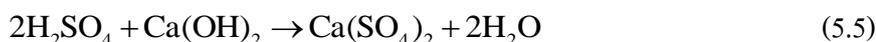


#### 5.4.4 การกระทำเนื่องจากกรด (Acid Attack)

##### 5.4.4.1 การกระทำเนื่องจากกรดซัลฟูริก (Sulfuric Acid Attack)

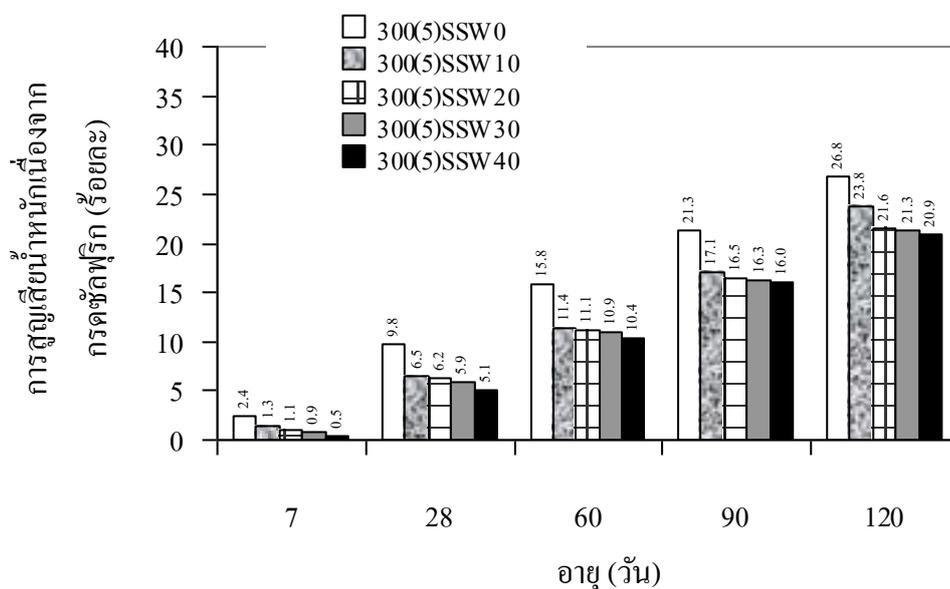
ผลการทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟูริกในรูปของร้อยละการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นและปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ  $5 \pm 0.5$  ซม. และ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ตามลำดับ ดังแสดงในภาพที่ 5.147 พบว่าการแทนที่ของผงฟูนทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้การสูญเสียน้ำหนักลดลง ซึ่งสามารถอธิบายได้จากสม-การที่ 5.5 กล่าวคือ เมื่อทำการแทนที่ผงฟูนทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้ปฏิกิริยาไฮเดร-ชันลดลงเนื่องจากสัดส่วนของปูนซีเมนต์ลดลง ส่งผลให้ผลิตภัณฑ์ที่มีสามารถทำปฏิกิริยากับกรดซึ่งก็คือ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ ( $\text{Ca}(\text{OH})_2$ ) ลดลง ด้วยเหตุนี้ทำให้ปริมาณสารประกอบดังกล่าวเมื่อทำปฏิกิริยากับกรดแล้วได้ผลิตภัณฑ์เป็นแคลเซียมซัลเฟต ( $\text{CaSO}_4$ ) ที่ทำให้คอนกรีตเกิดการสึกกร่อนกร่อนลดลงตามไปด้วย และจากความสามารถในการละลาย (Solubility) ของแคลเซียมซัลเฟตมีค่าน้อย (0.256 กรัมในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) ส่งผลให้เมื่อเกิดแคลเซียมซัลเฟตที่ผิวหน้าสัมผัสคอนกรีตจะเป็นการปิดกั้นให้อิออนของกรดที่จะมาทำปฏิกิริยาได้ยากขึ้น นอกจากนี้องค์ประกอบหลักของผงฟูนทรายไส้แบบเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ ( $\text{SiO}_2$ ) ทำให้เป็นการลดสารประกอบแคลเซียมของคอนกรีตทั้งที่มาจากผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชัน (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตและแคลเซียมไฮดรอกไซด์) และมวลรวมหยาบ (หิน) ลดลงทำให้โดยรวมกรดจะทำปฏิกิริยาได้ลดลง ส่งผลให้การกัดกร่อนลดลงตามลำดับ



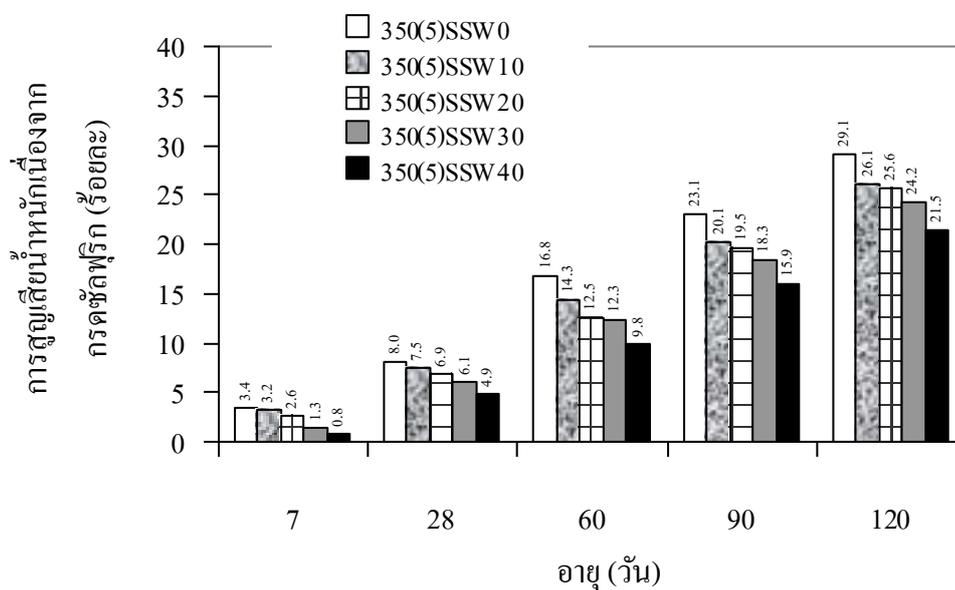
ในกรณีของการกัดกร่อนเนื่องจากกรดจะพบว่า ในช่วงแรกอัตราการกัดกร่อนในรูปอัตราการสูญเสียน้ำหนักมีค่าสูงและมีแนวโน้มลดลงเมื่ออายุของการแช่ในสารละลายกรดมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะในช่วงแรกปริมาณของแคลเซียมไฮดรอกไซด์ (สารตั้งต้นของปฏิกิริยาที่เกิดขึ้นกับกรด) มีอยู่เป็นจำนวนมากและโดยปกติแคลเซียมไฮดรอกไซด์สามารถละลายออกมาสู่ภายนอกได้ดีในช่วงแรกทำให้อิออนของกรดเข้าทำปฏิกิริยาได้มาก ในขณะที่เมื่อเวลาในการแช่ในสารละลายกรดเพิ่มขึ้นอิออนของแคลเซียมและไฮดรอกไซด์ที่ละลายออกสู่ภายนอกทำให้สารละลายอยู่ในสถานะอิ่มตัว (Saturated Solution) และพบว่าในช่วงแรกที่แคลเซียมไฮดรอกไซด์ละลายออกสู่ภายนอกจะเป็นแคลเซียมไฮดรอกไซด์อิสระที่แตกตัวแล้ว เมื่อสารประกอบดังกล่าวละลายออก

หมดเหลือเพียงแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่มีโครงสร้างติดกับแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งจะละลายออกมาได้ยากกว่า ส่งผลให้การละลายลดลง กรณีจึงทำปฏิกิริยาได้น้อยลง

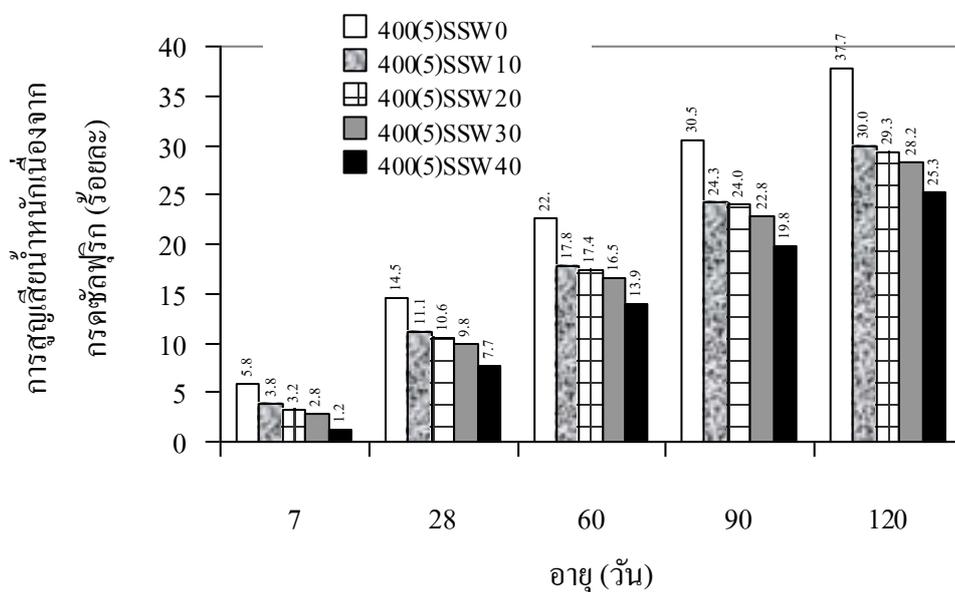
เมื่อพิจารณาที่อายุของการแช่ในสารละลายกรดเพิ่มขึ้นจะทำให้การกัดกร่อนมีค่าเพิ่มขึ้น โดยสังเกตเห็นว่าตั้งแต่ที่อายุของการแช่ในกรดเท่ากับ 7 วัน คอนกรีตที่ผสมผงฝุ่นทรายได้แบบมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตปกติ และเมื่อเพิ่มสัดส่วนของปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเป็น 350 และ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ในภาพที่ 5.148 และ 5.149 ตามลำดับทำให้การสึกกร่อนของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามลำดับ เนื่องจากปริมาณของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นทำให้เกิดแคลเซียมไฮดรอกไซด์ที่จะทำปฏิกิริยากับกรดได้เพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5.147 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $5 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

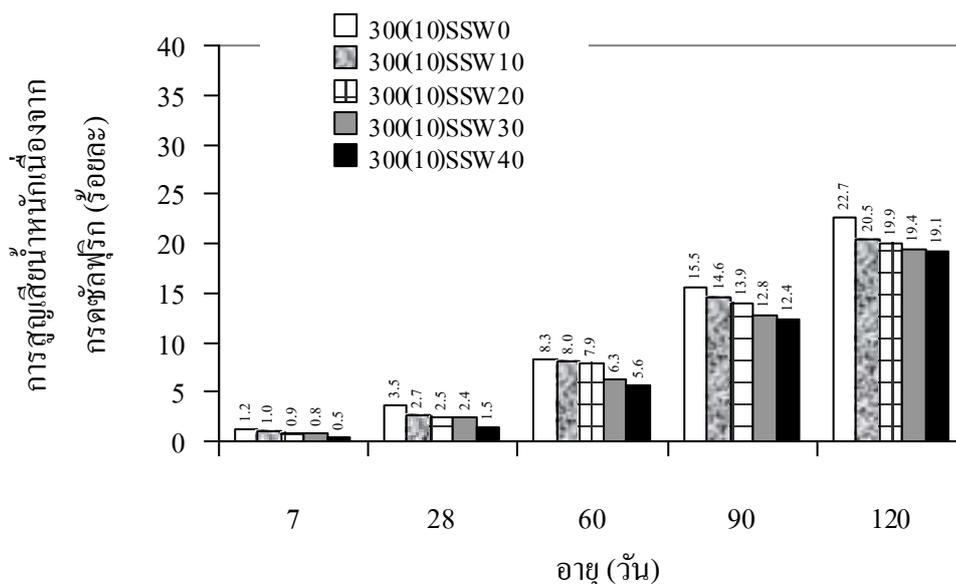


ภาพที่ 5.148 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $5 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

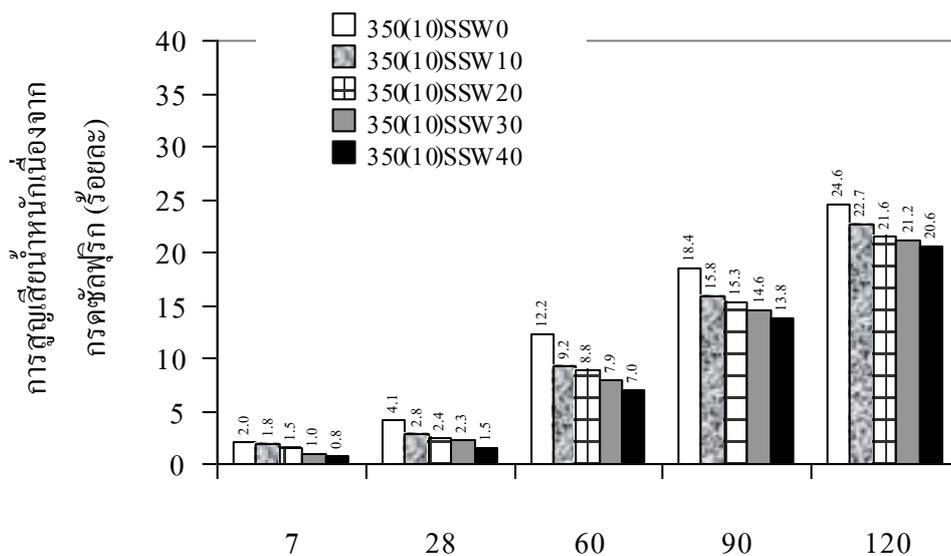


ภาพที่ 5.149 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $5 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

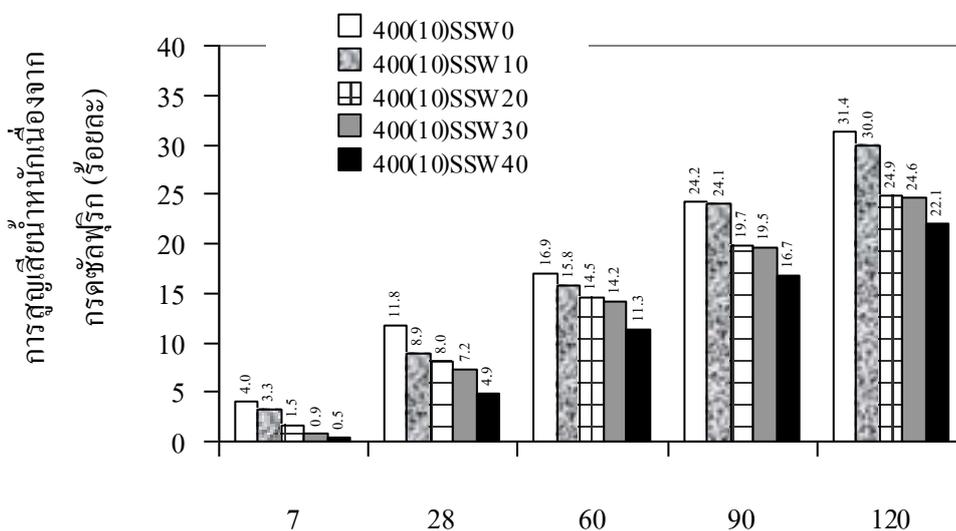
สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นเป็น  $10 \pm 0.5$  และ  $15 \pm 0.5$  ซม. ตามลำดับ แสดงในภาพที่ 5.150 ถึง 5.155 พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เนื่องมาจากสาเหตุ 2 ประการคือ การเพิ่มปริมาณน้ำในคอนกรีตจะทำให้ความพรุนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น อันจะส่งผลต่อจำนวนและปริมาณโพรงคาพิวลารี (โพรงที่น้ำและอากาศสามารถผ่านเข้าออกได้ และเป็นมีขนาดใหญ่ที่สุดที่เกิดขึ้นในคอนกรีต) ในคอนกรีตทำให้กรดสามารถผ่านเข้าไปทำปฏิกิริยาได้มากขึ้น นอกเหนือจากการที่กระทำที่ผิวของคอนกรีตสัมผัสกับกรด และเนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปริมาณทำให้ในคอนกรีตมีน้ำอิสระ (Free Water) เพิ่มขึ้น จากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวทำให้แคลเซียมไฮดรอกไซด์ซึ่งโดยปกติจะมีความสามารถในการแตกตัวได้สูง โดยแตกตัวออกเป็นแคลเซียมไอออน ( $\text{Ca}^{2+}$ ) และไฮดรอกไซด์ ( $\text{OH}^-$ ) อันจะช่วยเสริมการทำปฏิกิริยากับไอออนของกรดได้ ดังนั้นการกัดกร่อนจึงเพิ่มขึ้น



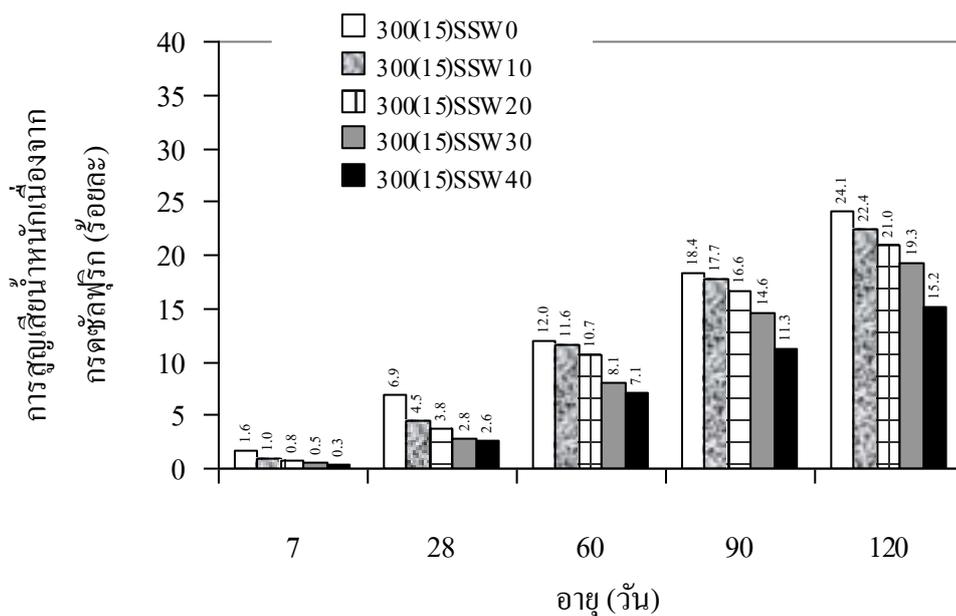
ภาพที่ 5.150 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟิวริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



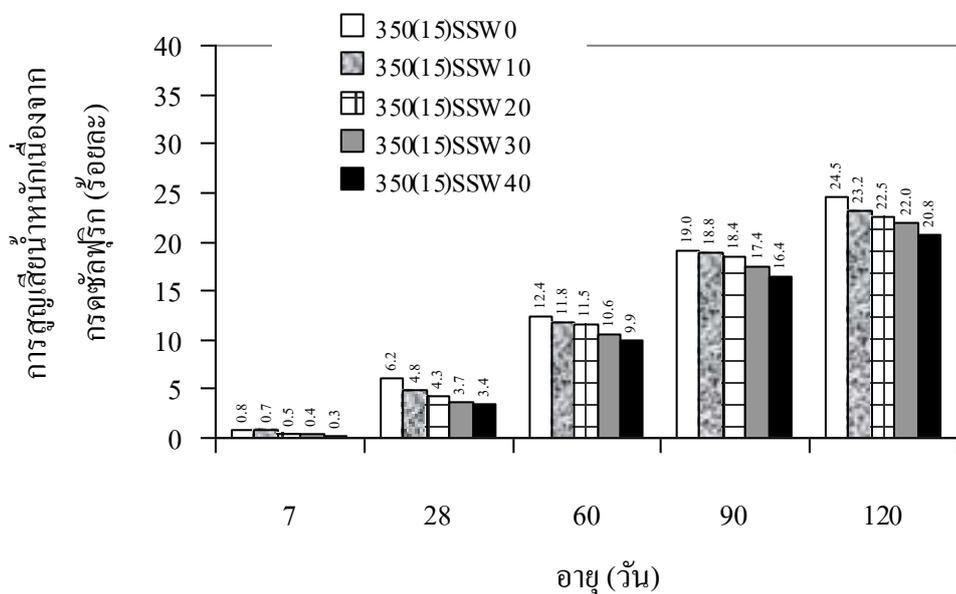
ภาพที่ 5.151 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



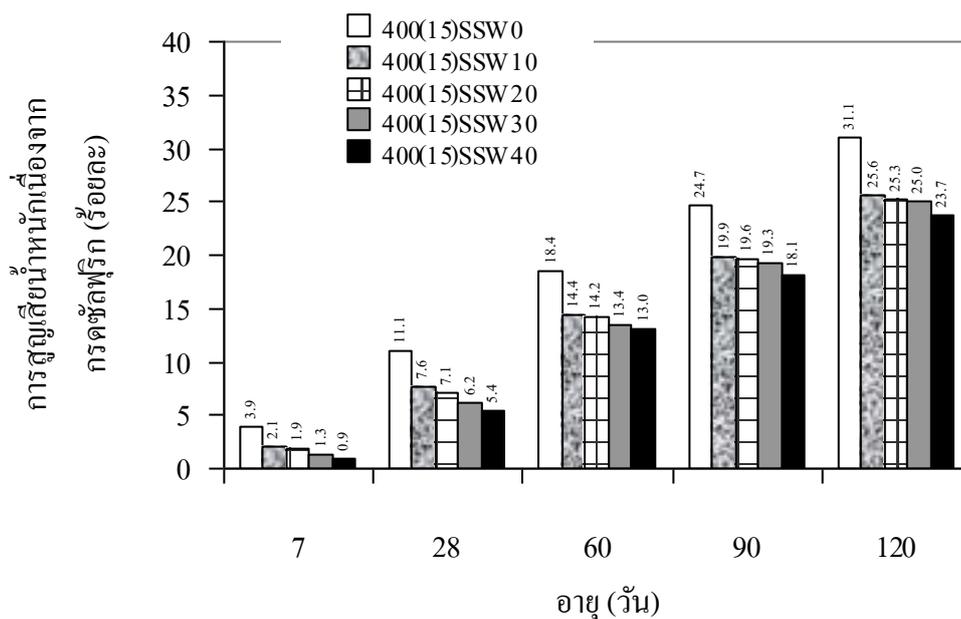
ภาพที่ 5.152 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.153 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



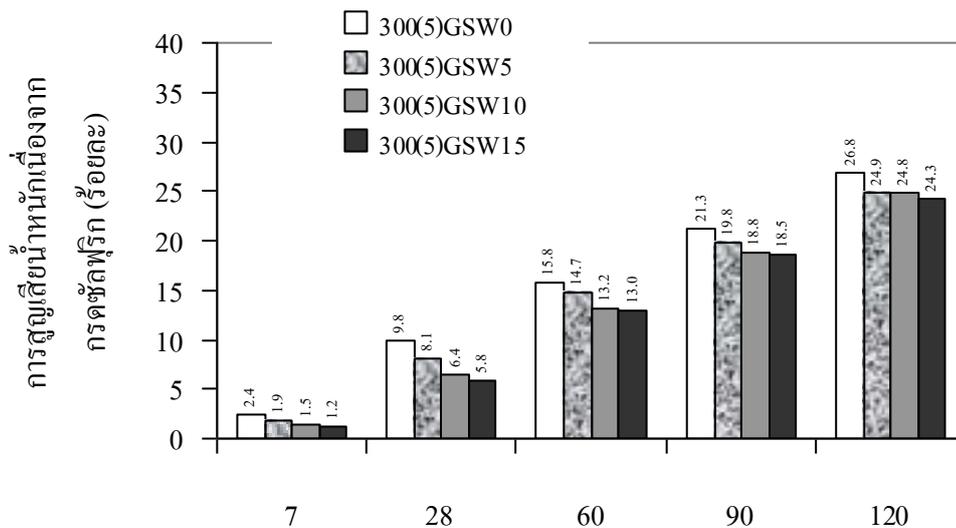
ภาพที่ 5.154 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายใส่แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก



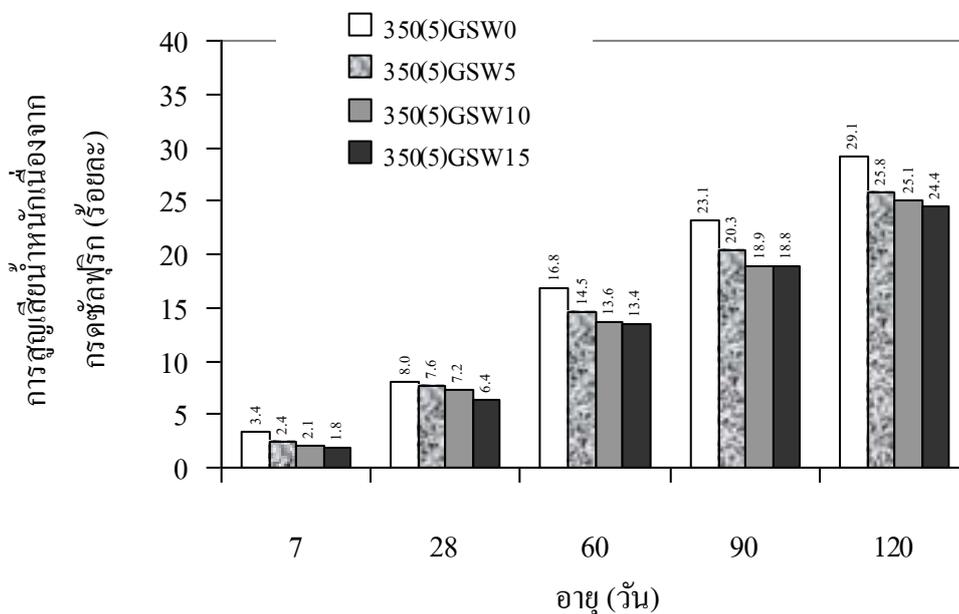
ภาพที่ 5.155 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $15 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

ผลการทดสอบการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก ( $H_2SO_4$ ) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 นอร์มอลิตี (Normality, N) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 0.66 ของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ทรายธรรมชาติ แสดงในภาพที่ 5.156 ถึง 5.164 พบว่าคอนกรีตผสมผงฟูนทรายได้แบบมีค่าการสูญเสียน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตปกติเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนการแทนที่ของผงฟูนทรายได้แบบมีค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการแทนที่ของผงฟูนทรายได้แบบซึ่งความละเอียดมากกว่าทรายธรรมชาติและใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์จึงมีความไปได้ที่อนุภาคของผงฟูนทรายได้แบบจะสามารถดูดซับกรดซัลฟูริกไว้ที่ผิวหรือการดูดซับเข้าไปภายในอนุภาคผงฟูนทรายได้แบบได้ดีกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับทรายธรรมชาติซึ่งมีพื้นผิวที่มีความเรียบ (พิจารณาจากภาพขยายที่ 5.5 และ 5.6) จากผลดังกล่าวทำให้กรดกระทำต่อเพสต์ได้น้อยลง ส่งผลให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักจึงมีค่าลดลง

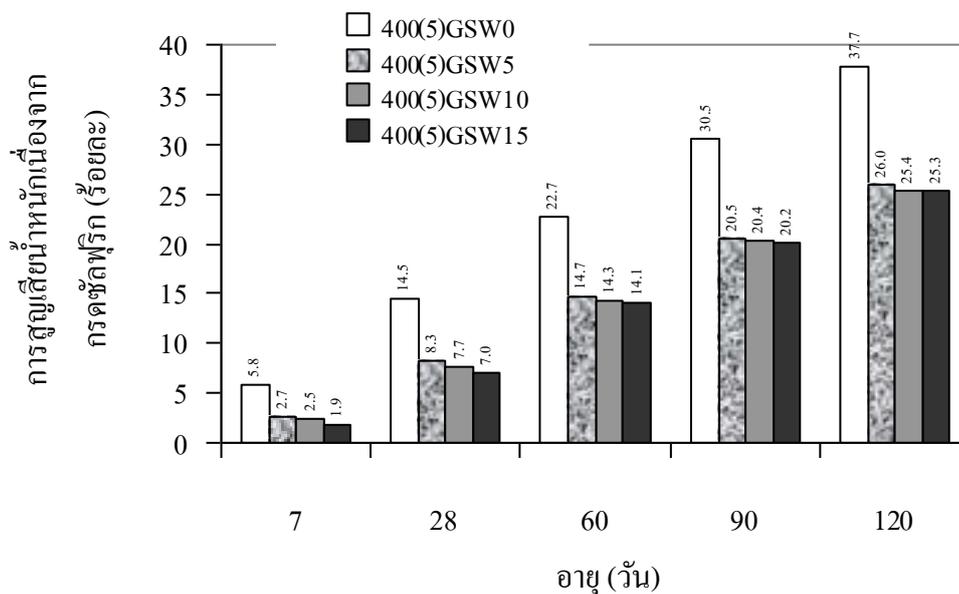
สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 350 และ 400 กก./ม.<sup>3</sup> พบว่าคอนกรีตมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเพิ่มขึ้นตามปริมาณผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มขึ้นดังสมการที่ 5.5 ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าการยุบตัวเริ่มต้น (ปริมาณน้ำเพิ่มขึ้น) ทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นตามความพรุนของโครงสร้างของเพสต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้กรดสามารถเข้าทำลายโครงสร้างของคอนกรีตได้ดียิ่งขึ้น



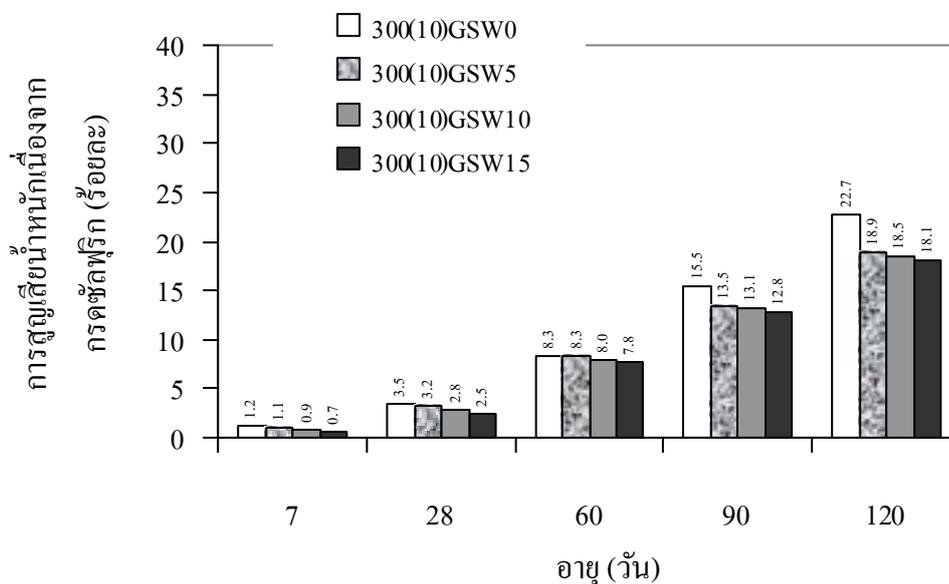
ภาพที่ 5.156 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



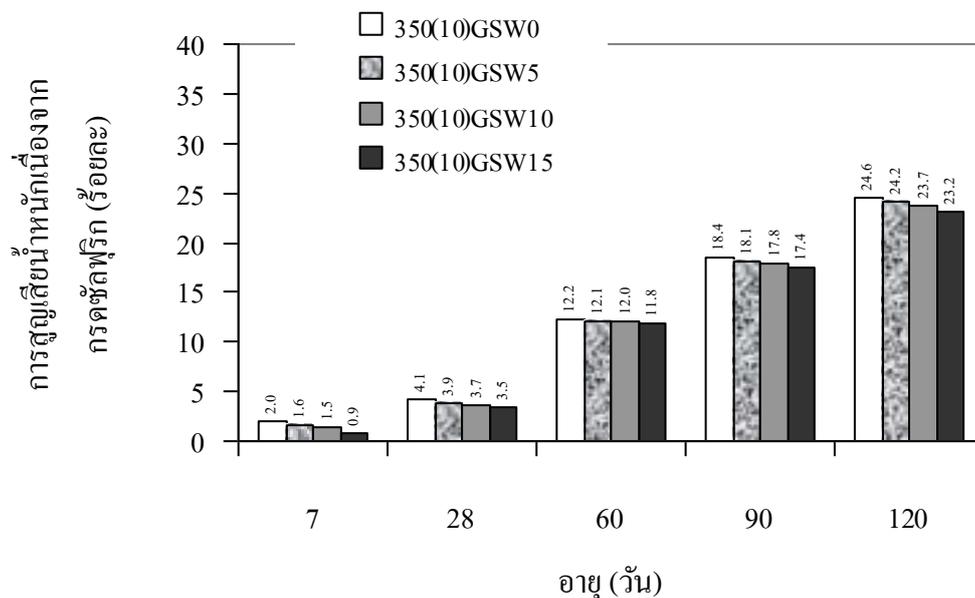
ภาพที่ 5.157 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



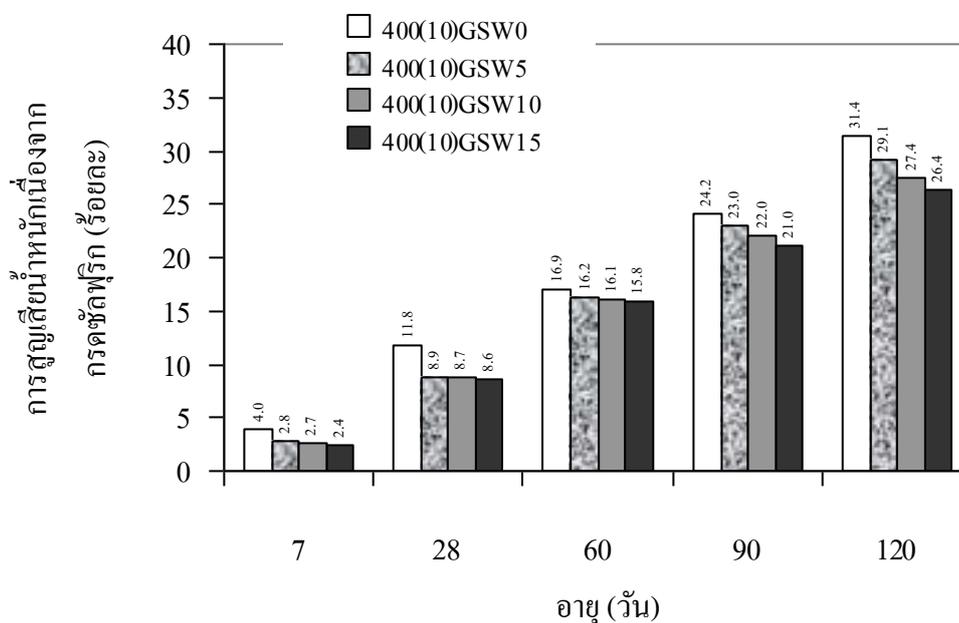
ภาพที่ 5.158 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $5 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



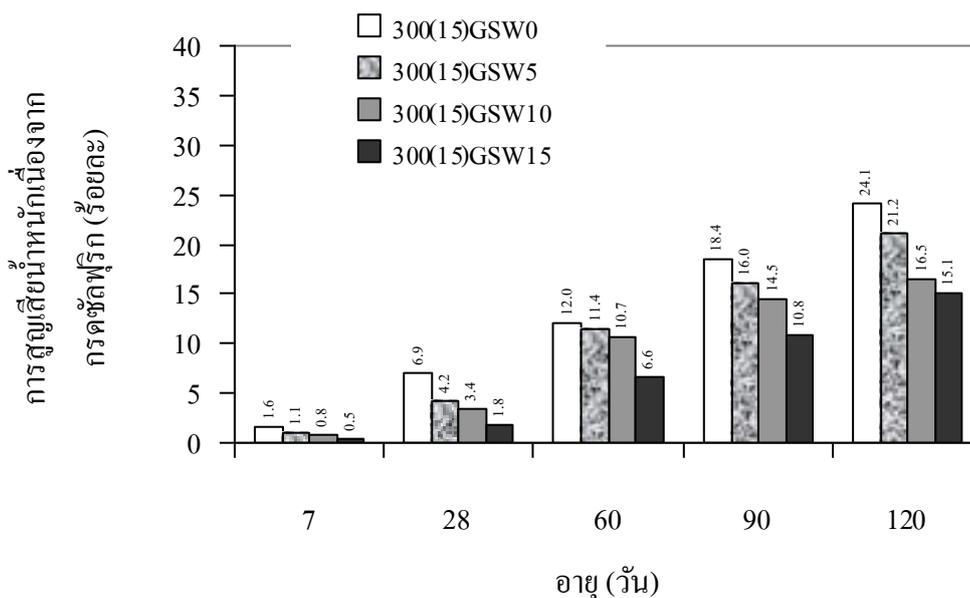
ภาพที่ 5.159 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



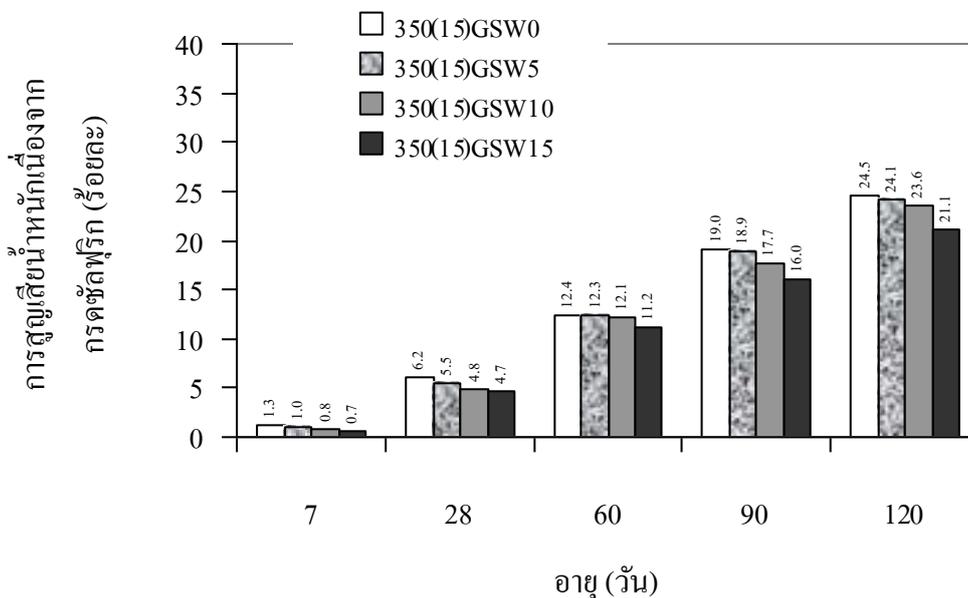
ภาพที่ 5.160 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



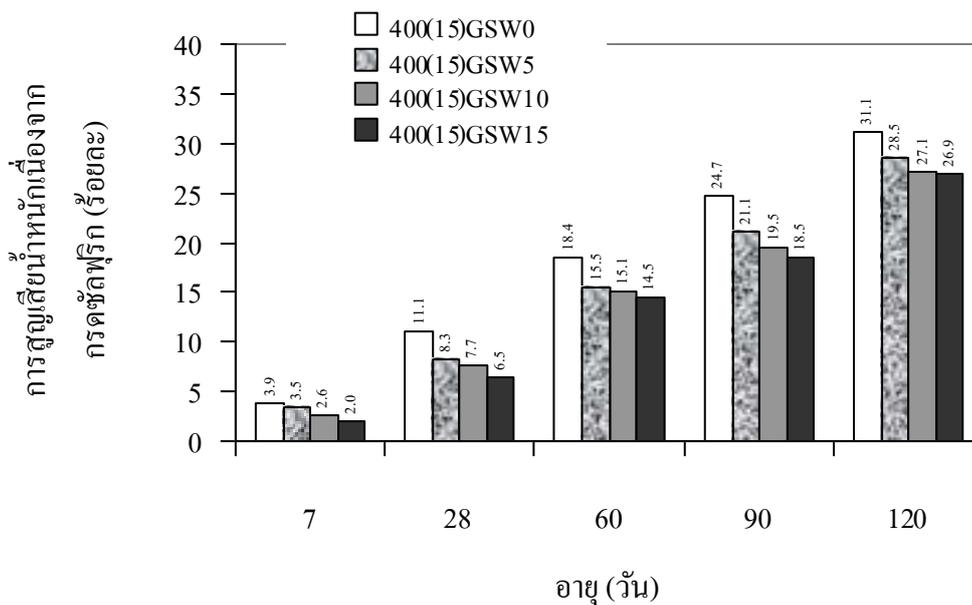
ภาพที่ 5.161 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $10 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.162 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $15 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.163 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $15 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฟูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.164 การสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.<sup>3</sup> ค่าการยุบตัวเท่ากับ  $15 \pm 0.5$  ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก