

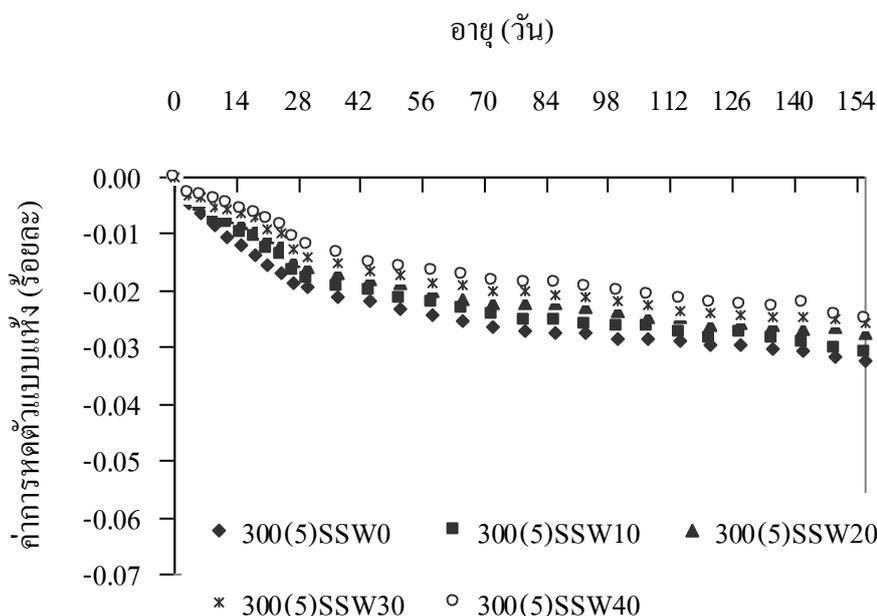
5.4.2 การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage)

5.4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีต (Length Change)

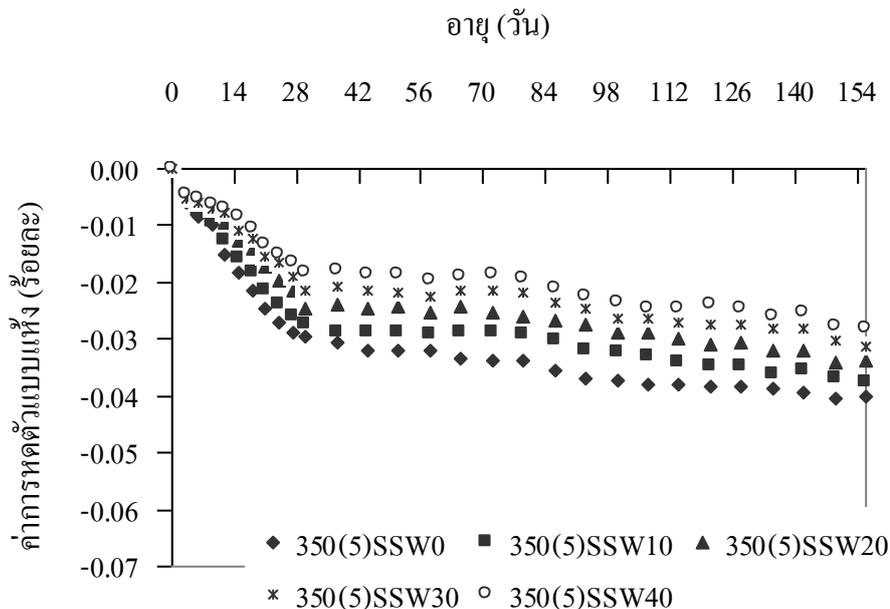
การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตเป็นการหดตัวที่เกิดขึ้นจากการสูญเสียน้ำหรือความชื้น (Moisture) ทั้งน้ำอิสระ (Free Water) และอยู่ภายในโครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ในสถานะอากาศที่ไม่อิ่มตัว (Unsaturated Water) และเป็นกระบวนการที่ผันกลับไม่ได้ (Irreversible) กล่าวคือ เมื่อน้ำคอนกรีตไปผ่านสถานะที่มีความชื้นจะไม่สามารถทำให้คอนกรีตกลับมามีปริมาตรเท่ากับเริ่มต้น (Neville, A.M., pp. 426 – 427) โดยผลการทดสอบการหดตัวของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม 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 เพิ่มขึ้นทั้งคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไส้แบบ โดยในช่วง 30 วันแรก ค่าการหดตัวของคอนกรีตมีอัตราการหดตัวมีค่าสูง (ความชันของค่าการหดตัวกับเวลา) อันเนื่องมาจากในช่วงแรกน้ำอิสระซึ่งมีปริมาณมากสามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกโดยผ่านทางช่องคาพิลลารี (Capillary) ได้ง่าย จนกระทั่งเมื่อน้ำอิสระมีปริมาณลดลงทำให้น้ำที่เป็นส่วนประกอบภายในโครงสร้างของเจลและแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์ (C-S-H) แทรกออกมา แต่กระนั้นความสามารถในการเคลื่อนตัวออกมามีค่าต่ำมาก (Neville, A.M., pp. 427) เนื่องจากถูกโครงสร้างของเจลและแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์รั้ง (Restrained) ไว้ ประกอบการที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มขึ้นส่งผลให้ในคอนกรีตมีปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้น นั่นคือการทำให้อ่างคาพิลลารีมีขนาดเล็กลง น้ำหรือความชื้นจึงเคลื่อนที่ออกได้ยากขึ้นส่งผลให้ การหดตัวแบบแห้งจึงมีอัตราของการหดตัวลดลงจนกระทั่งมีค่าการหดตัวมีแนวโน้มคงที่

เมื่อพิจารณาสำหรับการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีแนวโน้มของค่าการหดตัวน้อยกว่าคอนกรีตปกติ ทั้งนี้เพราะเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกของผงฟูนทรายไส้แบบทำให้ปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮดรอกไซด์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณและขนาดของช่องคาพิลลารีลดลง ปริมาณของน้ำจะออกสู่ภายนอกได้น้อยลง ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์จาก 300 กก./ม.³ เป็น 350 และ 400 กก./ม.³ ในภาพที่ 5.112 และ 5.113 พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ค่าการหดตัวของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เป็นผลเนื่องมาจากปริมาตร

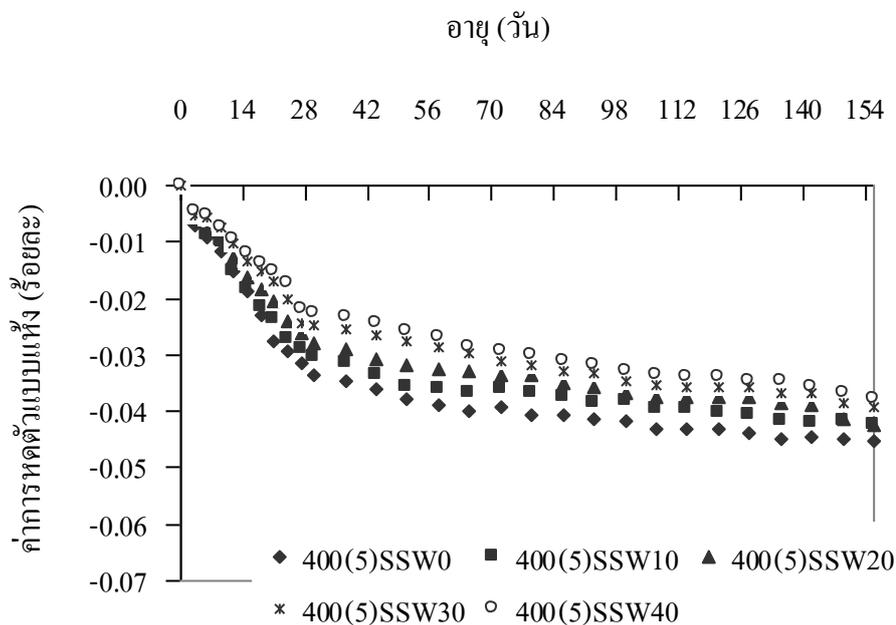
ที่เพิ่มขึ้นของซีเมนต์เฟสท์ที่เกิดจากการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน (Neville, A.M., pp. 430) ซึ่งอาจจะทำให้เกิดการหดตัวที่เพิ่มขึ้น แต่กระนั้นการเพิ่มขึ้นปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้ปริมาณน้ำเพื่อทำให้ค่าการยุบตัวเริ่มต้นมีค่าเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. มีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ด้วยปัจจัยที่ตรงกันข้ามของปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นและปริมาณน้ำที่ขึ้นตามทำให้การหดตัวแบบแห้งมีการเปลี่ยนแ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



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

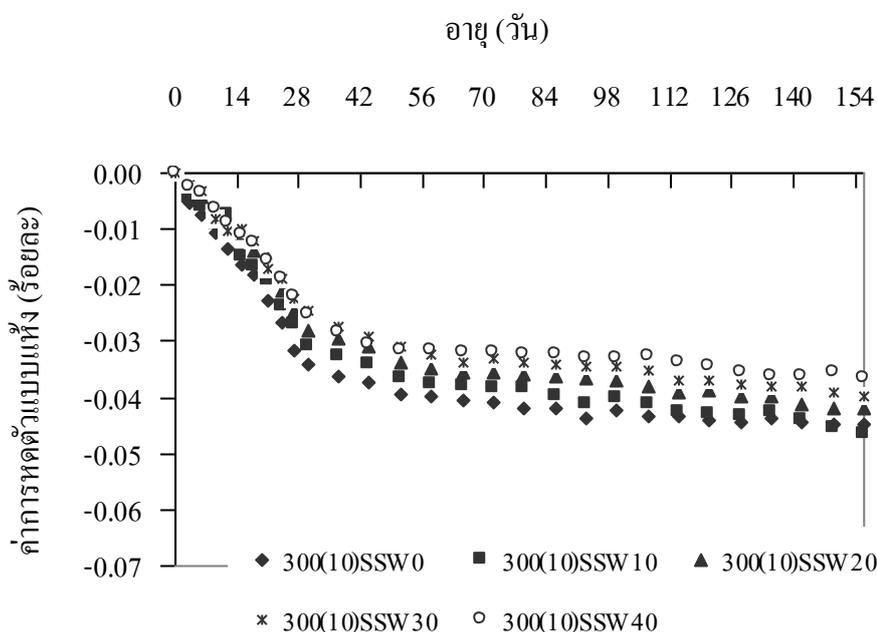


ภาพที่ 5.112 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

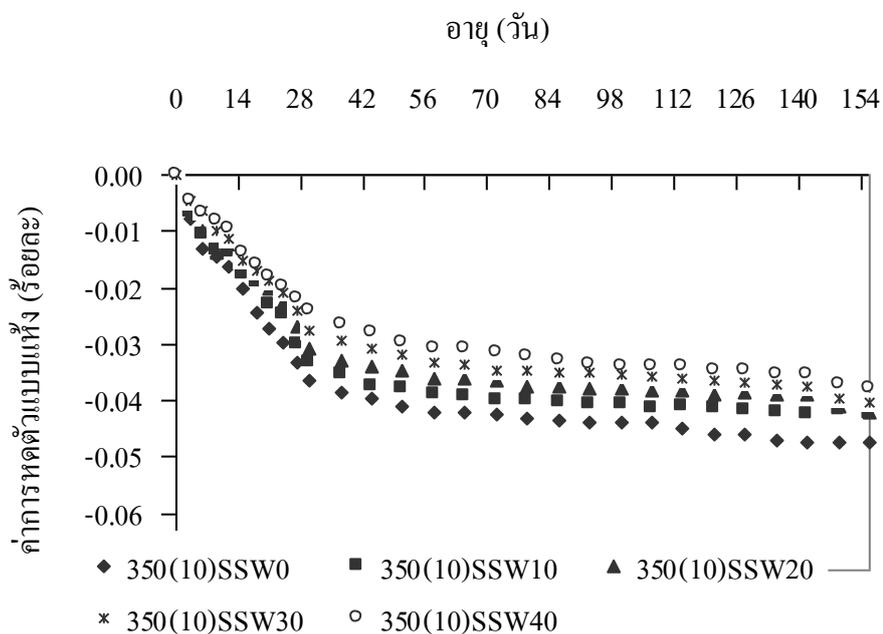


ภาพที่ 5.113 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

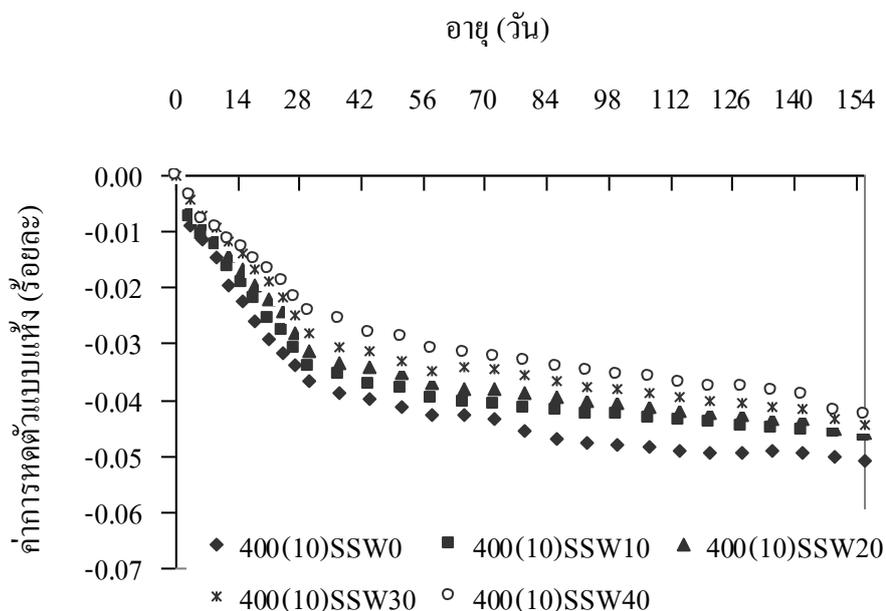
สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นจาก 5 ± 0.5 เป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.114 ถึง 5.119 พบว่าแนวโน้มของค่าการหดตัวมีลักษณะเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. กล่าวคือ ที่ระยะเวลาเพิ่มขึ้น คอนกรีตมีค่าการหดตัวที่เพิ่มขึ้น โดยในช่วงแรกคอนกรีตมีอัตราในการหดตัวสูงและมีค่าลดลงตามลำดับจนการเปลี่ยนแปลงของค่าอัตราการหดตัวมีค่าคงที่ เนื่องจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น นอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาณผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ทำให้คอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งลดลงตามลำดับ ในขณะที่เมื่อทำการเปรียบเทียบคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นมากขึ้นหรือปริมาณน้ำในส่วนผสมมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผลในหลายประการตั้งแต่การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำทำให้ทำให้ปริมาณของมวลรวมทั้งมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียดซึ่งทำหน้าที่ในการยึดรั้งการหดตัวที่เกิดขึ้นภายในคอนกรีตลดลง ประกอบกับการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำมีผลต่อความพรุนของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นตามไปด้วยซึ่งคือ ขนาดและจำนวนของโพรงคาพิวูลารีที่ความชื้นสามารถเคลื่อนตัวออกจากคอนกรีตที่มีมากทำให้ค่าการหดตัวมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ



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

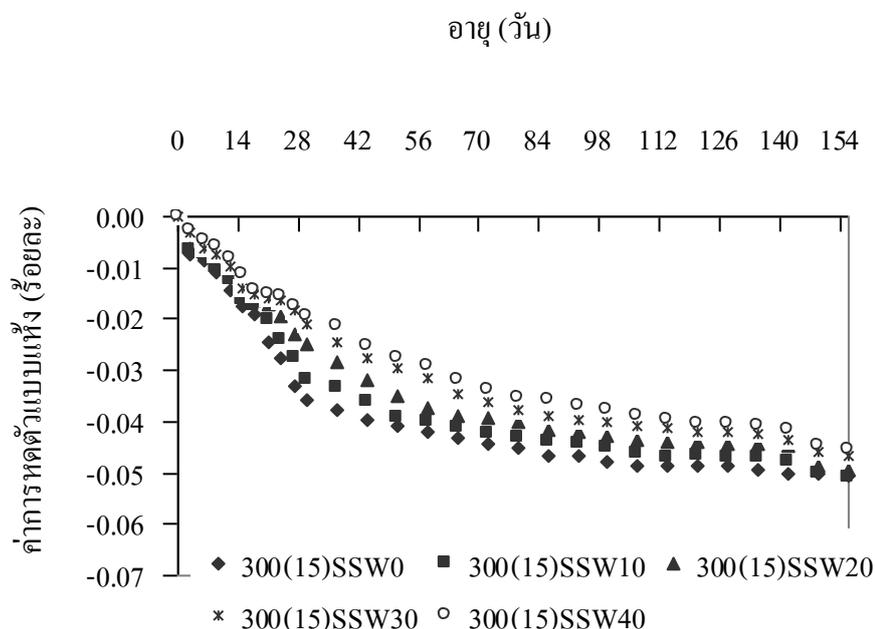


ภาพที่ 5.115 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

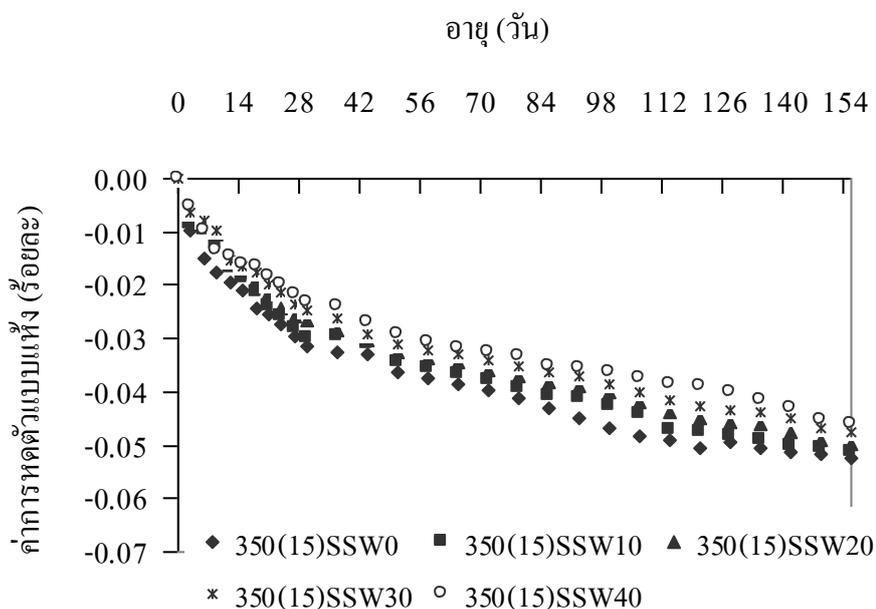


ภาพที่ 5.116 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

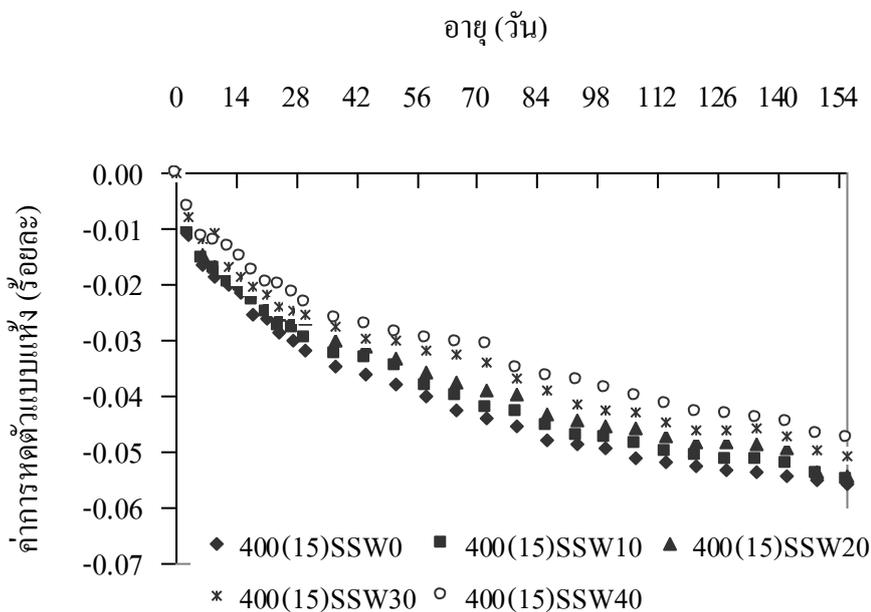
ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.117 ถึง 5.119 ตามลำดับ พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณการแทนที่ของผงฟูนทรายใส่แบบในปูนซีเมนต์ทำให้ค่าการหดตัวมีค่าลดลง เนื่องจากความหนาแน่นของคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่เพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะผงฟูนทรายใส่แบบเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิกนอกจากนั้นการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวแบบแห้งในลักษณะเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.



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

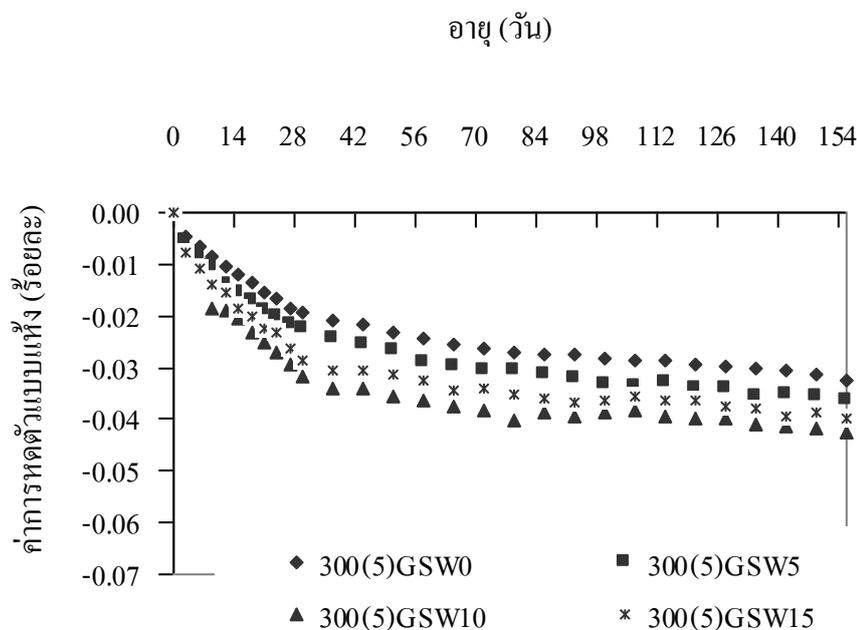


ภาพที่ 5.118 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยวบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

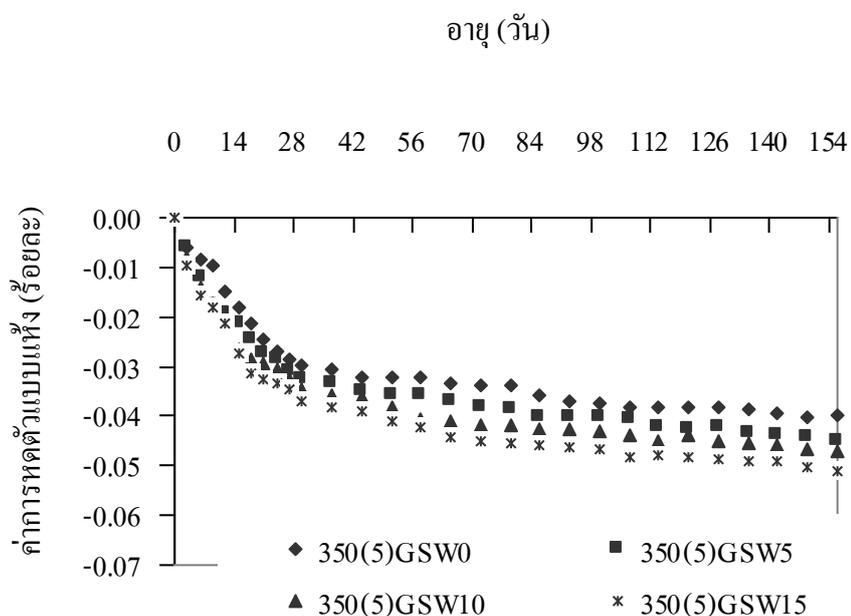


ภาพที่ 5.119 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยวบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ใน ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

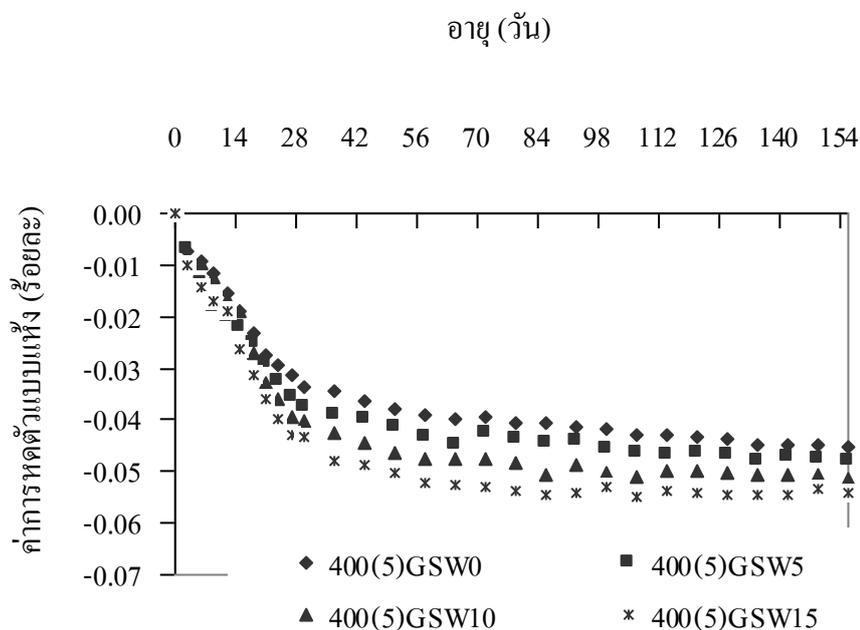
ผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบของคอนกรีตปกติเปรียบเทียบกับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฟูนทรายไล้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติ โดยคอนกรีตมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.120 ถึง 5.122 ตามลำดับ พบว่าในทุกๆ อัตราส่วนของคอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงในช่วง 30 วันแรก และมีค่าลดลงตามลำดับเมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้น ดังมีเหตุผลเช่นเดียวกันกับคอนกรีตผสมผงฟูนทรายไล้แบบกลุ่ม SSW นอกจากนั้นเมื่ออัตราส่วนการแทนที่ของผงฟูนทรายไล้แบบในทรายธรรมชาติเพิ่มมีผลทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผล 2 คือ ขนาดอนุภาคของผงฟูนทรายไล้แบบที่มีส่วนความละเอียดมากกว่าทรายธรรมชาติ ดังจะดูได้จาก การกระจายขนาดละเอียดในภาพที่ 5.11 ซึ่งส่งผลต่อช่องว่าง (Voids) ขนาดใหญ่ที่มีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น (Neville, A.M., pp. 434) ประกอบการที่ผงฟูนทรายไล้แบบบางส่วนมีขนาดอนุภาคเล็กใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ทำให้อนุภาคของผงฟูนทรายไล้แบบสามารถแทรกกระหว่างอนุภาคปูนซีเมนต์ ดังนั้นเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชันดำเนินไป ผงฟูนทรายไล้แบบจะเป็นตัวปิดกั้นความต่อเนื่องภายใน โครงสร้างของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งหมายถึงความพรุนภายในเนื้อของเพสต์ที่เพิ่มขึ้น การหดตัวแบบแห้งจึงมีค่าเพิ่มขึ้น



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

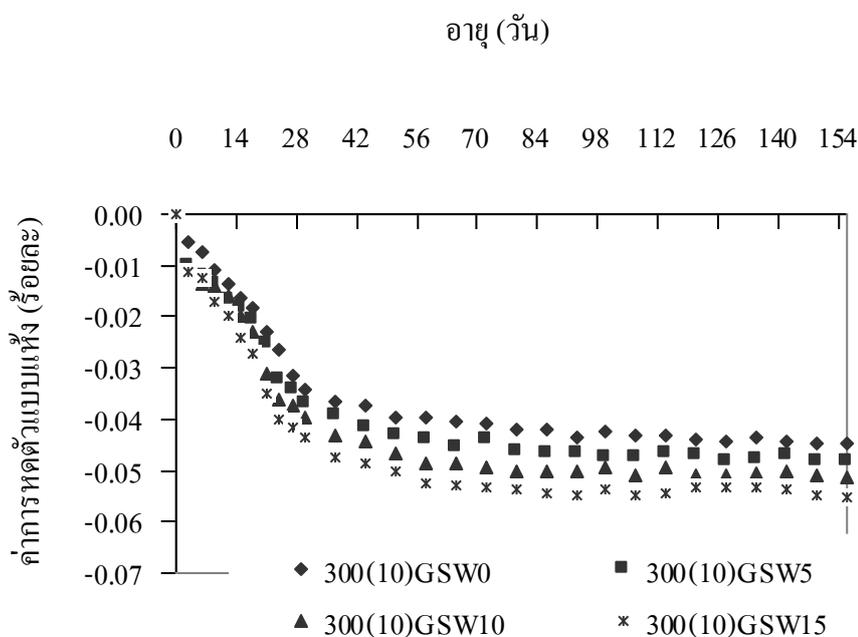


ภาพที่ 5.121 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

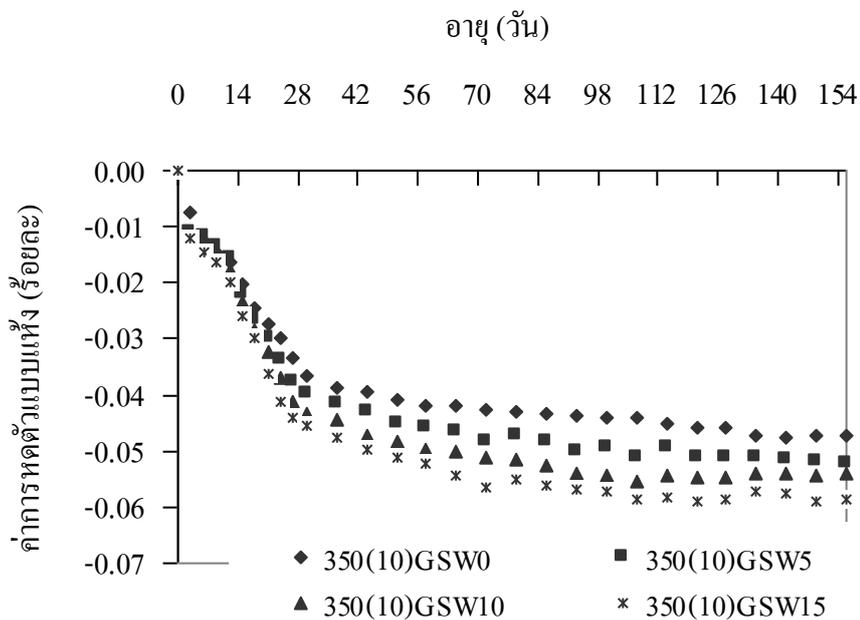


ภาพที่ 5.122 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

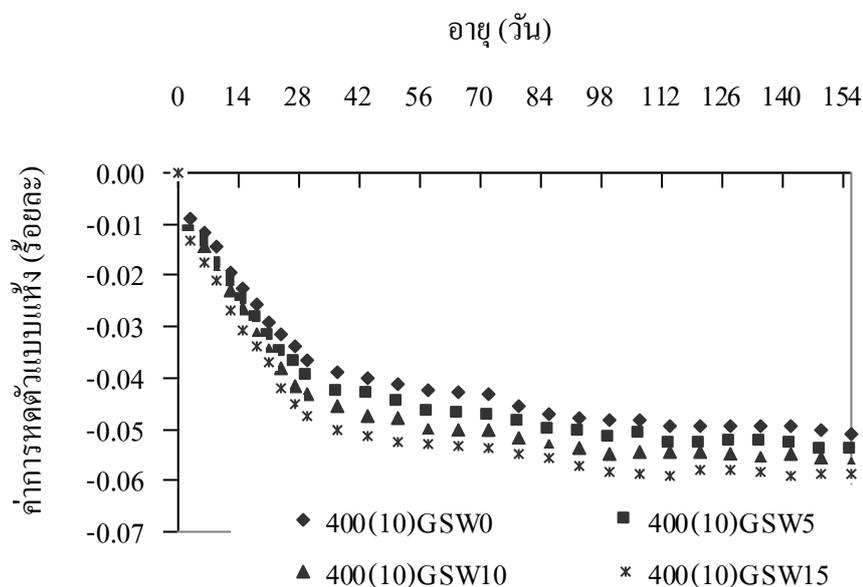
เมื่อพิจารณาผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่ค่าการยุบเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. และมีปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในภาพที่ 5.120 ถึง 5.128 ตามลำดับ พบว่าแนวโน้มของค่าการหดตัวแบบแห้งมีลักษณะเช่นเดียวกันกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. โดยคอนกรีตผสมผงฟูทรายไต้แบบมีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าคอนกรีตปกติ อันเนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำ (ค่าการยุบตัวเริ่มต้นมากขึ้น) ทำให้ค่าการหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนี้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีต เมื่อกำหนดค่าของการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากัน



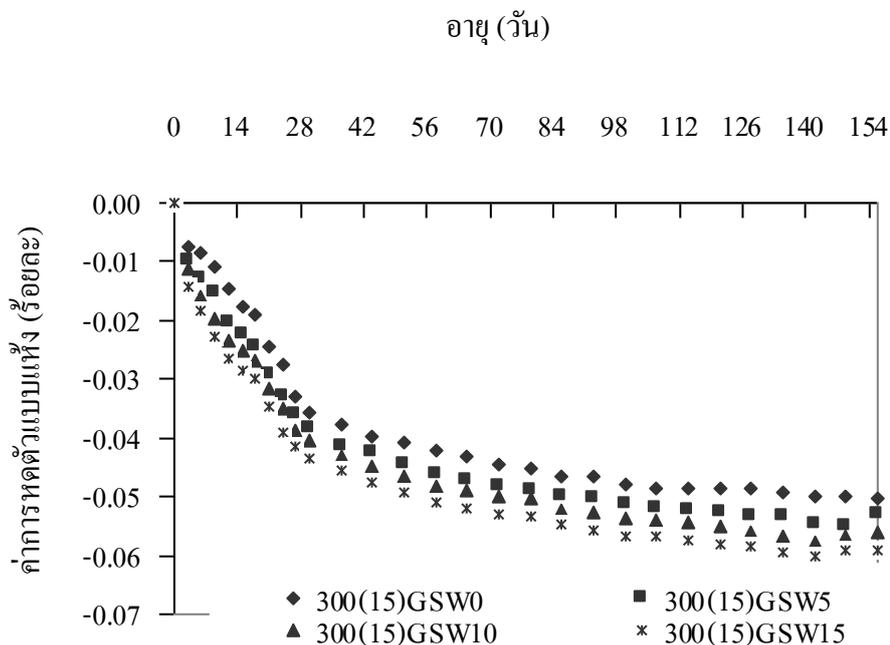
ภาพที่ 5.123 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูทรายไต้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



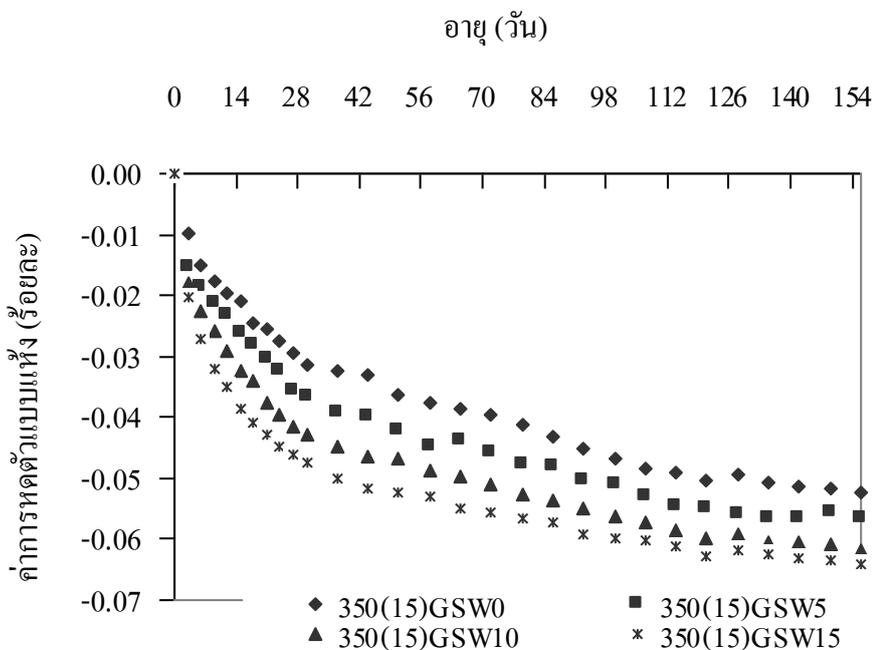
ภาพที่ 5.124 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



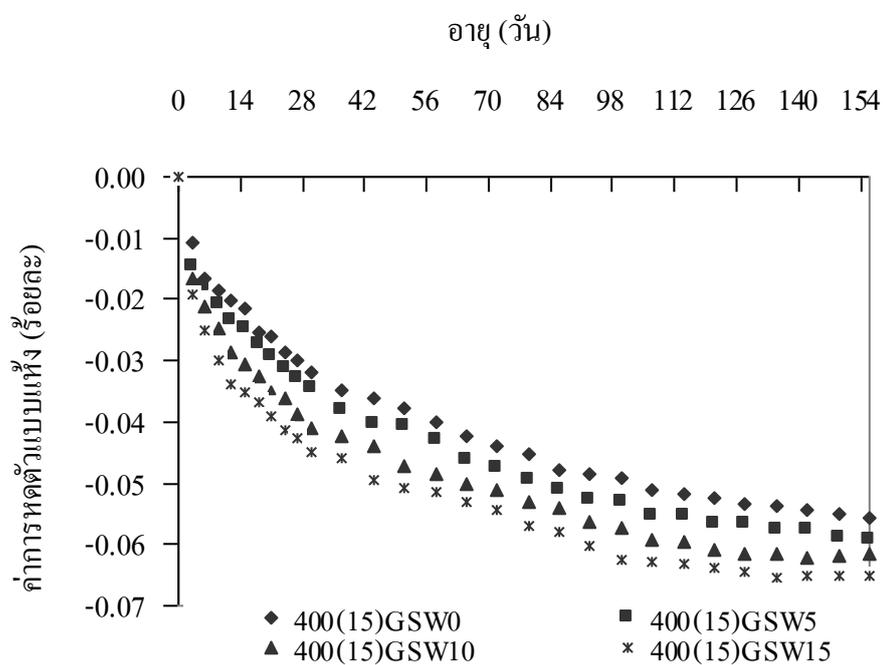
ภาพที่ 5.125 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.126 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.127 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ใน ทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.128 การหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.³ ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูในทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก