

## สารบัญ

	หน้า
บทคัดย่อภาษาไทย	ข
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ	ค
กิตติกรรมประกาศ	ง
สารบัญ	จ
รายการตาราง	ช
รายการรูปประกอบ	ญ
<b>บทที่</b>	
<b>1. บทนำ</b>	<b>1</b>
1.1 ที่มาและความสำคัญของปัญหา	1
1.2 วัตถุประสงค์ของงานวิจัย	3
1.3 ขอบเขตของงานวิจัย	3
1.4 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ	3
<b>2. ทฤษฎีและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง</b>	<b>4</b>
2.1 องค์ประกอบหลักของปูนซีเมนต์	4
2.2 วัสดุปอซโซลาน	5
2.3 ปฏิกิริยาไฮเดรชันและปฏิกิริยาปอซโซลาน	6
2.4 นาโนซิลิกา (Nano-SiO <sub>2</sub> )	6
2.5 ปัจจัยที่มีผลต่อกำลังอัดของคอนกรีต	8
2.6 ผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง	9
<b>3. วิธีการทดสอบ</b>	<b>12</b>
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ	12
3.2 เครื่องมือและวัสดุอุปกรณ์ที่ใช้ในการทดสอบ	18
3.3 ตัวแปรและสัญลักษณ์ที่ใช้ในการวิจัย	22
3.4 วิธีการศึกษาหรือวิธีการทดสอบ	23

<b>4. ผลการทดสอบและการวิเคราะห์ผลการทดสอบ</b>	<b>27</b>
4.1 ผลการทดสอบกำลังอัดของคอนกรีต	27
4.2 ความคุ้มค่าทางด้านเศรษฐศาสตร์ในการใช้นาโนซิลิกา	34
<b>5. สรุปผลการทดลองและข้อเสนอแนะ</b>	<b>45</b>
5.1 สรุปผลการทดลอง	45
5.2 ข้อเสนอแนะ	46
<b>เอกสารอ้างอิง</b>	<b>47</b>
<b>ภาคผนวก</b>	
ก. ตารางแสดงผลการทดสอบค่ากำลังอัดของคอนกรีต	51
ข. ตารางแสดงอัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ	76
ค. รูปวัสดุอุปกรณ์และการดำเนินงาน	81
<b>ประวัติผู้วิจัย</b>	<b>86</b>

## รายการตาราง

ตาราง	หน้า
2.1 คุณสมบัติของสารประกอบหลักในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	4
2.2 คุณสมบัติทางกายภาพของอนุภาคนาโนซิลิกา (Nano-SiO <sub>2</sub> )	7
2.3 ระยะเวลาในการบ่มตามมาตรฐาน ACI	8
3.1 เปรียบเทียบคุณสมบัติทางกายภาพของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	13
3.2 คุณสมบัติทางเคมีของเถ้าลอยตามมาตรฐาน ว.ส.ท. 1014 และมาตรฐาน ASTM C618	16
3.3 องค์ประกอบคุณสมบัติทางกายภาพของ เถ้าลอยแม่เมาะ และอนุภาคนาโนซิลิกา	17
3.4 ศึกษาผลของปริมาณเถ้าลอยที่มีต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต	25
3.5 ศึกษาผลของปริมาณนาโนซิลิกาต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีต	25
3.6 ศึกษาผลของปริมาณนาโนซิลิกาต่อการพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง	26
4.1 ตารางเปรียบเทียบราคาวัสดุประสาน(Binder) และอัตราส่วนผสมในปริมาณและวัสดุที่ใช้ในแต่ละชนิดต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัม	35
4.2 ตารางเปรียบเทียบราคาของวัสดุประสานร่วมทุกชนิดในส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัมอายุการทดสอบที่ 1 วัน โดยเทียบกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	36
4.3 ตารางเปรียบเทียบราคาของวัสดุประสานร่วมทุกชนิดในส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัมอายุการทดสอบที่ 3 วัน โดยเทียบกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	37
4.4 ตารางเปรียบเทียบราคาของวัสดุประสานร่วมทุกชนิดในส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัมอายุการทดสอบที่ 7 วัน โดยเทียบกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	38
4.5 ตารางเปรียบเทียบราคาของวัสดุประสานร่วมทุกชนิดในส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัมอายุการทดสอบที่ 28 วัน โดยเทียบกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 1	39
4.6 ตารางเปรียบเทียบราคาของวัสดุประสานร่วมทุกชนิดในส่วนผสมที่ใช้ในการผสมคอนกรีตต่อซีเมนต์ 100 กิโลกรัมอายุการทดสอบที่ 1 วัน โดยเทียบกับปูนซีเมนต์ประเภทที่ 3	40



ก.12 ผลของปริมาณนาโนซิลิกาที่มีต่อกำลังอัดคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ที่อายุคอนกรีต 3 วัน	70
ก.13 ผลของปริมาณนาโนซิลิกาที่มีต่อกำลังอัดคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ที่อายุคอนกรีต 7 วัน	72
ก.14 ผลของปริมาณนาโนซิลิกาที่มีต่อกำลังอัดคอนกรีตที่ผสมเถ้าลอยในปริมาณสูง ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35 ที่อายุคอนกรีต 28 วัน	74
ข.1 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และประเภทที่ 3	77
ข.2 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ซีเมนต์ ด้วยเถ้าลอย ในอัตราส่วนร้อยละ 40 50 และ 60	78
ข.3 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ซีเมนต์ ด้วยนาโนซิลิกา ในอัตราส่วนร้อยละ 40 50 และ 60	79
ข.4 อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 แทนที่ซีเมนต์ ด้วยเถ้าลอยอัตราส่วนผสม ในอัตราส่วนร้อยละ 40 50 และ 60 และ โดยใช้นาโนซิลิกาในอัตราส่วนร้อยละ 4 7 และ 10	80

## รายการรูปประกอบ

รูป		หน้า
2.1	ภาพถ่ายขยายด้วย SEM นาโนซิลิกาที่กำลังขยาย x50,000 เท่า	8
3.1	ขนาดคละของมวลรวมหยาบ	14
3.2	ขนาดคละของมวลรวมละเอียด	15
3.3	ถ้ำลอยจาก อ.แม่เมาะ จ.ลำปาง	17
3.4	อนุภาคนาโนซิลิกา (Nano-SiO <sub>2</sub> )	18
3.5	เครื่องมือทดสอบกำลังคอนกรีต (Universal Testing Machine)	19
3.6	เครื่องวิเคราะห์ห้องค์ประกอบทางเคมี (X-Ray Fluorescence Spectroscopy)	19
3.7	เครื่องคิขนาดมวลรวม (Splitter)	20
3.8	แบบหล่อคอนกรีตทรงลูกบาศก์ ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. <sup>3</sup>	20
3.9	ชุดตะแกรงร่อนมาตรฐาน (Sieve Analysis)	21
3.10	ชุดทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump Test)	21
3.11	เครื่องผสมคอนกรีตแบบมอเตอร์ไฟฟ้า (Pan Mixing)	22
4.1	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ผสมถ้ำลอยในปริมาณที่ต่างกันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35	28
4.2	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ปูนซีเมนต์ผสมถ้ำลอยในปริมาณที่ต่างกันที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.55	28
4.3	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ผสมนาโนซิลิกาในอัตราส่วนร้อยละ 4 7 และ 10 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35	30
4.4	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ปริมาณนาโนซิลิการ่วมกับถ้ำลอยในปริมาณสูงที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35	31
4.5	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ปริมาณนาโนซิลิการ้อยละ 4 7 และ 10 ร่วมกับถ้ำลอยใน ปริมาณสูงร้อยละ 40 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35	31
4.6	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ปริมาณนาโนซิลิการ้อยละ 4 7 และ 10 ร่วมกับถ้ำลอยใน ปริมาณสูงร้อยละ 60 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.35	32

4.7	เปรียบเทียบค่ากำลังอัดคอนกรีตที่ใช้ปริมาณนาโนซิลิการ้อยละ 4 7 และ 10 ร่วมกับเส้นใยใน ปริมาณสูงร้อยละ 60 ที่อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน เท่ากับ 0.35	32
ค.1	การเตรียมแบบทรงลูกบาศก์ขนาด 15 x 15 x 15 ซม. <sup>3</sup>	82
ค.2	การผสมคอนกรีต	82
ค.3	การทดสอบค่าการยุบตัวของคอนกรีต	83
ค.4	การวัดค่าการยุบตัวของคอนกรีต	83
ค.5	การประกอบแบบหล่อคอนกรีต	84
ค.6	การทำความสะอาดและกำหนดสัญลักษณ์บนก้อนตัวอย่าง	84
ค.7	การกำหนดสัญลักษณ์บนก้อนตัวอย่าง	85
ค.8	การนำตัวอย่างออกจากแบบหล่อคอนกรีต	85