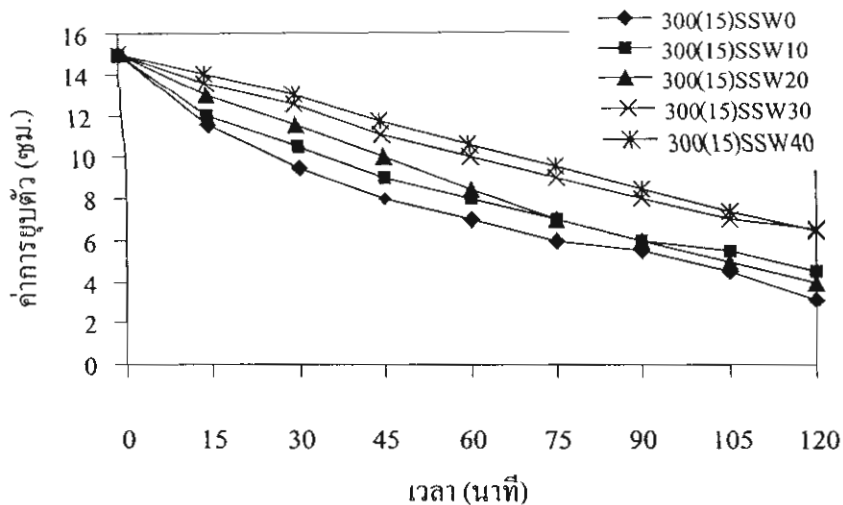
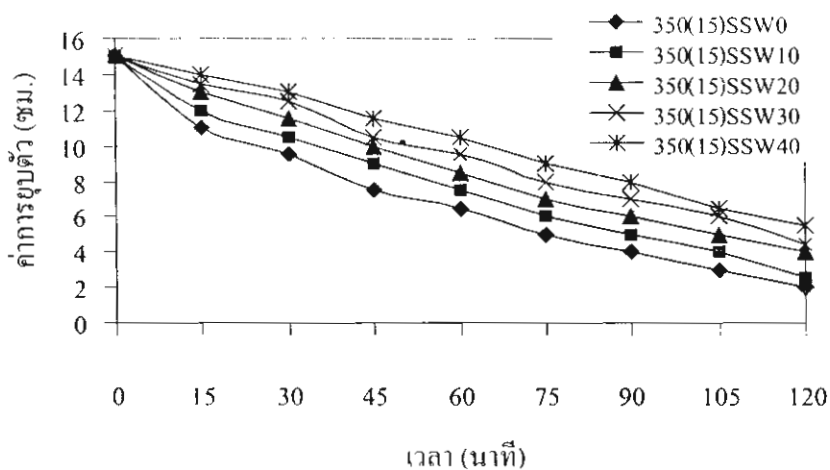


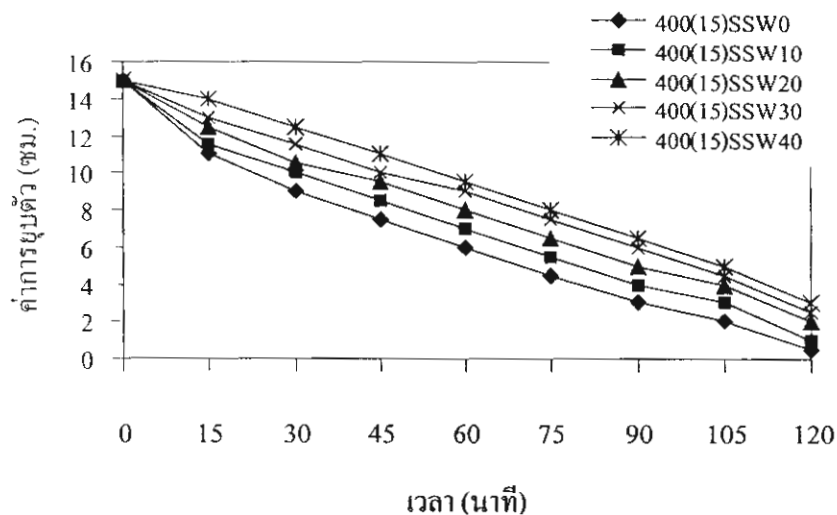
สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงผลการทดสอบการลดลงของค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ เมื่อเวลาผ่านไป ในภาพที่ 5.31 ถึง 5.33 ตามลำดับ พบว่าการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ทุกๆ ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาที่ ณ ระยะเวลาเดียวกัน เพิ่มขึ้น เนื่องจากการลดลงของปริมาณปูนซีเมนต์



ภาพที่ 5.31 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

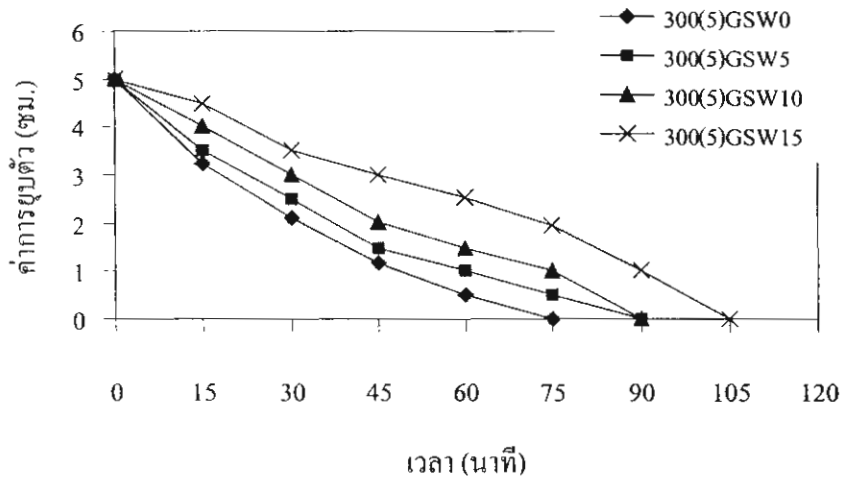


ภาพที่ 5.32 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

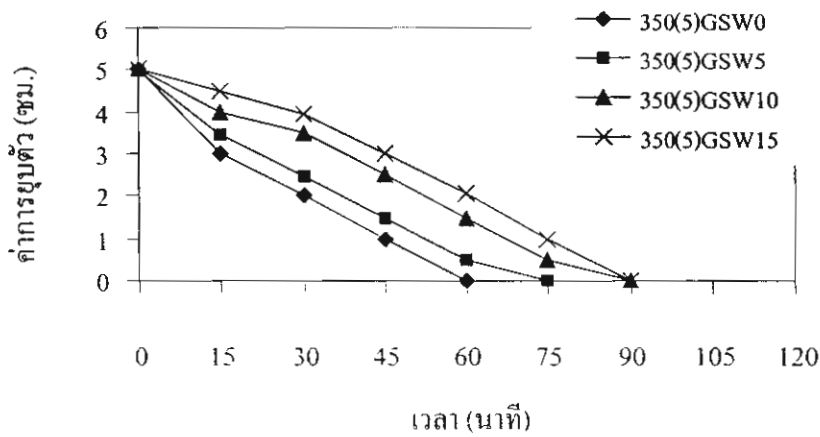


ภาพที่ 5.33 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

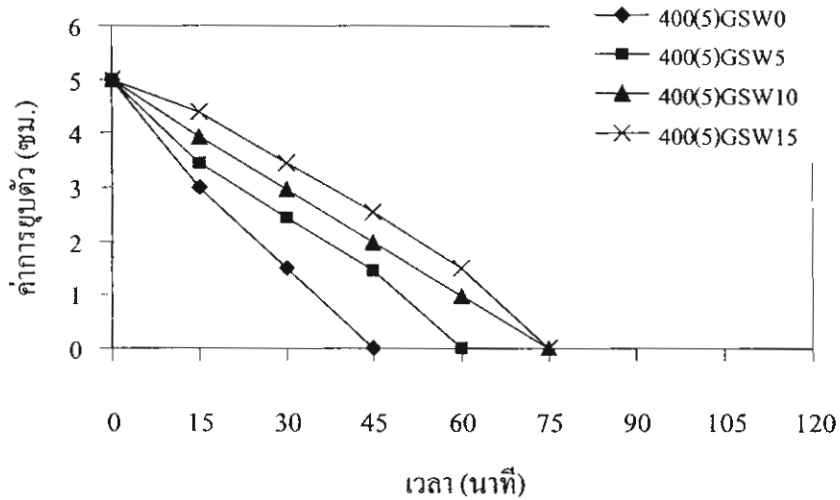
ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าการยุบตัวของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW และกำหนดค่ายุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. เมื่อเวลาผ่านไปแสดงในภาพที่ 5.34 ถึง 5.36 พบว่าคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีการสูญเสียค่าการยุบตัวที่เพิ่มขึ้นและมากกว่าคอนกรีตปกติ เมื่อร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้น โดยพิจารณาในกรณีของคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ คอนกรีตปกติมีเวลาที่ค่าการยุบตัวเท่ากับศูนย์เท่ากับ 75 นาที ในขณะที่คอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีค่าเพิ่มขึ้นเป็น 90 นาทีเมื่อร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบเท่ากับร้อยละ 5 และ 10 ตามลำดับ และเพิ่มขึ้นเป็น 105 นาที ที่การแทนที่ร้อยละ 15 ซึ่งในกรณีนี้มีเงื่อนไขต่างไปจากกรณีของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ที่ใช้การแทนที่ในปูนซีเมนต์ โดยกรณีที่ทำการแทนที่ในทรายจะพบว่า ด้วยอนุภาคของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ที่เล็กกว่าทรายธรรมชาติ ทำให้คอนกรีตต้องการน้ำเพิ่มขึ้นในการทำให้คอนกรีตสามารถทำงานได้หรือเกิดค่าการยุบตัวได้ ส่งผลให้ปริมาณน้ำโดยรวมของคอนกรีตเพิ่มขึ้น และจากคุณสมบัติของผงฝุ่นทรายไส้แบบกักเก็บน้ำได้บางส่วนทำให้การสูญเสียน้ำอิสระจากการระเหยลดลงตามไปด้วย ผลก็คือค่าการยุบตัวยังคงมีค่ามากกว่าคอนกรีตปกติที่เวลาเดียวกัน และเมื่อเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จะทำให้คอนกรีตมีการสูญเสียค่าการยุบตัวเร็วขึ้นเนื่องจากน้ำอิสระถูกใช้ในปฏิกิริยาไฮเดรชัน



ภาพที่ 5.34 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

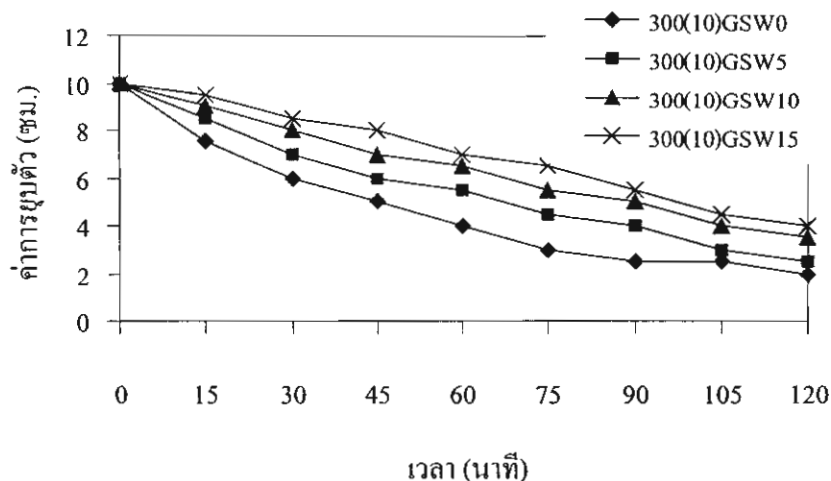


ภาพที่ 5.35 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

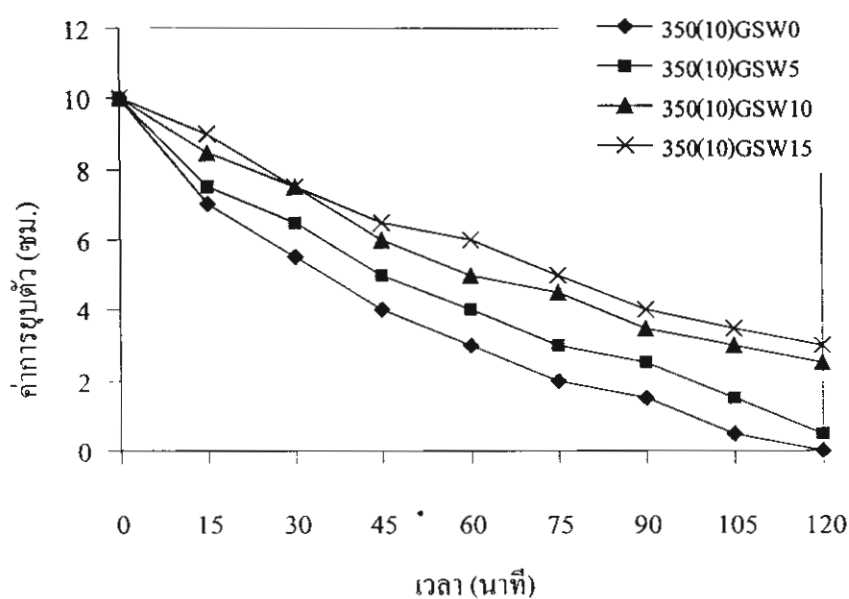


ภาพที่ 5.36 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

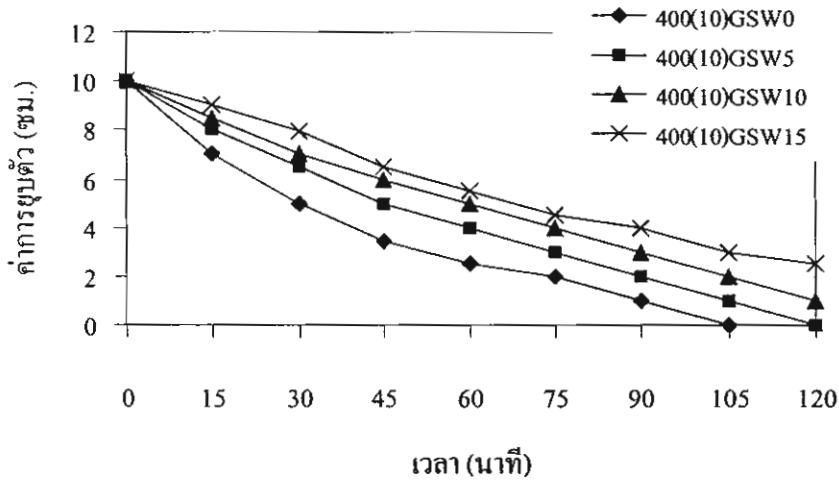
สำหรับคอนกรีตที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.37 ถึง 5.39) และ 15 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.40 ถึง 5.42) พบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติมีค่ามากกว่าคอนกรีตปกติที่ทุกๆ ระยะเวลาของการทดสอบ อันเนื่องมาจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น แต่จะสังเกตว่าอัตราการสูญเสียค่าการยุบตัวมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. ทั้งนี้เพราะคอนกรีตมีปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) เพิ่มขึ้นทำให้ที่อัตราการระเหยเดียวกัน (อุณหภูมิสถานะแวดล้อมเดียวกัน) คอนกรีตที่มีปริมาณน้ำอิสระเริ่มต้นมากกว่าจะเหลือน้ำอิสระมากกว่าเมื่อเวลาผ่านไป นอกจากนี้จะเห็นว่าน้ำอิสระส่วนหนึ่งจะถูกกักเก็บไว้ด้วยอนุภาคที่ละเอียดของผงฟูนทรายใส่แบบ โดยการกักเก็บจะมีทั้งการกักเก็บที่ผิว (Surface Retainability) และการดูดซึมเข้าไปในอนุภาคดังจะเห็นได้จากผลการที่ค่าความต้องการน้ำ (Water Requirement) ดังแสดงในตารางที่ 5.1 มีค่าร้อยละ 106 ซึ่งมากกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับปูนซีเมนต์ล้วน ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตทำให้อัตราในการสูญเสียค่าการยุบตัวมากขึ้น



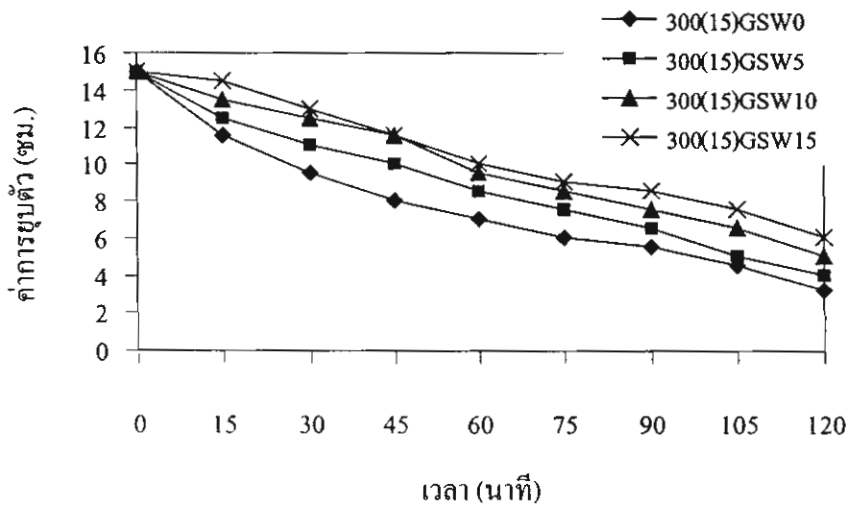
ภาพที่ 5.37 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใช้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



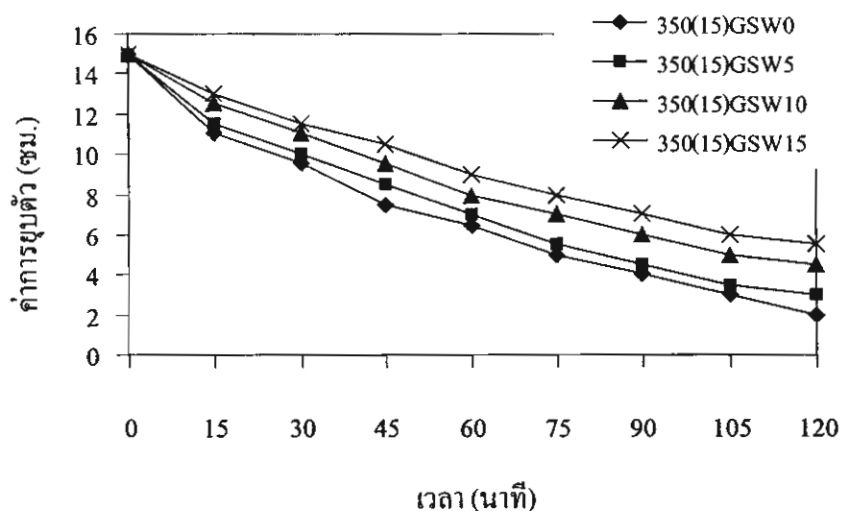
ภาพที่ 5.38 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใช้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



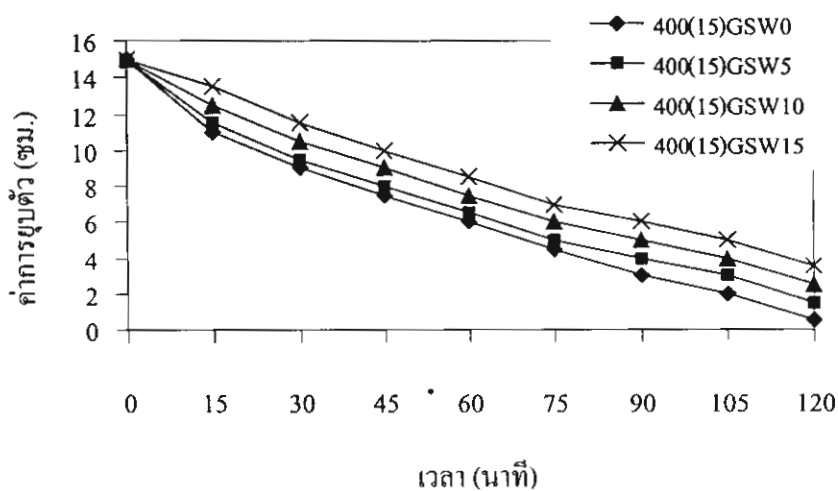
ภาพที่ 5.39 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.40 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



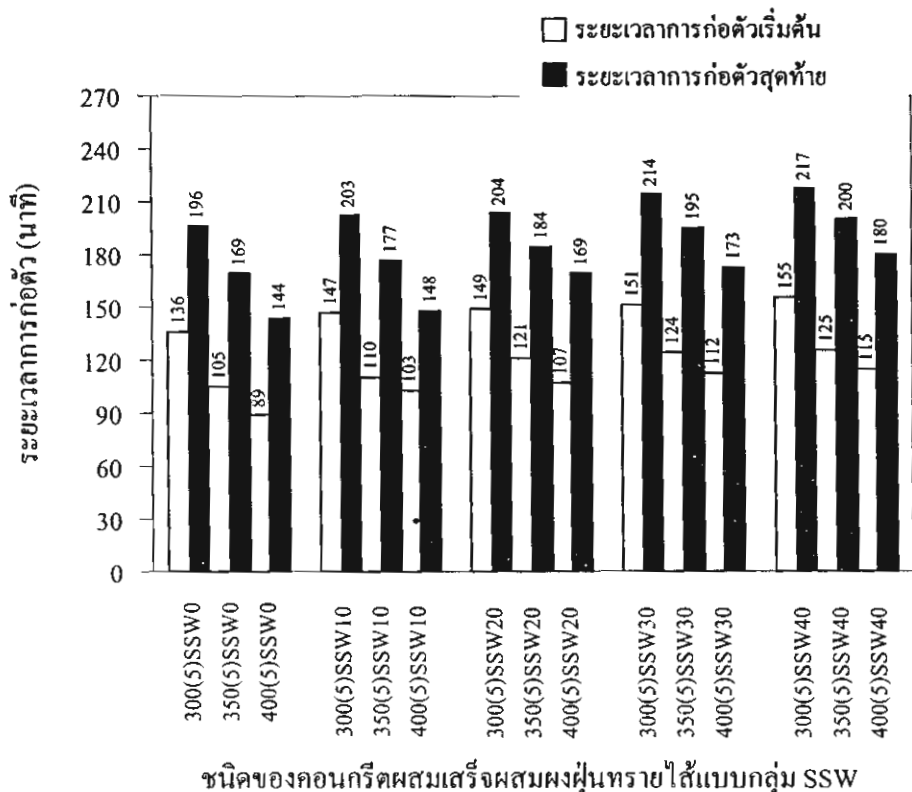
ภาพที่ 5.41 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายไล้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.42 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายไล้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

5.2.4 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต (Setting Time)

ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ซึ่งกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.43 ถึง 5.45 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตผสมผงปูนทรายใส่แบบมีระยะเวลาการก่อตัวทั้งเริ่มต้นและสุดท้ายเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติและมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการแทนที่ของผงปูนทรายใส่แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ที่เพิ่มขึ้น โดยเมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.43) และกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ มีเวลาการก่อตัวเริ่มต้น (Initial Setting Time) เพิ่มขึ้นจาก 136 นาที ในกรณีของคอนกรีตปกติเป็นมีค่า 147, 149, 151 และ 155 นาที สำหรับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบในปูนซีเมนต์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณปูนซีเมนต์ซึ่งหมายถึงการลดลงของปริมาณไตรแคลเซียมซัลเฟต

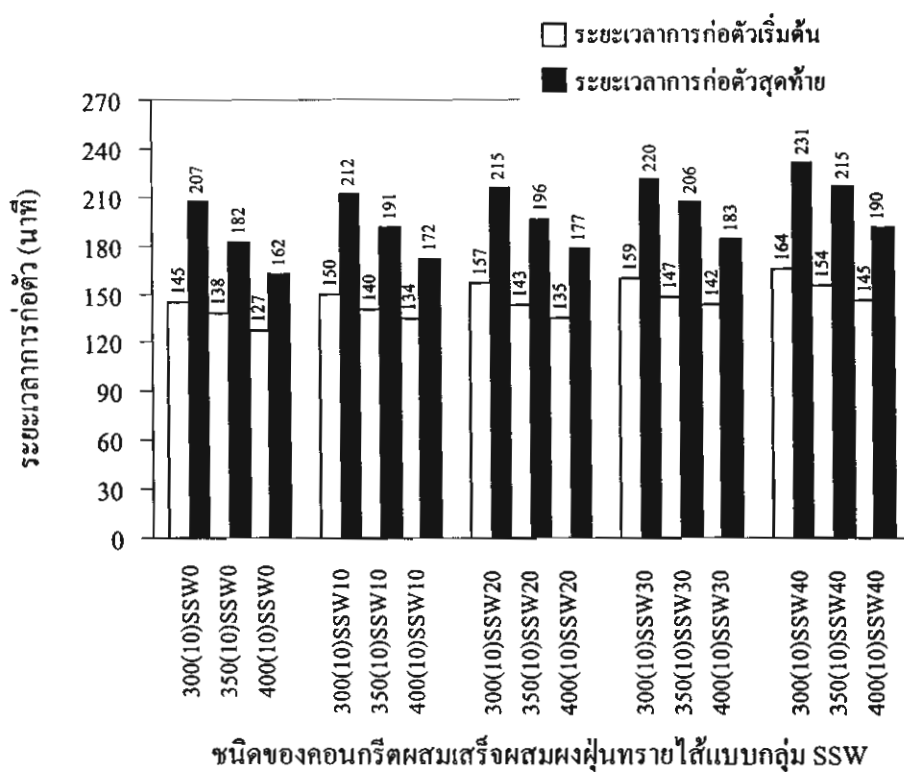


ภาพที่ 5.43 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.

($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) ในส่วนผสมของคอนกรีต (ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3\text{CaO} \cdot \text{SiO}_2$) เป็นสารประกอบหลักที่สามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชันกับน้ำแล้วเกิดการแข็งตัวภายใน 2 ถึง 3 ชั่วโมงแรก) ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันลดลงตามไปด้วย ท้ายที่สุดจะทำให้คอนกรีตแข็งตัวช้าลงอันเนื่องมาจากปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ลดลง และผลของการแทนที่ผลผูกพันรายไส้แบบดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่ออัตราการก่อตัวระยะสุดท้าย (Final Setting Time) ที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น อีกสารประกอบหนึ่งที่มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวคือ ปริมาณ ไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($3\text{CaO} \cdot \text{Al}_2\text{O}_3$) ที่มีปริมาณลดลงเช่นเดียวกัน จึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น (Sidney M. et al., p. 211)

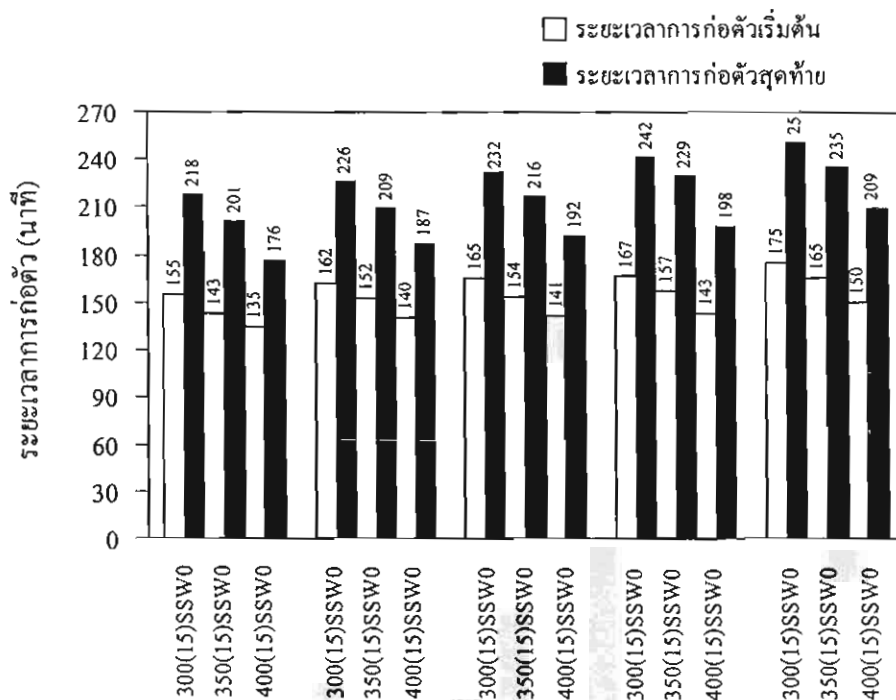
เมื่อพิจารณาในประเด็นของการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์จาก 300 กก./ม.³ เป็น 350 และ 400 กก./ม.³ ตามลำดับ พบว่าผลของการแทนที่ผลผูกพันรายไส้แบบในปูนซีเมนต์จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตทั้งระยะเริ่มต้นและสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันด้วยเหตุผลจากที่กล่าวมา ในขณะที่คอนกรีตที่มีการแทนที่ของผลผูกพันรายไส้แบบเดียวกันนั้น คอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง ทั้งนี้เพราะในคอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่สามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชันมากขึ้นจึงส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่สร้างกำลังให้กับคอนกรีต (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H)) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นเป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.43 และ 5.44) จะเห็นว่าการแทนที่ของผลผูกพันรายไส้แบบทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่เมื่อพิจารณาในส่วนของการแทนที่ของผลผูกพันรายไส้แบบเดียวกัน คอนกรีตที่ค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการที่ปริมาณน้ำในคอนกรีตเพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์กระจายตัวมากขึ้น อันจะส่งผลให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่เกิดจากแต่ละอนุภาคของปูนซีเมนต์มีความไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการเชื่อมประสานที่ก่อให้เกิดการแข็งตัวจึงต้องใช้เวลาเพิ่มขึ้น (Neville, A.M., p. 19)



ภาพที่ 5.44 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการ
ยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 10 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ $X(Y)SSW(Z)$ คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก



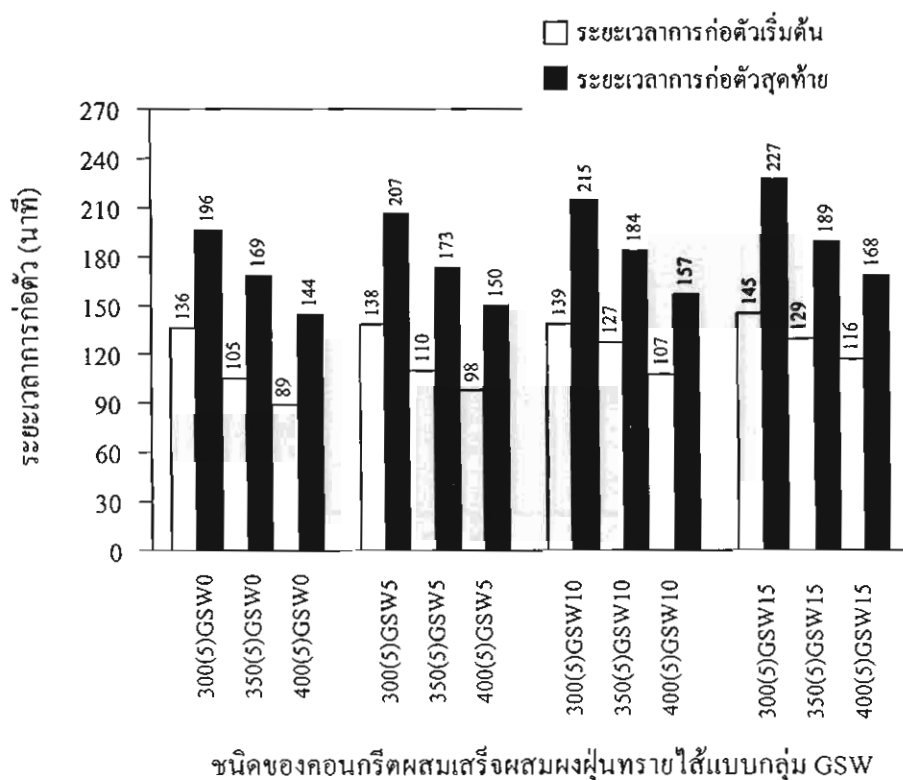
ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW

ภาพที่ 5.45 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ $X(Y)SSW(Z)$ คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

สำหรับภาพที่ 5.46 ถึง 5.48 เป็นค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ พบว่าการแทนที่ของผงปูนทรายได้แบบในทรายธรรมชาติเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกับคอนกรีตผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW แต่ในกรณีของคอนกรีตผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW จะเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ดังเช่นกรณีของคอนกรีตที่กำหนดค่าปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.46) มีค่าระยะเวลาการก่อตัวเริ่มต้นเท่ากับ 136, 138, 139 และ 145 นาที ในขณะที่มีระยะเวลาการก่อตัวสุดท้ายเท่ากับ 196, 207, 215 และ 227 นาที สำหรับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบเท่ากับ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบใน

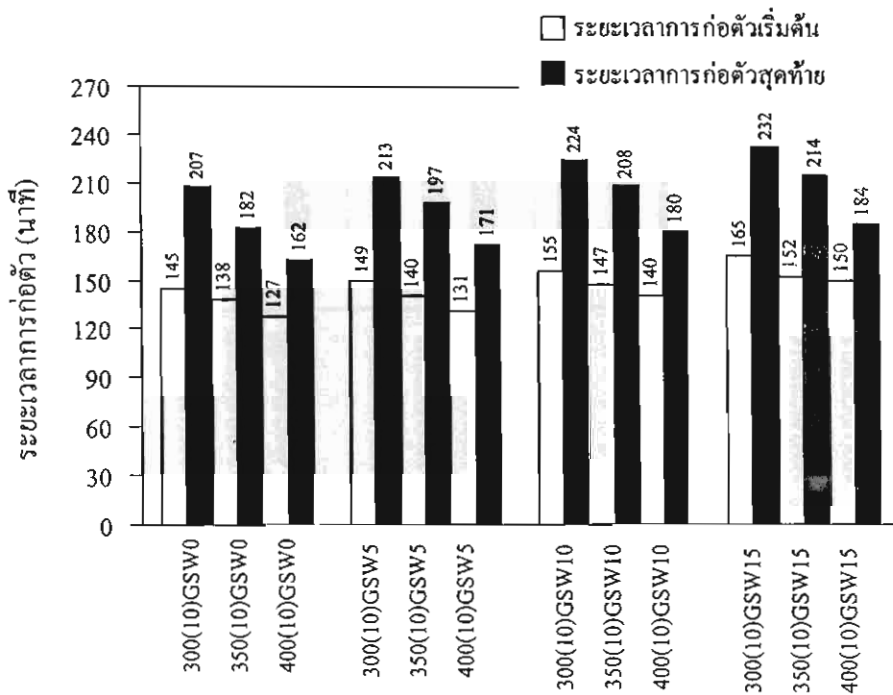
ทรายธรรมชาติไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตจึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตไม่แตกต่างกันมาก และผลกระทบจากการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบดังกล่าวทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติเช่นกันเมื่อปริมาณของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็น 350 และ 400 กก./ม.³ ในขณะที่เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีสัดส่วนการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบเดียวกันมีระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม GSW
 ภาพที่ 5.46 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการ
 ยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ $X(Y)GSW(Z)$ คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

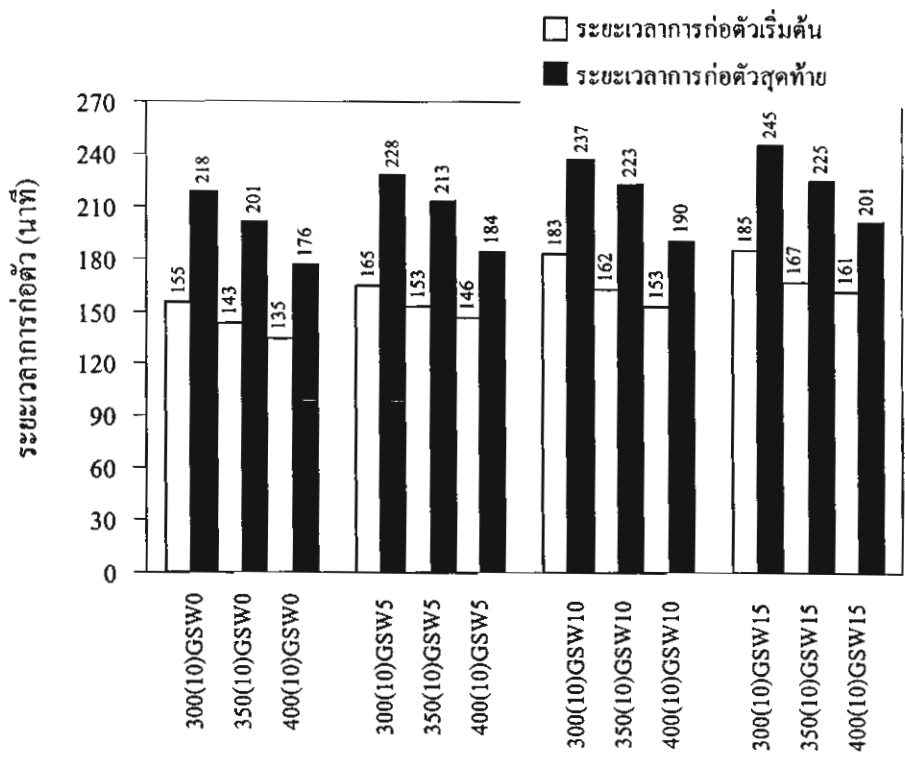
ในกรณีการเพิ่มขึ้นของค่าการยุบตัวเริ่มต้นเป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ดังภาพที่ 5.46 และ 5.47 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตมีค่าระยะเวลาการก่อตัวทั้งเริ่มต้นและสุดท้ายเพิ่มขึ้นเมื่อร้อยละการแทนที่ของผงปูนทรายได้กลุ่ม GSW เพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำในคอนกรีต (ค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้น) ทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW

ภาพที่ 5.47 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 10 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ $X(Y)GSW(Z)$ คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW

ภาพที่ 5.48 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการ
ยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ X(Y)GSW(Z) คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

5.3 คุณสมบัติของทางกลคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไล่แบบ

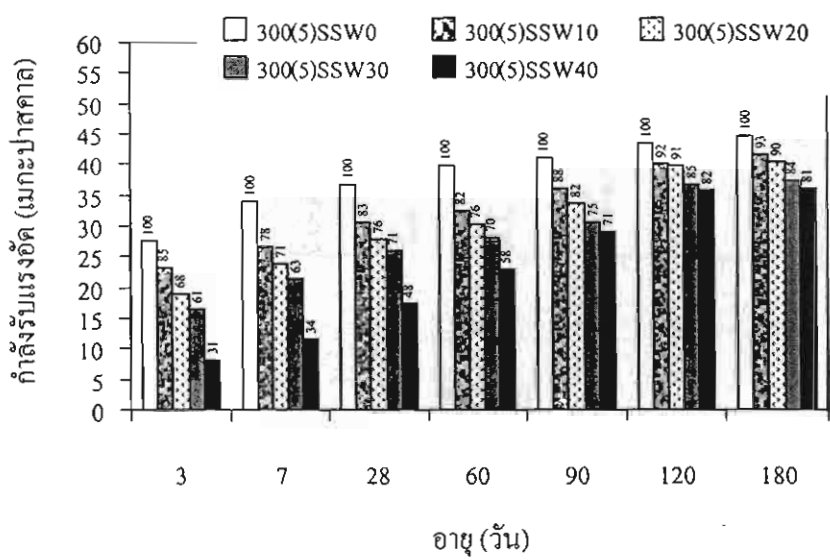
5.3.1 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีต (Compressive Strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม 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 ค่าการยุบตัวเริ่มต้นและทุกอายุมีกำลังรับแรงอัดลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบมีค่าเพิ่มขึ้น กล่าวคือ กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 3 วัน มีค่าเป็นร้อยละ 85, 68, 61 และ 31 ของคอนกรีต ปกติเมื่อทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบในปูนซีเมนต์โดยน้ำหนักเท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบมีความเฉื่อยในการทำปฏิกิริยา และอาจรวมถึงไม่สามารถจะทำปฏิกิริยาได้เนื่องจากปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) ที่เป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันมีไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตลดลงตามลำดับ เนื่องจากกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจึงมาจากปูนซีเมนต์เป็นหลัก ในขณะที่เมื่ออายุของคอนกรีตภายใต้การบ่มในน้ำเพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไล่แบบมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่อง โดยเมื่อเปรียบเทียบกับระหว่างคอนกรีตซึ่งมีร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบเท่ากับร้อยละ 40 ที่อายุ 180 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 81 ของคอนกรีตปกติซึ่งเพิ่มขึ้นมากกว่าคอนกรีตที่อายุ 3 ถึงร้อยละ 50 อันแสดงให้เห็นว่าที่อายุมากขึ้นผงฝุ่นทรายไล่แบบได้ทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) ที่ซึ่งสร้างกำลังเพิ่มเติมให้กับคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง นอกจากนี้จากแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชัน

จากภาพเดียวกันจะสังเกตว่าในช่วงต้นสามารถแบ่งสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบที่มีอิทธิพลต่อกำลังรับแรงอัดออกเป็น 2 กลุ่มคือ การแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบเท่ากับร้อยละ 10, 20 และ 30 มีผลกระทบทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าที่ใกล้เคียงกันแต่จะมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตปกติ ในขณะที่คอนกรีตที่มีอัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบเท่ากับร้อยละ 40 มีค่าลดลงอย่างมากเมื่อเปรียบเทียบกับสัดส่วนการแทนที่ในกลุ่มแรก และในช่วงหลังความแตกต่างระหว่าง 2 กลุ่มกลับมีค่าลดลงและใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

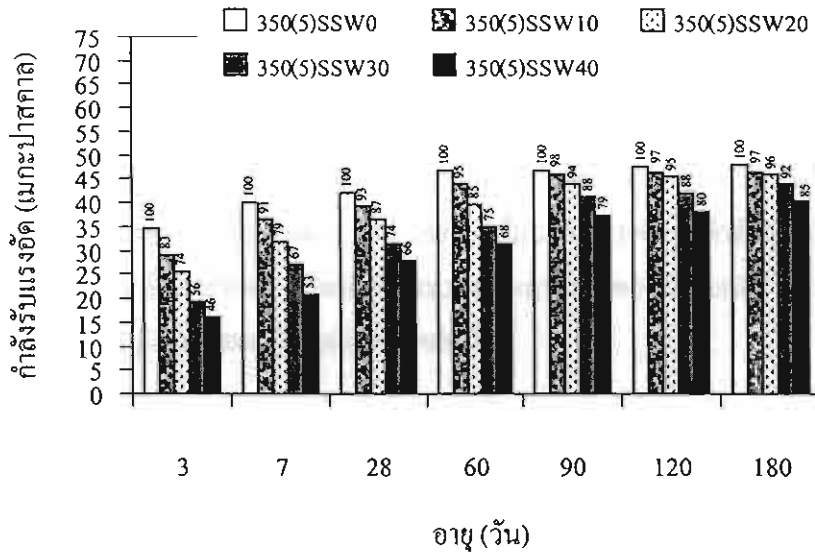
เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุ 28 วันซึ่งใช้เป็นมาตรฐานสำหรับควบคุมคุณภาพของคอนกรีตผสมเสร็จ พบว่ากำลังรับแรงของคอนกรีตมีค่าเป็นร้อยละ 83, 76, 71 และ 48 ของ

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



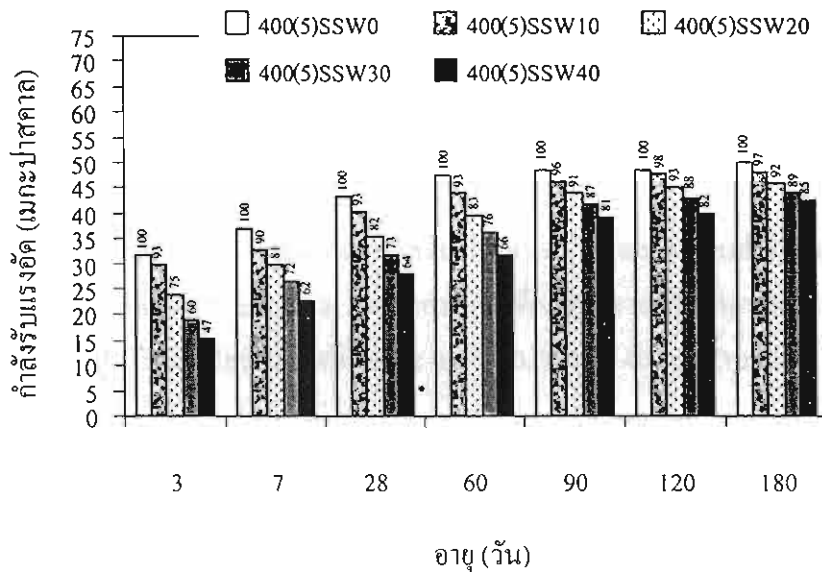
ภาพที่ 5.49 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

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



ภาพที่ 5.50 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³

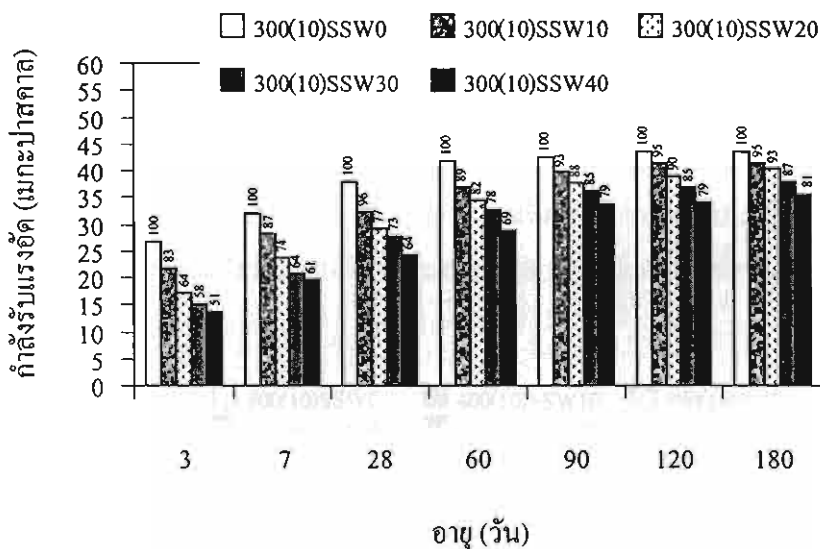
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.51 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³

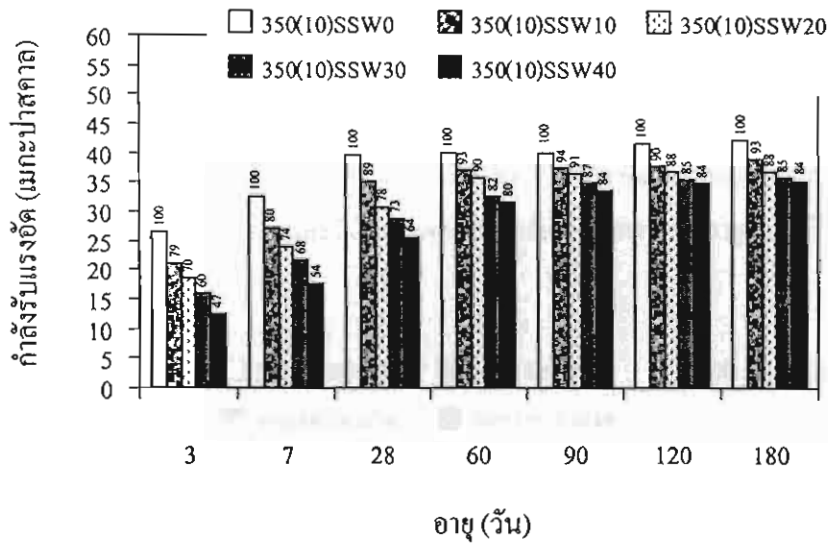
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

สำหรับคอนกรีตผสมเสร็จที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.52 ถึง 5.54 พบว่าคอนกรีตซึ่งมีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และมีส่วนผสมของผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ทุกอายุของการบ่มจนถึง 180 วัน น้อยกว่าคอนกรีตปกติ โดยกำลังรับแรงอัดในช่วงต้นมีอัตราลดลงมากเมื่อทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ในขณะที่ช่วงหลังคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายใต้แบบมีการพัฒนากำลังรับแรงอัดที่แตกต่างกันของกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติ ซึ่งมาจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ที่ผลิตกันจากปฏิกิริยาไฮเดรชันและปอซโซลานิก

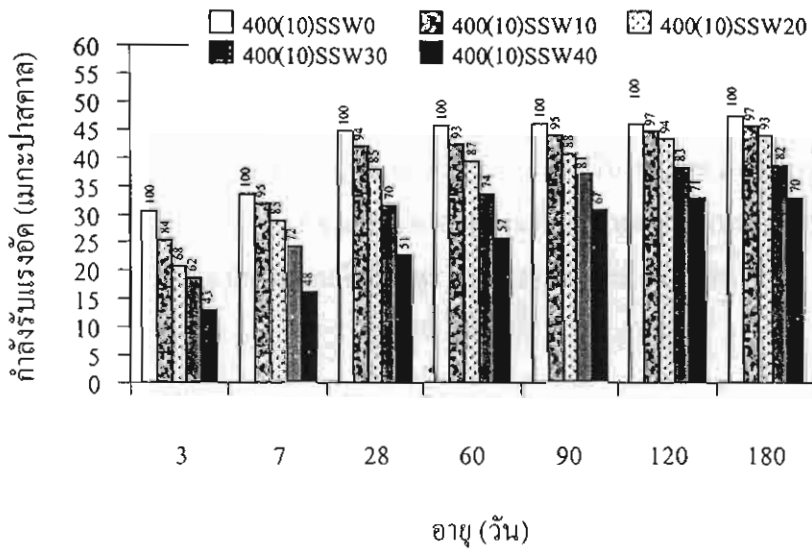


ภาพที่ 5.52 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³

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

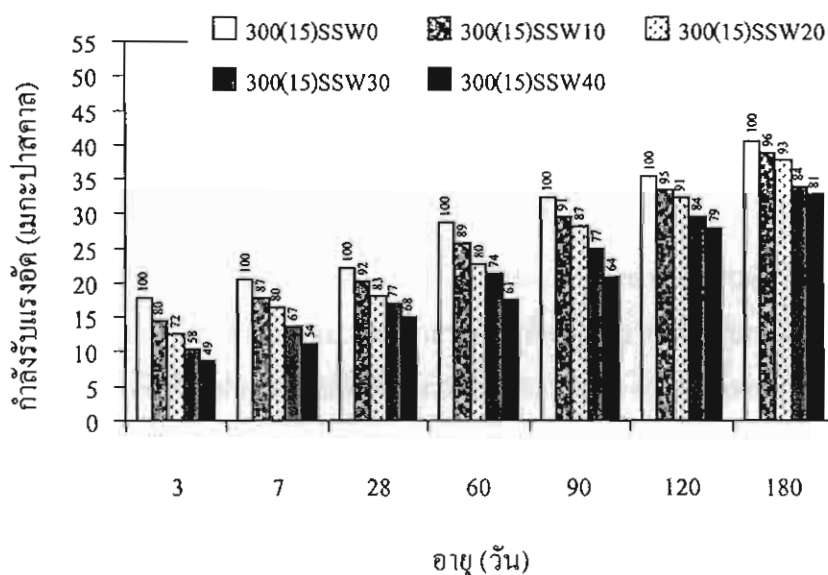


ภาพที่ 5.53 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



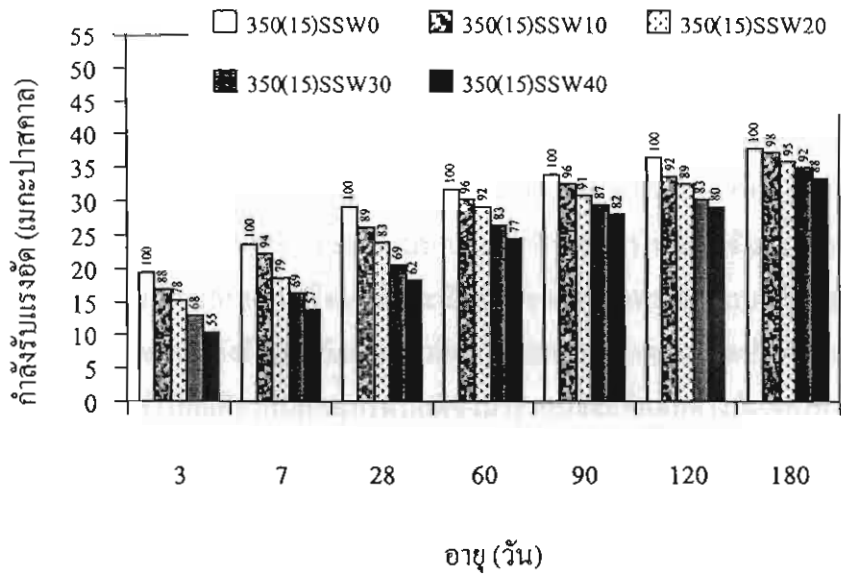
ภาพที่ 5.54 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

เช่นเดียวกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. พบว่าคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.55 ถึง 5.57 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่ลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้น และมีแนวโน้มของการพัฒนากำลังที่เป็นไปในลักษณะเดียวกัน โดยมีอัตราในการพัฒนากำลังของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบในช่วงแรกมีค่าสูงและมีอัตราลดลงจนใกล้เคียงค่าคงที่เมื่ออายุคอนกรีตเพิ่มขึ้น

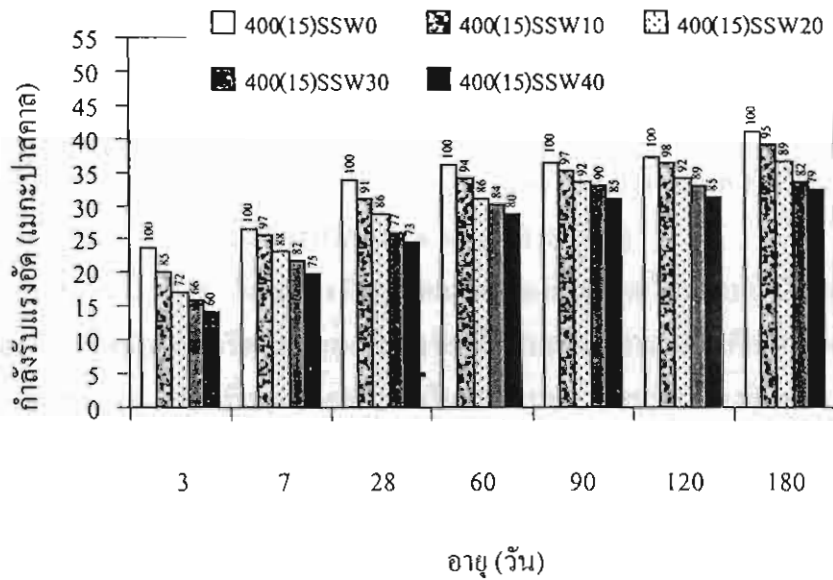


ภาพที่ 5.55 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³

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



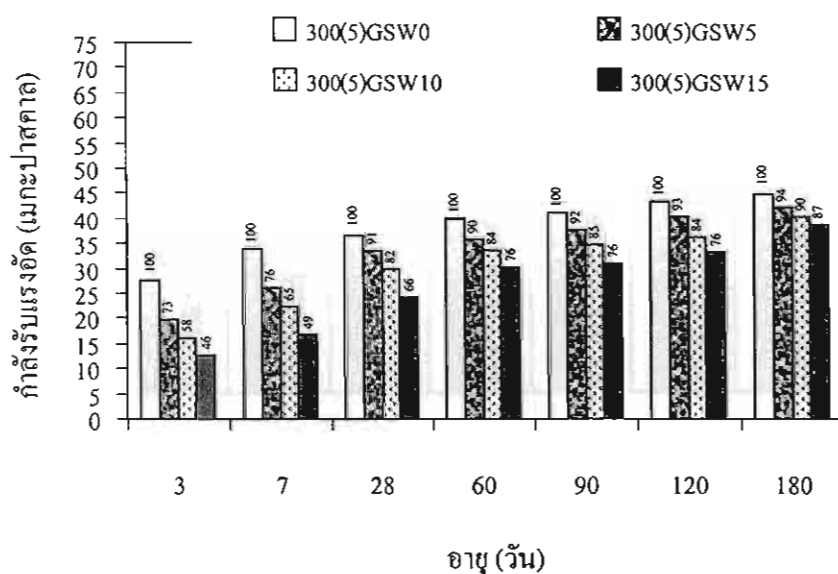
ภาพที่ 5.56 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ใน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



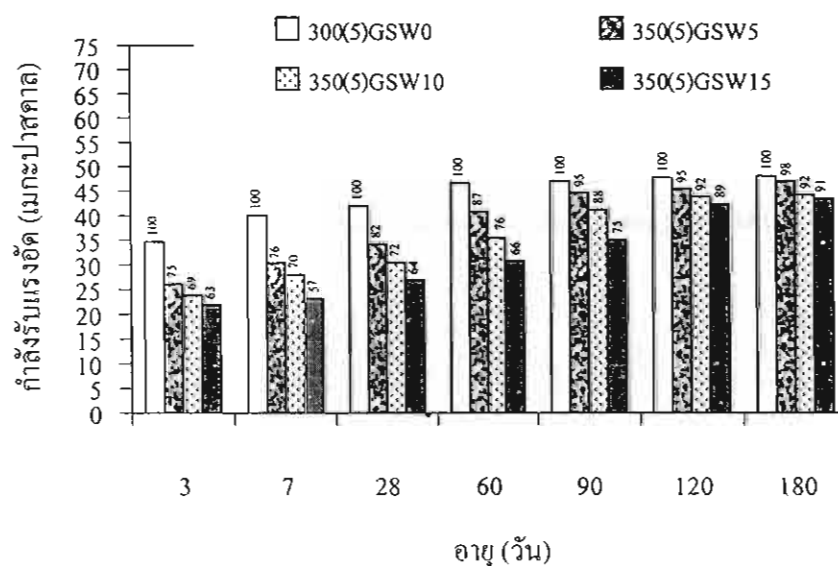
ภาพที่ 5.57 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ใน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม 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 พบว่าภาพรวมผลของการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW มีผลทำให้ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมีค่าลดลงเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติและสัดส่วนของผงฝุ่นทรายได้แบบในคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น โดยการลดลงของค่ากำลังรับแรงอัดดังกล่าวมีความแตกต่างจากคอนกรีตปกติมากในช่วงแรก ในขณะที่ช่วงหลังมีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติซึ่งมาจากปัจจัยที่แตกต่างกันของการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ในหัวข้อดังกล่าวข้างต้นซึ่งมีผลทำให้ปริมาณของปูนซีเมนต์ลดลงและอัตราการปฏิกิริยาปอซโซลานิกในช่วงต้นมีค่าต่ำ แต่ในกรณีนี้เมื่อพิจารณาที่ปริมาณน้ำ (ค่าการยุบตัว) และปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากัน โดยการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติเท่ากับเป็นการเพิ่มส่วนที่ละเอียดให้กับคอนกรีต ดังนั้นอนุภาคของผงฝุ่นทรายได้แบบจึงคละกับอนุภาคปูนซีเมนต์มากขึ้นทำให้โดยรวมแล้วจึงไม่แตกต่างไปจากกรณีของการแทนที่ (Replacement) ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ แต่กลับเป็นการเพิ่ม (Adding) ส่งผลให้เมื่อเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน ได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่มีความไม่ต่อเนื่อง (Discontinuous) มากขึ้น เนื่องจากมีอนุภาคของผงฝุ่นทรายได้แบบเป็นตัวกั้นขวางความต่อเนื่องในขณะที่ตกผลึกของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตดังกล่าว ในขณะที่เมื่อพิจารณาในส่วนของอนุภาคผงฝุ่นทรายได้แบบที่สัมผัสกับเนื้อเพสต์จะมีการยึดแน่น (Bonding) ในช่วงทรานซิชัน (Interfacial Transition Zone) น้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมประเภทคาร์บอนเนต ทั้งนี้เพราะผงฝุ่นทรายได้แบบเป็นมวลรวมประเภทซิลิกา (Neville, A.M., pp. 118 - 119)

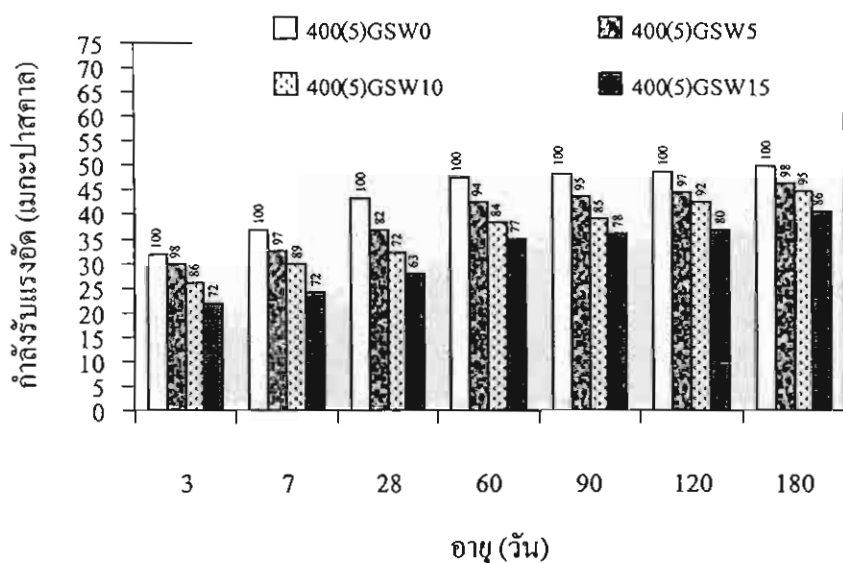
สำหรับการพัฒนากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW มีแนวโน้มลักษณะเดียวกันกับคอนกรีตที่ผสมผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW กล่าวคือมีการพัฒนาอย่างต่อเนื่องตามอายุของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น ยกเว้นในกรณีของการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบสูงสุดเท่ากับร้อยละ 15 มีกำลังของคอนกรีตในอายุ 3 วัน เท่ากับร้อยละ 46 ของคอนกรีตปกติ ในขณะที่คอนกรีตที่อายุ 180 วัน มีค่าร้อยละ 87 ซึ่งแสดงว่าผงฝุ่นทรายได้แบบมีการทำปฏิกิริยาปอซโซลานิกเพิ่มเติมทำให้ผลเสียของผงฝุ่นทรายได้แบบที่กั้นขวางความต่อเนื่องของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต กลับกลายเป็นผลดีจากการทำให้ปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตไฮเดรต (Asgeirsson, H. and Gudmundsson, G., pp. 249 – 252)



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



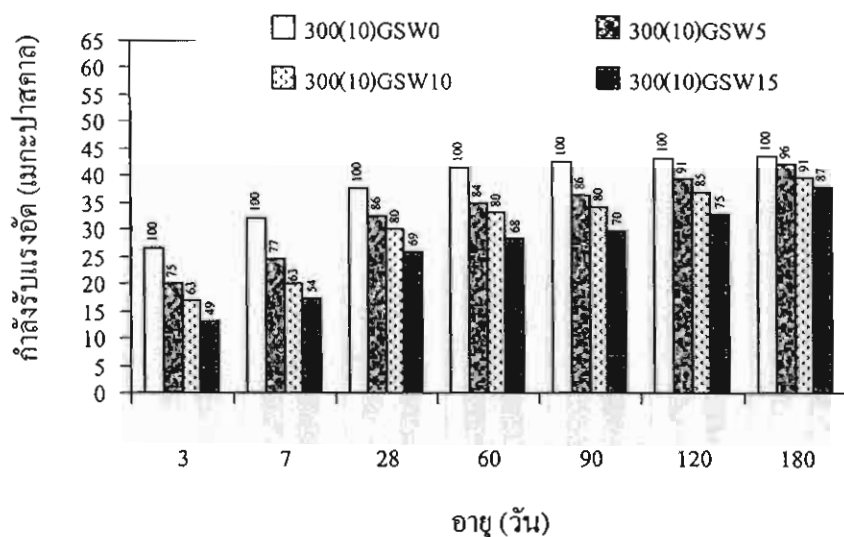
ภาพที่ 5.59 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน
 ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



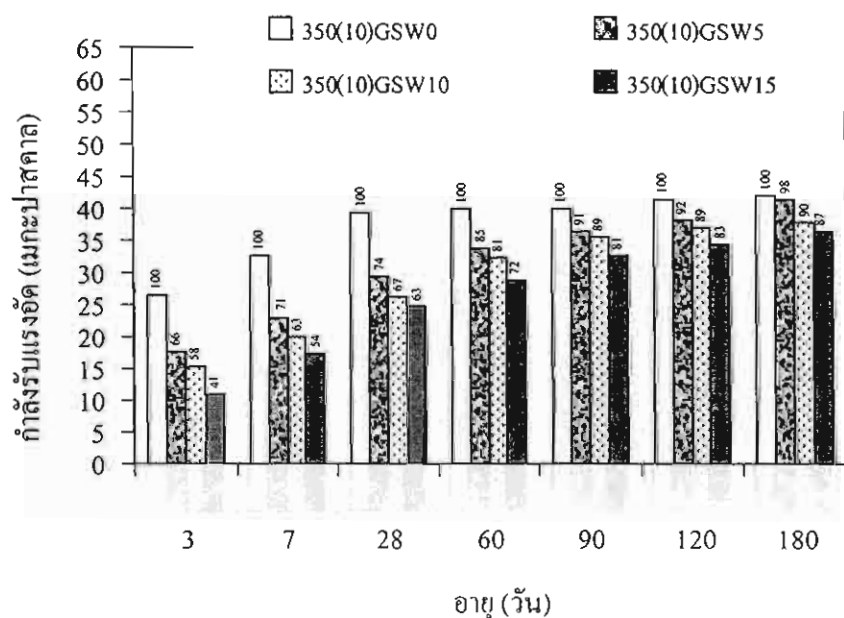
ภาพที่ 5.60 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³

ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

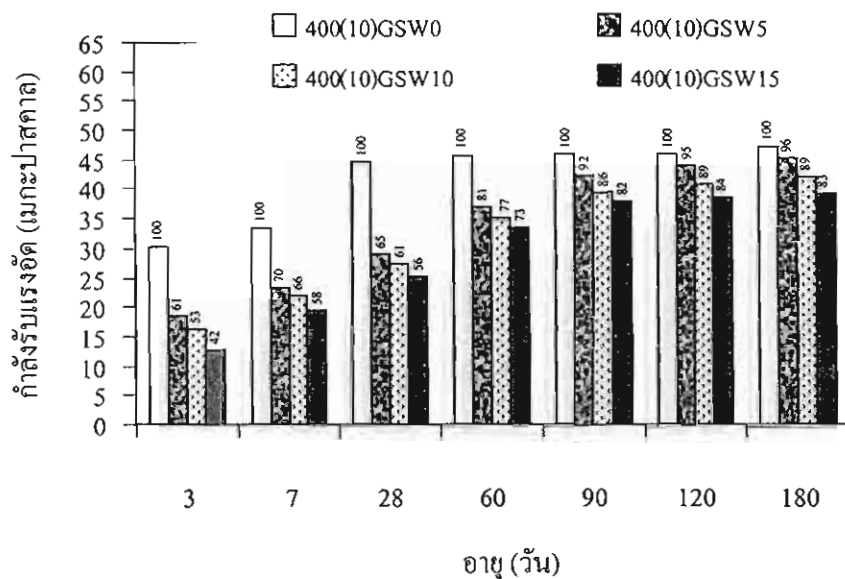
ในกรณีของคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.61 ถึง 5.66 ตามลำดับ พบว่าเมื่อทำการแทนที่ของผงฝุ่นทรายในทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลงตามลำดับ และมีค่าต่ำกว่าคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ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



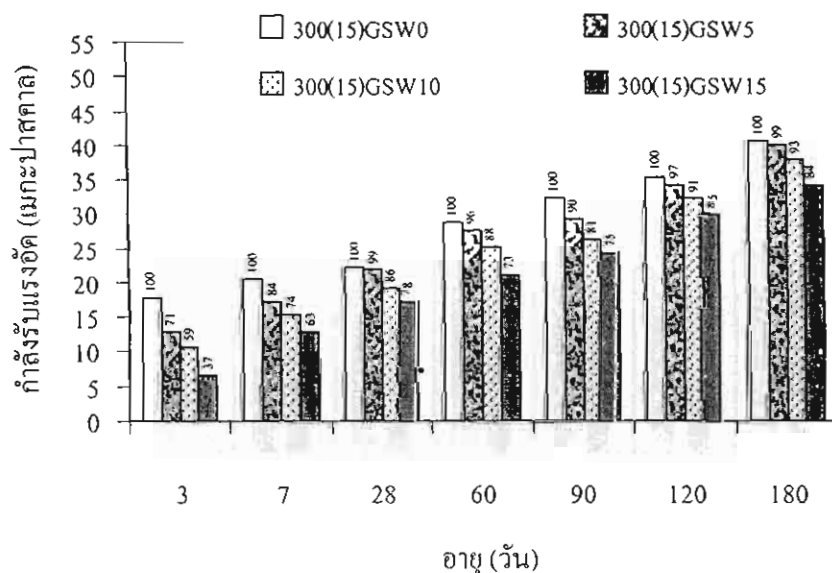
ภาพที่ 5.61 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



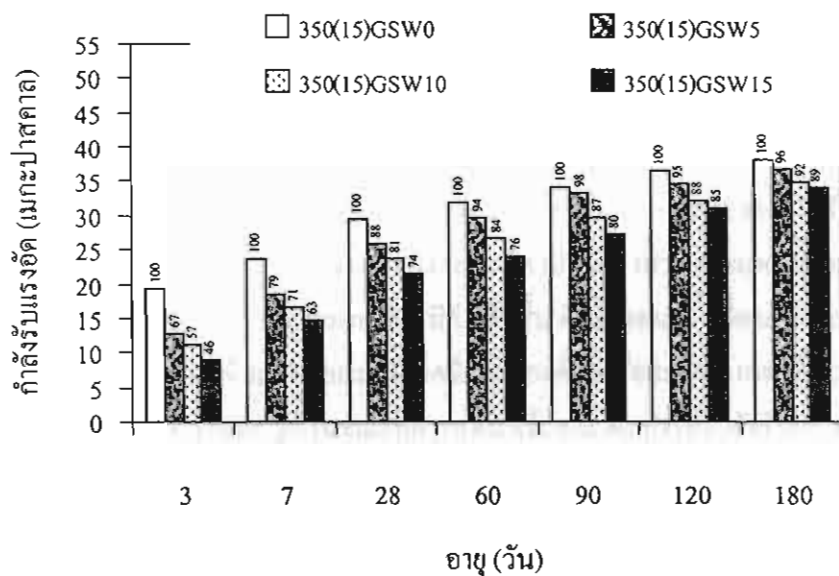
ภาพที่ 5.62 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



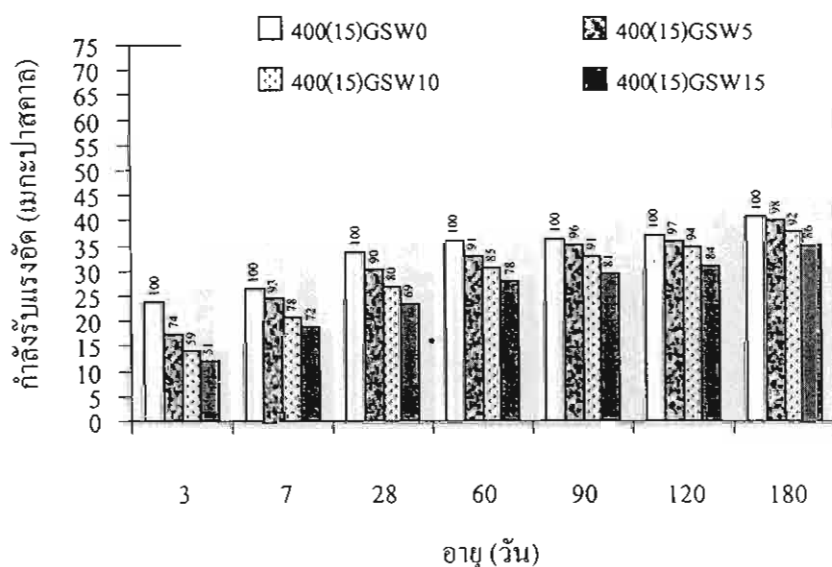
ภาพที่ 5.63 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



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



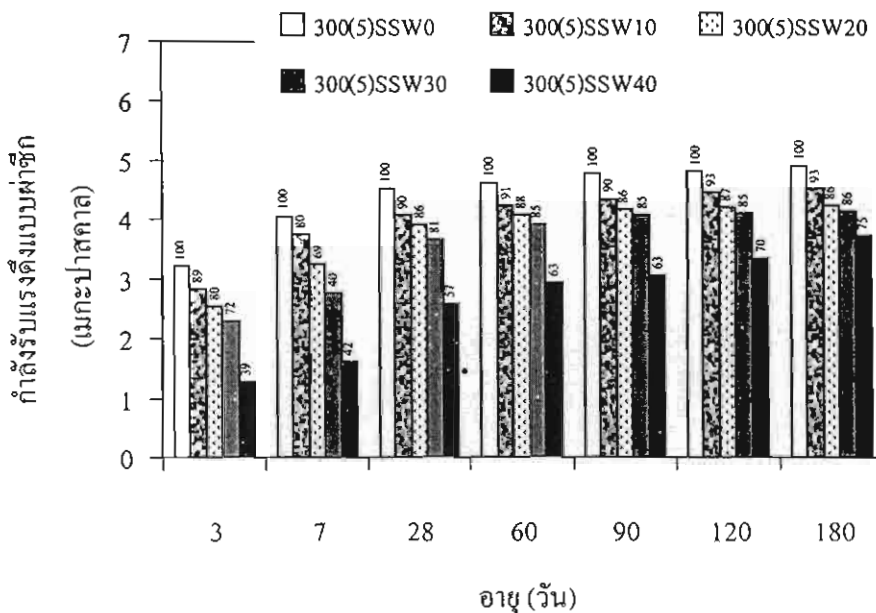
ภาพที่ 5.65 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



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

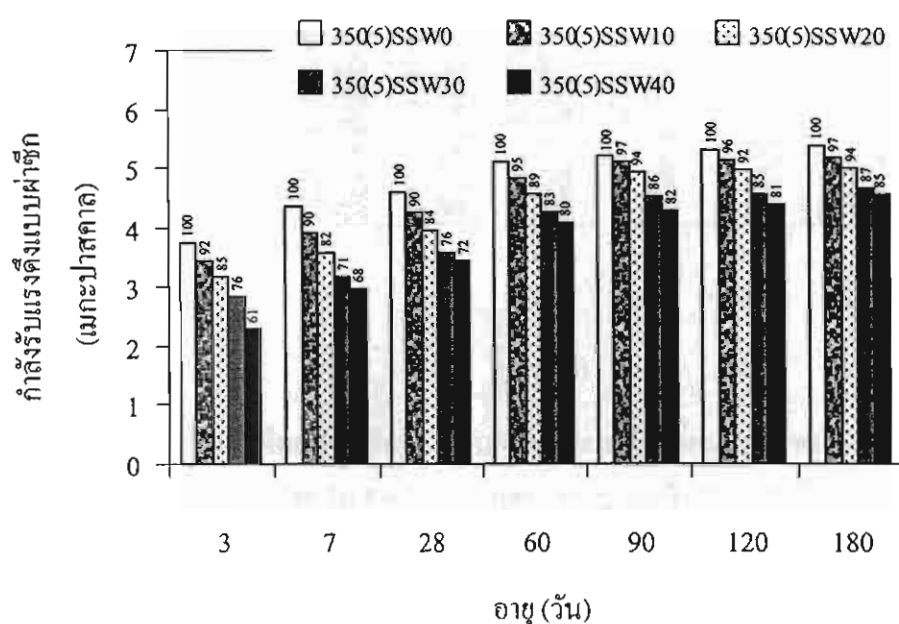
5.3.2 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีต (Splitting Tensile Strength)

ผลการทดสอบกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW แสดงในภาพที่ 5.67 ถึง 5.69 พบว่าแนวโน้มการลดลงของกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีลักษณะเดียวกันกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของผงฟูนทรายได้แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มีค่าเพิ่มขึ้น ตั้งแต่คอนกรีตที่อายุ 3 วัน ถึง 180 วัน โดยที่อายุ 3 และ 7 วัน กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าลดลงตั้งแต่ร้อยละการแทนที่ของผงฟูนทรายได้แบบเท่ากับ 10 จนถึงร้อยละ 30 ในขณะที่การแทนที่ร้อยละ 40 ทำให้กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกลดลงมาก โดยมีค่าร้อยละ 39 และ 42 ของคอนกรีตปกติที่อายุ 3 และ 7 วัน ตามลำดับ แต่สิ่งที่เป็นข้อสังเกตของการแทนที่ดังกล่าวคือ อัตราการพัฒนาของกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกที่สูงและต่อเนื่อง (ความชันของกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกกับเวลาเมื่อลากเส้นเชื่อมระหว่างกำลังรับแรงที่ทุกๆ อายุของการทดสอบมีค่าคงที่) เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติและที่มีการแทนที่ของผงฟูนทรายได้แบบร้อยละ 10 ถึง 30 (ความชันของกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกกับเวลาเมื่ออัตราสูงในช่วงแรกและจะลดลงจนมีค่าคงที่เมื่อเวลาเพิ่มขึ้น) ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุดังกล่าวในหัวข้อของกำลังรับแรงอัด

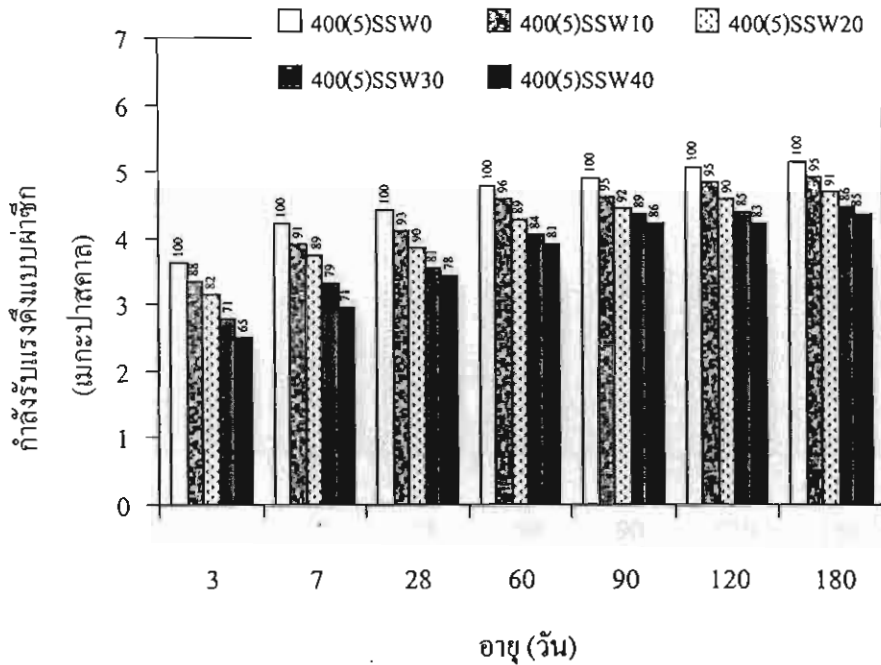


ภาพที่ 5.67 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

สำหรับคอนกรีตที่มีค่าปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 และ 400 กก./ม.³ ได้แสดงผลการทดสอบในภาพที่ 5.68 และ 5.69 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาเพิ่มขึ้น แต่กระนั้นคอนกรีตผสมผงฟูทรายไ้แบบมีค่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกต่ำกว่าคอนกรีตปกติตลอดช่วงของการทดสอบ

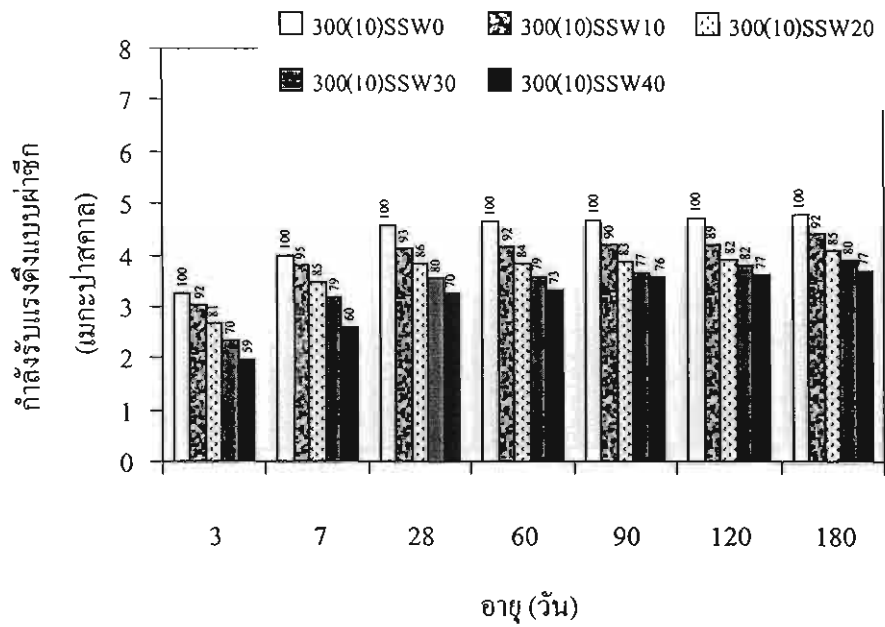


ภาพที่ 5.68 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูทรายไ้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

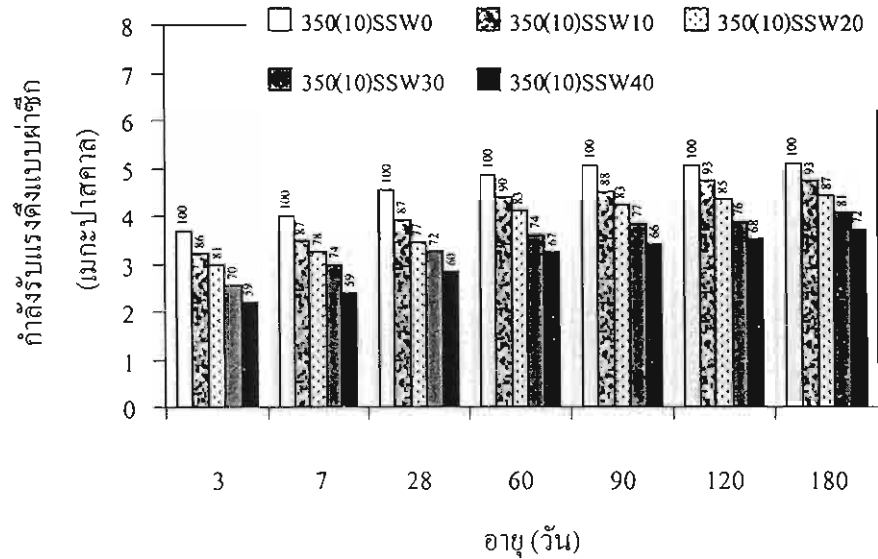


ภาพที่ 5.69 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

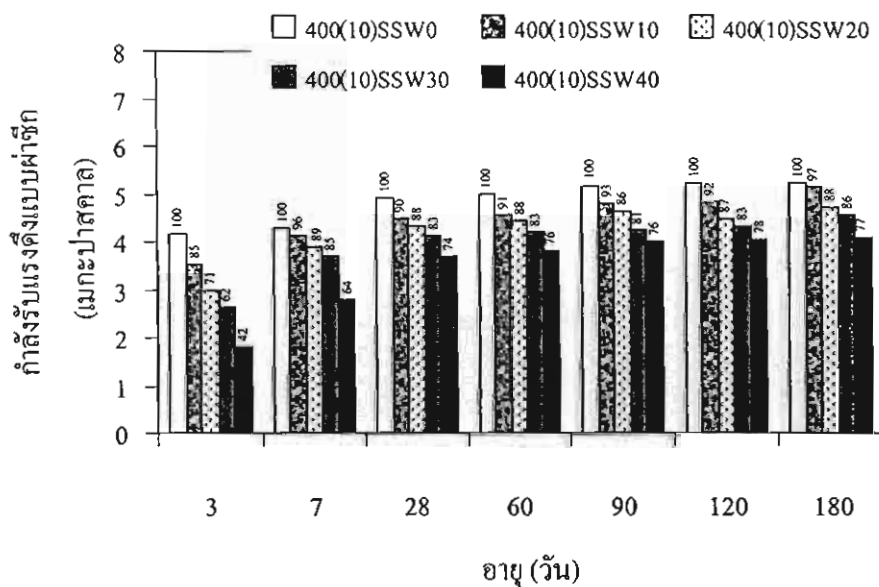
เมื่อพิจารณาคอนกรีตผสมเสร็จที่ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.70 ถึง 5.75 โดยคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกมีค่าลดลง อันเนื่องมาจากความพรุนของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของสัดส่วนผงฝุ่นทรายได้แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์จะส่งผลให้คอนกรีตมีค่ากำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกลดลงตามไปด้วย โดยเป็นผลของปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลงทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันมีค่าลดลง ผลที่ตามมาคือ ทำให้ปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ลดลง นอกจากนั้นสีของผงฝุ่นทรายได้แบบมีค่าต่ำกว่าปูนซีเมนต์จึงยังส่งผลให้กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกลดลง



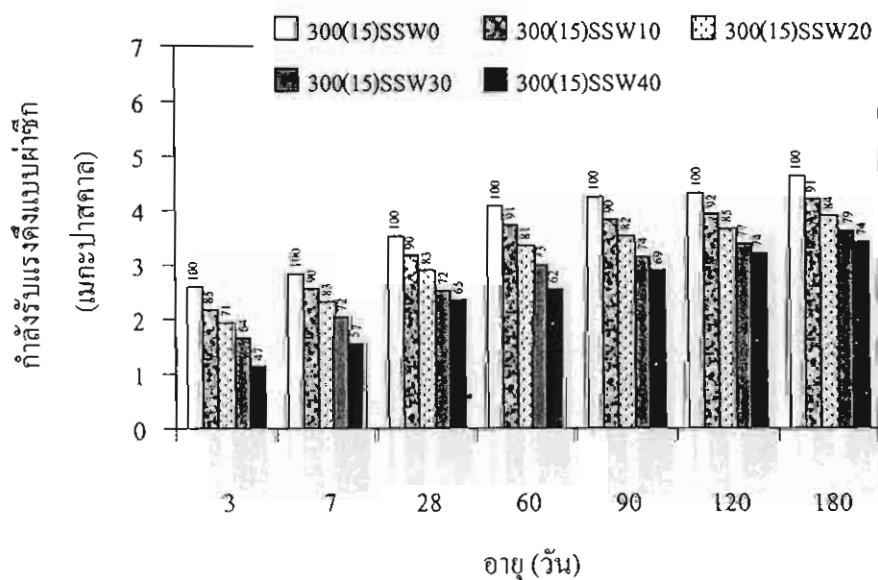
ภาพที่ 5.70 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



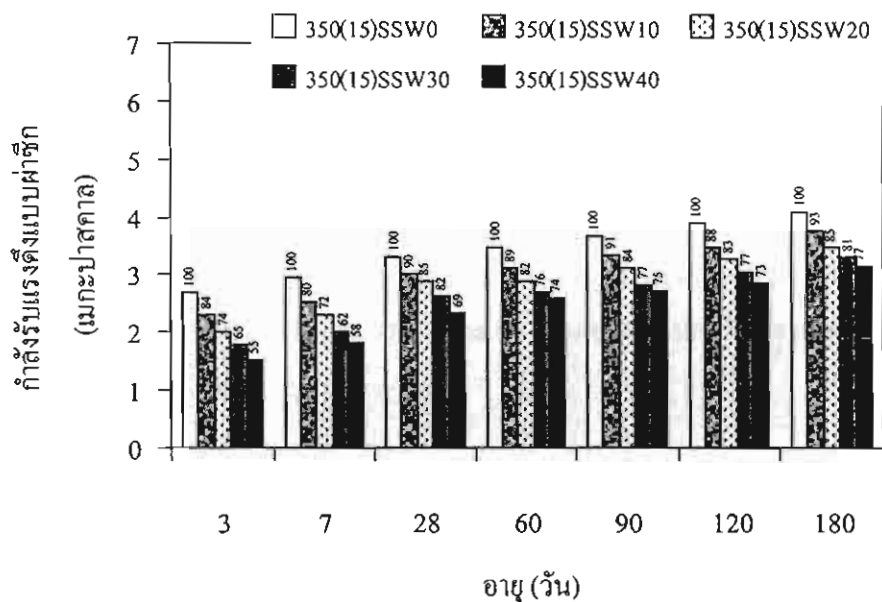
ภาพที่ 5.71 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



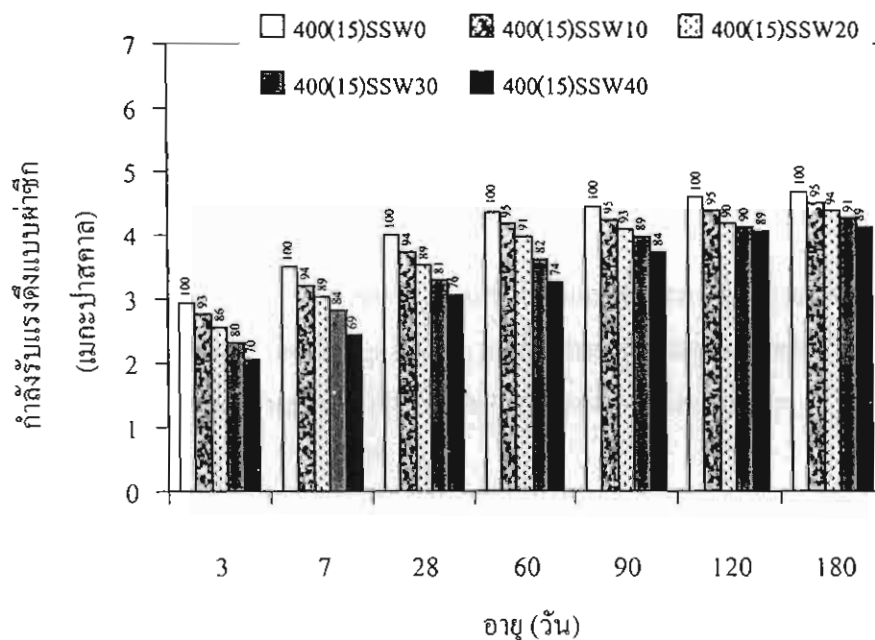
ภาพที่ 5.72 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.73 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

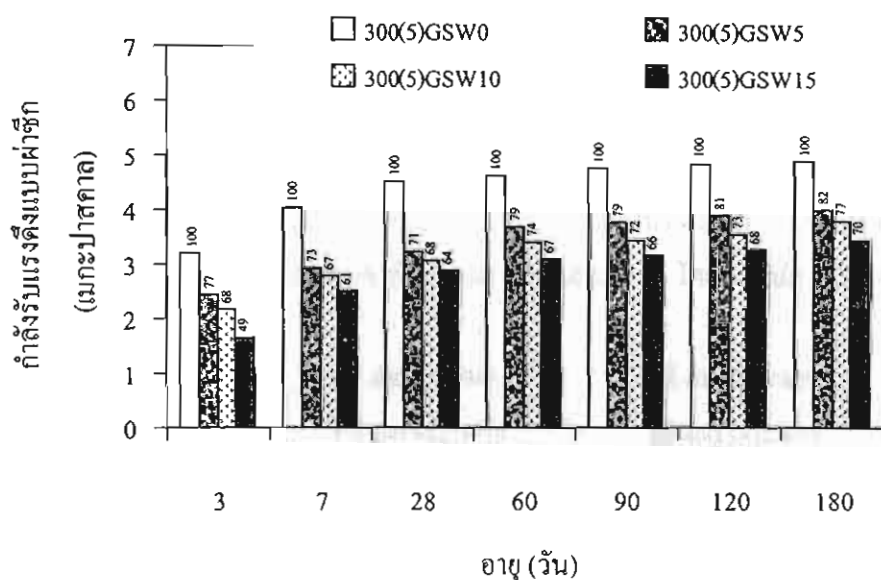


ภาพที่ 5.74 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

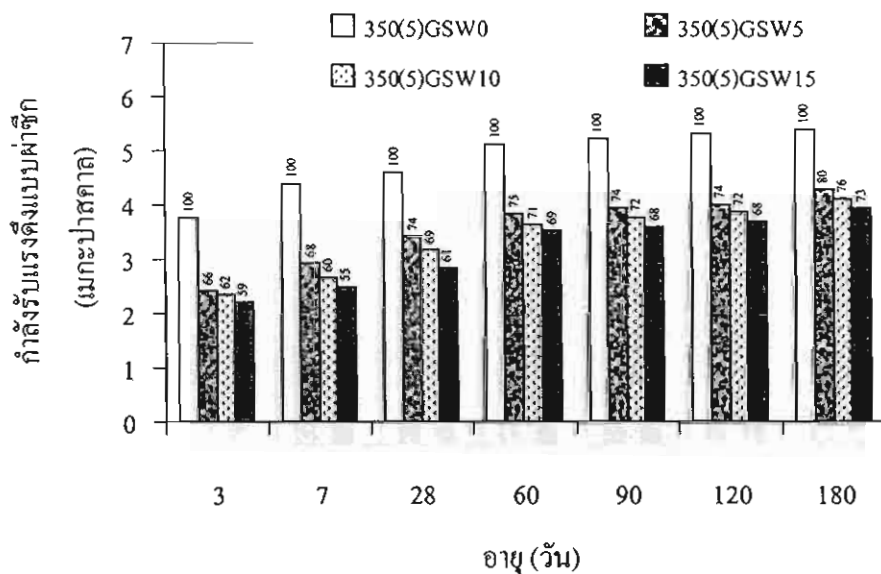


ภาพที่ 5.75 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

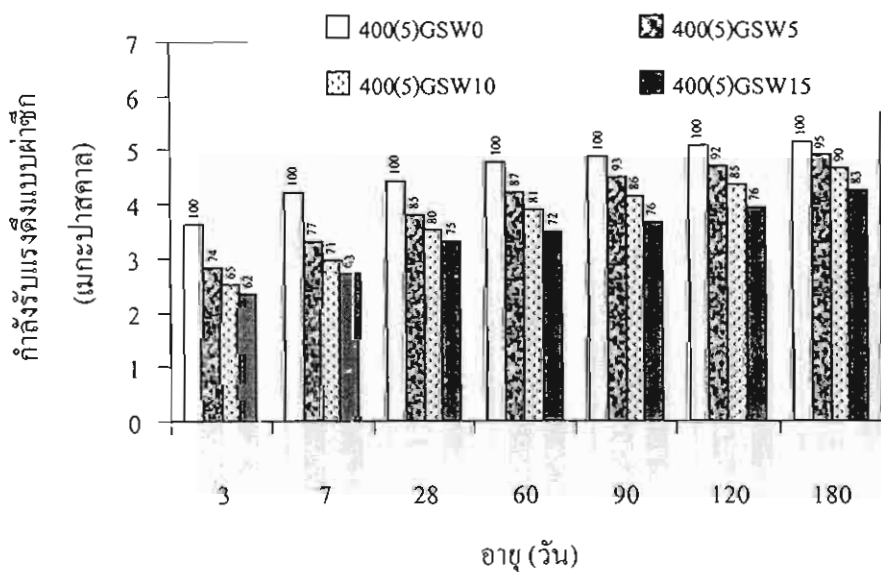
เมื่อพิจารณาคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติแสดงในภาพที่ 5.76 ถึง 5.84 สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ พบว่าเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในทรายธรรมชาติเพิ่มขึ้นทำให้กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตมีค่าลดลงอย่างมาก โดยกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตที่ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และมีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ที่อายุ 3 วัน มีค่าร้อยละ 77, 68 และ 49 ของคอนกรีตปกติที่ยัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 5, 10 และ 15 ตามลำดับ



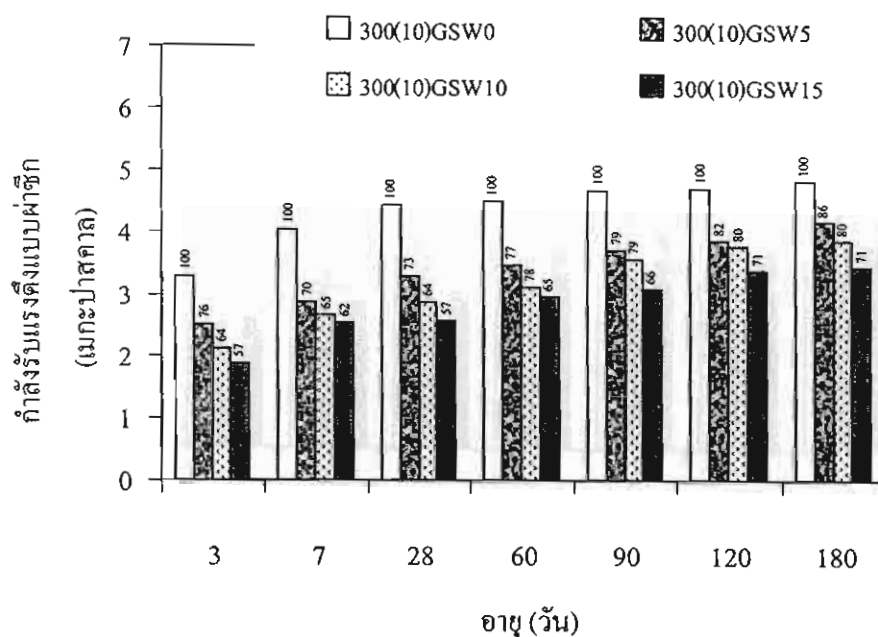
ภาพที่ 5.76 กำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



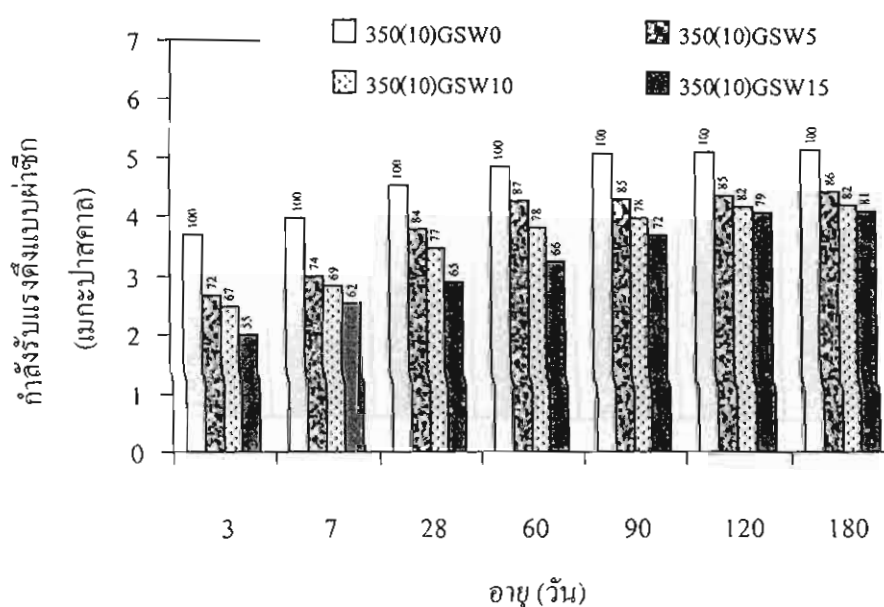
ภาพที่ 5.77 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



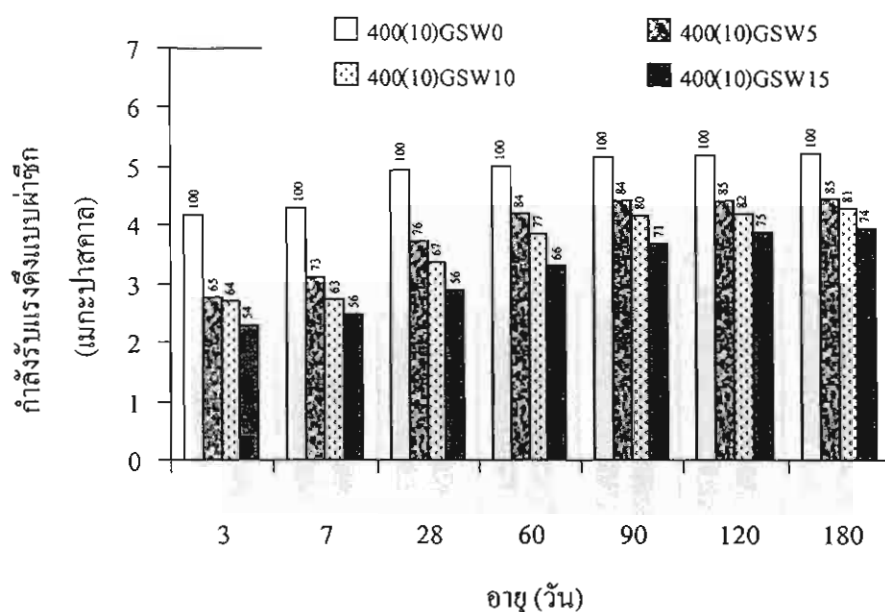
ภาพที่ 5.78 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



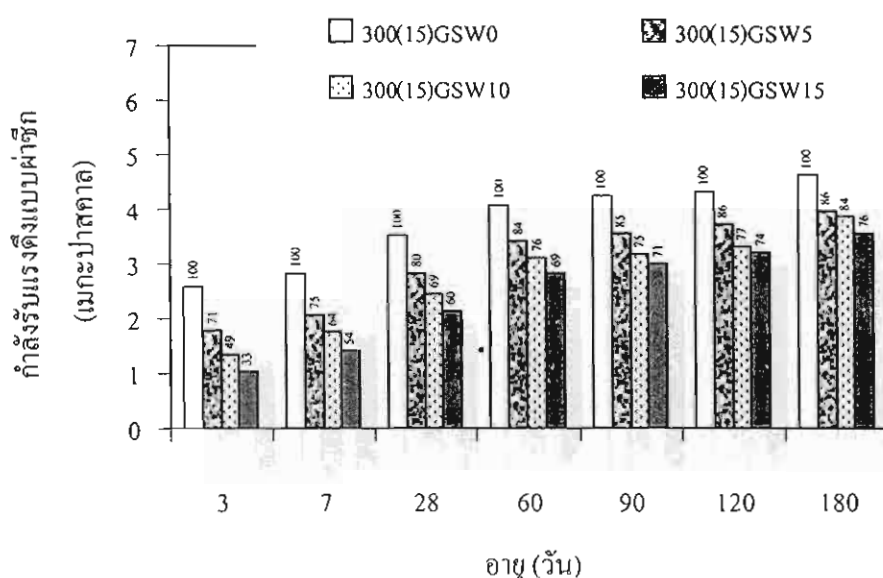
ภาพที่ 5.79 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใช้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



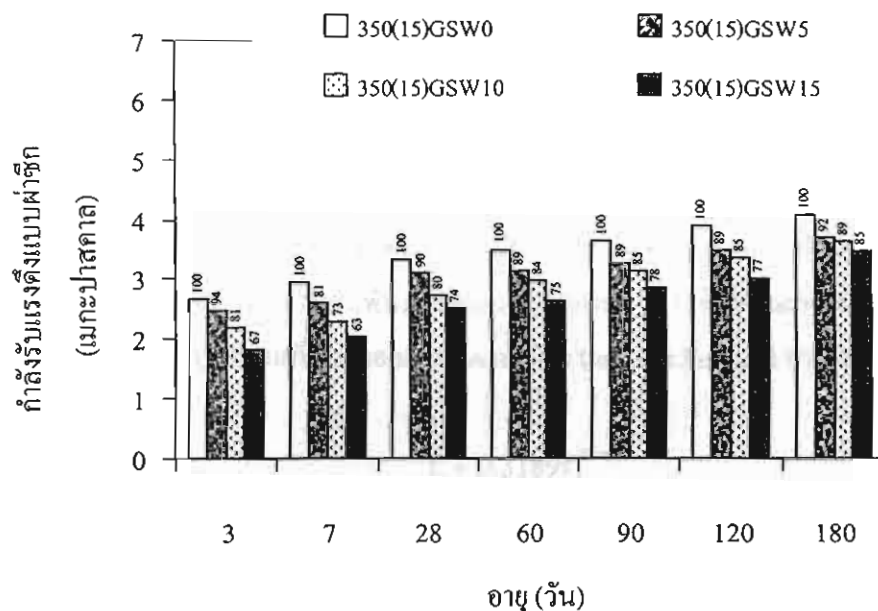
ภาพที่ 5.80 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใช้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



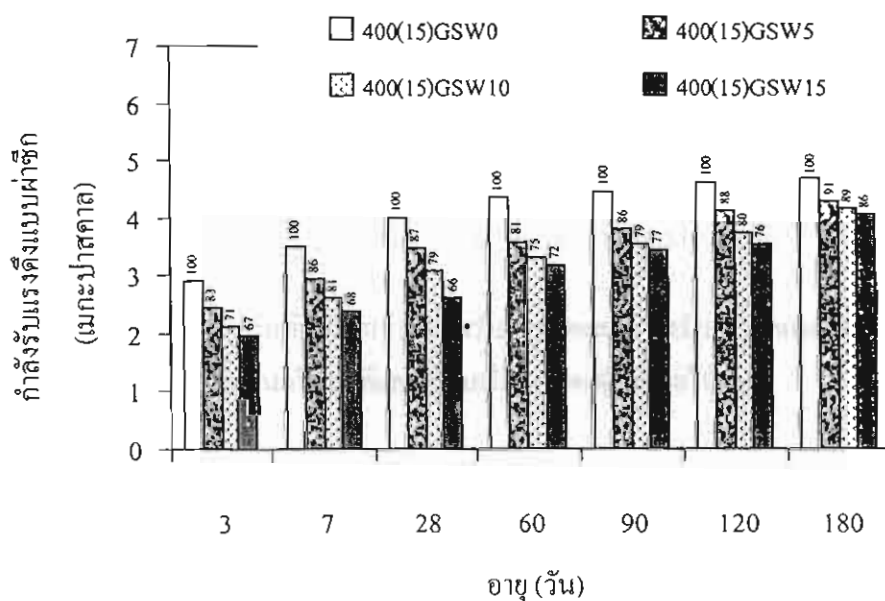
ภาพที่ 5.81 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.82 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.83 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

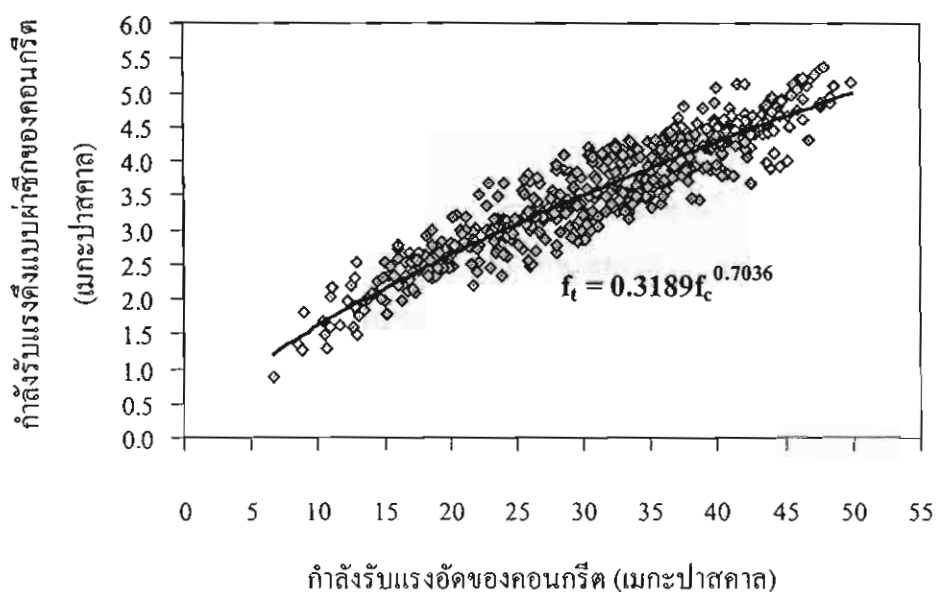


ภาพที่ 5.84 กำลังรับแรงดิ่งแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

5.3.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จ

ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตผสมเสร็จทั้งคอนกรีตชนิดปกติและคอนกรีตผสมผงฟู่นทรายได้แบบแสดงในภาพที่ 5.85 พบว่ากำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกมีค่าเป็นปฏิภาคกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยอาศัยความสัมพันธ์พื้นฐาน (Neville, A.M., pp. 309 – 310) ได้สมการความสัมพันธ์ดังแสดงในสมการที่ (5.1) ซึ่งมีค่าเลขยกกำลังอยู่ในช่วง 0.5 ถึง 0.75 ตามที่สถาบันคอนกรีตแห่งอเมริกา (American Concrete Institute) กำหนดไว้

$$f_t = 0.3189f_c^{0.7036} \quad (5.1)$$



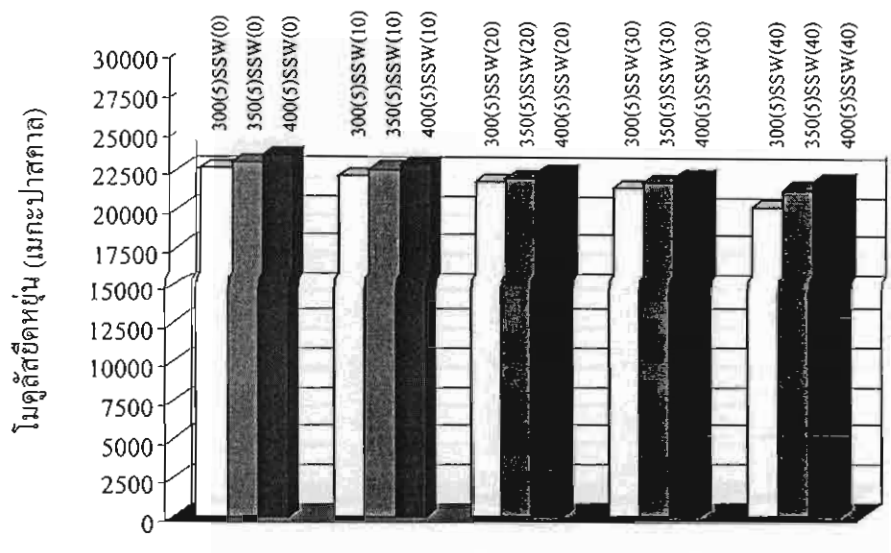
ภาพที่ 5.85 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดและกำลังรับแรงดึงแบบผ่าซีกของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฟู่นทรายได้แบบ

5.3.4 โมดูลัสยืดหยุ่น (Modulus of Elasticity)

ผลการทดสอบค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน ของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทราย ไล่แบบในปูนซีเมนต์เท่ากับร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก แสดงในภาพที่ 5.86 ถึง 5.88 สำหรับค่าการยุบตัวของคอนกรีตเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ พบว่าเมื่อ ร้อยละของการแทนที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เพิ่มขึ้นจะมีผลทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลงเช่นเดียวกับกำลังรับแรงอัดและแรงดึงแบบผ่าซีก ยกตัวอย่างเช่น คอนกรีตปกติที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเท่ากับ 22,589 เมกะปาสกาล ในขณะที่คอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไล่แบบที่ร้อยละ 10, 20, 30 และ 40 มีค่าเท่ากับ 22,170, 21,799, 21,445 และ 20,259 เมกะปาสกาล ตามลำดับ เป็นต้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากการแทนที่ผงฝุ่นทรายในปริมาณที่เพิ่มขึ้นเท่ากับเป็นการลดปริมาณปูนซีเมนต์ซึ่งจะส่งผลต่อปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตที่ลดลงทำให้กำลังรับแรงลดลง (โมดูลัสยืดหยุ่นลดลง) ดังจะพิจารณาผลในลักษณะเดียวกับการเพิ่มของปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเป็น 350 และ 400 กก./ม.³ จะทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย

เมื่อพิจารณาปัจจัยที่มีผลต่อค่าโมดูลัสที่ 28 วันของคอนกรีตเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACI 318-02 (Building Code Requirements for Structural Concrete) ซึ่งกำหนดไว้คือ ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นในหน่วยปอนด์ต่อตารางนิ้วของคอนกรีตที่มีค่าหน่วยน้ำหนักอยู่ระหว่าง 90 ถึง 155 ปอนด์ต่อลูกบาศก์ฟุตดังแสดงในสมการที่ (5.2) พบว่าค่าโมดูลัสยืดหยุ่นมีความสัมพันธ์กับกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน (f'_c) และหน่วยน้ำหนัก (Unit Weight) ของคอนกรีต โดยคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไล่แบบคุณสมบัติทั้งค่าหน่วยน้ำหนักและกำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ลดลงเมื่อสัดส่วนของผงฝุ่นทรายไล่แบบเพิ่มขึ้นทำให้โมดูลัสยืดหยุ่นมีค่าลดลง

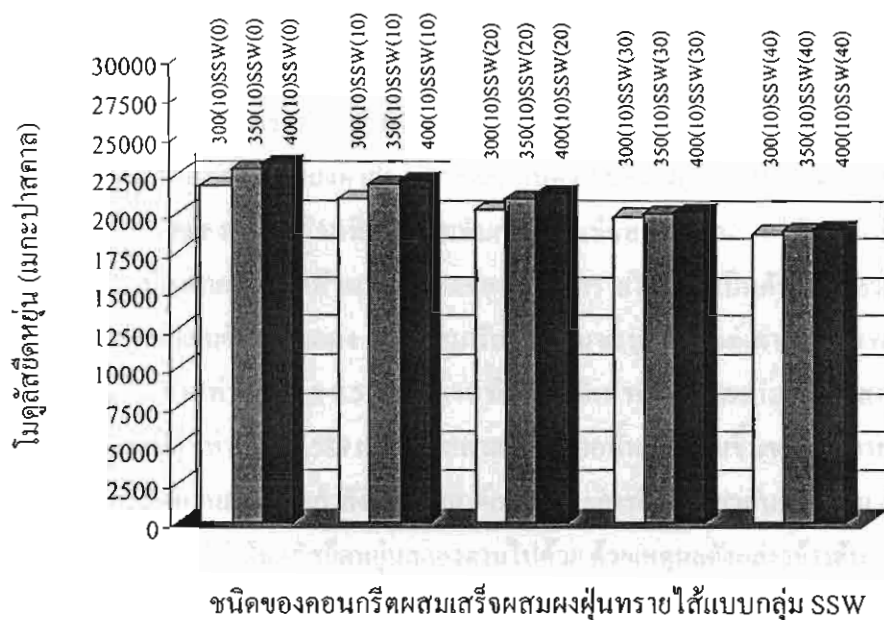
$$E_c = W_c^{1.5} 33 \sqrt{f'_c} \quad (5.2)$$



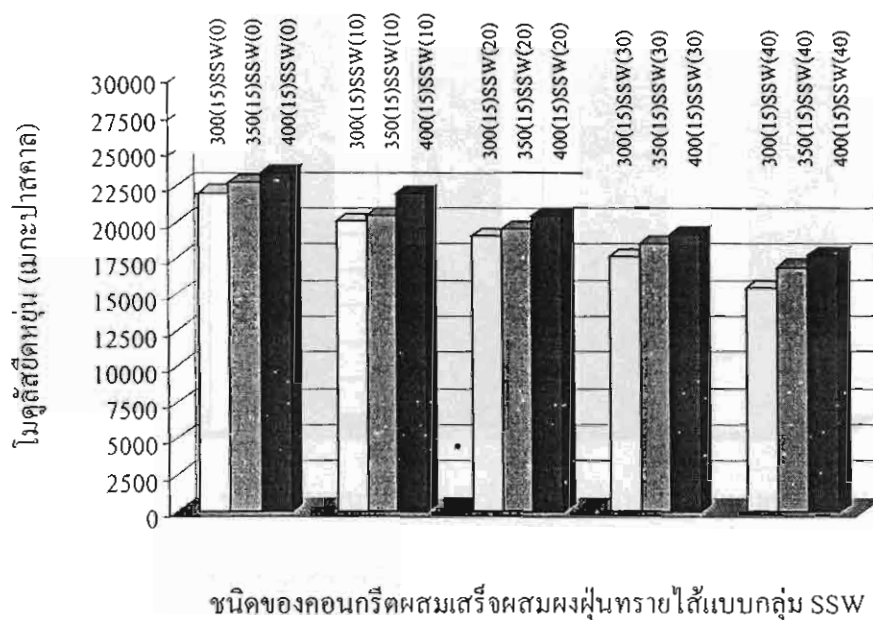
ภาพที่ 5.86 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ $X(Y)SSW(Z)$ คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้น $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นเป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงผลในภาพที่ 5.87 และ 5.88 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเช่นเดียวกัน และสำหรับคอนกรีตที่ผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบ และกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงในสัดส่วนที่มากกว่าคอนกรีตที่ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 และ 10 ± 0.5 ซม. นอกจากนั้นคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเมื่อค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้น (ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น) ทั้งนี้เป็นเพราะความพรุนของโครงสร้างในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของซีเมนต์เพสต์ลดลง (Sidney M. et al., p. 312)



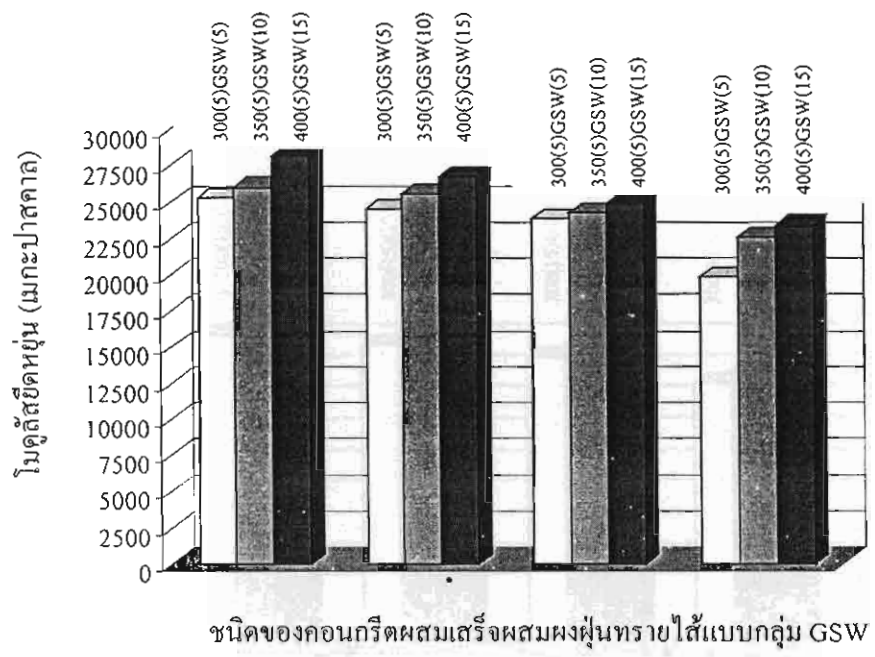
ภาพที่ 5.87 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 10 ± 0.5 ซม.



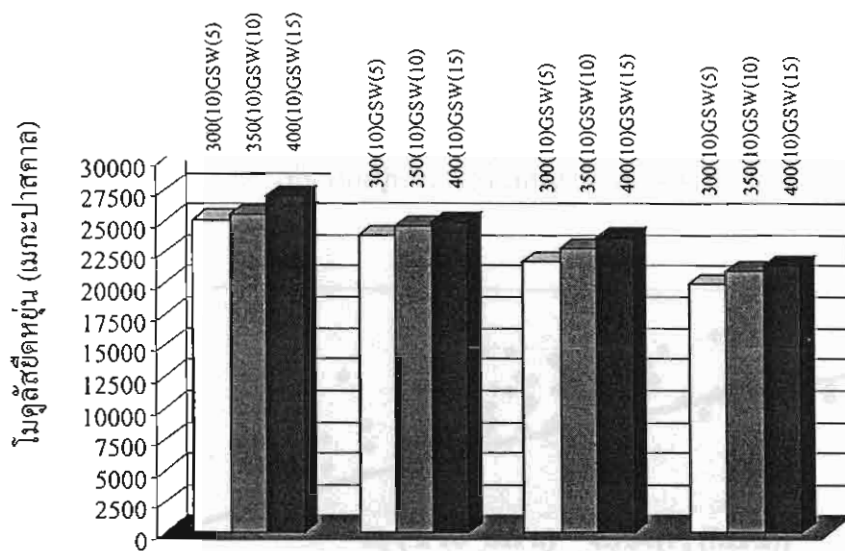
ภาพที่ 5.88 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ $X(Y)SSW(Z)$ คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเริ่มต้น $Y \pm 0.5$ ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

เมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน ของคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติ ดังแสดงในภาพที่ 5.89 ถึง 5.91 พบว่าคอนกรีตมีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของผงฝุ่นทรายไส้แบบดั่งเช่นคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW และมีการลดลงในสัดส่วนที่มากเมื่อเพิ่มการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบเท่ากับร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก เนื่องจากอนุภาคส่วนที่ละเอียดของผงฝุ่นทรายไส้แบบเป็นตัวทำให้ความต่อเนื่องของโครงสร้างแคลเซียมซลิเกตลดลง โดยคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และมีการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.89) มีเท่ากับ 19,898 เมกะปาสคาล ในขณะที่คอนกรีตปกติมีค่าเท่ากับ 22,589 เมกะปาสคาล นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นเพิ่มตามกำลังของซีเมนต์เฟสและการยึดเหนี่ยวกับมวลรวม และการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำทำให้ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นลดลงตามไปด้วย ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น

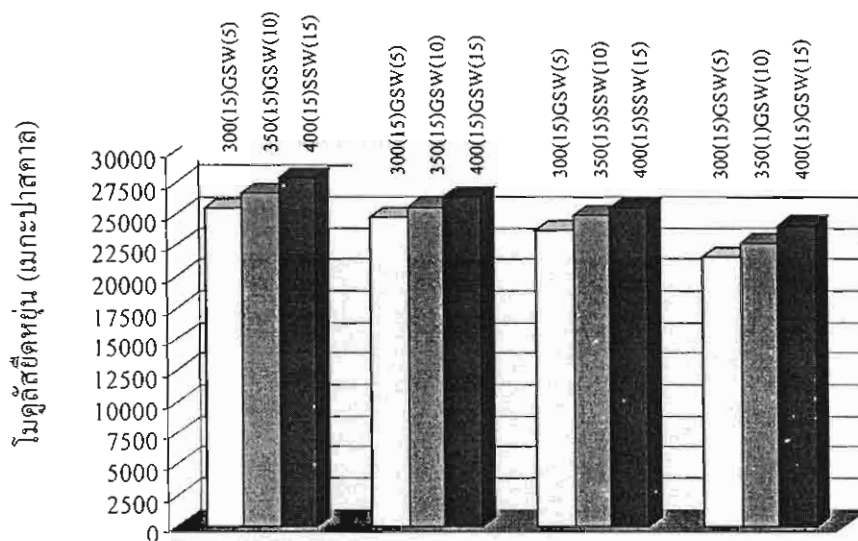


ภาพที่ 5.89 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW

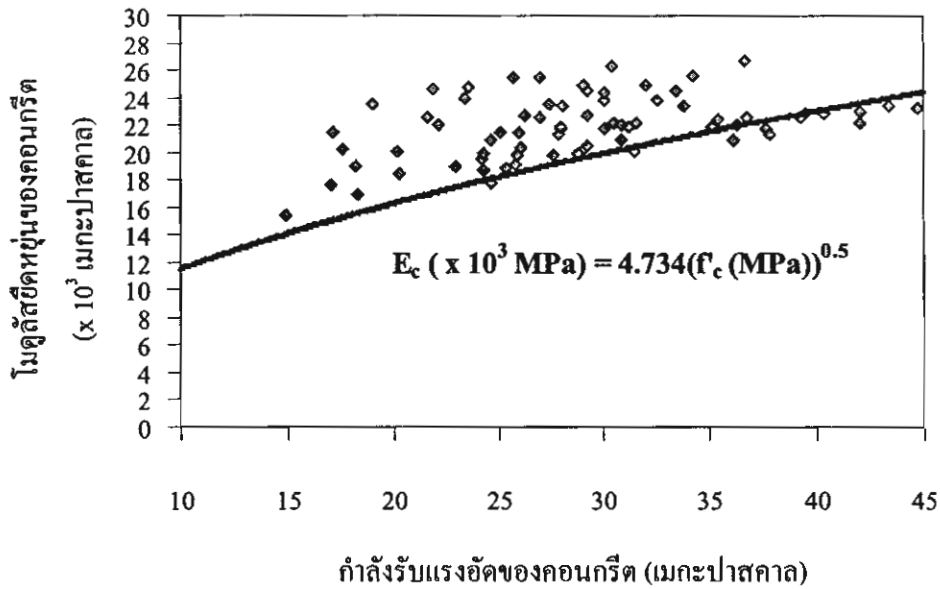
ภาพที่ 5.90 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 10 ± 0.5 ซม.



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW

ภาพที่ 5.91 โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

จากภาพความสัมพันธ์ในภาพที่ 5.92 พบว่าคอนกรีตผสมเสร็จทั้งคอนกรีตปกติและที่ผสมผงฟูทรายไส้แบบส่วนใหญ่มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่ 28 วัน สูงกว่าที่มาตรฐานกำหนด ในขณะที่คอนกรีตที่มีสัดส่วนการแทนที่ของผงฟูทรายไส้แบบบางส่วนมีค่าต่ำกว่ามาตรฐานเล็กน้อย

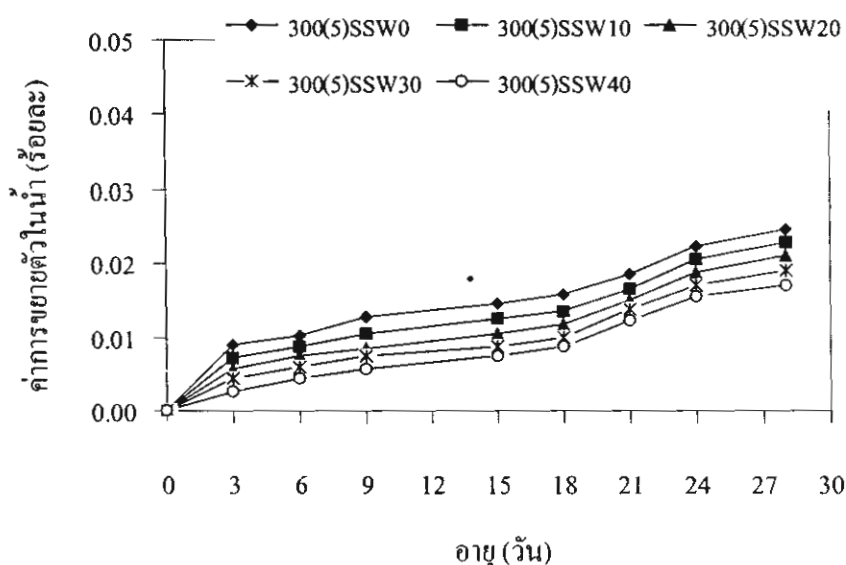


ภาพที่ 5.92 ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตที่ 28 วัน เปรียบเทียบกับมาตรฐาน ACI 318

5.4 คุณสมบัติทางด้านการทนทานคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายใต้แบบ

5.4.1 การขยายตัวในน้ำ (Expansion in Water)

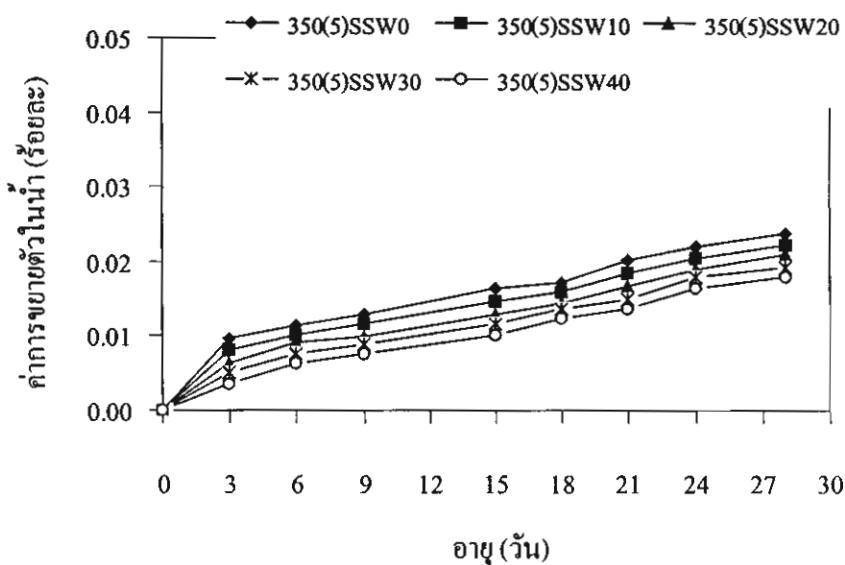
การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตเกิดขึ้นด้วย 2 สาเหตุคือ การดูดซับน้ำของซีเมนต์เจล (Cement Gel) โดยโมเลกุลของน้ำจะดันกับแรงยึดเหนี่ยวและผลึกโมเลกุลของซีเมนต์เจลออกจากกัน (Neville, A.M., pp. 425 – 426) และมาจากการขยายตัวเนื่องจากดูดซับน้ำขององค์ประกอบทางเคมี อาทิเช่น ซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) ซึ่งผลการทดสอบการขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.93, 5.94 และ 5.95 ตามลำดับ ซึ่งพบว่าคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ในสัดส่วนที่เพิ่มขึ้นทำให้ค่าการขยายตัวในน้ำจนถึงอายุ 28 วัน มีค่าลดลง ทั้งนี้เนื่องมาจากการที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบมีปริมาณของซัลเฟอร์ไตรออกไซด์ (SO_3) แคลเซียมออกไซด์อิสระ (Free CaO) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากเผาไหม้ (LOI) น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 โดยมีค่าเท่ากับ 0.05, 0.39 และ 0.87 ตามลำดับ (จากการเก็บตัวอย่างครั้งที่ 1) ในขณะที่ปูนซีเมนต์มีค่า 2.41, 0.57 และ 0.96 ซึ่งสารดังกล่าวมีคุณสมบัติที่มีปริมาตรเพิ่มขึ้นเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำ



ภาพที่ 5.93 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

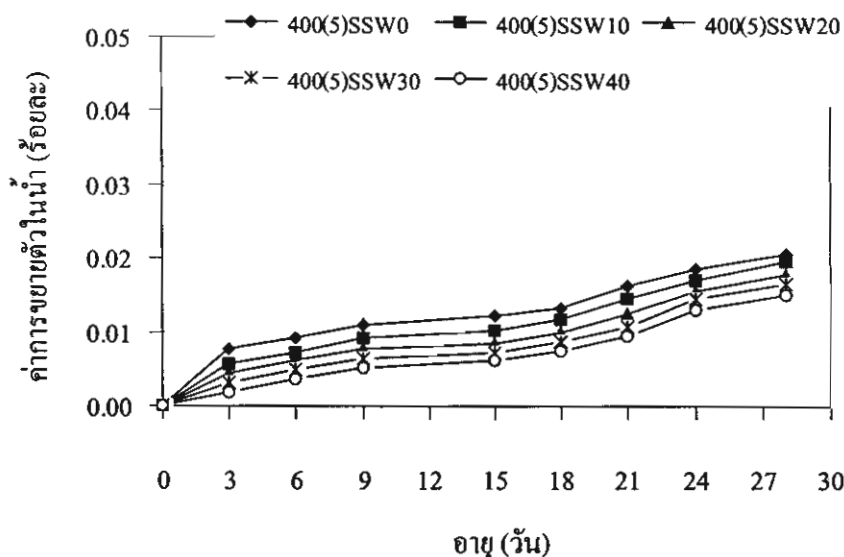
ในช่วงแรกคอนกรีตจะมีอัตราการขยายตัวมากทั้งคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฝุ่นทราย ใต้แบบเนื่องจากการดูดซับน้ำผ่านทางโพรงคาพิวลารีมีมาก ในขณะที่ช่วงหลังเมื่อปริมาณน้ำใน โพรงคาพิวลารีมีมากจะทำให้น้ำจากภายนอกเข้าไปสู่ภายในเพื่อทำปฏิกิริยาได้ได้น้อยลง

เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีค่าปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเพิ่มขึ้นเป็น 350 และ 400 กก./ม.³ (ภาพที่ 5.95 และ 5.95) พบว่าค่าการขยายตัวในน้ำมีค่าลดลง ซึ่งเป็นเนื่องมาจากการเพิ่มขึ้นของ ปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรตเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความตึงน้ำมีค่าเพิ่ม ขึ้นตามไปด้วย



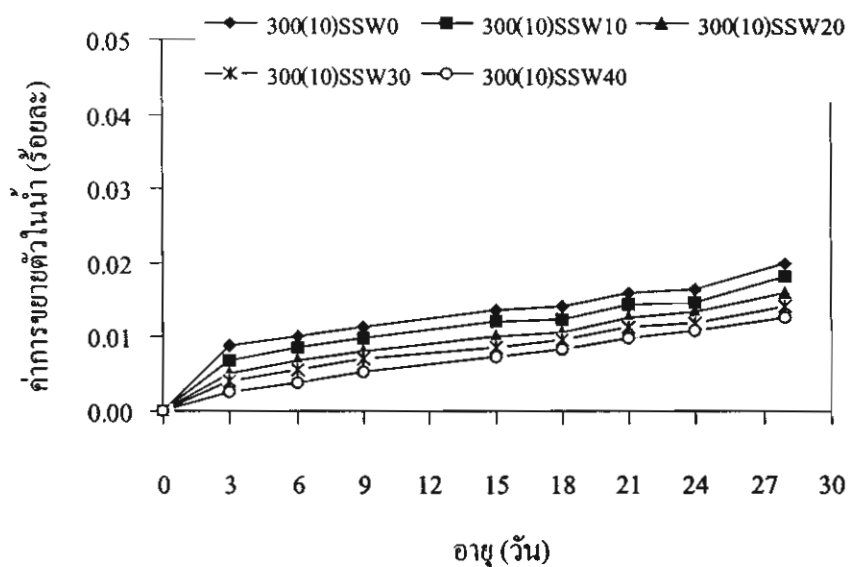
ภาพที่ 5.94 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³

ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



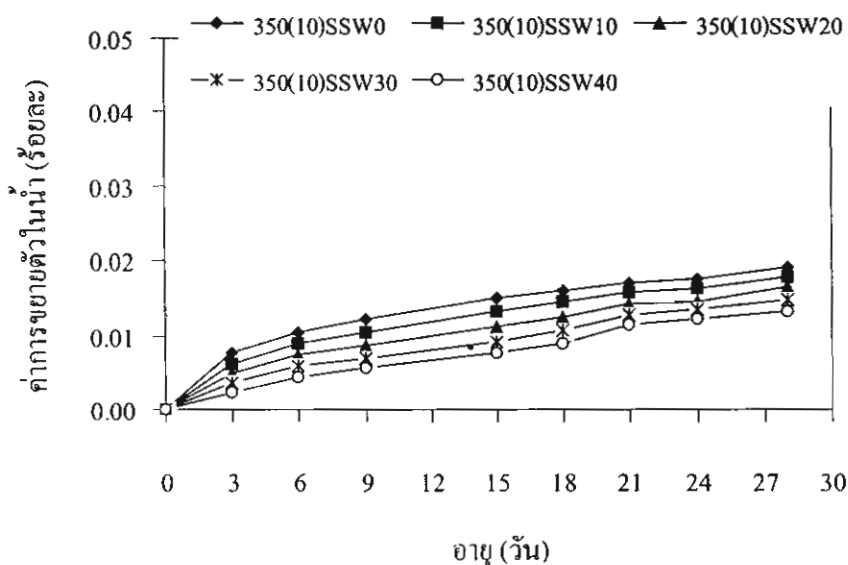
ภาพที่ 5.95 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ใน
 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

สำหรับในประเด็นของการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำ (ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้น) ดังแสดงผลการทดสอบใน 5.96 ถึง 5.101 สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ พบว่าแนวโน้มของการขยายตัวของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อเวลาของการบ่มเพิ่มขึ้นและเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติจะได้ว่าคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีค่าการขยายตัวในน้ำลดลงตามลำดับ เมื่อสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลในลักษณะเดียวกับที่กล่าวมาข้างต้น ในขณะที่เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากันจะเห็นว่าค่าการขยายตัวในน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นเมื่อปริมาณน้ำในคอนกรีตที่ค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการเพิ่มของปริมาณน้ำคอนกรีตทำให้ความพรุนหรือความทึบน้ำของคอนกรีตเพิ่มขึ้นซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของจำนวนโพรงคาพิวลารีและรวมไปถึงขนาดของโพรงดังกล่าวทำให้โมเลกุลของน้ำจากภายนอกสามารถเข้าไปภายในเนื้อพาสต์และทำปฏิกิริยากับซัลเฟอร์ไดรอกไซด์ (SO_3) แคลเซียมออกไซด์อิสระ (Free CaO) และร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากเผาไหม้ (LOI) ได้เพิ่มขึ้น



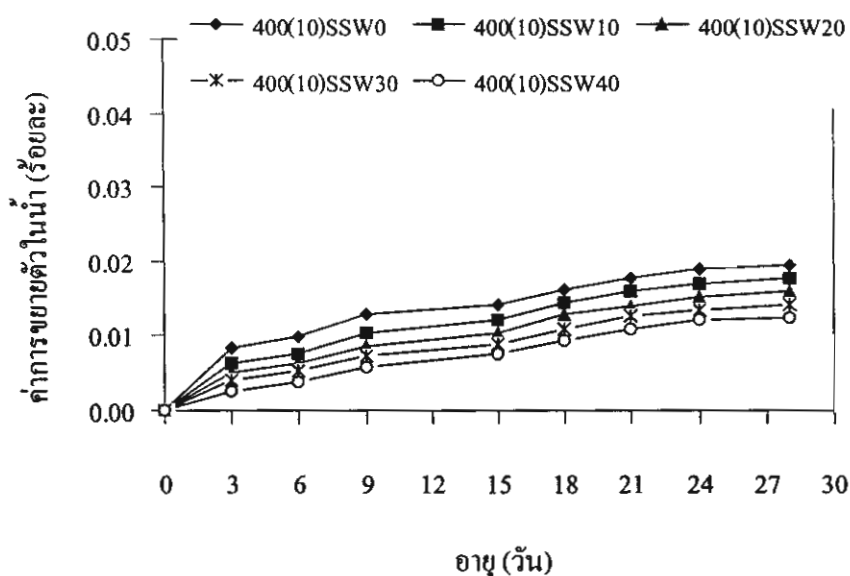
ภาพที่ 5.96 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³

ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ใน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

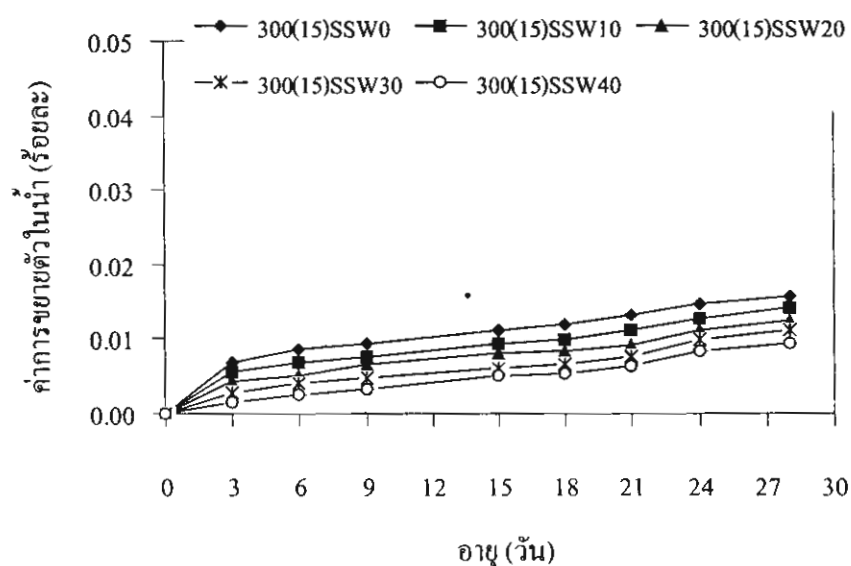


ภาพที่ 5.97 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³

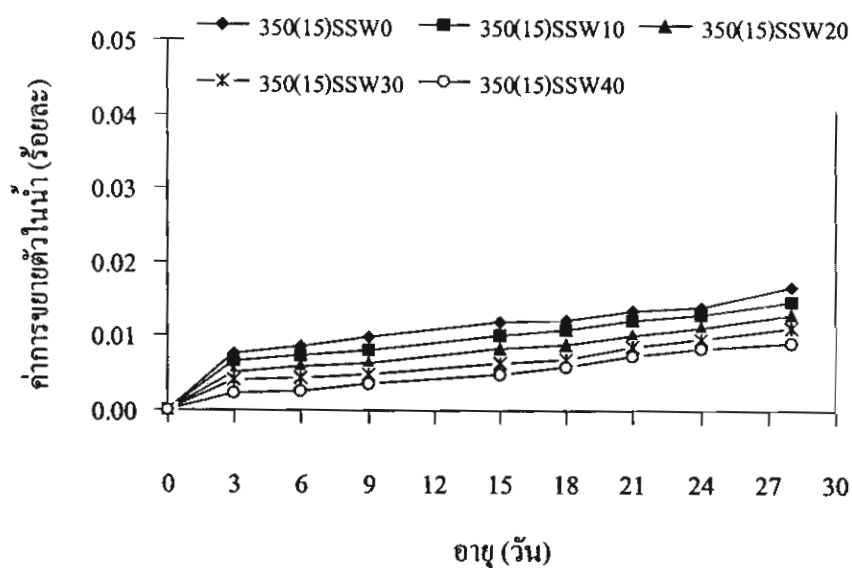
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใต้แบบกลุ่ม SSW ใน
ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



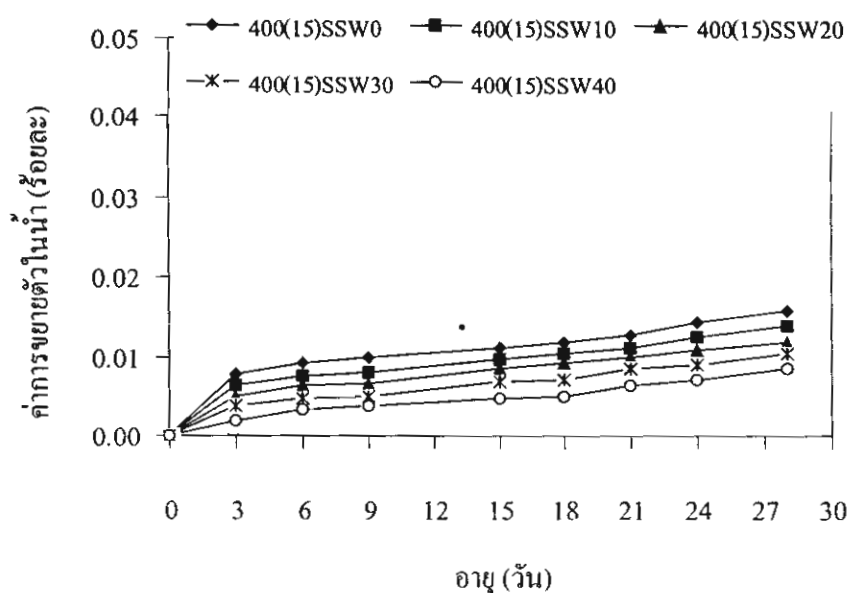
ภาพที่ 5.98 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน
 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.99 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน
 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

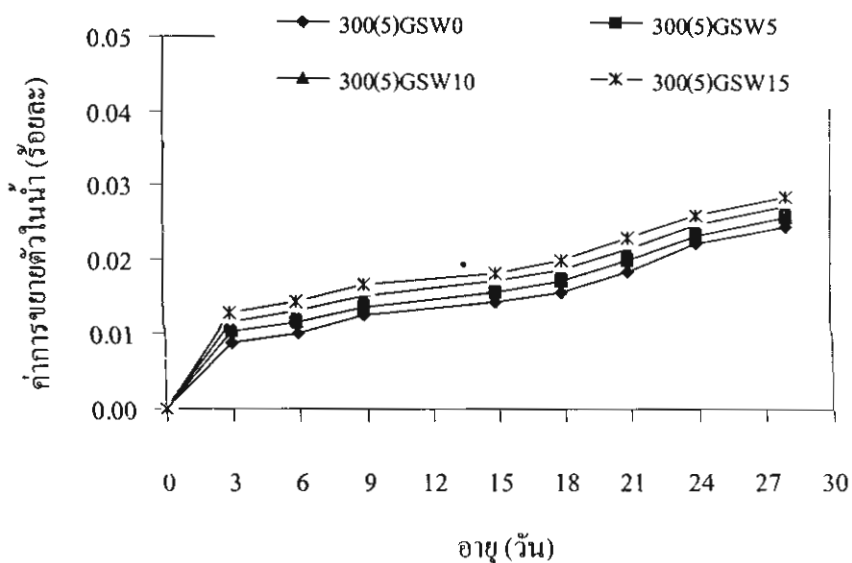


ภาพที่ 5.100 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ใน
 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



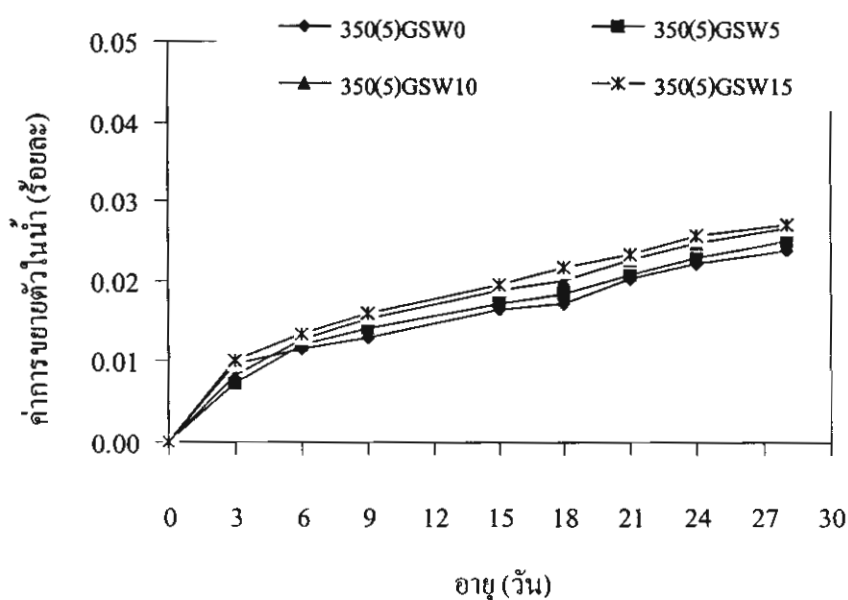
ภาพที่ 5.101 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ใน
 ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบค่าการขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW แสดงในภาพที่ 5.102 ถึง 5.110 สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ โดยคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.102 พบว่าเมื่อร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในทรายธรรมชาติมีค่าเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการขยายตัวของคอนกรีตจนถึงอายุ 28 วัน มีค่าเพิ่มขึ้นจากคอนกรีตปกติเล็กน้อย ซึ่งเป็นผลมาจากการที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW มีปริมาณของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากเผาไหม้ (LOI) (ร้อยละ 1.00) มีค่ามากกว่าปูนซีเมนต์เล็กน้อย (ร้อยละ 0.96) ทำให้เมื่อดูดซับความชื้นจะเกิดการขยายตัวมากขึ้น ประกอบการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบซึ่งมีความละเอียดมากกว่าทรายธรรมชาติทำให้ค่าความต้องการน้ำของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ส่งผลให้คอนกรีตมีความพรุนมากขึ้นตามปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้น (Sidney M. et al., pp. 350 – 351) ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของขนาดและปริมาณของโพรงคาพิวลารีทำให้น้ำหรือความชื้นจากภายนอกสามารถเข้าไปสู่ภายในเนื้อคอนกรีตได้มากขึ้น เมื่อปริมาณในคอนกรีตเพิ่มขึ้นนั่นคือ การที่ซีเมนต์เจลดสามารถดูดซับและเกิดการขยายตัวได้มากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นจะสังเกตว่าในช่วงแรกของการบ่มในน้ำคอนกรีตมีอัตราการขยายตัว (ความชันของค่าการขยายตัวในน้ำกับเวลา) สูงและมีค่าลดลงตามลำดับ ทั้งนี้เพราะในช่วงแรกน้ำสามารถเข้าไปสู่ภายในเนื้อคอนกรีตได้มากซึ่งเป็นผลจากการที่น้ำภายในถูกน้ำไปใช้ในการทำปฏิกิริยาไฮเดรชันทำให้น้ำภายในมีปริมาณลดลงทำให้น้ำจากภายนอกจึงสามารถเข้าไปสู่ภายในได้เพิ่มขึ้น

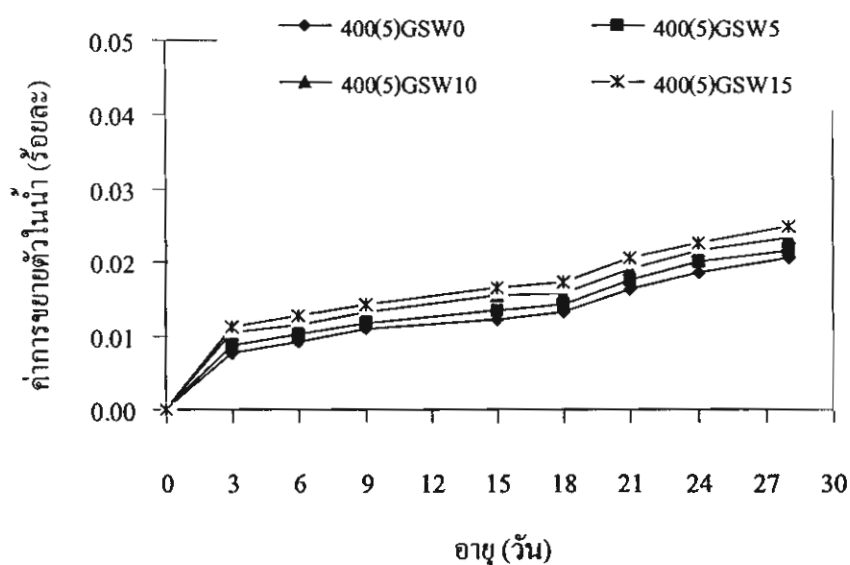


ภาพที่ 5.102 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบค่าการขยายตัวในน้ำของคอนกรีตที่มีปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจาก 300 กก./ม.³ เป็น 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.103 และ 5.104 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตซึ่งมีส่วนผสมของผงฝุ่นทรายได้แบบมีค่าการขยายตัวน้ำไม่แตกต่างไปจากคอนกรีตซึ่งทำจากปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ล้วน โดยมีค่ามากกว่าคอนกรีตปกติเล็กน้อย และเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ จะเห็นว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตทำให้ค่าการขยายตัวในน้ำลดลง ซึ่งเป็นมาจากการที่คอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้โครงสร้างของคอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นจากปริมาณของผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต (C-S-H) แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) และอื่นๆ) ที่เพิ่มขึ้น



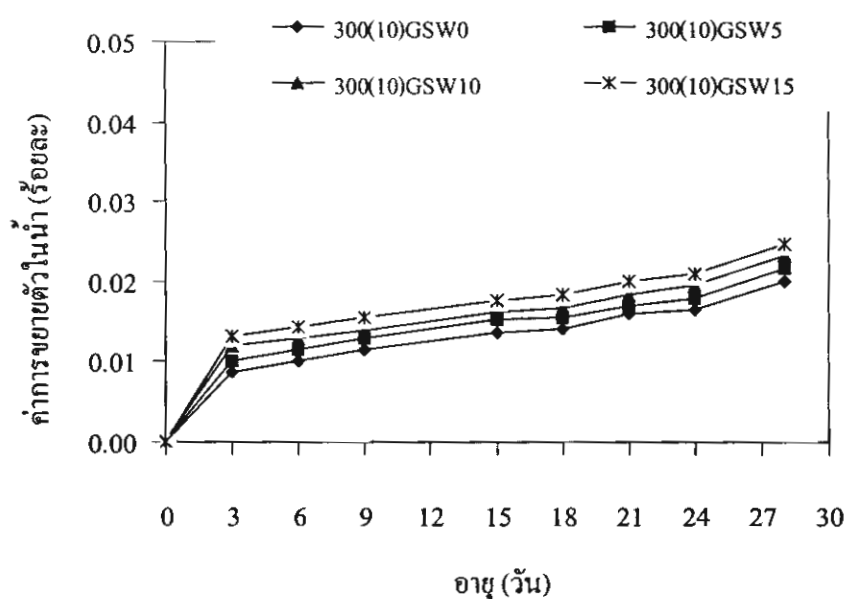
ภาพที่ 5.103 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



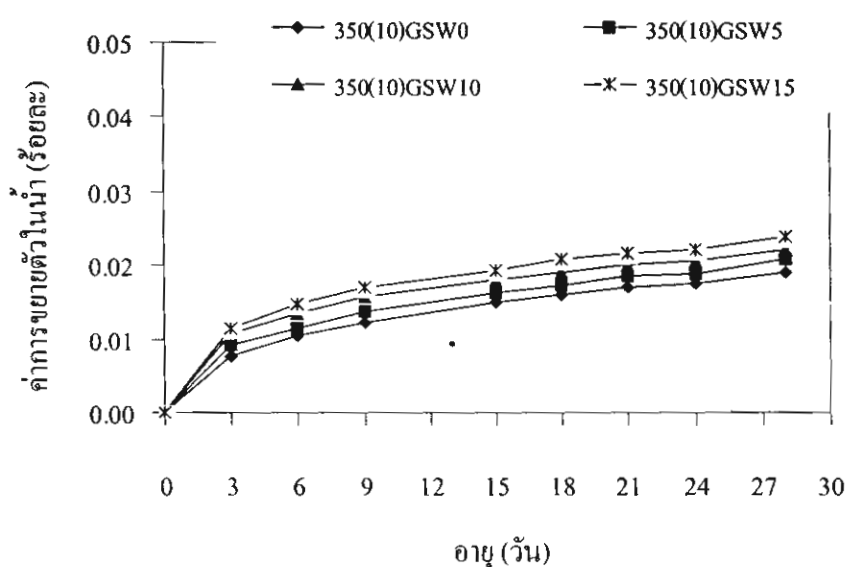
ภาพที่ 5.104 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³

ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

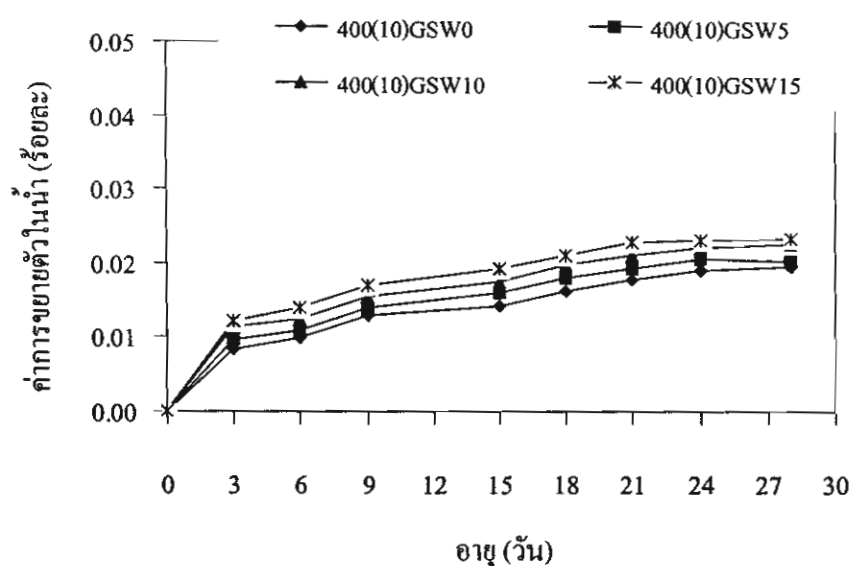
เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 (ภาพที่ 5.105 ถึง 5.107) และ 15 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.108 ถึง 5.110) พบว่าคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW มีค่าการขยายตัวในน้ำเพิ่มขึ้นตามปริมาณการแทนที่ของผงฝุ่นทรายใส่แบบในทรายธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น แต่กระนั้นค่าการขยายตัวมีค่าไม่แตกต่างจากคอนกรีตปกติมาก เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. พบว่าคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นมีค่าการขยายตัวในน้ำเพิ่มขึ้น ซึ่งเป็นผลมาจากการที่คอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้น (ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น) นั่นคือ น้ำในคอนกรีตทั้งที่เป็นส่วนประกอบของโครงสร้างของผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชันและน้ำอิสระซึ่งแบ่งออกเป็น 2 ส่วนคือ น้ำที่อยู่ในโพรงที่ไม่สามารถเคลื่อนที่ได้และน้ำที่มีอยู่โพรงคาพิลลารี (Capillary Pores) ซึ่งสามารถเกิดการแลกเปลี่ยนกับภายนอกได้ มีปริมาณมากขึ้น จึงเท่ากับเป็นการปิดกั้นน้ำหรือความชื้นจากภายนอกที่จะเข้าไปสู่ภายในได้มากขึ้น



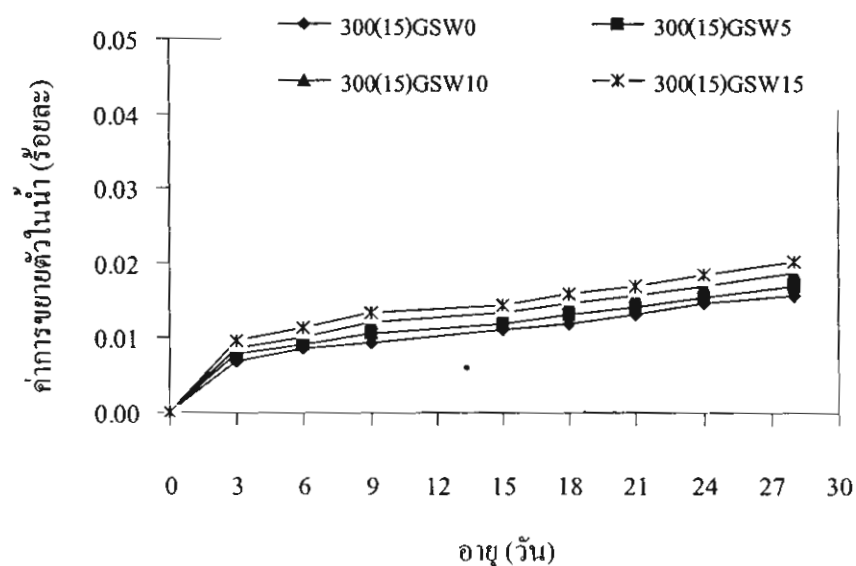
ภาพที่ 5.105 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายด้วยแบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



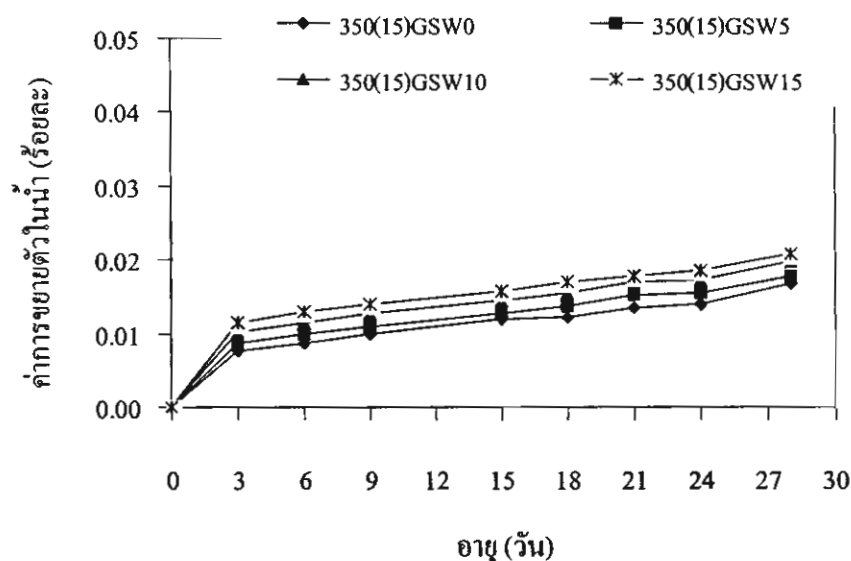
ภาพที่ 5.106 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³
ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายด้วยแบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



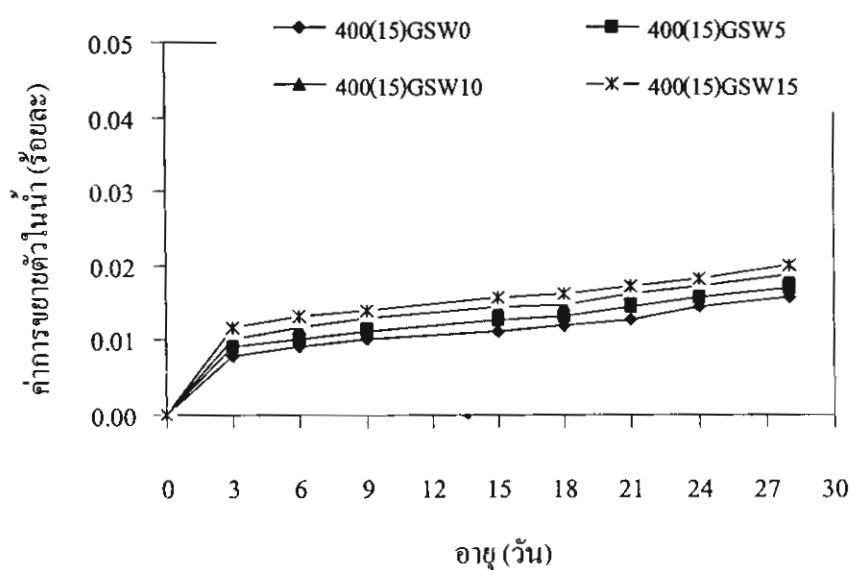
ภาพที่ 5.107 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน
 ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.108 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³
 ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน
 ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.109 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³
ค่าการยวบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.110 การขยายตัวในน้ำของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³
ค่าการยวบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน
ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

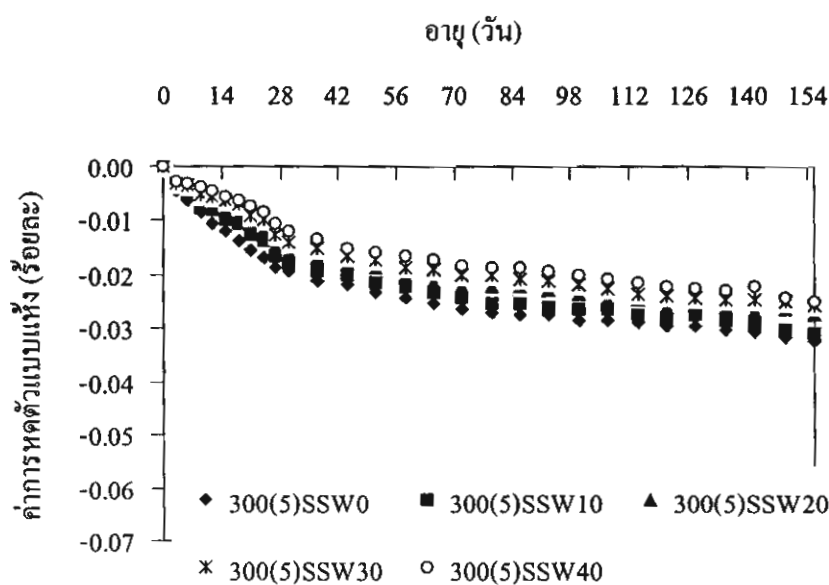
5.4.2 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

5.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีต (Length Change)

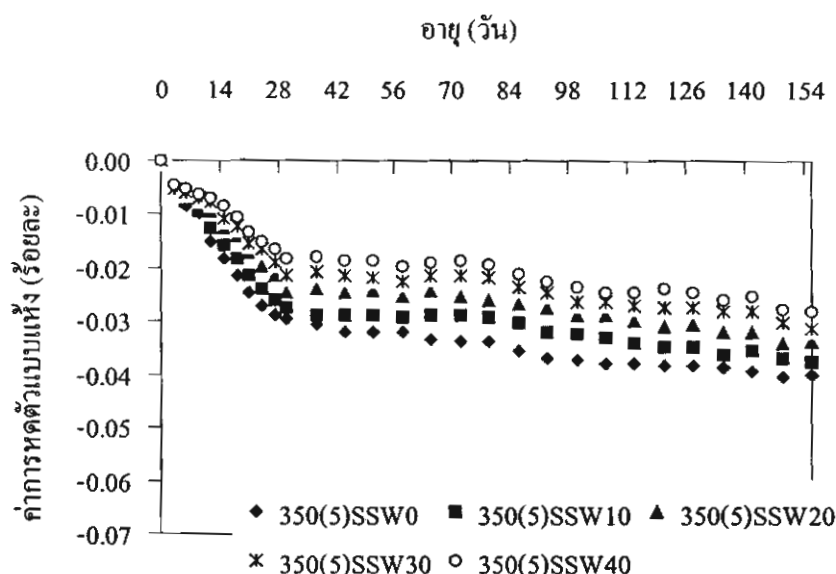
การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตเป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียน้ำหรือความชื้น (Moisture) ทั้งน้ำอิสระ (Free Water) และอยู่ภายใน โครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ในสถานะอากาศที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Water) และเป็นกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversible) กล่าวคือ เมื่อนำคอนกรีตไปผ่านสถานะที่มีความชื้นจะไม่สามารถทำให้คอนกรีตกลับมามีปริมาตรเท่ากับเริ่มต้น (Neville, A.M., pp. 426 – 427) โดยผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฟู่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW แสดงในภาพที่ 5.111 ถึง 5.119 สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 , 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ พบว่าสำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ในภาพที่ 5.111 มีค่าการหดตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้น เมื่อระยะเวลาของการบ่มในสถานะที่ทำการควบคุมอุณหภูมิ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์เท่ากับร้อยละ 60 ± 5 เพิ่มขึ้นทั้งคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฟู่นทรายไส้แบบ โดยในช่วง 30 วันแรก ค่าการหดตัวของคอนกรีตมีอัตราการหดตัวมีค่าสูง (ความชันของค่าการหดตัวกับเวลา) อันเนื่องมาจากในช่วงแรกน้ำอิสระซึ่งมีปริมาณมากสามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกโดยผ่านทางช่องคาพิลลารี (Capillary) ได้ง่าย จนกระทั่งเมื่อน้ำอิสระมีปริมาณลดลงทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบภายในโครงสร้างของเจลและแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) แทรกออกมา แต่กระนั้นความสามารถในการเคลื่อนตัวออกมามีค่าต่ำมาก (Neville, A.M., pp. 427) เนื่องจากถูกโครงสร้างของเจลและแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ขัง (Restrained) ไว้ ประกอบการที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ในคอนกรีตมีปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น นั่นคือการทำให้องค์คาพิลลารีมีขนาดเล็กลง น้ำหรือความชื้นจึงเคลื่อนที่ออกได้ยากขึ้นส่งผลให้ การหดตัวแบบแห้งจึงมีอัตราของการหดตัวลดลงจนกระทั่งมีค่าการหดตัวมีแนวโน้มคงที่

เมื่อพิจารณาสำหรับการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมผงฟู่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีแนวโน้มของค่าการหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตปกติ ทั้งนี้เพราะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกของผงฟู่นทรายไส้แบบทำให้ปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณและขนาดของช่องคาพิลลารีลดลง ปริมาณของน้ำจะออกสู่ภายนอกได้น้อยลง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์จาก 300 กก./ม.³ เป็น 350 และ 400 กก./ม.³ ในภาพที่ 5.112 และ 5.113 พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ค่าการหดตัวของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาตรที่

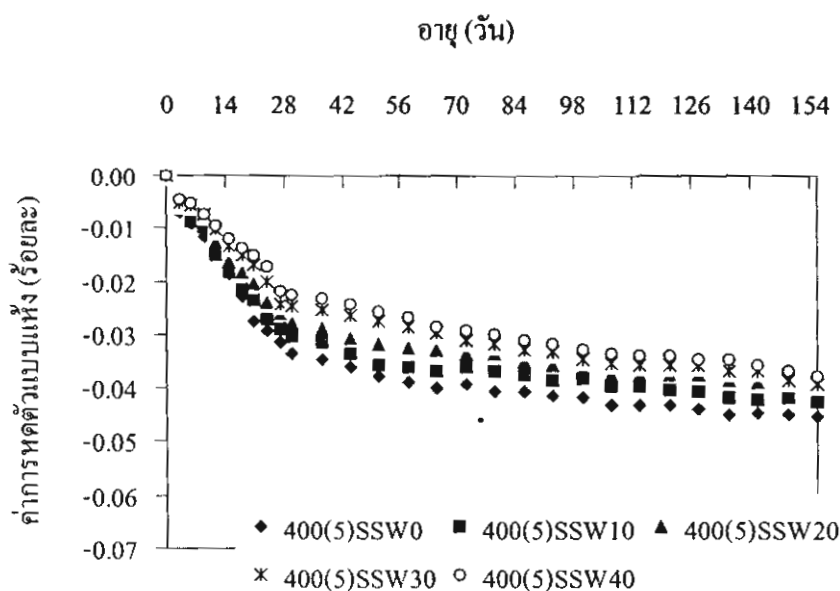
เพิ่มขึ้นของซีเมนต์เพสต์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Neville, A.M., pp. 430) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการหดตัวที่เพิ่มขึ้น แต่กระนั้นการเพิ่มขึ้นปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ปริมาณน้ำเพื่อทำให้ค่าการยุบตัวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ด้วยปัจจัยที่ตรงกันข้ามของปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำที่ขึ้นตามทำให้การหดตัวแบบแห้งมีการเปลี่ยนแปลงค่อนข้างน้อย



ภาพที่ 5.111 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

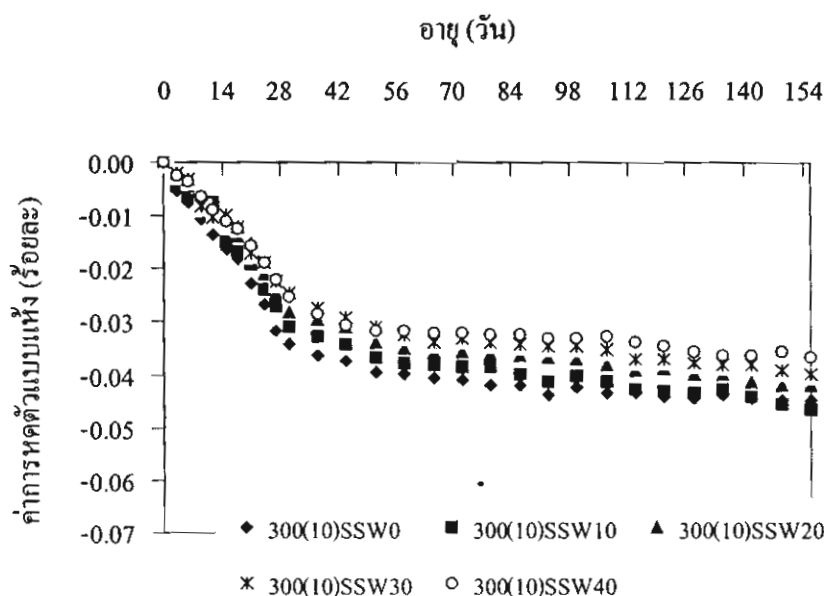


ภาพที่ 5.112 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

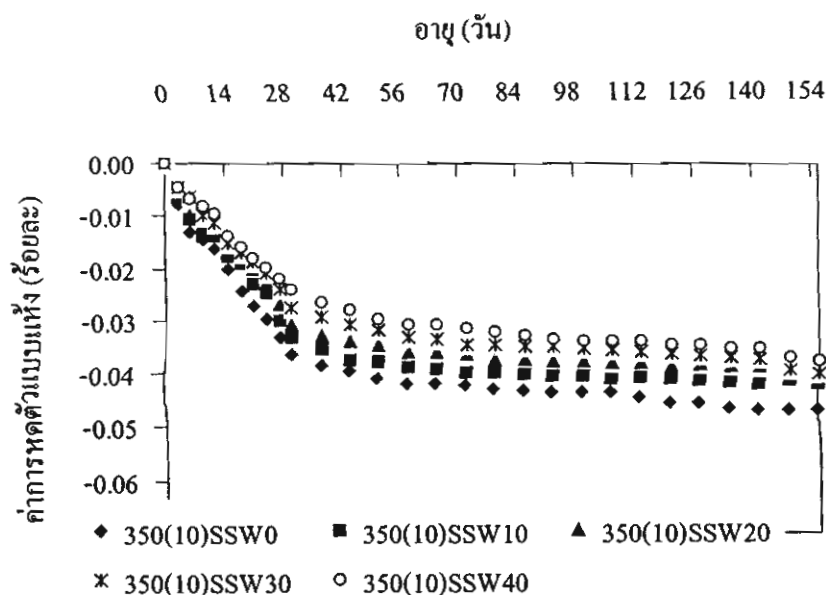


ภาพที่ 5.113 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

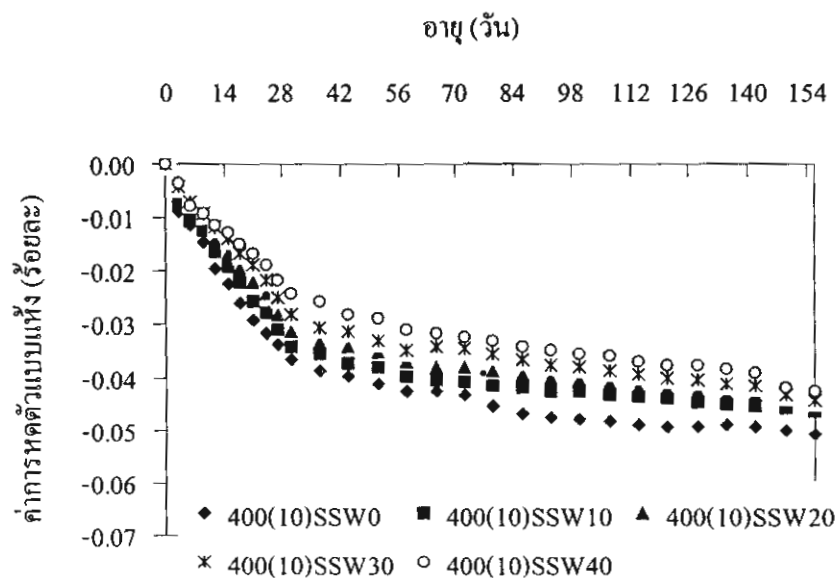
สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นจาก 5 ± 0.5 เป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.114 ถึง 5.119 พบว่าแนวโน้มของค่าการหดตัวมีลักษณะเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. กล่าวคือ ที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น คอนกรีตมีค่าการหดตัวที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงแรกคอนกรีตมีอัตราในการหดตัวสูงและมีค่าลดลงตามลำดับจนการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการหดตัวมีค่าคงที่ เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาณผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทำให้คอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งลดลงตามลำดับ ในขณะที่เมื่อทำการเปรียบเทียบคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นมากขึ้นหรือปริมาณน้ำในส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลในหลายประการตั้งแต่ การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำทำให้ทำให้ปริมาณของมวลรวมทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดซึ่งทำหน้าที่ในการยึดรั้งการหดตัวที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตลดลง ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมีผลต่อความพรุนของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งคือ ขนาดและจำนวนของโพรงคาพิวลารีที่ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากคอนกรีตที่มีมากทำให้ค่าการหดตัวมีค่าเพิ่มตามลำดับ



ภาพที่ 5.114 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

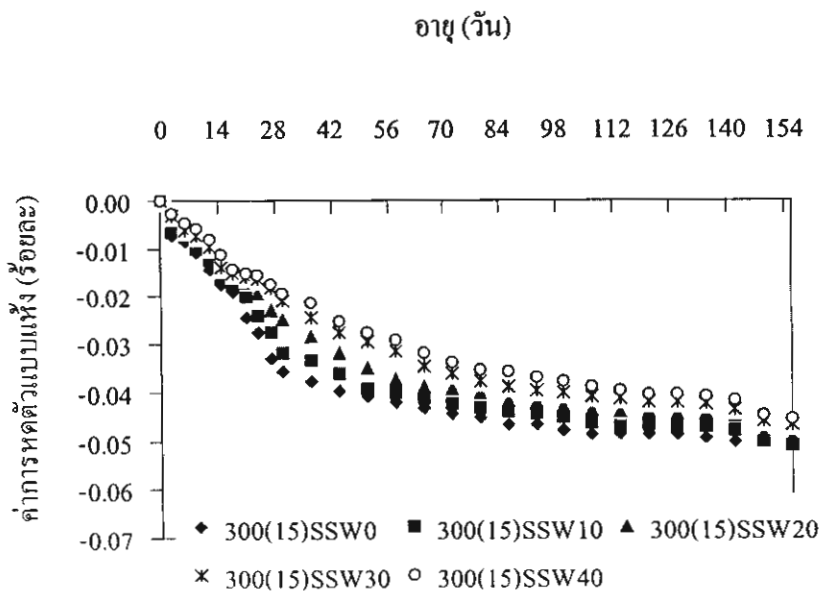


ภาพที่ 5.115 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

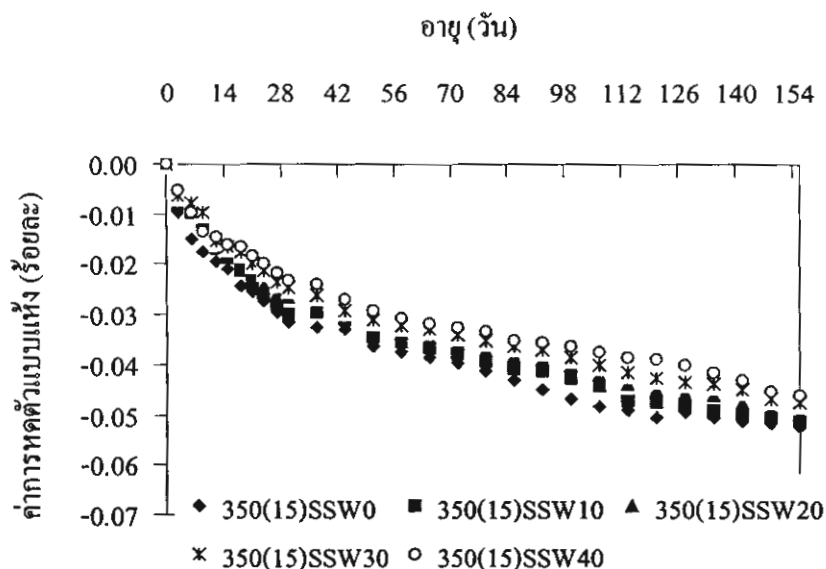


ภาพที่ 5.116 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

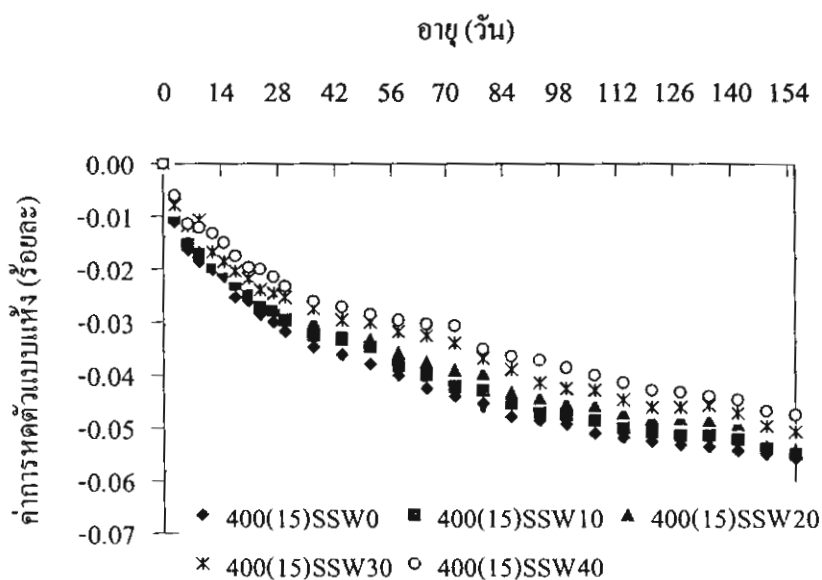
ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.117 ถึง 5.119 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์ทำให้ค่าการหดตัวมีค่าลดลง เนื่องจากความหนาแน่นของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะผงฟูนทรายไส้แบบเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิก นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวแบบแห้งในลักษณะเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.



ภาพที่ 5.117 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

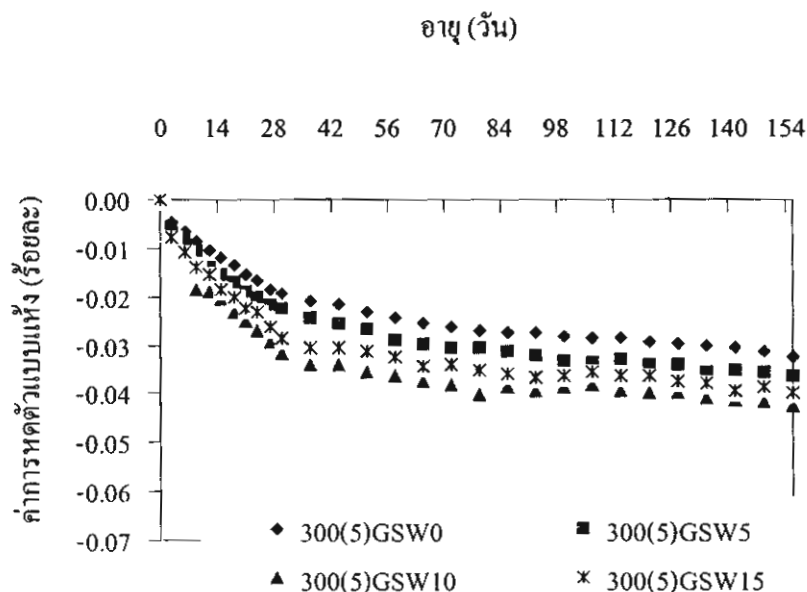


ภาพที่ 5.118 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

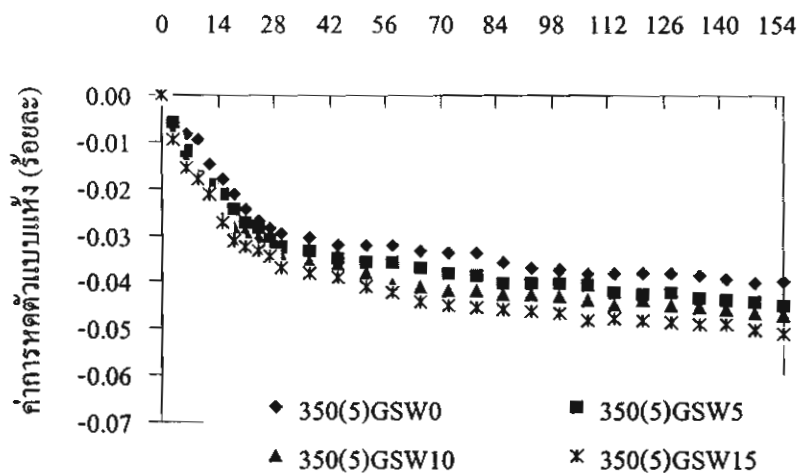


ภาพที่ 5.119 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบค่าการหดตัวของคอนกรีตปกติเปรียบเทียบกับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติ โดยคอนกรีตมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.120 ถึง 5.122 ตามลำดับ พบว่าในทุกๆ อัตราส่วนของคอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงในช่วง 30 วันแรก และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังมีเหตุผลเช่นเดียวกันกับคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW นอกจากนั้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบในทรายธรรมชาติเพิ่มมีผลทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผล 2 คือ ขนาดอนุภาคของผงฝุ่นทรายได้แบบที่มีส่วนความละเอียดมากกว่าทรายธรรมชาติ ดังจะดูได้จากการกระจายขนาดผลในภาพที่ 5.11 ซึ่งส่งผลต่อช่องว่าง (Voids) ขนาดใหญ่ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น (Neville, A.M., pp. 434) ประกอบการที่ผงฝุ่นทรายได้แบบบางส่วนมีขนาดอนุภาคเล็กใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคของผงฝุ่นทรายได้แบบสามารถแทรกระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินไป ผงฝุ่นทรายได้แบบจะเป็นตัวปิดกั้นความต่อน้ำภายในโครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งหมายถึงความพรุนภายในเนื้อของเพสต์ที่เพิ่มขึ้น การหดตัวแบบแห้งจึงมีค่าเพิ่มขึ้น

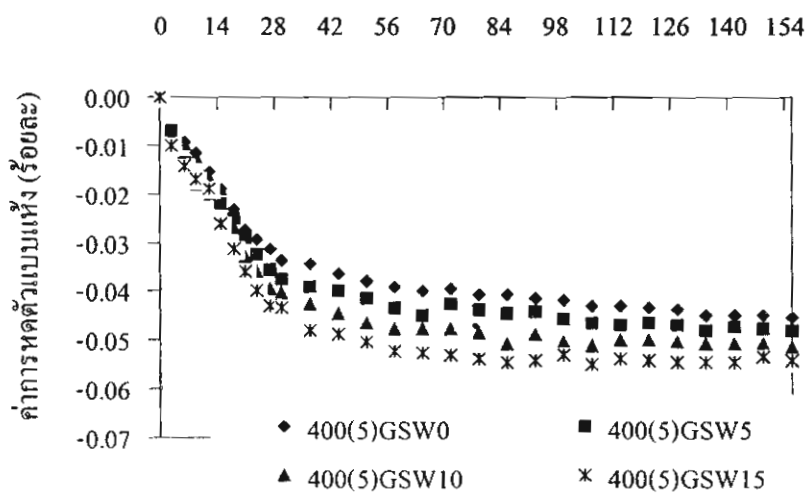


ภาพที่ 5.120 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.121 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

อายุ (วัน)



ภาพที่ 5.122 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก