ่งประเภทของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ASTM C618-93	13
2.2 ข้อกำหนดทางกายภาพมาตรฐาน ASTM C618-97	14
2.3 แสดงค่าความชื้นเหลวที่ทดสอบได้จากเครื่องมือต่างๆ	21
2.4 อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงสุด	21
2.5 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์และกำลังอัดประลัยที่ 28 วัน	22
2.6 ปริมาณน้ำที่ต้องการโดยประมาณสำหรับความชื้นเหลวต่าง ๆ และขนาดโตสุดของหิน	23
2.7 ปริมาณของวัสดุหยาบต่อปริมาตรของคอนกรีต	24
2.8 ปริมาณของวัสดุหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตสำหรับความชื้นเหลวต่าง ๆ	24
2.9 ความต้องการค่าการยุบตัว สำหรับใส่และไม่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก	29
2.10 แนะนำขนาดหินใหญ่สุด	30
2.11 แนะนำปริมาตรของมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรคอนกรีต	30
2.12 ประมาณความต้องการน้ำและอากาศของคอนกรีตสดต่อปริมาณช่องว่างทรายร้อยละ 35	30
2.13 ความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วน $w/(c+p)$ กับกำลังอัดประลัย	31
2.14 แนะนำปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอย	32
3.1 การออกแบบการทดสอบและเตรียมก้อนตัวอย่าง	39
4.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์และเถ้าลอย	42
4.2 คุณสมบัติของมวลรวม	43
4.3 ส่วนผสมคอนกรีตสภาพอิมด้ผิวแห้งต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.	44
4.4 ส่วนผสมคอนกรีตสภาพผสมจริงต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.ที่มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์	45
4.5 ปริมาณน้ำสำหรับค่าความยุบตัวเป็นศูนย์และค่าเวลาวิบีเป็น 7-8 วินาที ของคอนกรีตสด	46
4.6 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	47
4.7 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	50
5.1 ร้อยละปริมาณน้ำที่ลดลงในส่วนผสมสำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเป็นศูนย์	52

ตาราง	หน้า
5.2 ระดับความเชื่อมั่นในช่วง $f_m \pm k_s$ และความน่าจะเป็นของค่าที่ต่ำกว่า $f_m - k_s$	66
5.3 สัมประสิทธิ์แก้ไขค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดย ACI 318-83	66
5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยใช้งานกับอัตราส่วน w/b	71
ข-1 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมของมวลรวมหยาบ (ASTM C217)	88
ข-2 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมของมวลรวมละเอียด (ASTM C127)	88
ข-3 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (ASTM C188)	89
ข-4 ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย (ASTM C188)	89
ข-5 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบอบแห้งและกระทุ้งแน่น (ASTM C29)	90
ข-6 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดอบแห้งและกระทุ้งแน่น (ASTM C29)	90
ข-7 สัดส่วนขนาดผลของมวลรวมหยาบ (ASTM C136)	91
ข-8 สัดส่วนขนาดผลและโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียด (ASTM C136)	91
ข-9 ค่าความละเอียดของเถ้าลอยเมื่อทดสอบผ่านตะแกรงเบอร์ 325	92
ค-1 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.33 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0	94
ค-2 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.33 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15	95
ค-3 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.33 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25	96
ค-4 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.33 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 35	97
ค-5 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0	98
ค-6 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15	99
ค-7 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25	100
ค-8 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 35	101
ค-9 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.43 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0	102
ค-10 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.43 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15	103
ค-11 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.43 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25	104
ค-12 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.43 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 35	105
ค-13 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.48 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0	106
ค-14 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.48 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 15	107
ค-15 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.48 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 25	108
ค-16 ส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย อัตราส่วน w/b 0.48 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 35	109
ง-1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัย	111

ตาราง	หน้า
ง-2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต	114
จ-1 เปรียบเทียบ ส.ป.ส. แก้วจากสมการในรูปที่ จ-1 กับ ส.ป.ส แก้วของ ACI	121
ฉ-1 ตารางคำนวณส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย จากตัวอย่างการประยุกต์ใช้	123

สารบัญภาพ

รูป	หน้า
2.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตที่มีการยุบตัวเป็นศูนย์	25
2.2 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย	33
3.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษาสัดส่วนผสมคอนกรีตที่มีการยุบตัวเป็นศูนย์ ผสมเถ้าลอยโดยปรับปรุงวิธีการตามมาตรฐานสถาบันคอนกรีตอเมริกา	37
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.33$	48
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.38$	48
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.43$	49
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุคอนกรีตสำหรับ $w/b = 0.48$	49
4.5 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	51
5.1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 7-56 วัน	54
5.2 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยโดยการแทนที่ร้อยละ 15 ที่อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 7-56 วัน	54
5.3 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยโดยการแทนที่ร้อยละ 25 ที่อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 7-56 วัน	55
5.4 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยโดยการแทนที่ร้อยละ 35 ที่อัตราส่วนน้ำ ต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 7-56 วัน	55
5.5 การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณต่างๆ ที่ช่วงอายุ 7-56 วัน สำหรับอัตราส่วน w/b 0.33	57
5.6 การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณต่างๆ ที่ช่วงอายุ 7-56 วัน สำหรับอัตราส่วน w/b 0.38	57
5.7 การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณต่างๆ ที่ช่วงอายุ 7-56 วัน สำหรับอัตราส่วน w/b 0.43	58

รูป	หน้า
5.8 การเปรียบเทียบกำลังอัดของคอนกรีตที่มีการแทนที่ด้วยเถ้าลอยในปริมาณต่างๆ ที่ช่วงอายุ 7-56 วัน สำหรับอัตราส่วน w/b 0.48	58
5.9 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b สำหรับคอนกรีตควบคุม	61
5.10 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b สำหรับคอนกรีต ผสมเถ้าลอยร้อยละ 15	61
5.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b สำหรับคอนกรีต ผสมเถ้าลอยร้อยละ 25	62
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b สำหรับคอนกรีต ผสมเถ้าลอยร้อยละ 35	62
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 7 วัน	63
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 14 วัน	63
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 28 วัน	64
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 56 วัน	64
5.17 เส้นโค้งปกติแสดงขอบเขตช่วงความเชื่อมั่น	65
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 7 วัน	69
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 14 วัน	69
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 28 วัน	70
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน w/b ที่อายุ 56 วัน	70
6.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ ที่มีการยุบตัวเป็นศูนย์	74
ก-1 ตัวอย่างตารางการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย	84
จ-1 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แก้ไขค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐาน กับจำนวนก้อนตัวอย่าง	121