สารบาญ

	หน้า
กิตติกรรมประกาศ	ค
บทคัดย่อภาษาไทย	ง
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ฉ
สารบาญ	ฉ
สารบาญตาราง	ฌ
สารบาญภาพ	ฏ
บทที่ 1 บทนำ	1
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง	3
1.2.1 คุณสมบัติพื้นฐานของเถ้าลอย	3
1.2.2 คุณสมบัติด้านกำลังของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	5
1.2.3 วิธีการออกแบบคอนกรีตผสมเถ้าลอย	8
1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา	13
1.4 ประโยชน์ที่จะได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและ/หรือเชิงประยุกต์	14
1.5 สมมุติฐานการวิจัย	14
1.6 ขอบเขตการศึกษา	14
บทที่ 2 ทฤษฎี	16
2.1 ทั่วไป	16
2.2 เถ้าลอย	17
2.2.1 ลักษณะการผสมเถ้าลอยในงานคอนกรีต	20
2.2.2 ปฏิกิริยาเคมีของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	21
2.2.3 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	23
2.3 การทดสอบหาความละเอียด	27
2.4 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยตามมาตรฐานสถาบันคอนกรีตอเมริกา(ACI 211.4R-93)	28

บทที่ 3 วิธีการวิจัย 39
3.1 วัสดุและอุปกรณ์ในการวิจัย 39
3.2 วิธีการออกแบบส่วนผสมคอนกรีต 41
3.3 การเตรียมก้อนตัวอย่าง 45
3.4 ขั้นตอนการผสมและทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีต 48
บทที่ 4 ผลการศึกษาและทดสอบ 52
4.1 ผลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ 52
4.2 ผลการผสมคอนกรีตและค่าการยุบตัว 55
4.3 ผลการทดสอบกำลังอัด 59
4.4 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต 66
บทที่ 5 วิเคราะห์ผลการทดสอบ 69
5.1 ผลของเถ้าลอยต่อค่าการยุบตัวของคอนกรีตสด 69
5.2 การวิเคราะห์กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ 70
5.2.1 กำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแม่เมาะ 70
5.2.2 การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตผสมเถ้าลอย 86
5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสาน 87
5.4 การแปลความหมายและการนำเอาความสัมพันธ์ระหว่างอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานไปใช้ 98
บทที่ 6 สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ 102
6.1 สรุปผลงานวิจัย 102
6.2 วิจารณ์ผล 103
6.3 การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยแม่เมาะทั้งแบบคัดแยกขนาดและไม่คัดแยกขนาดโดยปรับปรุงตามมาตรฐานเอซีไอ 104
6.4 ข้อเสนอแนะ 106
บรรณานุกรม 108
ภาคผนวก 113
ภาคผนวก ก. ตารางการคำนวณสำหรับออกแบบส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย 114
ภาคผนวก ข. ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ 119
ภาคผนวก ค. รายการคำนวณส่วนผสมคอนกรีต 128
ภาคผนวก ง. ข้อมูลการทดสอบก้อนตัวอย่าง 157

ลิขสิทธิ์มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University

ภาคผนวก จ.การปรับผลการทดลองให้มีความน่าเชื่อถือ 176

ภาคผนวก ฉ.การทดสอบเพิ่มเติมของส่วนผสม HSCF0.26-25 HSCF0.29-25 และ HSCF0.32-25 181

ประวัติผู้เขียน 186

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่
Chiang Mai University

สารบาญตาราง

ตาราง	หน้า
1.1 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางฟิสิกส์ของเถ้าลอยก่อนการคัดแยกขนาด และเถ้าลอยความละเอียดสูง	2
2.1 การแบ่งชั้นคุณภาพของเถ้าลอยโดยใช้องค์ประกอบทางเคมี ตามมาตรฐาน ASTM C618-99 (2000)	18
2.2 องค์ประกอบทางเคมีของเถ้าลอยแม่เมาะ	19
2.3 ข้อกำหนดทางกายภาพตามมาตรฐาน ASTM C 618-99 (2000)	20
2.4 แสดงค่าการยุบตัวที่แนะนำ สำหรับคอนกรีตที่ใส่และไม่ใส่สารลดน้ำปริมาณมาก (High-range water-reducing admixtures , HRWR)	30
2.5 แสดงขนาดมวลรวมใหญ่สุดที่แนะนำ	30
2.6 แสดงปริมาตรของมวลรวมหยาบต่อหนึ่งหน่วยปริมาตรของคอนกรีตที่แนะนำ	31
2.7 แสดงการประมาณความต้องการปริมาณน้ำและอากาศของคอนกรีตสดเมื่อใช้ทรายที่มีช่องว่างร้อยละ 35	32
2.8 แสดงอัตราส่วน W/(C+P) ที่แนะนำสำหรับกำลังอัดประลัยต่างๆ	33
2.9 แสดงปริมาณการแทนที่ปูนซีเมนต์ด้วยเถ้าลอยที่แนะนำ	35
3.1 แสดงวิธีการออกแบบการทดสอบและเตรียมก้อนตัวอย่าง	47
4.1 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์และเถ้าลอย	52
4.2 คุณสมบัติของมวลรวม	55
4.3 ส่วนผสมคอนกรีตสภาพอิ่มตัวผิวแห้งต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม.	57
4.4 ส่วนผสมคอนกรีตสภาพผสมจริงต่อคอนกรีต 1 ลบ.ม. ที่มีค่าการยุบตัว 5 – 8 ซม.	58
4.5 ปริมาณน้ำสำหรับค่าความยุบตัว 5-8 ซม. ของคอนกรีตสด	59
4.6 กำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	61
4.7 ผลการทดสอบความหนาแน่นคอนกรีต	67
4.8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย	68
5.1 ร้อยละปริมาณน้ำที่ลดลงในส่วนผสมสำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยเมื่อเทียบกับคอนกรีตไม่ผสมเถ้าลอย ที่มีค่าการยุบตัว 5 - 8 ซม.	69

ตาราง หน้า

5.2 กำลังอัดเปรียบเทียบของคอนกรีตผสมเถ้าลอยกับคอนกรีตควบคุม 72

5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยใช้งานกับอัตราส่วน W/(C+P) 101

ข-1 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมของมวลรวมหยาบ (ASTM C127) 120

ข-2 ความถ่วงจำเพาะและร้อยละการดูดซึมของมวลรวมละเอียด (ASTM C127) 121

ข-3 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ (ASTM C188) 122

ข-4 ความถ่วงจำเพาะของเถ้าลอย (ASTM C188) 122

ข-5 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบอบแห้งและกระทุ้งแน่น (ASTM C29) 123

ข-6 หน่วยน้ำหนักของมวลรวมละเอียดอบแห้งและกระทุ้งแน่น (ASTM C29) 124

ข-7 สัดส่วนขนาดคละของมวลรวมหยาบ (ASTM C136) 125

ข-8 สัดส่วนขนาดคละและโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียด (ASTM C136) 125

ข-9 ตาราง ข-9 การสอบเทียบเครื่องแอร์เพอร์มีอะบิลิตี 126

ข-10 ค่าความละเอียดของปูนซีเมนต์และเถ้าลอยเมื่อทดสอบโดยเครื่องแอร์เพอร์มีอะบิลิตี แบบเบลน 127

ค-1 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยร้อยละ 0 129

ค-2 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 15 130

ค-3 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 25 131

ค-4 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 35 132

ค-5 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 15 133

ค-6 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25 134

ค-7 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.35 แทนที่ด้วย เถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 35 135

ค-8 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วย เถ้าลอยร้อยละ 0 136

ตาราง หน้า

ค-9 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 15 137
ค-10 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 25 138
ค-11 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 35 139
ค-12 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 15 140
ค-13 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25 141
ค-14 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.38 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 35 142
ค-15 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0 143
ค-16 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 15 144
ค-17 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 25 145
ค-18 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 35 146
ค-19 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 15 147
ค-20 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25 148
ค-21 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.41 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 35 149
ค-22 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอยร้อยละ 0 150

ตาราง	หน้า
ค-23 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 15	151
ค-24 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอย แบบไม่คัดแยกร้อยละ 25	152
ค-25 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกร้อยละ 35	153
ค-26 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 15	154
ค-27 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25	155
ค-28 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.44 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 35	156
ง-1 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัย	158
ง-2 ผลการทดสอบความหนาแน่นของคอนกรีต	162
จ-1 ระดับความเชื่อมั่นในช่วง $f_m \pm ks$ และ ความน่าจะเป็นของค่าที่ต่ำกว่า $f_m - ks$	176
จ-2 สัมประสิทธิ์แก้ไขค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานโดย ACI 318-83	178
ฉ-1 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.26 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25	182
ฉ-2 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.29 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25	183
ฉ-3 ส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอย อัตราส่วน W/(C+P) = 0.32 แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกร้อยละ 25	184
ฉ-4 ผลการทดสอบกำลังอัดประลัย	185

สารบาญภาพ

รูป		หน้า
2.1	แสดงส่วนประกอบของเครื่องแอร์เพอร์มีอะบิลิตีแบบเบลนซึ่งใช้ทดสอบหาความละเอียดของเถ้าลอยและปูนซีเมนต์	27
2.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบสัดส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยตามมาตรฐานคอนกรีตอเมริกา (ACI 211.4R-93)	38
3.1	การคัดแยกขนาดเถ้าลอยด้วยเครื่องคัดแยกขนาด Air Classifier ที่โรงไฟฟ้าแม่เมาะ	40
3.2	แผนภาพแสดงขั้นตอนการศึกษาการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยโดยประยุกต์ใช้วิธีการตามมาตรฐานเอซีไอ สำหรับเถ้าลอยแม่เมาะแบบคัดแยกและไม่คัดแยกขนาด	44
3.3	แบบหล่อที่ทาน้ำมันแล้วประกอบแน่นพร้อมใช้งาน	48
3.4	การผสมคอนกรีตด้วยเครื่องผสมแบบโม่นอน	49
3.5	การวัดค่ายุบตัวของคอนกรีตสด	50
3.6	คอนกรีตสดที่เทลงแบบเรียบร้อยแล้ว และทำการป้องการระเหยของน้ำที่ผิวหน้า	51
3.7	ก้อนคอนกรีตที่ทำการเคลือบหัวทั้งสองด้านด้วยกำมะถันก่อนที่จะนำไปทดสอบกำลังอัด	51
4.1	อนุภาคของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตราช้าง กำลังขยาย 1000 เท่า	53
4.2	อนุภาคของเถ้าลอยแม่เมาะแบบไม่คัดแยกขนาด กำลังขยาย 500 เท่า	54
4.3	อนุภาคของเถ้าลอยแม่เมาะแบบคัดแยกขนาด กำลังขยาย 1000 เท่า	54
4.4ก	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.35	62
4.4ข	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.35	62
4.5ก	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.38	63
4.5ข	ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.38	63

รูป	หน้า

4.6ก ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.41 64
4.6ข ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.41 64
4.7ก ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.44 65
4.7ข ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดกับอายุของคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาด สำหรับW/(C+P) = 0.44 65
4.8 ความสัมพันธ์ของความหนาแน่นเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเถ้าลอย 68
5.1 กำลังอัดของคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าลอย ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 73
5.2 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดโดยการแทนที่ร้อย 15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 73
5.3 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดโดยการแทนที่ร้อย 25 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 74
5.4 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดโดยการแทนที่ร้อย 35 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 74
5.5 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดโดยการแทนที่ร้อย 15 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 75
5.6 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดโดยการแทนที่ร้อย 25 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 75
5.7 กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดโดยการแทนที่ร้อย 35 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานต่างๆ เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 76
5.8ก กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 76
5.8ข กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 77
5.8ค กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 15 เทียบกับ คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 77

รูป หน้า

5.8ง กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 25 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 78
5.8จ กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 35 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.35 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 78
5.9ก กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.38 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 79
5.9ข กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.38 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 79
5.9ค กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 15 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.38 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 80
5.9ง กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 25 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.38 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 80
5.9จ กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 35 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.38 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 81
5.10ก กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.41 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 81
5.10ข กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.41 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 82
5.10ค กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 15 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.41 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 82
5.10ง กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 25 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.41 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 83
5.10จ กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 35 เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.41 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 83
5.11ก กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.44 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 84
5.11ข กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดในปริมาณต่างๆ เทียบกับ
คอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.44 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 84

รูป	หน้า

5.11ค กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 15 เทียบกับคอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.44 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 85
5.11ง กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 25 เทียบกับคอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.44 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 85
5.11จ กำลังอัดของคอนกรีตที่แทนที่ด้วยเถ้าลอยแบบต่างๆ ในปริมาณร้อยละ 35 เทียบกับคอนกรีตควบคุม ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุเชื่อมประสานเท่ากับ 0.44 เมื่อมีอายุ 1- 56 วัน 86
5.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตควบคุม 89
5.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดร้อยละ 15 90
5.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดร้อยละ 25 91
5.15 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบไม่คัดแยกขนาดร้อยละ 35 92
5.16 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดร้อยละ 15 93
5.17 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดร้อยละ 25 94
5.18 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) สำหรับคอนกรีตผสมเถ้าลอยแบบคัดแยกขนาดร้อยละ 35 95
5.19 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 1 วัน 96
5.20 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 7 วัน 96
5.21 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 28 วัน 97
5.22 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยกับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 56 วัน 97
5.23 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 1 วัน 99
5.24 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 7 วัน 99
5.25 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 28 วัน 100

รูป **หน้า**

5.26 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังอัดประลัยที่ระดับความเชื่อมั่นร้อยละ 95 กับอัตราส่วน W/(C+P) ที่อายุ 56 วัน 100
6.1 แผนภาพแสดงขั้นตอนการออกแบบส่วนผสมสำหรับคอนกรีตกำลังสูงผสมเถ้าลอยแม่เมาะ 105
ก-1 ตัวอย่างตารางการคำนวณส่วนผสมคอนกรีตผสมเถ้าลอย 115
จ-1 เส้นโค้งปกติแสดงขอบเขตช่วงความเชื่อมั่น 176
จ-2 ค่าขอบเขตบนของค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานของข้อมูลการทดสอบกำลังอัด 178
จ-3 ความสัมพันธ์ระหว่างสัมประสิทธิ์แก้ไขค่าความเบี่ยงเบนมาตรฐานกับจำนวนก้อนตัวอย่าง 179

มหาวิทยาลัยเชียงใหม่ Chiang Mai University