

สารบัญ

| | หน้า |
|--|------|
| กิตติกรรมประกาศ | ค |
| บทคัดย่อภาษาไทย | ง |
| บทคัดย่อภาษาอังกฤษ | ฉ |
| สารบัญตาราง | ญ |
| สารบัญภาพ | ถ |
| บทที่ 1 บทนำ | 1 |
| 1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา | 1 |
| 1.2 สรุปสาระสำคัญจากเอกสารที่เกี่ยวข้อง | 2 |
| 1.2.1 ลักษณะการทำปฏิกิริยาของสารลดน้ำอย่างแรงที่มีต่อปูนซีเมนต์ | 2 |
| 1.2.2 ปัจจัยที่มีผลต่อความเข้ากันได้ระหว่างปูนซีเมนต์กับสารลดน้ำอย่างแรง | 4 |
| 1.2.3 ผลกระทบจากการใช้สารลดน้ำอย่างแรง | 5 |
| 1.2.4 การประยุกต์ใช้สารลดน้ำอย่างแรง | 6 |
| 1.3 วัตถุประสงค์ของการศึกษา | 6 |
| 1.4 ขอบเขตการศึกษาวิจัย | 7 |
| 1.5 ประโยชน์ที่ได้รับจากการศึกษาเชิงทฤษฎีและเชิงประยุกต์ | 7 |
| บทที่ 2 ทฤษฎีพื้นฐาน | 8 |
| 2.1 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง | 8 |
| 2.1.1 สารประกอบในปูนซีเมนต์ | 8 |
| 2.1.2 ปฏิกิริยาไฮเดรชันของสารประกอบหลัก | 10 |
| 2.1.3 การก่อตัวและการแข็งตัวของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่ง | 12 |
| 2.2 สารลดน้ำอย่างแรง | 18 |
| 2.2.1 ชนิดของสารลดน้ำอย่างแรง | 18 |
| 2.2.2 ผลของสารลดน้ำอย่างแรงที่มีต่อปฏิกิริยาไฮเดรชันของปูนซีเมนต์ | 20 |
| บทที่ 3 วิธีการวิจัย | 29 |
| 3.1 วิธีการทดสอบโดยใช้โคน | 29 |

| | | |
|-----------------|--|-----|
| 3.1.1 | วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 29 |
| 3.1.2 | ขั้นตอนในการทดลอง | 30 |
| 3.2 | วิธีการทดสอบมินิสลัมพ์ | 36 |
| 3.2.1 | วัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดลอง | 36 |
| 3.2.2 | ขั้นตอนในการทดลอง | 36 |
| บทที่ 4 | ผลการวิจัย | 42 |
| 4.1 | ผลการทดสอบความเข้ากันได้ | 42 |
| 4.2 | ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมในการทดสอบ | 43 |
| 4.3 | คุณสมบัติของวัสดุ | 45 |
| 4.4 | ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่ผิดปกติ | 46 |
| 4.5 | ผลการทดสอบและกราฟซึ่งเป็นผลเฉลี่ยจากวิธีวัดความหนืด โดยใช้เวลาในการไหลจากโคน | 48 |
| 4.6 | ผลการทดสอบและกราฟซึ่งเป็นผลเฉลี่ยจากวิธีมินิสลัมพ์ | 63 |
| บทที่ 5 | วิเคราะห์และวิจารณ์ผล | 78 |
| 5.1 | ความเข้ากันได้ | 78 |
| 5.1.1 | พิจารณาตามยี่ห้อยของสารลดน้ำอย่างแรง | 78 |
| 5.1.2 | พิจารณาตามยี่ห้อยของปูนซีเมนต์ | 83 |
| 5.2 | การแก้ปัญหาการสูญเสียความสามารถในการเทได้ | 85 |
| 5.2.1 | เติมสารยึดเวลาการก่อตัว | 85 |
| 5.2.2 | ขั้นตอนในการใส่สารลดน้ำอย่างแรง | 86 |
| บทที่ 6 | สรุปผลงานวิจัยและข้อเสนอแนะ | 87 |
| 6.1 | สรุปผลงานวิจัย | 87 |
| 6.2 | ข้อเสนอในการนำผลจากการวิจัยไปใช้ในการผสมคอนกรีต | 88 |
| 6.3 | ข้อสังเกตในการปฏิบัติการทดลอง | 89 |
| บรรณานุกรม | | 90 |
| ภาคผนวก | | 94 |
| ภาคผนวก ก. | ข้อมูลการทดสอบคุณสมบัติวัสดุ | 95 |
| ภาคผนวก ข. | รายการคำนวณส่วนผสมในการทดสอบ | 103 |
| ภาคผนวก ค. | ผลการทดสอบและกราฟ | 134 |
| ประวัติผู้เขียน | | 195 |

สารบัญตาราง

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| 2.1 ส่วนประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่หนึ่งทั้ง 5 ยี่ห้อ | 17 |
| 2.2 ข้อมูลของสารลดน้ำอย่างแรงทั้ง 3 ยี่ห้อ | 28 |
| 4.1 ปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงที่เหมาะสมสำหรับปูนซีเมนต์และสารลดน้ำอย่างแรงแต่ละยี่ห้อ | 43 |
| 4.2 ปริมาณน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมที่ใช้ในการทดสอบ | 45 |
| 4.3 คุณสมบัติของปูนซีเมนต์ที่ทดสอบได้ | 45 |
| 4.4 คุณสมบัติของสารลดน้ำอย่างแรงที่ทดสอบได้ | 46 |
| 4.5 ลักษณะการเกิดปฏิกิริยาที่ผิดปกติที่สังเกตได้ | 47 |
| 4.6 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 48 |
| 4.7 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 49 |
| 4.8 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบีว 1000 | 50 |
| 4.9 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 51 |
| 4.10 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 52 |
| 4.11 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบีว 1000 | 53 |
| 4.12 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 54 |
| 4.13 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 55 |
| 4.14 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบีว 1000 | 56 |
| 4.15 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 57 |
| 4.16 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 58 |
| 4.17 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบีว 1000 | 59 |
| 4.18 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราฟิไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 60 |

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| 4.19 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง คาราเซ็ม 100 | 61 |
| 4.20 เกลี่ยผลการทดสอบระหว่างปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง เรโอบีว 1000 | 62 |
| 4.21 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 63 |
| 4.22 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนท์เอฟเอฟ | 64 |
| 4.23 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 65 |
| 4.24 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนท์เอฟเอฟ | 66 |
| 4.25 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 67 |
| 4.26 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 68 |
| 4.27 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนท์เอฟเอฟ | 69 |
| 4.28 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 70 |
| 4.29 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 71 |
| 4.30 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้า เมนท์เอฟเอฟ | 72 |
| 4.31 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 73 |
| 4.32 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 74 |
| 4.33 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้า เมนท์เอฟเอฟ | 75 |
| 4.34 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 76 |
| 4.35 ผลวิธีมินิสลัมพีระหว่างปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 77 |
| ก-1 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ตราช้าง | 95 |
| ก-2 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ตราภูเขา | 95 |
| ก-3 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ตราเพชร | 96 |
| ก-4 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียว | 96 |
| ก-5 ความถ่วงจำเพาะของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดง | 97 |
| ก-6 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ตราช้าง | 97 |
| ก-7 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ตราภูเขา | 98 |
| ก-8 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ตราเพชร | 98 |

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| ก-9 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียว | 99 |
| ก-10 ความละเอียดของปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดง | 99 |
| ก-11 ความถ่วงจำเพาะของสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 100 |
| ก-12 ความถ่วงจำเพาะของสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 100 |
| ก-13 ความถ่วงจำเพาะของสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 | 101 |
| ก-14 ความถ่วงจำเพาะของสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ | 101 |
| ก-15 ความถ่วงจำเพาะของสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 102 |
| ก-16 ความถ่วงจำเพาะของสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 | 102 |
| ข-1 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 104 |
| ข-2 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 105 |
| ข-3 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 106 |
| ข-4 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 107 |
| ข-5 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 108 |
| ข-6 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 109 |
| ข-7 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 110 |
| ข-8 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 111 |
| ข-9 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 112 |
| ข-10 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรง ซิก้าเมนต์เอฟเอฟวิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 113 |

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| ข-11 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเชื่อมกับสารลดน้ำอย่างแรง ดาราเข็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 114 |
| ข-12 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเชื่อมกับสารลดน้ำอย่างแรง เรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน | 115 |
| ข-13 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง ซีก้าเมนต์เอฟเอฟวิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจาก โคน | 116 |
| ข-14 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง ดาราเข็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจาก โคน | 117 |
| ข-15 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง เรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจาก โคน | 118 |
| ข-16 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ | 119 |
| ข-17 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงดาราเข็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ | 120 |
| ข-18 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ | 121 |
| ข-19 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ | 122 |
| ข-20 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงดาราเข็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ | 123 |
| ข-21 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ | 124 |
| ข-22 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ | 125 |
| ข-23 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงดาราเข็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ | 126 |
| ข-24 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ | 127 |

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| ข-25 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรง ซีก้าเมนต์เอฟเอฟวิธีมินิสลัมพ์ | 128 |
| ข-26 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรง คาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ | 129 |
| ข-27 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรง เรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ | 130 |
| ข-28 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง ซีก้าเมนต์เอฟเอฟวิธีมินิสลัมพ์ | 131 |
| ข-29 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง คาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ | 132 |
| ข-30 ส่วนผสมซีเมนต์พิเศษของปูนซีเมนต์ตราที่พีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรง เรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ | 133 |
| ค-1 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 135 |
| ค-2 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 135 |
| ค-3 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 137 |
| ค-4 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 137 |
| ค-5 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 139 |
| ค-6 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 139 |
| ค-7 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 141 |
| ค-8 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 141 |

| ตาราง | หน้า |
|--|------|
| ก-23 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 157 |
| ก-24 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 157 |
| ก-25 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 159 |
| ก-26 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 159 |
| ก-27 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 161 |
| ก-28 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 161 |
| ก-29 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 1 | 163 |
| ก-30 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีวัดความหนืดจากเวลาในการไหลออกจากโคน ครั้งที่ 2 | 163 |
| ก-31 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 165 |
| ก-32 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 165 |
| ก-33 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 167 |
| ก-34 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 167 |
| ก-35 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 169 |
| ก-36 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 169 |

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| ก-37 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 171 |
| ก-38 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 171 |
| ก-39 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 173 |
| ก-40 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 173 |
| ก-41 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 175 |
| ก-42 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 175 |
| ก-43 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 177 |
| ก-44 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 177 |
| ก-45 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 179 |
| ก-46 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 179 |
| ก-47 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 181 |
| ก-48 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 181 |
| ก-49 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 183 |
| ก-50 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงซิก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 183 |

| ตาราง | หน้า |
|---|------|
| ค-51 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 185 |
| ค-52 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 185 |
| ค-53 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 187 |
| ค-54 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราพญานาคเกี่ยวกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 187 |
| ค-55 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 189 |
| ค-56 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 189 |
| ค-57 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 191 |
| ค-58 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 191 |
| ค-59 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 1 | 193 |
| ค-60 ผลการทดสอบปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบิว 1000 วิธีมินิสลัมพ์ ครั้งที่ 2 | 193 |

สารบัญภาพ

| รูป | หน้า |
|------|------|
| 2.1 | 9 |
| 2.2 | 13 |
| 2.3 | 14 |
| 2.4 | 15 |
| 2.5 | 15 |
| 2.6 | 16 |
| 2.7 | 16 |
| 2.8 | 17 |
| 2.9 | 20 |
| 2.10 | 22 |
| 2.11 | 24 |
| 2.12 | 24 |
| 2.13 | 25 |
| 2.14 | 26 |
| 2.15 | 27 |
| 3.1 | 31 |
| 3.2 | 32 |
| 3.3 | 33 |
| 3.4 | 35 |
| 3.5 | 35 |
| 3.6 | 37 |

| รูป | หน้า |
|---|------|
| 3.7 แสดงลักษณะกราฟของซีเมนต์เพสต์กับ สารลดน้ำอย่างแรงที่เข้ากันและไม่เข้ากัน | 38 |
| 3.8 กระบวนการทดสอบโดยวิธีมินิสลัมพ์ | 39 |
| 3.9 ภาพในการทดสอบวิธีมินิสลัมพ์ | 40 |
| 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างยี่ห้อของปูนซีเมนต์กับจุดอิมิตัวของสารลดน้ำอย่างแรง | 44 |
| 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบกับยี่ห้อของปูนซีเมนต์ | 44 |
| 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ | 48 |
| 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 49 |
| 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 50 |
| 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ | 51 |
| 4.7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 52 |
| 4.8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 53 |
| 4.9 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ | 54 |
| 4.10 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 55 |
| 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราเพชรกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 56 |
| 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ | 57 |
| 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 58 |
| 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ ตราพญานาคเขียวกับสารลดน้ำอย่างแรงเรโอบีว 1000 | 59 |

| รูป | หน้า |
|--|------|
| 4.29 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์กับเวลาที่ผ่านไปของปูนซีเมนต์ตราพญานาคเชื่อมกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบิว 1000 | 74 |
| 4.30 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์กับเวลาที่ผ่านไปของปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ | 75 |
| 4.31 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์กับเวลาที่ผ่านไปของปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 | 76 |
| 4.32 ความสัมพันธ์ระหว่างเส้นผ่านศูนย์กลางของซีเมนต์เพสต์กับเวลาที่ผ่านไปของปูนซีเมนต์ตราทีพีไอแดงกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบิว 1000 | 77 |
| 5.1 ความสัมพันธ์ระหว่างยี่ห้อปูนซีเมนต์กับจุดอิมตัวของสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ | 79 |
| 5.2 ความสัมพันธ์ระหว่างยี่ห้อปูนซีเมนต์กับจุดอิมตัวของสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบิว 1000 | 81 |
| 5.3 ความสัมพันธ์ระหว่างยี่ห้อของปูนซีเมนต์กับจุดอิมตัวของสารลดน้ำอย่างแรง | 82 |
| 5.4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณน้ำต่อซีเมนต์ที่ใช้ทดสอบกับยี่ห้อของปูนซีเมนต์ | 82 |
| ก-1 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ ครั้งที่ 1 | 136 |
| ก-2 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ ครั้งที่ 2 | 136 |
| ก-3 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 ครั้งที่ 1 | 138 |
| ก-4 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงคาราเซ็ม 100 ครั้งที่ 2 | 138 |
| ก-5 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบิว 1000 ครั้งที่ 1 | 140 |
| ก-6 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราช้างกับสารลดน้ำอย่างแรงเร โอบิว 1000 ครั้งที่ 2 | 140 |
| ก-7 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ ครั้งที่ 1 | 142 |
| ก-8 ความสัมพันธ์ระหว่างปริมาณสารลดน้ำอย่างแรงกับเวลาในการไหลของปูนซีเมนต์ตราภูเขากับสารลดน้ำอย่างแรงซีก้าเมนต์เอฟเอฟ ครั้งที่ 2 | 142 |

