

5.3 คุณสมบัติของทางกลคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไส้แบบ

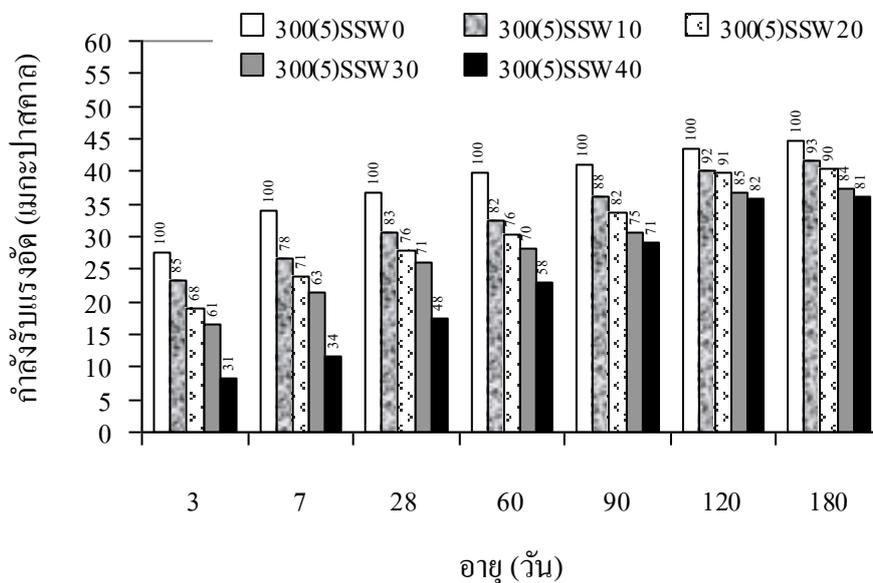
5.3.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW โดยกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.49 ถึง 5.51 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตที่ทุกๆ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นและทุกอายุมีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบมีค่าเพิ่มมากขึ้น กล่าวคือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 85, 68, 61 และ 31 ของคอนกรีตปกติเมื่อทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผงฟูนทรายไส้แบบมีความเฉื่อยในการทำปฏิกิริยา และอาจรวมถึงไม่สามารถจะทำปฏิกิริยาได้เนื่องจากปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามลำดับ เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจึงมาจากปูนซีเมนต์เป็นหลัก ในขณะที่เมื่ออายุของคอนกรีตภายใต้การบ่มในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไส้แบบมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตซึ่งมีร้อยละการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบเท่ากับร้อยละ 40 ที่อายุ 180 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 81 ของคอนกรีตปกติซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่าคอนกรีตที่อายุ 3 ถึงร้อยละ 50 อันแสดงให้เห็นว่าที่อายุมากขึ้นผงฟูนทรายไส้แบบได้ทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ที่ซึ่งสร้างกำลังเพิ่มเติมให้กับคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง นอกเหนือจากแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

จากภาพเดียวกันจะสังเกตว่าในช่วงต้นสามารถแบ่งสัดส่วนการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดออกเป็น 2 กลุ่มคือ การแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบเท่ากับร้อยละ 10, 20 และ 30 มีผลกระทบทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่คอนกรีตที่มีอัตราส่วนการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบเท่ากับร้อยละ 40 มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบสัดส่วนการแทนที่ในกลุ่มแรก และในช่วงหลังความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่มกลับมีค่าลดลงและใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

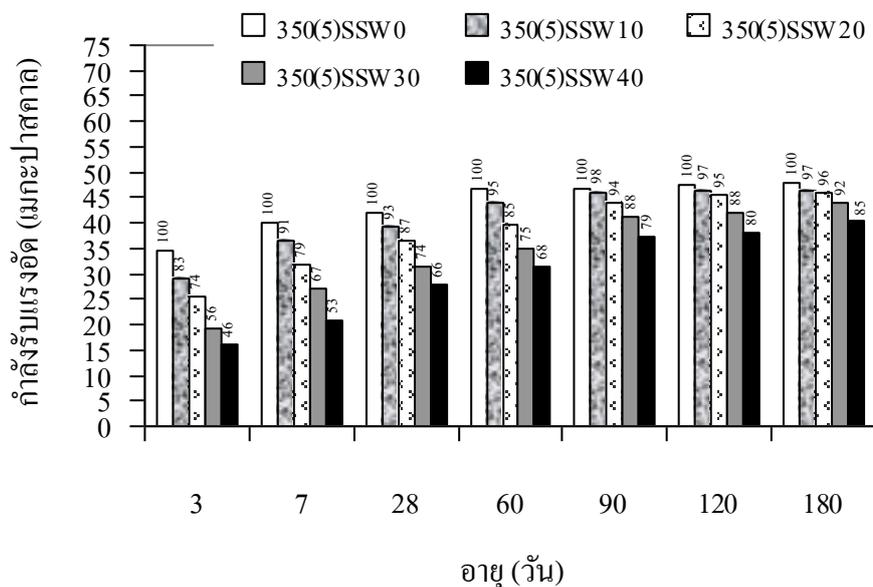
เมื่อพิจารณาค่ากำลังของคอนกรีตที่อายุ 28 วันซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสำหรับควบคุมคุณภาพของคอนกรีตผสมเสร็จ พบว่ากำลังรับแรงของคอนกรีตมีค่าเป็นร้อยละ 83, 76, 71 และ 48 ของ

คอนกรีตปกติหรือคิดเป็นกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 39.8, 30.5, 27.9, 25.9 และ 17.6 เมกะปาสกาล เมื่อการแทนที่ของผงฝุ่นทรายใส่แบบในปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ

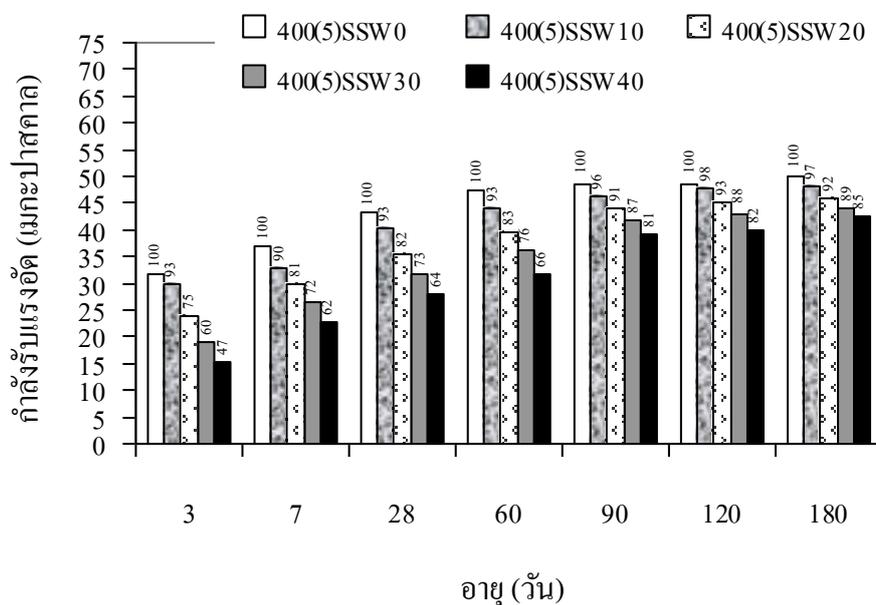


ภาพที่ 5.49 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

ในส่วนของกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็น 350 และ 400 กก./ม.³ พบว่ามีแนวโน้มของการพัฒนากำลังเช่นเดียวกับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ดังแสดงในภาพที่ 5.50 และ 5.51 ตามลำดับ โดยในช่วงแรกเมื่อการแทนที่ของผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW เพิ่มขึ้นมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามลำดับ ในขณะที่กำลังรับแรงอัดช่วงหลังของคอนกรีตมีพัฒนาการของปฏิกิริยาปอซโซลานิคอย่างต่อเนื่องทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติเล็กน้อย

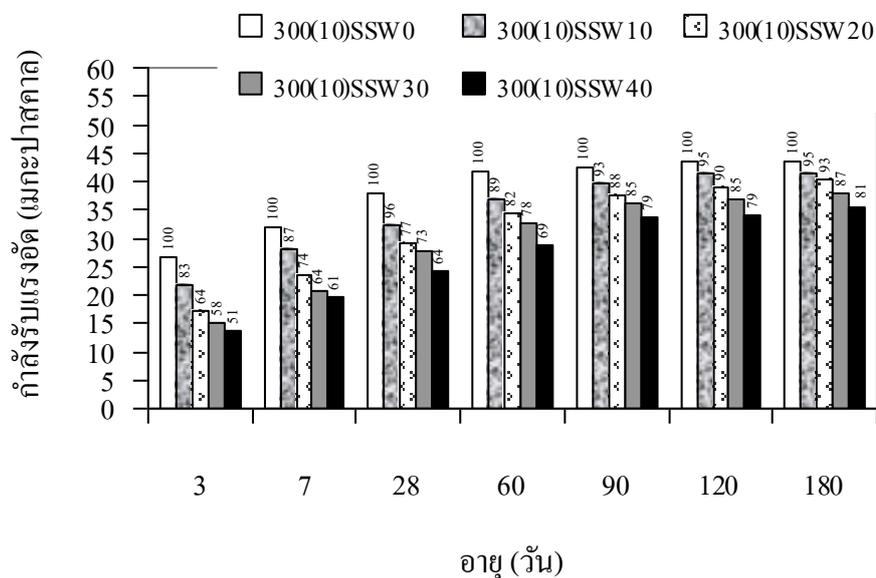


ภาพที่ 5.50 ค่าตั้งรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

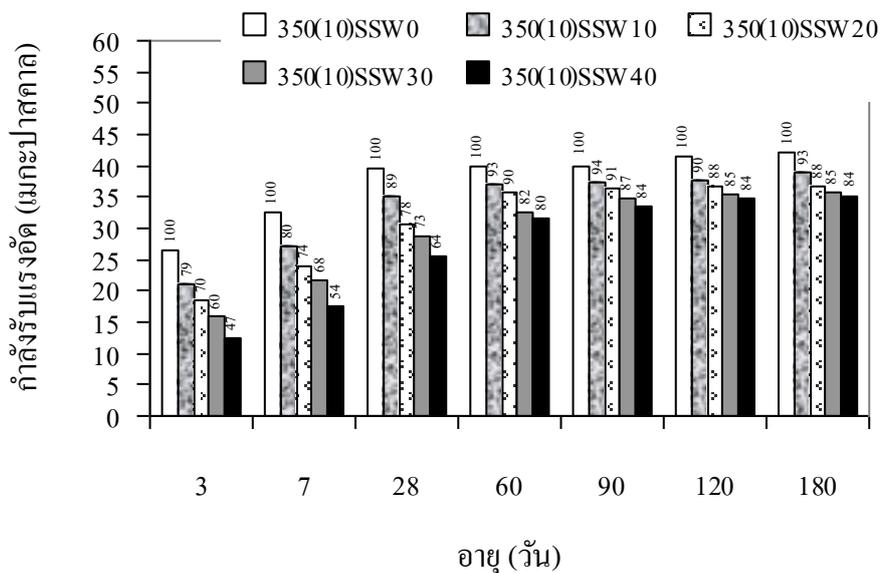


ภาพที่ 5.51 ค่าตั้งรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

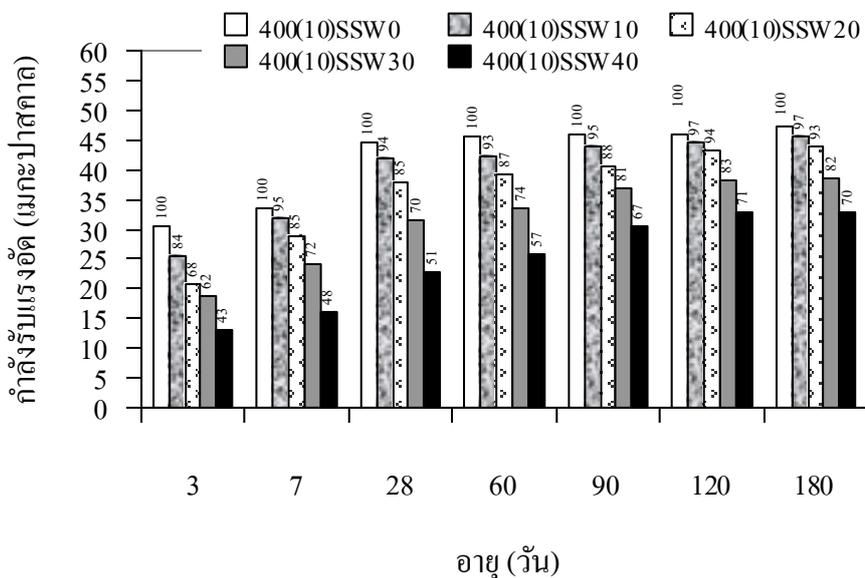
สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.52 ถึง 5.54 พบว่าคอนกรีตซึ่งมีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และมีส่วนผสมของผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ทุกอายุของการบ่มจนถึง 180 วัน น้อยกว่าคอนกรีตปกติ โดยกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นมีอัตราการลดลงมากเมื่อทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ช่วงหลังคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไส้แบบมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่แตกต่างกันของกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ ซึ่งมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ที่ผลิตกันท์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันและปอซโซลานิก



ภาพที่ 5.52 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

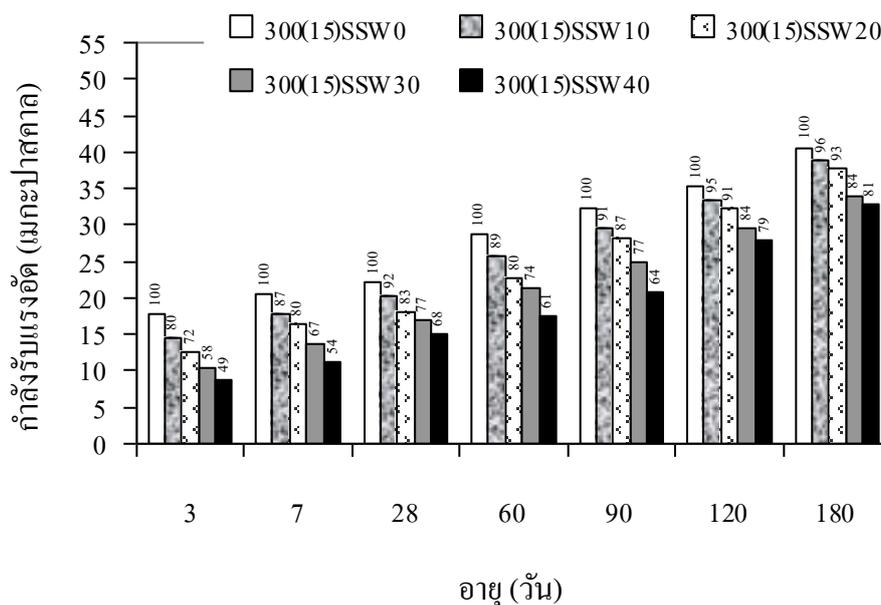


ภาพที่ 5.53 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยวบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



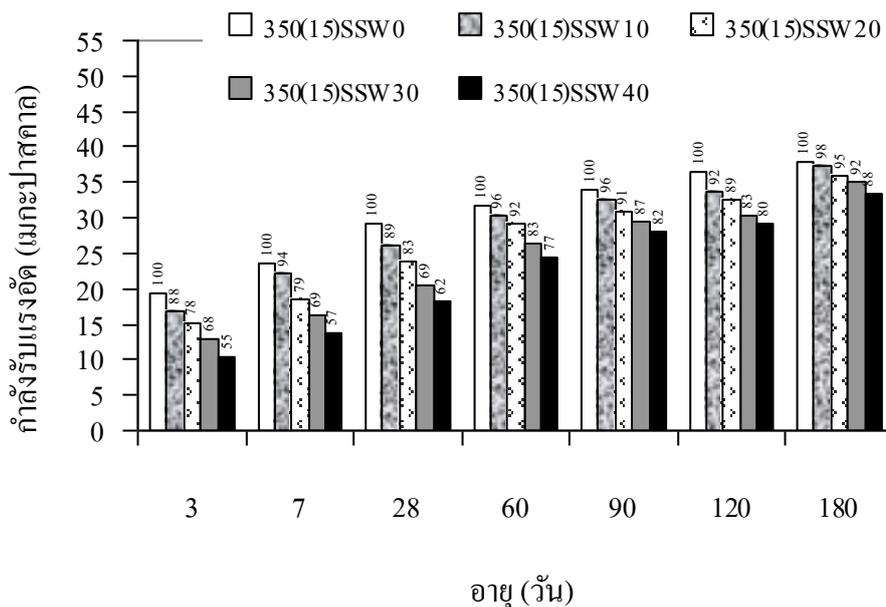
ภาพที่ 5.54 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยวบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

เช่นเดียวกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. พบว่าคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.55 ถึง 5.57 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายใส่แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มของการพัฒนากำลังที่เป็นไปในลักษณะเดียวกัน โดยมีอัตราในการพัฒนากำลังของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายใส่แบบในช่วงแรกมีค่าสูงและมีอัตราลดลงจนใกล้เคียงค่าคงที่เมื่ออายุคอนกรีตเพิ่มขึ้น

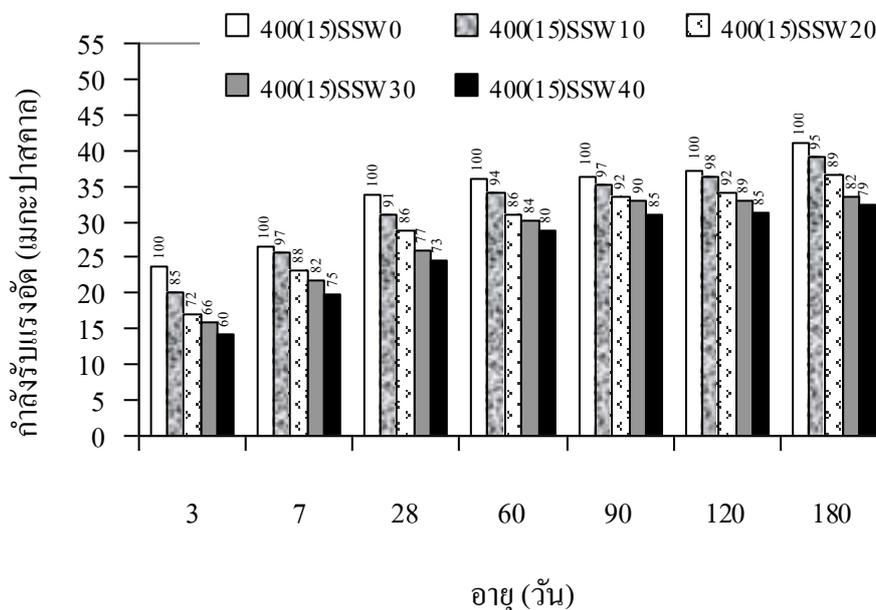


ภาพที่ 5.55 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.^3

ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



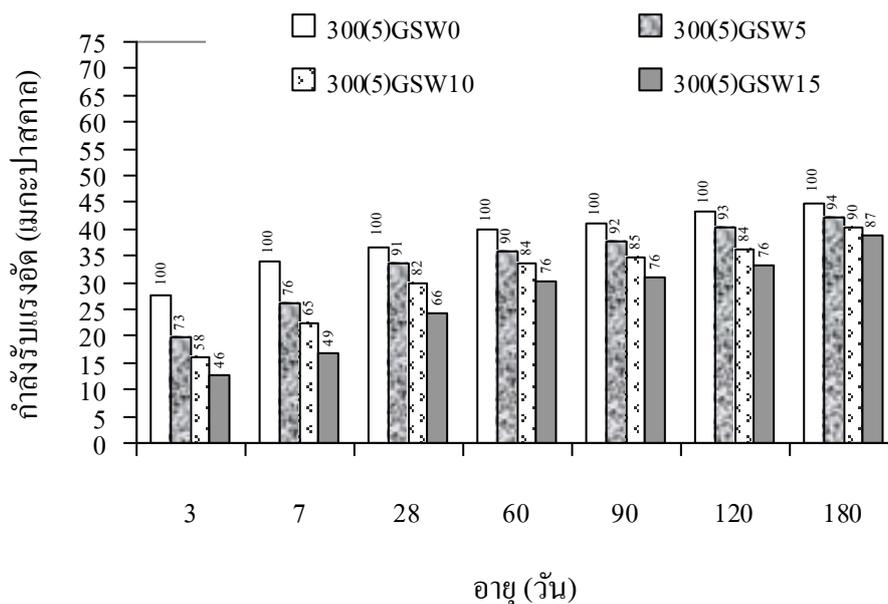
ภาพที่ 5.56 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



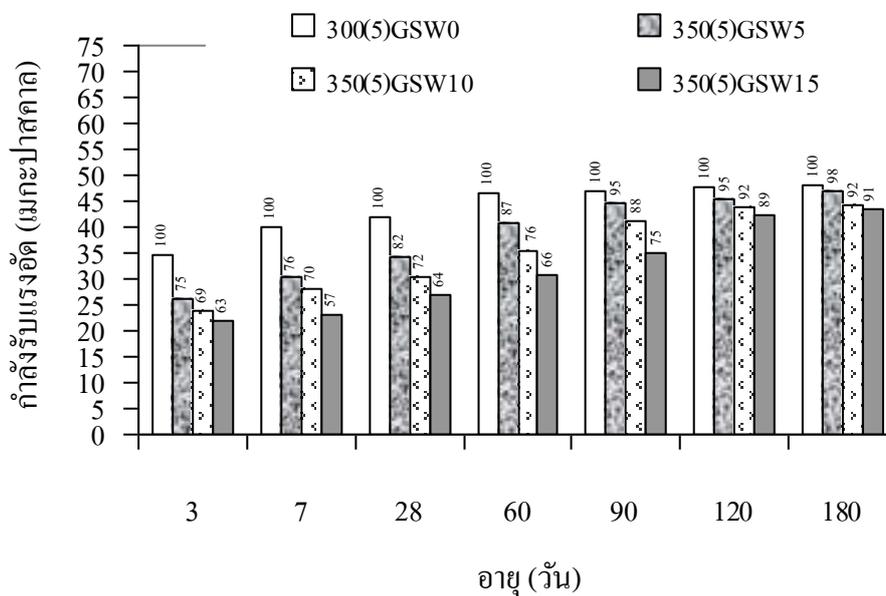
ภาพที่ 5.57 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0 (ทรายธรรมชาติ), 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก โดยคอนกรีตผสมเสร็จมีปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.58 ถึง 5.66 พบว่าภาพรวมผลของการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติและสัดส่วนของผงฟูนทรายใส่แบบในคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการลดลงของกำลังรับแรงอัดดังกล่าวมีความแตกต่างจากคอนกรีตปกติมากในช่วงแรก ในขณะที่ช่วงหลังมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติซึ่งมาจากปัจจัยที่แตกต่างกันของการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในหัวข้อดังกล่าวข้างต้นซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลงและอัตราการปฏิกิริยาปอซโซลานิกในช่วงต้นมีค่าต่ำ แต่ในกรณีนี้เมื่อพิจารณาที่ปริมาณน้ำ (ค่าการยุบตัว) และปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน โดยการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติเท่ากับเป็นการเพิ่มส่วนที่ละเอียดให้กับคอนกรีต ดังนั้นอนุภาคของผงฟูนทรายใส่แบบจึงคละกับอนุภาคปูนซีเมนต์มากขึ้นทำให้โดยรวมแล้วจึงไม่แตกต่างไปจากกรณีของการแทนที่ (Replacement) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่กลับเป็นการเพิ่ม (Adding) ส่งผลให้เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous) มากขึ้น เนื่องจากมีอนุภาคของผงฟูนทรายใส่แบบเป็นตัวกั้นขวางความต่อเนื่องในขณะที่ตกผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตดังกล่าว ในขณะที่เมื่อพิจารณาในส่วนของอนุภาคผงฟูนทรายใส่แบบที่สัมผัสกับเนื้อเพสต์จะมีการยึดแน่น (Bonding) ในช่วงทรานซิชัน (Interfacial Transition Zone) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมประเภทคาร์บอนेट ทั้งนี้เพราะผงฟูนทรายใส่แบบเป็นมวลรวมประเภทซิลิกา (Neville, A.M., pp. 118 - 119)

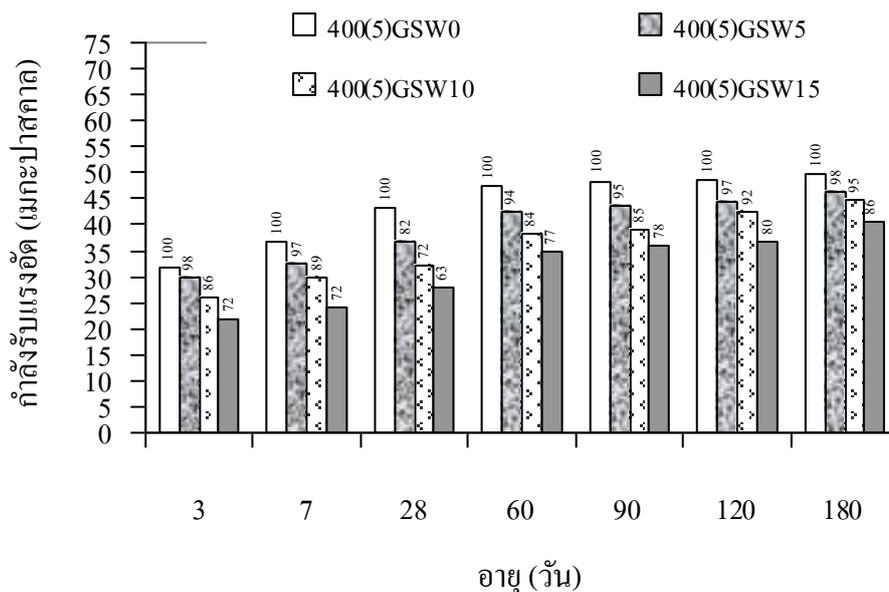
สำหรับการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับคอนกรีตที่ผสมผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW กล่าวคือมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น ยกตัวเช่นในกรณีของการแทนที่ของผงฟูนทรายใส่แบบสูงสุดเท่ากับร้อยละ 15 มีกำลังของคอนกรีตในอายุ 3 วัน เท่ากับร้อยละ 46 ของคอนกรีตปกติ ในขณะที่คอนกรีตที่อายุ 180 วัน มีค่าร้อยละ 87 ซึ่งแสดงว่าผงฟูนทรายใส่แบบมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกเพิ่มเติมทำให้ผลเสียของผงฟูนทรายใส่แบบที่กั้นขวางความต่อเนื่องของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต กลับกลายเป็นผลดีจากการทำให้ปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตไฮเดรต (Asgeirsson, H. and Gudmundsson, G., pp. 249 – 252)



ภาพที่ 5.58 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

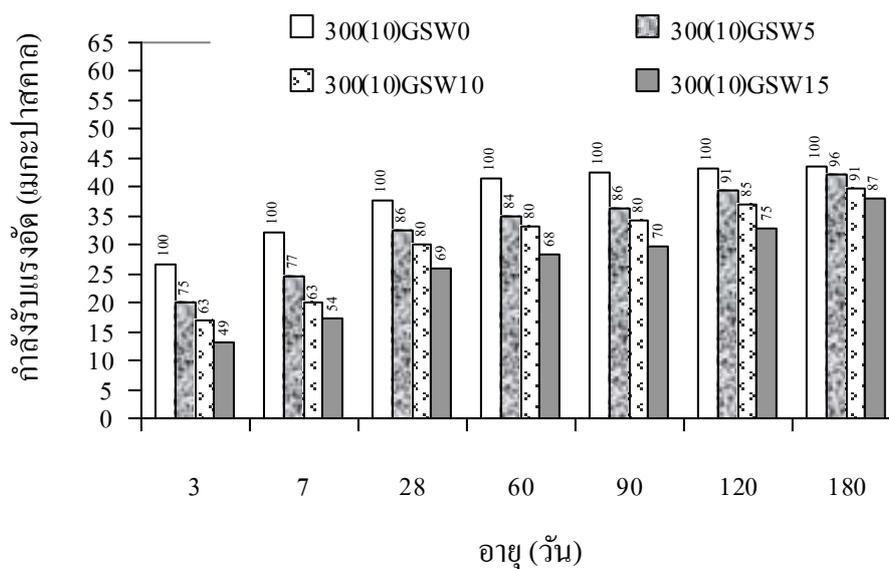


ภาพที่ 5.59 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

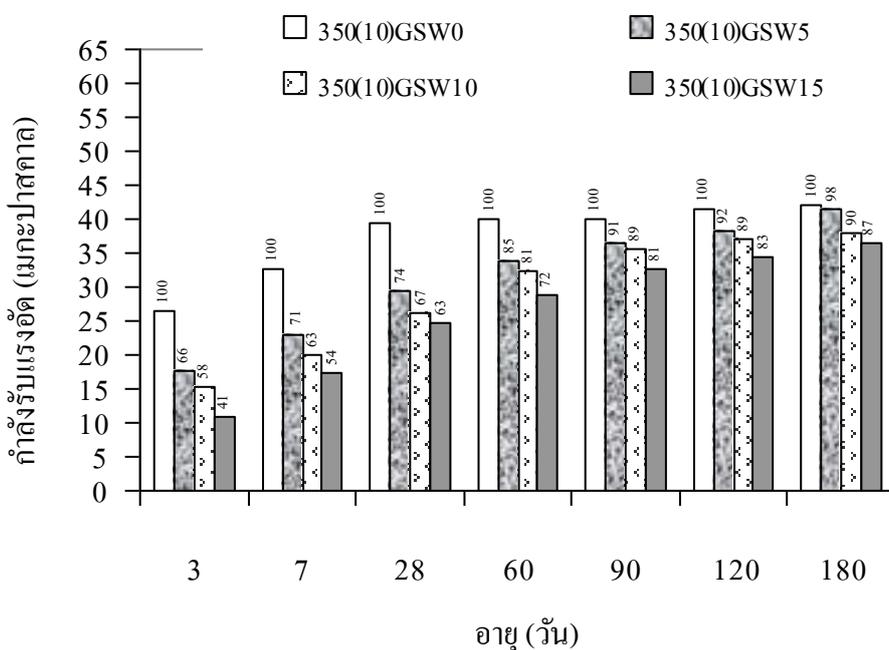


ภาพที่ 5.60 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

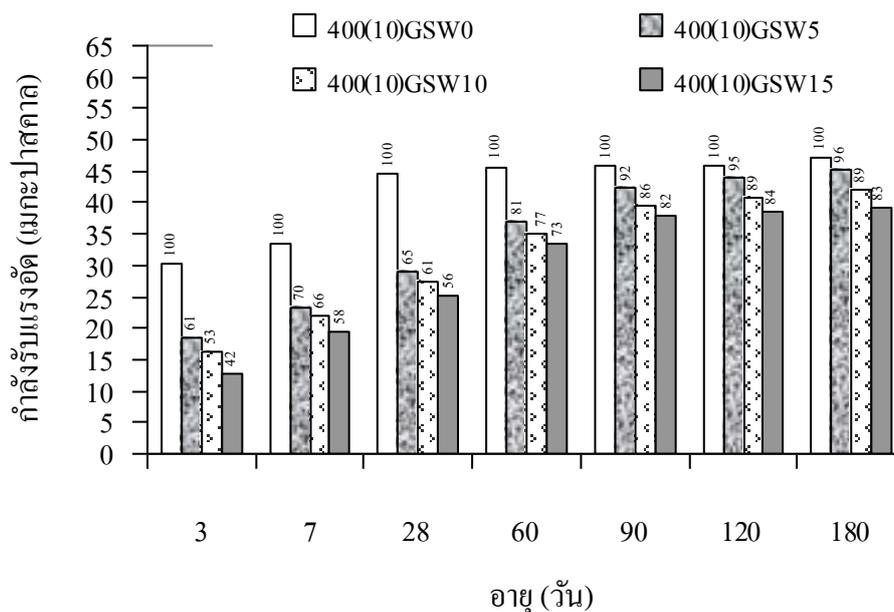
ในกรณีของคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.61 ถึง 5.66 ตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการแทนที่ของผงฟูนทรายในทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลงตามลำดับ และมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. ที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน การลดลงของกำลังรับแรงอัดเป็นผลดังอธิบายข้างต้น



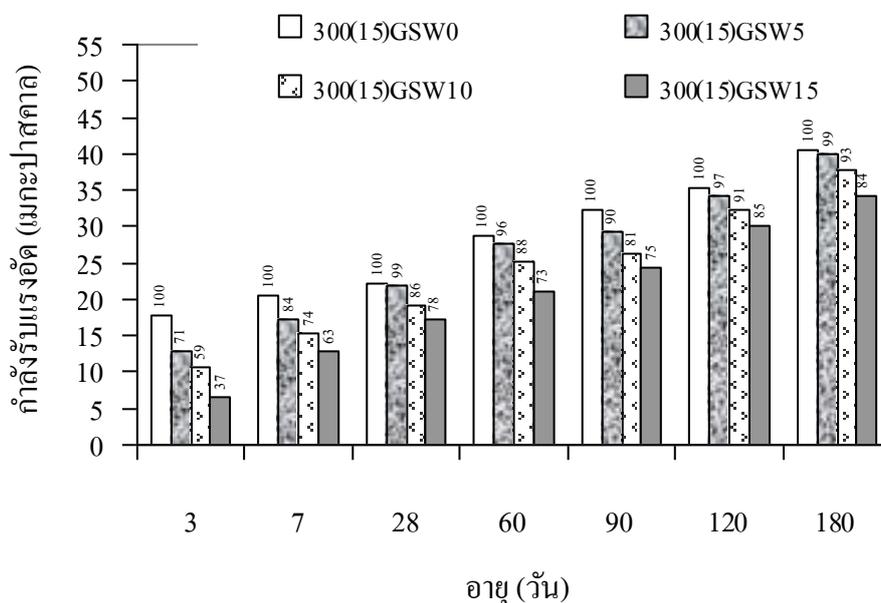
ภาพที่ 5.61 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



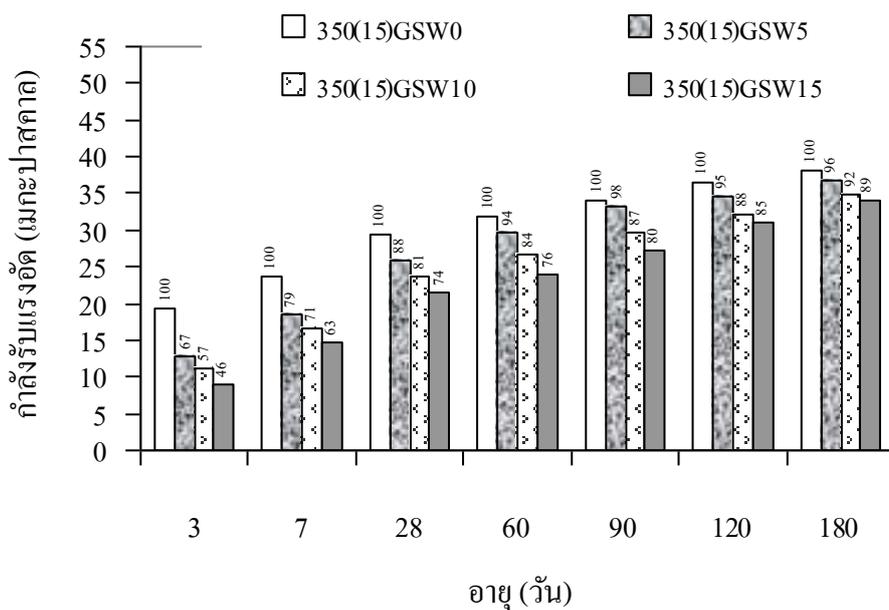
ภาพที่ 5.62 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



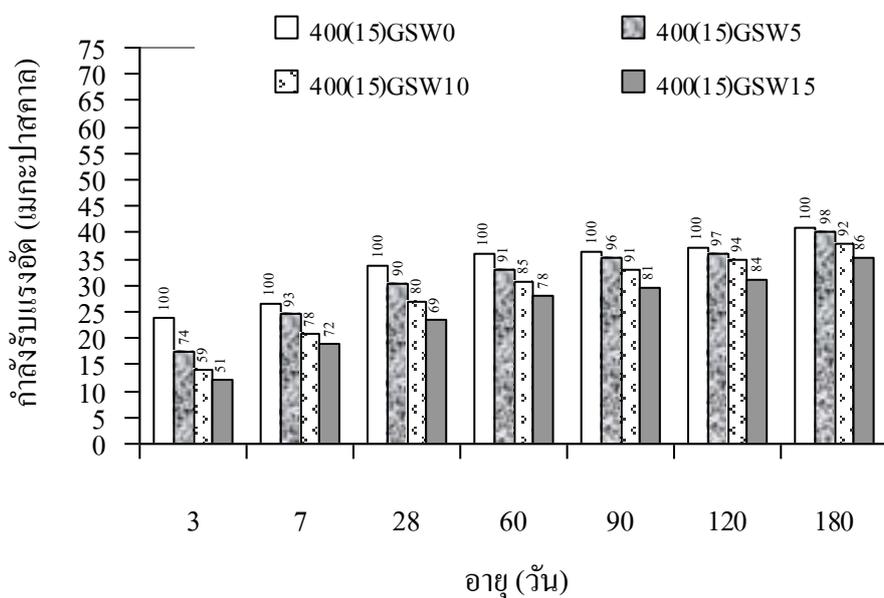
ภาพที่ 5.63 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.64 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.65 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.66 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก