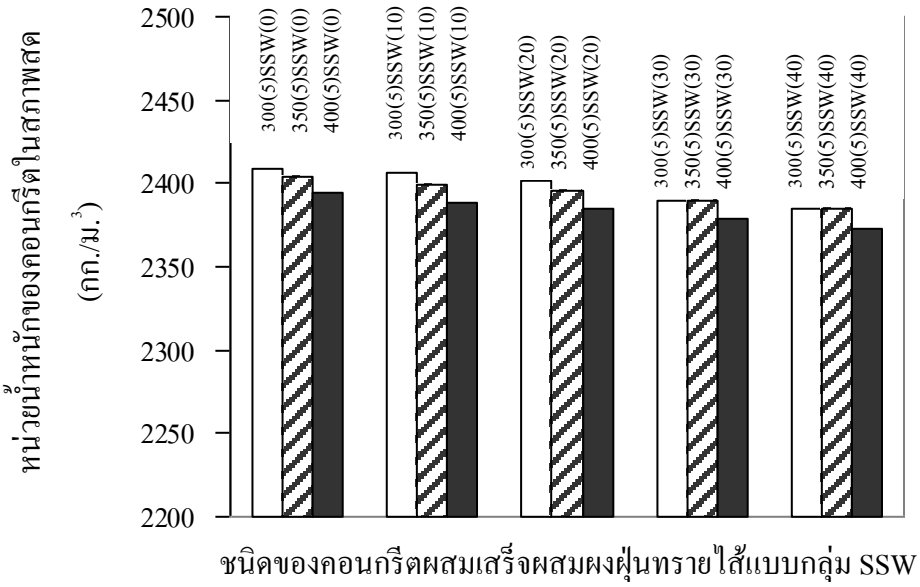
5.2 คุณสมบัติของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบในสภาวะสด

5.2.1 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพสด (Unit Weight)

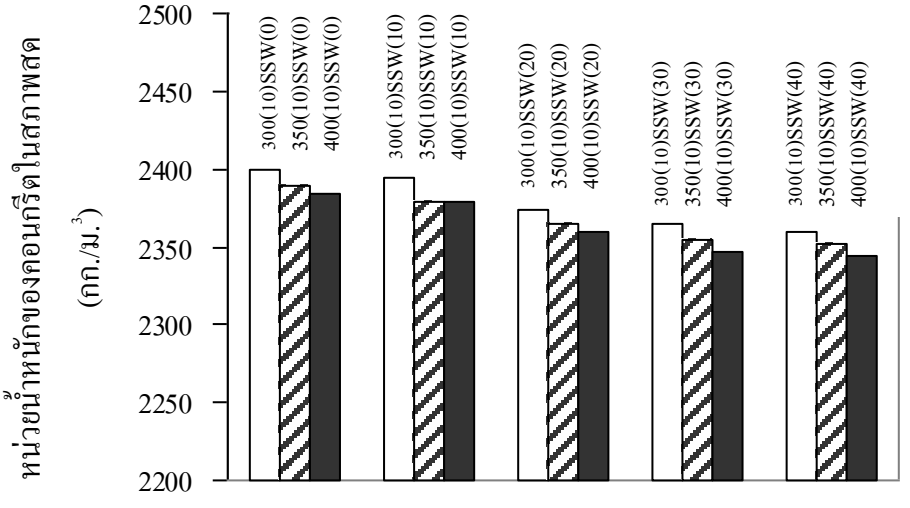
จากผลการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสดซึ่งกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.13 พบว่าคอนกรีตที่มีส่วนผสมของผงทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีค่าหน่วยน้ำหนักที่ทุกๆ สัดส่วนปริมาณปูนซีเมนต์ (300, 350 และ 400 กก./ม.^{3}) น้อยกว่าคอนกรีตปกติและมีแนวโน้มลดลงเล็กน้อย เมื่ออัตราส่วนการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้น อันเป็นผลมาจากขนาดอนุภาคของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ที่มีใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ ดังจะพิจารณาได้จากกระจายขนาดคละ (Particle Size Distribution) ในภาพที่ 5.7 และ 5.8 จะเห็นว่าอนุภาคของผงฝุ่นทรายไส้แบบที่มีขนาดใหญ่มีปริมาณมากกว่าปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตมีปริมาณอากาศ (Air Content) ที่เกิดขึ้นมากกว่าคอนกรีตปกติเมื่อทำการแทนที่ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Sidney M. et al., p.172) ดังนั้นเมื่อคอนกรีตมีปริมาณอากาศเพิ่มขึ้นจึงส่งผลให้ความหนาแน่นโดยรวมของคอนกรีตลดลง ผลคือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจึงมีค่าลดลง

เมื่อพิจารณาในประเด็นของการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จากมีค่าเท่ากับ 300 กก./ม.^{3} เป็น 350 และ 400 กก./ม.^{3} จะมีผลกระทบต่อหน่วยน้ำหนักเนื่องจากการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบในลักษณะเดียวกัน ในขณะที่เมื่อเปรียบเทียบกรณีอัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบเดียวกัน พบว่าการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ทำให้คอนกรีตมีหน่วยน้ำหนักลดลง ทั้งนี้เพราะการที่คอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ปริมาณของมวลรวมซึ่งมีสัดส่วนในคอนกรีตมากที่สุดลดลง นอกจากนั้นยังเป็นการเพิ่มความต้องการน้ำเพื่อทำให้คอนกรีตมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. จากการเพิ่มขึ้นดังกล่าวทำให้ปริมาณอากาศเพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง นั่นคือหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจึงมีค่าลดลงตามไปด้วย

ดังเช่นกรณีของการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ เมื่อคอนกรีตมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้นจาก 5 ± 0.5 ซม. เป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.14 และ 5.15 ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงการเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำที่ทำให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง อันเนื่องมาจากปริมาณอากาศที่เพิ่มสูงขึ้น ดังนั้นหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตจึงลดลงและการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าลดลงเช่นเดียวกัน

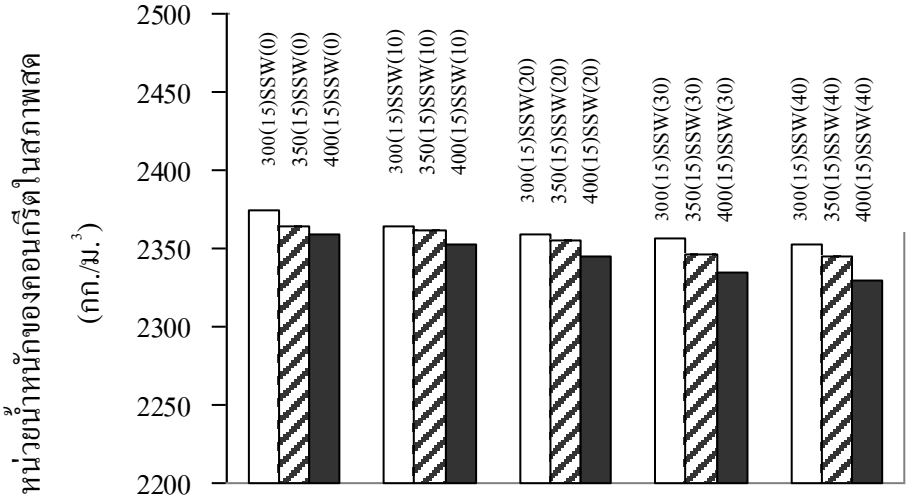


ภาพที่ 5.13 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 $\pm$ 0.5 ซม.



ภาพที่ 5.14 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 10 $\pm$ 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

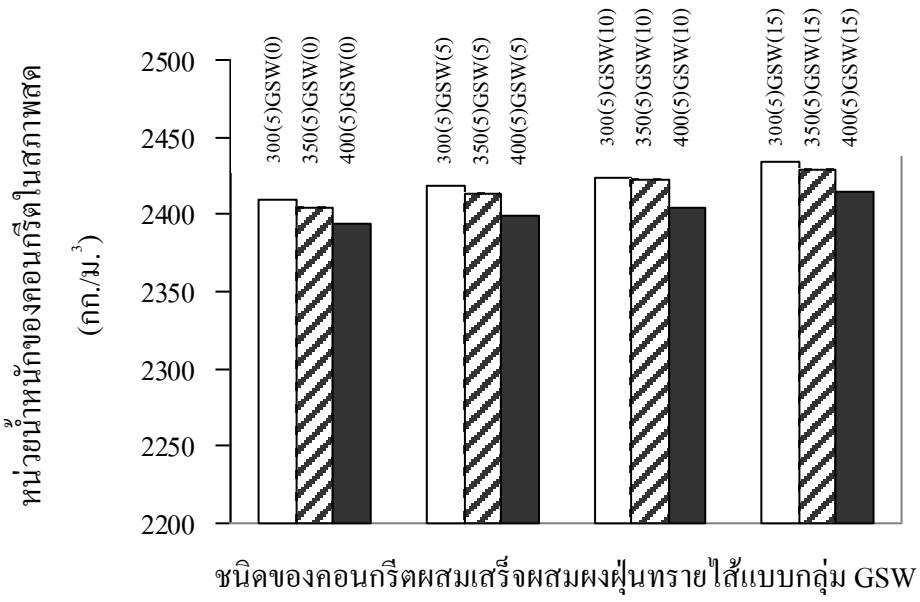


ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW

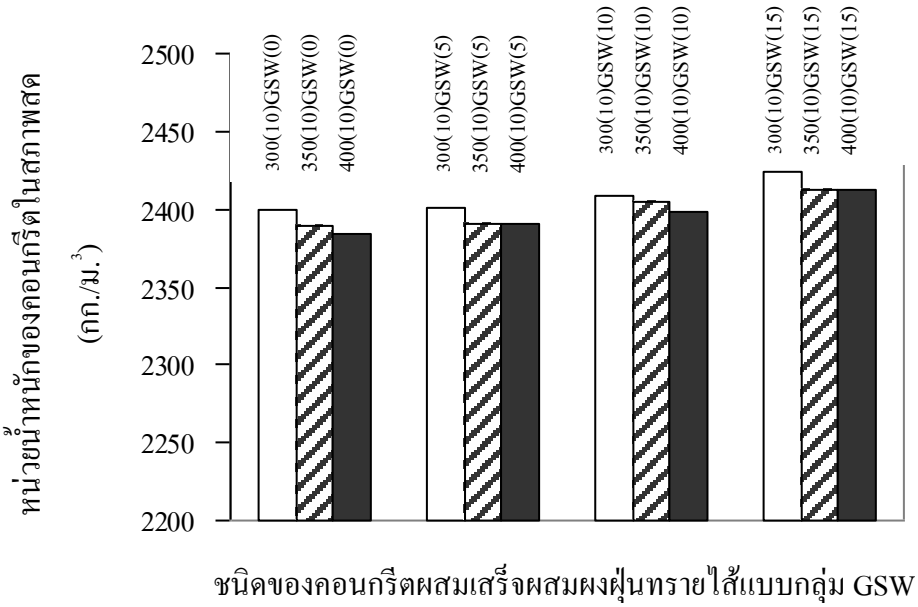
ภาพที่ 5.15 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 15 $\pm$ 0.5 ซม.

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

ในทางตรงกันข้ามกับผลกระทบเนื่องจากผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW คอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตในสภาพสดเพิ่มขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 5.16 สำหรับคอนกรีตที่ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 $\pm$ 0.5 ซม. กล่าวคือ เมื่อทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่มดังกล่าวในทรายธรรมชาติเพิ่มขึ้นทำให้หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ทั้งนี้เพราะเมื่อพิจารณาที่การกระจายขนาดคละของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ซึ่งมีส่วนที่ละเอียดในปริมาณมากกว่าทรายธรรมชาติดังแสดงการกระจายขนาดด้วยการร่อนผ่านตะแกรงในภาพที่ 5.11 เป็นผลให้อนุภาคของผงฝุ่นทรายไส้แบบสามารถเข้าไปเติมแทรก (Filling) ระหว่างอนุภาคของทรายและสามารถลดปริมาณอากาศในคอนกรีตได้ ดังนั้นจึงทำให้คอนกรีตมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้น หน่วยน้ำหนักจึงมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์ดังภาพข้างต้น และการเพิ่มค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตเป็น 10 $\pm$ 0.5 และ 15 $\pm$ 0.5 ซม. ดังภาพที่ 5.17 และ 5.18 ตามลำดับ พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ที่มีค่าเพิ่มขึ้น

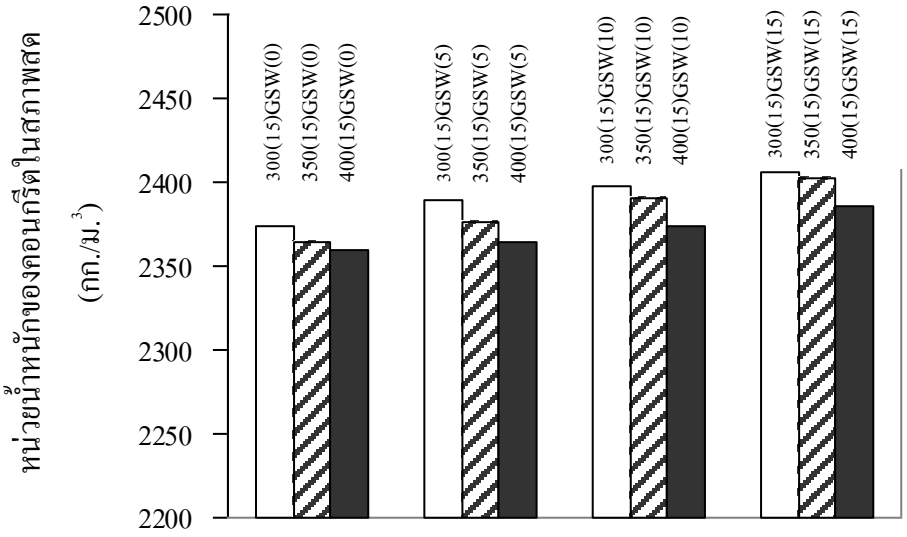


ภาพที่ 5.16 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 $\pm$ 0.5 ซม.



ภาพที่ 5.17 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 10 $\pm$ 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ **X(Y)GSW(Z)** คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้น Y $\pm$ 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

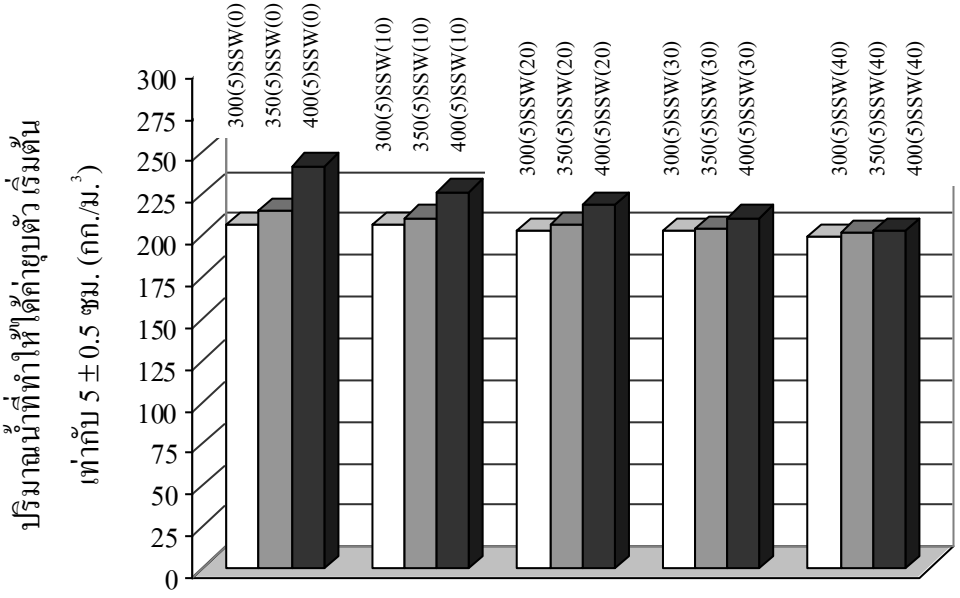


ภาพที่ 5.18 หน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมเสร็จในสภาพสด โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ **X**(**Y**)GSW(**Z**) คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้น Y ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

5.2.2 ปริมาณน้ำที่ทำให้เกิดค่าการยุบตัว (Water Requirement) ของคอนกรีต

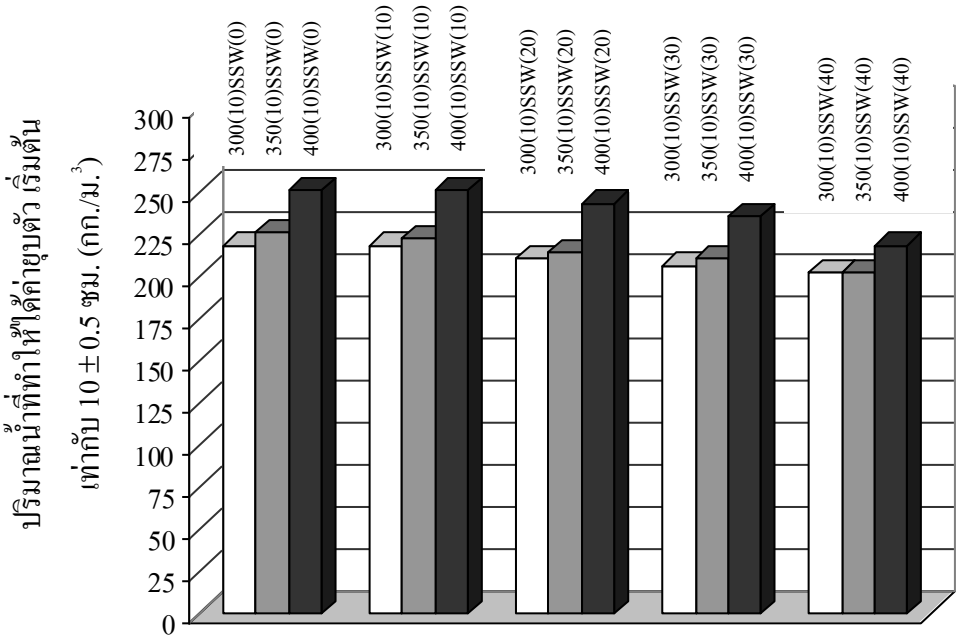
จากผลการสอบดังแสดงในภาพที่ 5.19 พบว่าคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีค่าความต้องการน้ำที่ทำให้เกิดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. ลดลงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ ยกตัวอย่างเช่น กรณีที่คอนกรีตซึ่งมีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.^{3} โดยคอนกรีตปกติมีค่าความต้องการน้ำเท่ากับ 242 กก./ม.^{3} ในขณะที่คอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีค่า 226, 218, 210 และ 202 กก./ม.^{3} สำหรับร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 ตามลำดับ เป็นต้น ซึ่งเป็นผลจากการที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบมีขนาดอนุภาคที่ใหญ่กว่าปูนซีเมนต์ (ดังภาพที่ 5.8) ประกอบกับการที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบมีองค์ประกอบที่เป็นแคลเซียมออกไซด์อิสระ (Free CaO) และร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการเผาไหม้ (LOI) น้อยกว่าปูนซีเมนต์ โดยมีค่าจากการเก็บตัวอย่างในครั้งที่ 1 เท่ากับร้อยละ 0.39 และ 0.87 ตามลำดับ ทำให้การดูดซับน้ำเข้าสู่อนุภาคได้น้อยกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ (Peter C., p. 74) ถึงแม้ว่าจากผลการทดสอบคุณสมบัติทางกายภาพของผงฝุ่นทรายไส้แบบจะมีค่าความต้องการน้ำมากกว่าปูนซีเมนต์ล้วนจึงมีความเป็นไปได้ที่ขนาดของอนุภาคของผงฝุ่นทรายไส้แบบทำให้การกระจายขนาดคละขององค์ประกอบในคอนกรีตมีความต่อเนื่องมากขึ้นจึงเป็นผลให้ความต้องการน้ำที่ทำให้ได้ค่าการยุบตัวตามที่กำหนดลดลงได้



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW

ภาพที่ 5.19 ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.

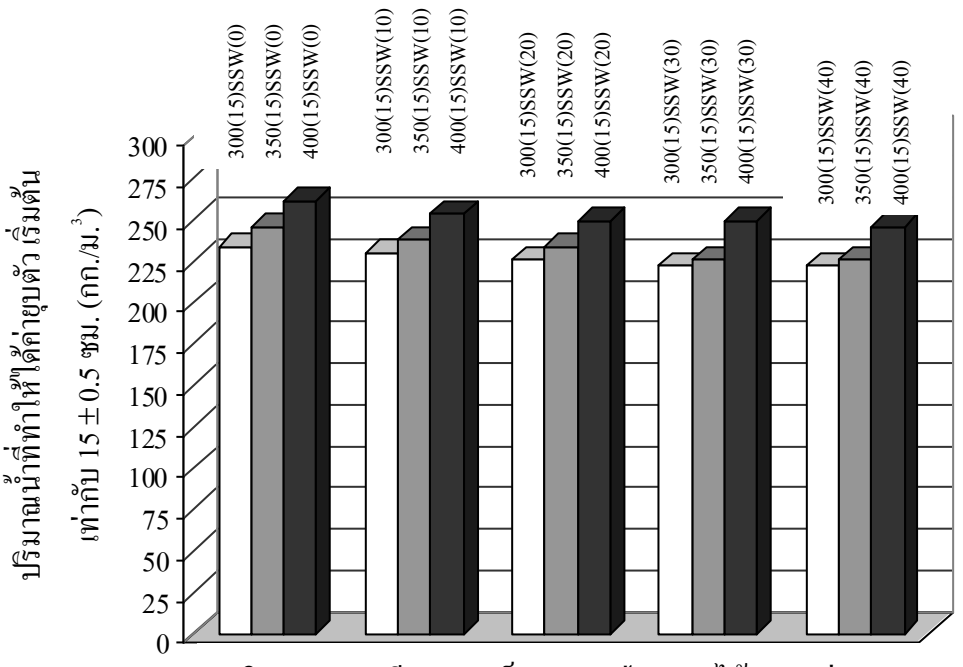
สำหรับคอนกรีตที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 และ 400 กก./ม.^{3} มีความต้องการน้ำที่ทำให้ได้ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. เพิ่มขึ้น เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของปูนซีเมนต์ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่มีความละเอียดมากที่สุดในคอนกรีตมีปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้จึงต้องเพิ่มน้ำที่เคลือบผิวอนุภาคปูนซีเมนต์เพื่อเอาชนะแรงเสียดทานที่เกิดขึ้นซึ่งหมายถึง การเพิ่มน้ำอิสระ (Free Water) (สมนึก ตั้งเติมสิริกุล, 2542) ในขณะที่การเพิ่มอัตราส่วนการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์มีผลให้ความต้องการน้ำลดลง ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW

ภาพที่ 5.20 ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม.

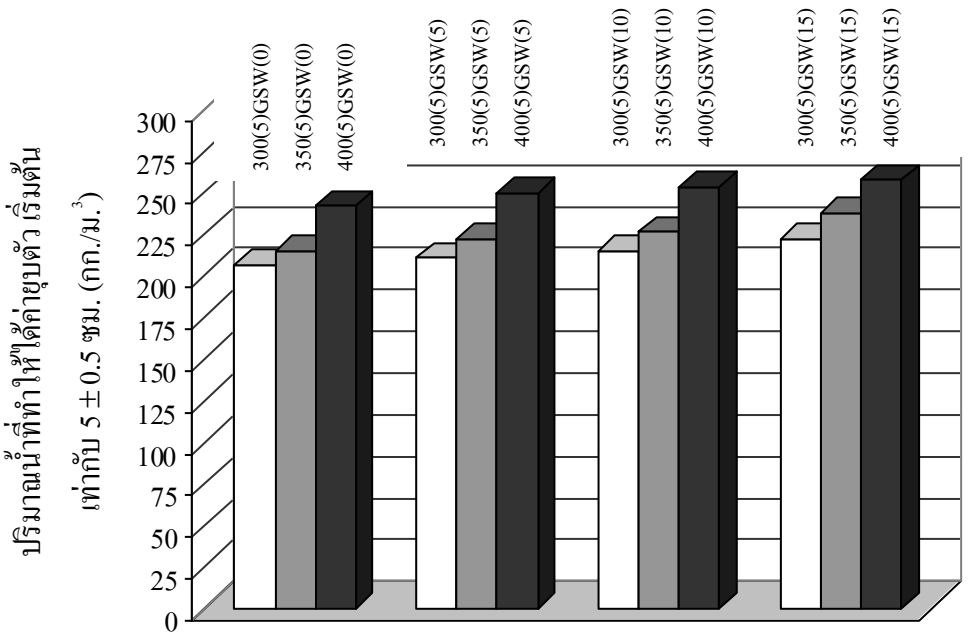
ในกรณีความต้องการน้ำของคอนกรีตที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.20 และ 5.21 ตามลำดับ พบว่าการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ที่ให้ผลต่อความต้องการน้ำในลักษณะเดียวกันกล่าวคือ ทำให้ความต้องการน้ำลดลงเมื่อสัดส่วนของผงฝุ่นทรายไส้แบบเพิ่มขึ้น



ภาพที่ 5.21 ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

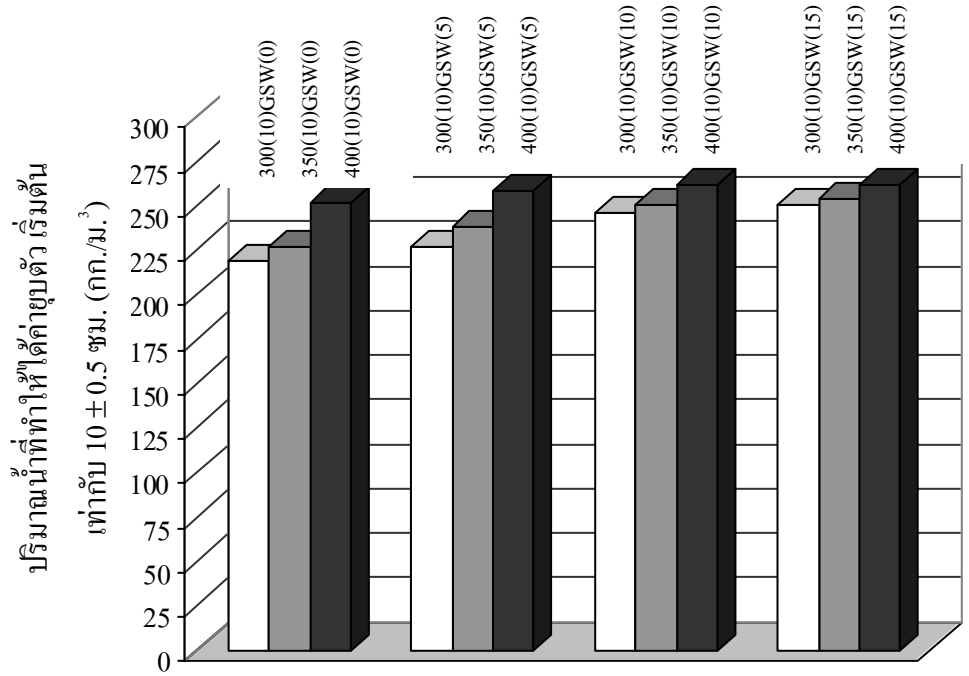
หมายเหตุ สัญลักษณ์ **X(Y)SSW(Z)** คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้น Y ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

สำหรับผลของการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่มีต่อความต้องการน้ำแสดงในภาพที่ 5.22 ถึง 5.24 พบว่าคอนกรีตที่ทุกๆ ค่าการยุบตัวเริ่มต้น (5 ± 0.5, 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม.) จะได้รับผลกระทบจากการแทนที่ในลักษณะเดียวกันกล่าวคือ ทำให้ค่าความต้องการน้ำมีค่าเพิ่มขึ้นตามสัดส่วนของการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบในทรายธรรมชาติที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลเช่นเดียวกันกับหัวข้อหน่วยน้ำหนักคือ ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW มีจำนวนอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่าขนาดตะแกรงเบอร์ 50 (ขนาดช่องเปิด (Opening) เท่ากับ 0.3 มิลลิเมตร) อยู่ในปริมาณมากกว่าทรายธรรมชาติทำให้อนุภาคของผงฝุ่นทรายไส้แบบสามารถอุดช่องว่างระหว่างอนุภาคของทรายขนาดซึ่งมีขนาดใหญ่กว่าได้ ดังนั้นการที่มีส่วนละเอียดเพิ่มขึ้นจึงทำให้ต้องการน้ำเพิ่มเติมหรือการเพิ่มน้ำอิสระเพื่อช่วยหล่อลื่นให้อนุภาคของมวลรวมละเอียดสามารถเคลื่อนที่ได้ (คอนกรีตมีค่าการยุบตัว) ในขณะที่ผลของการเพิ่มปริมาณปูนซีเมนต์จะทำให้ความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นตามไปด้วย



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW

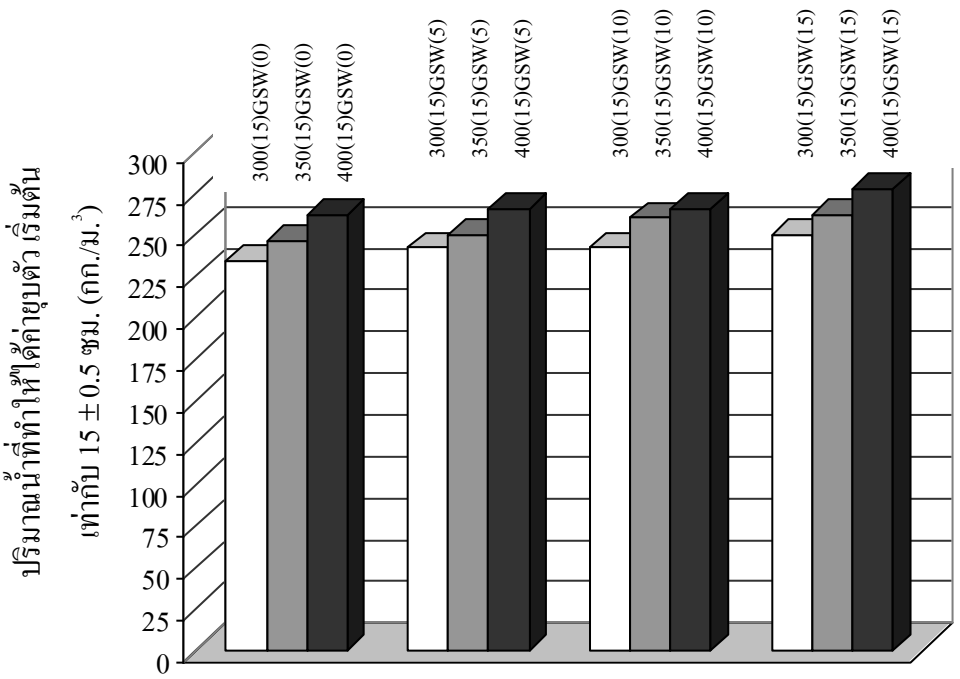
ภาพที่ 5.22 ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump)
ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.



ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW

ภาพที่ 5.23 ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump)
ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ **X**(**Y**)GSW(**Z**) คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้น Y ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

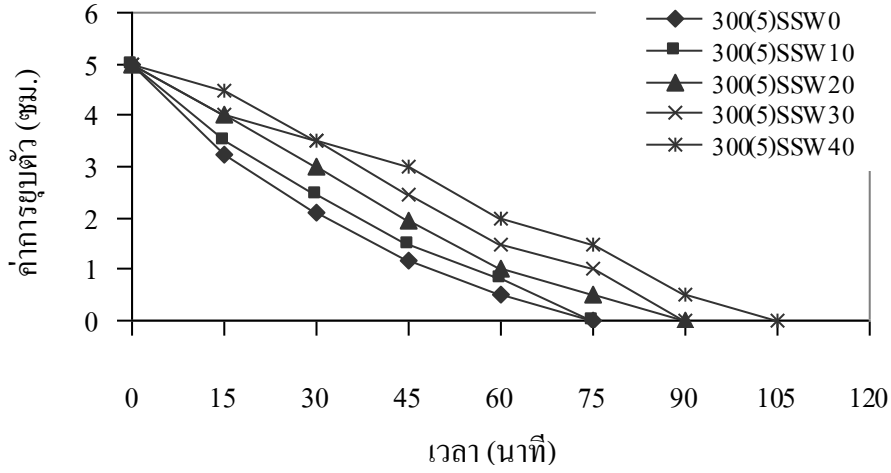


ภาพที่ 5.24 ปริมาณน้ำที่ทำให้ได้ค่ายุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump)
ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม.

หมายเหตุ สัญลักษณ์ **X(Y)GSW(Z)** คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้น Y ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

5.2.3 ค่าการยุบตัวเริ่มต้นและการสูญเสียค่าการยุบตัว (Initial Slump and Slump Loss)

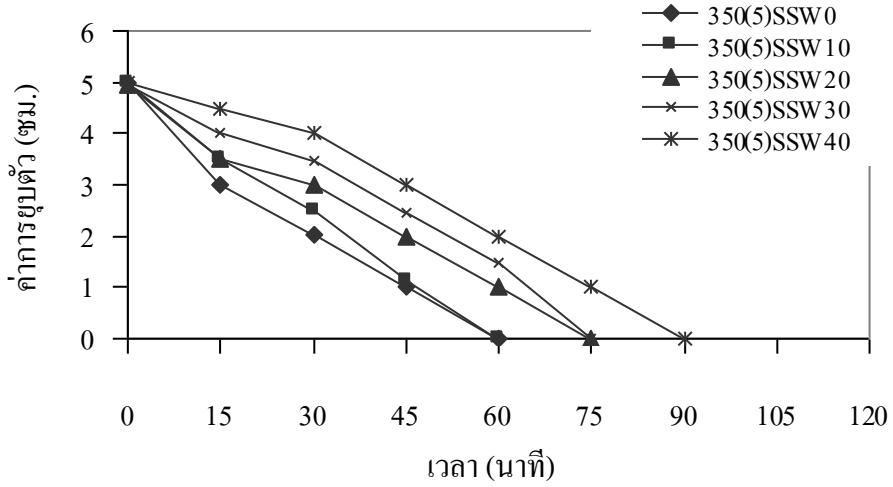
จากผลการทดสอบการสูญเสียค่าการยุบตัวของคอนกรีตซึ่งกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.25 ถึง 5.27 พบว่าคอนกรีตซึ่งผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีระยะเวลาของการสูญเสียค่าการยุบตัวมากกว่าคอนกรีตปกติ ทั้งนี้เนื่องจากสาเหตุ 2 ประการคือ ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW มีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ต่ำกว่าปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ดังจะเห็นได้จากค่าดัชนีการพัฒนากำลังที่ 7 และ 28 วัน มีค่าร้อยละ 78 และ 82 ของปูนซีเมนต์ตามลำดับ ซึ่งหมายถึงในช่วงแรกวัสดุดังกล่าวค่อนข้างเฉื่อยมาก นอกจากนั้นการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคจำเป็นต้องทำปฏิกิริยาร่วมกับแคลเซียมไฮดรอกไซด์ $(Ca(OH)_2)$ ที่ได้จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นซึ่งต้องใช้ระยะเวลาช่วงหนึ่ง (Bensted, J. and Barnes, P., pp. 328 - 330) ดังนั้นในช่วงเวลาสั้นๆ จึงมีผลต่อทั้งแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตซึ่งเป็นผลิตภัณฑ์จากปฏิกิริยาไฮเดรชั่นที่ให้กำลังแก่คอนกรีตมีปริมาณลดลงเมื่อเพิ่มปริมาณการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบและการทำปฏิกิริยาระหว่างซิลิคอนไดออกไซด์ (SiO_2) และอะลูมิเนียมออกไซด์ (Al_2O_3) ที่มีอยู่ในผงฝุ่นทรายไส้แบบ



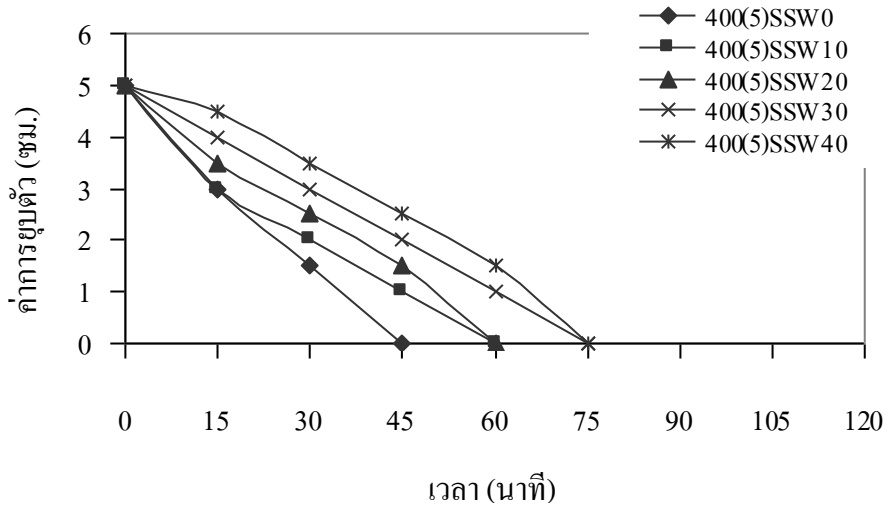
ภาพที่ 5.25 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

อีกประการหนึ่งมาจากปริมาณปูนซีเมนต์ที่ลดลงทำให้ปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนียม ($3CaO.Al_2O_3$) ลดลงตามไปด้วยกล่าวคือ โดยปกติไตรแคลเซียมอะลูมิเนียมจะทำปฏิกิริยาในช่วงแรกและเกิดการแข็งตัวอย่างรวดเร็ว (สมการที่ 3.7) ทำให้ต้องผสมยิปซั่มในปูนซีเมนต์เพื่อช่วยหน่วงการก่อตัวที่เร็วเกินไปและเมื่อเพิ่มปริมาณผงฝุ่นทรายไส้แบบจึงยิ่งมีทำให้ปริมาณไตร-แคลเซียมอะลูมิเนียมลดลงมากขึ้น และผลกระทบผงฝุ่นทรายไส้แบบมีค่ามากขึ้นเมื่อการแทนที่มากกว่าร้อยละ 10 กล่าวคือ เวลาของการสูญเสียค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นทั้งในช่วงของการเกิดการสูญเสียค่าการยุบตัวไปจนกระทั่งคอนกรีตมีค่าการยุบตัวเท่ากับศูนย์ที่ใช้เวลาเพิ่มขึ้น

เมื่อพิจารณาที่ค่าการยุบตัวเมื่อเวลาผ่านไป โดยกำหนดปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเพิ่มขึ้นจาก 300 เป็น 350 และ 400 กก./ม.^{3} ดังแสดงในภาพที่ 5.26 และ 5.27 ตามลำดับ พบว่าอัตราของการสูญเสียค่าการยุบตัวมีค่าเพิ่มขึ้น (Neville, A.M., pp. 202 – 203) อันเป็นผลเนื่องจากเมื่อกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากันที่ 5 ± 0.5 ซม. ซึ่งหมายถึงคอนกรีตมีปริมาณน้ำอิสระ (Free Water) เริ่มต้นเท่ากัน ประกอบกับการที่ปริมาณของปูนซีเมนต์ที่ทำสามารถเข้าทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นเพิ่มขึ้นทำให้ปริมาณน้ำอิสระถูกใช้ในปฏิกิริยาด้วยอัตราที่มากขึ้นส่งผลให้เวลาที่ค่าการยุบตัวของคอนกรีตเท่ากับศูนย์ใช้เวลาน้อยลงตามไปด้วย โดยคอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} และร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบเท่ากับ 0 และ10 มีระยะเวลาที่ค่าการยุบตัวเท่ากับศูนย์เท่ากัน ในขณะที่ร้อยละการแทนที่เท่ากับ 20 และ 30 มีค่าเท่ากัน ซึ่งแสดงว่าเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น ผลกระทบเนื่องจากการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบลดลง และจะมีลักษณะเดียวกันเมื่อคอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.^{3}

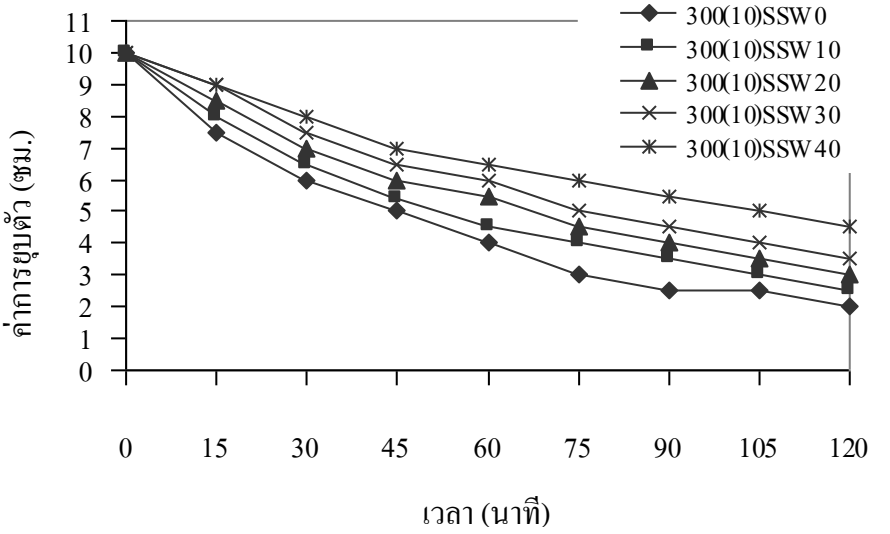


ภาพที่ 5.26 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

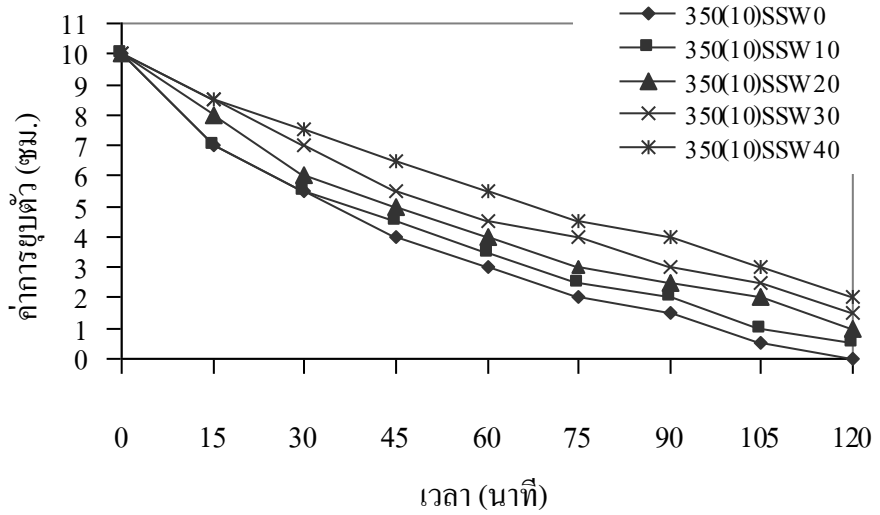


ภาพที่ 5.27 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

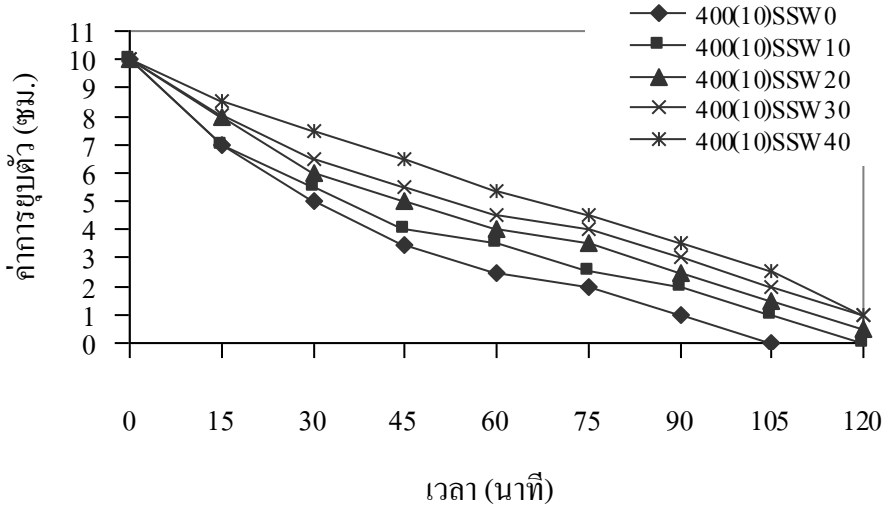
เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเพิ่มขึ้นเป็น 10 ± 0.5 ซม. ดังแสดงในภาพที่ 5.28 ถึง 5.30 พบว่าแนวโน้มของเวลาที่เกิดการสูญเสียค่าการยุบตัวมีค่ามากขึ้นเมื่อคอนกรีตมีอัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น และเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลงตามลำดับ



รูปที่ 5.28 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

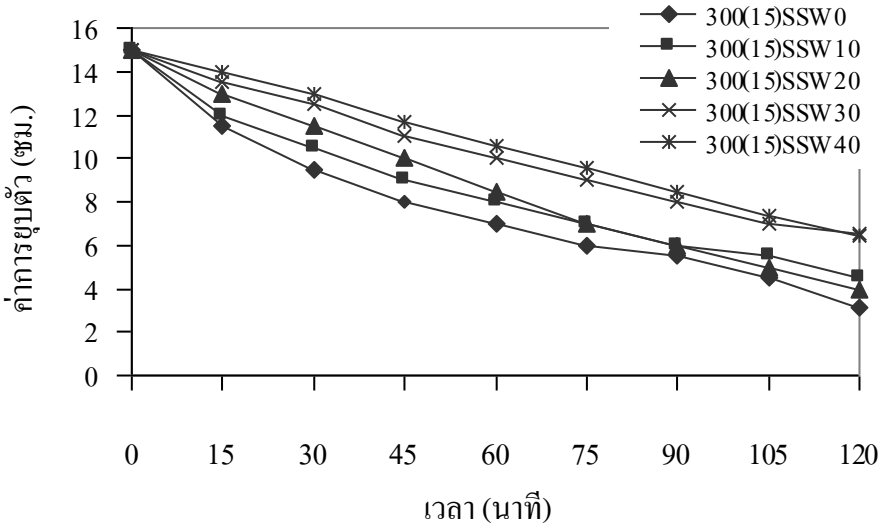


ภาพที่ 5.29 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

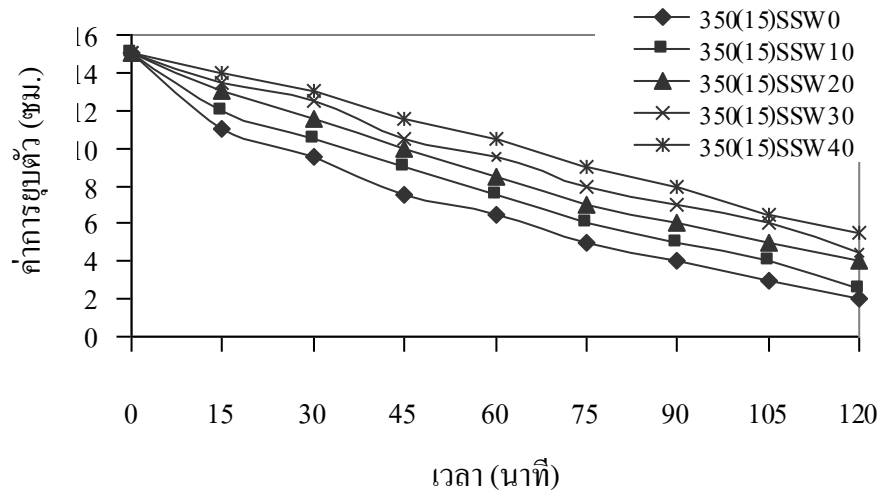


ภาพที่ 5.30 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

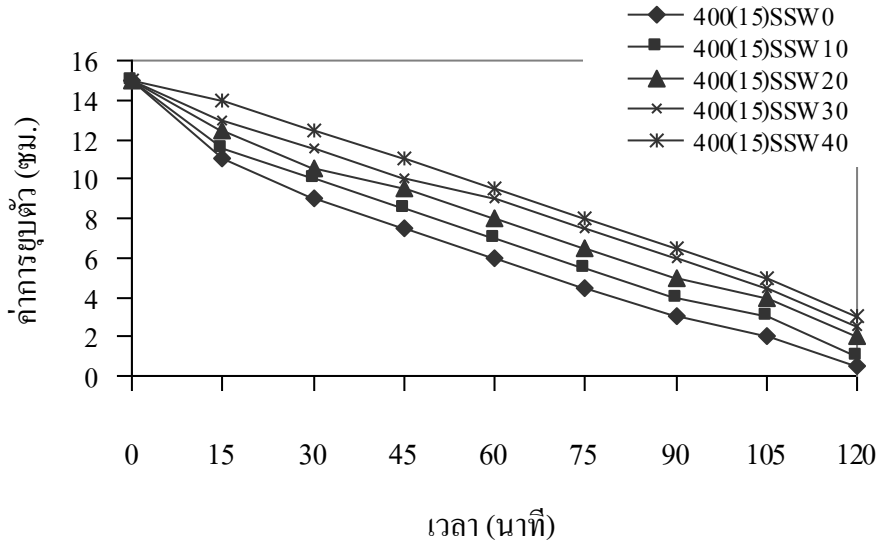
สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. ดังแสดงผลการทดสอบการลดลงของค่าการยุบตัวของคอกนรีตที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.^{3} เมื่อเวลาผ่านไปในภาพที่ 5.31 ถึง 5.33 ตามลำดับ พบว่าการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์ที่ปริมาณเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ทุกๆ ปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเมื่อพิจารณาที่ ณ ขณะเวลาเดียวกัน 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

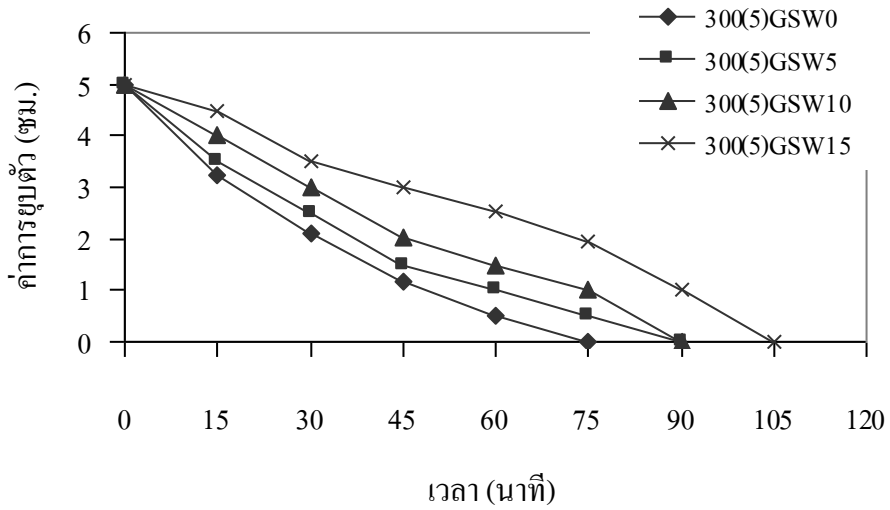


ภาพที่ 5.32 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

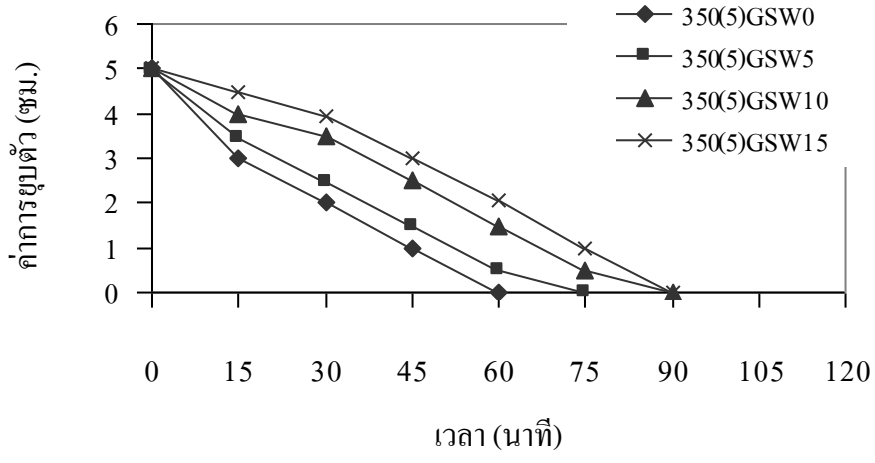


ภาพที่ 5.33 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ 0, 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก

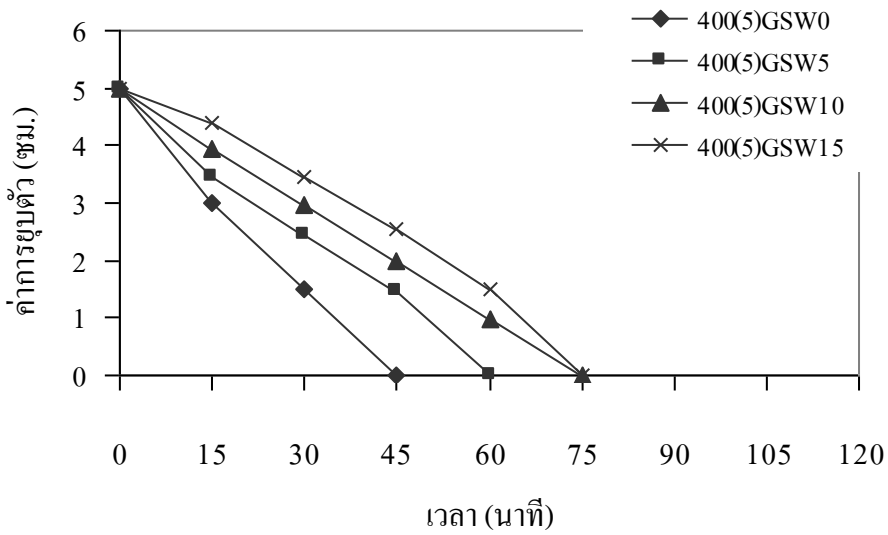
ผลการทดสอบการเปลี่ยนแปลงค่าการยุบตัวของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW และกำหนดค่ายุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. เมื่อเวลาผ่านไปแสดงในภาพที่ 5.34 ถึง 5.36 พบว่าคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีการสูญเสียค่าการยุบตัวที่เพิ่มขึ้นและมากกว่าคอนกรีตปกติ เมื่อร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม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



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

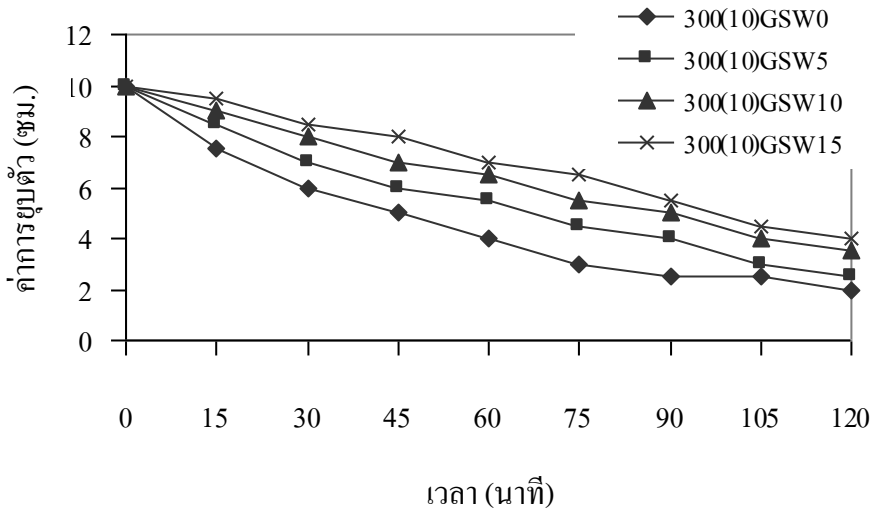


ภาพที่ 5.35 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

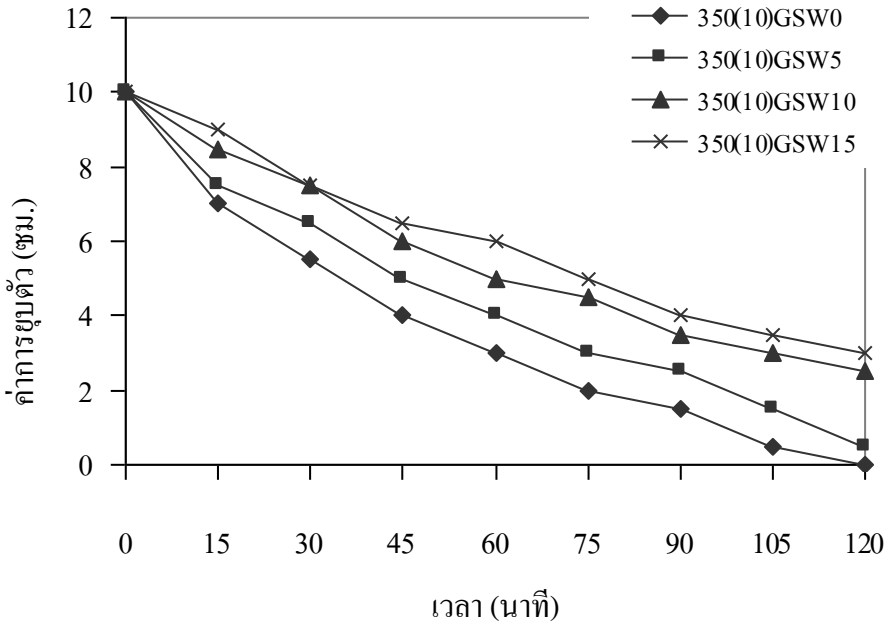


ภาพที่ 5.36 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก

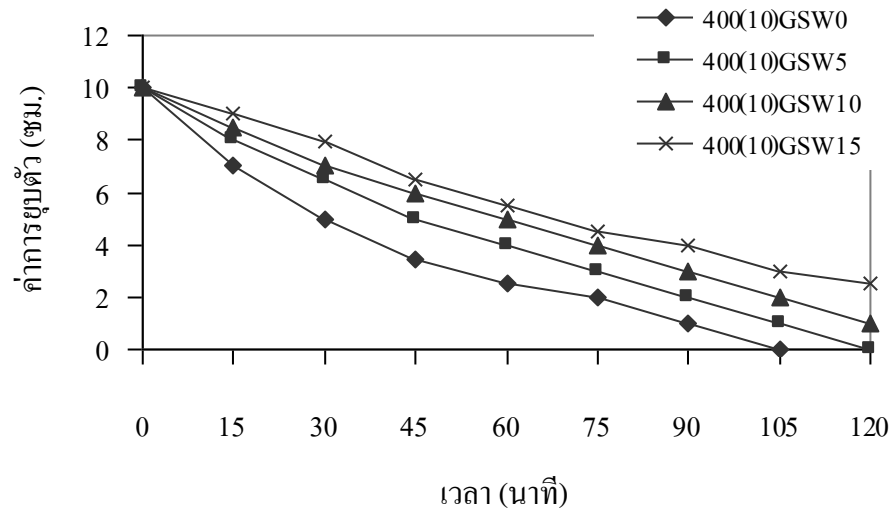
สำหรับคอนกรีตที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.37 ถึง 5.39) และ 15 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.40 ถึง 5.42) พบว่าค่าการยุบตัวของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติมีค่ามากกว่าคอนกรีตปกติที่ทุกๆ ระยะเวลาของการทดสอบ อันเนื่องมาจากสาเหตุดังกล่าวข้างต้น แต่จะสังเกตว่าอัตราการสูญเสียค่าการยุบตัวมีค่าน้อยกว่าเมื่อเปรียบเทียบ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



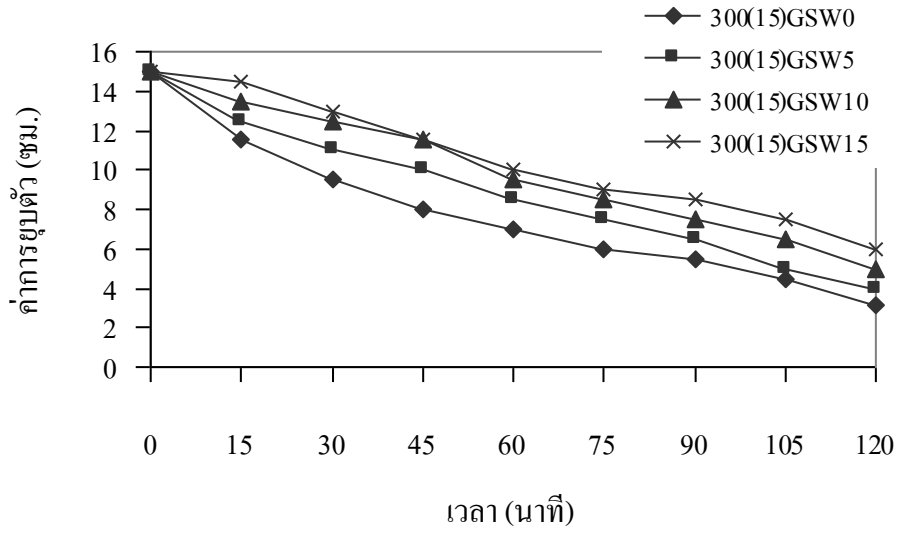
ภาพที่ 5.37 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



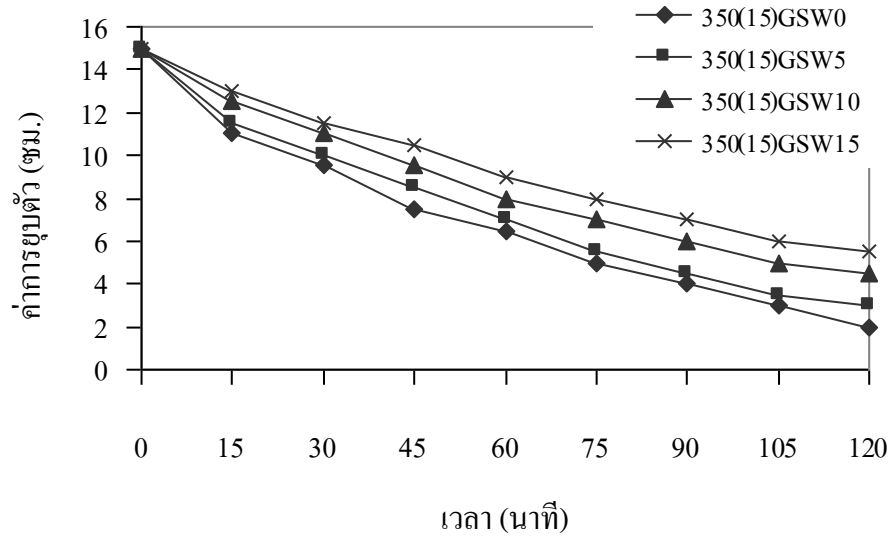
ภาพที่ 5.38 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



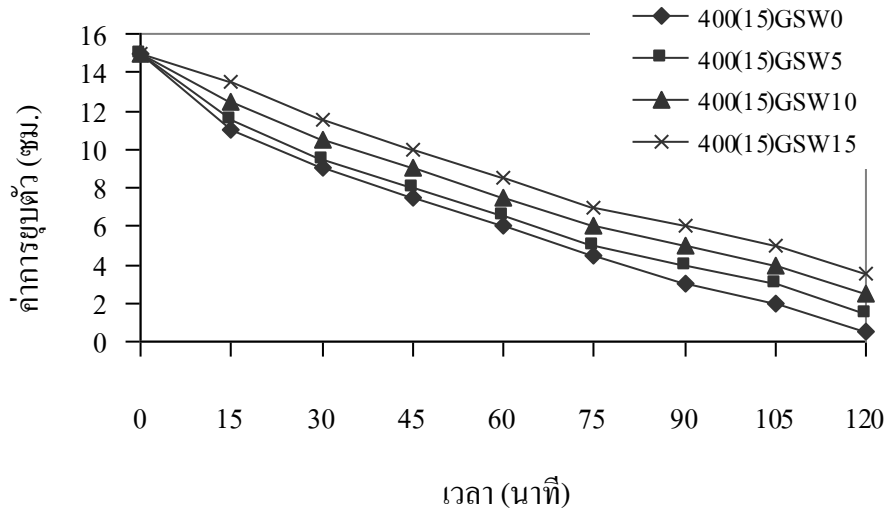
ภาพที่ 5.39 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 400 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 10 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



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



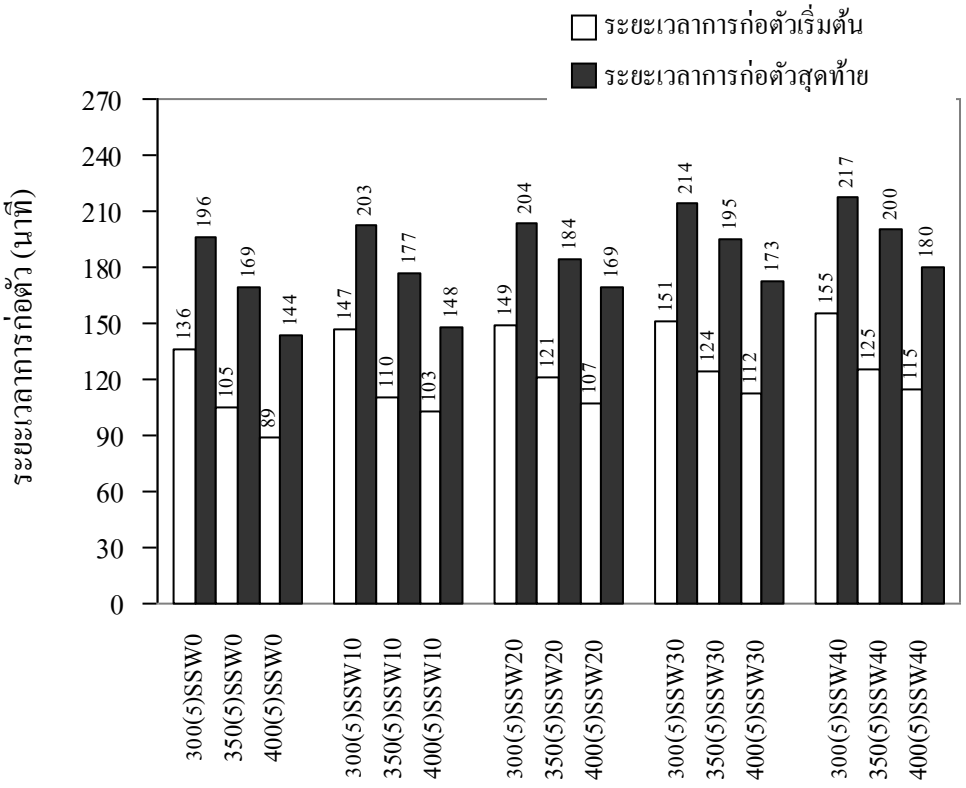
ภาพที่ 5.41 การสูญเสียค่าการยุบตัว (Slump Loss) ของคอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 350 กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก



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

5.2.4 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีต (Setting Time)

ผลการทดสอบหาระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตปกติและคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ซึ่งกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5, 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. แสดงในภาพที่ 5.43 ถึง 5.45 ตามลำดับ พบว่าคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบมีระยะเวลาการก่อตัวทั้งเริ่มต้นและสุดท้ายเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติและมีแนวโน้มของการเพิ่มขึ้นอย่างต่อเนื่องตามสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 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 สำหรับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์เท่ากับ 10, 20, 30 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ซึ่งเป็นผลเนื่องมาจากการลดลงของปริมาณปูนซีเมนต์ซึ่งหมายถึงการลดลงของปริมาณไตรแคลเซียมซิลิเกต

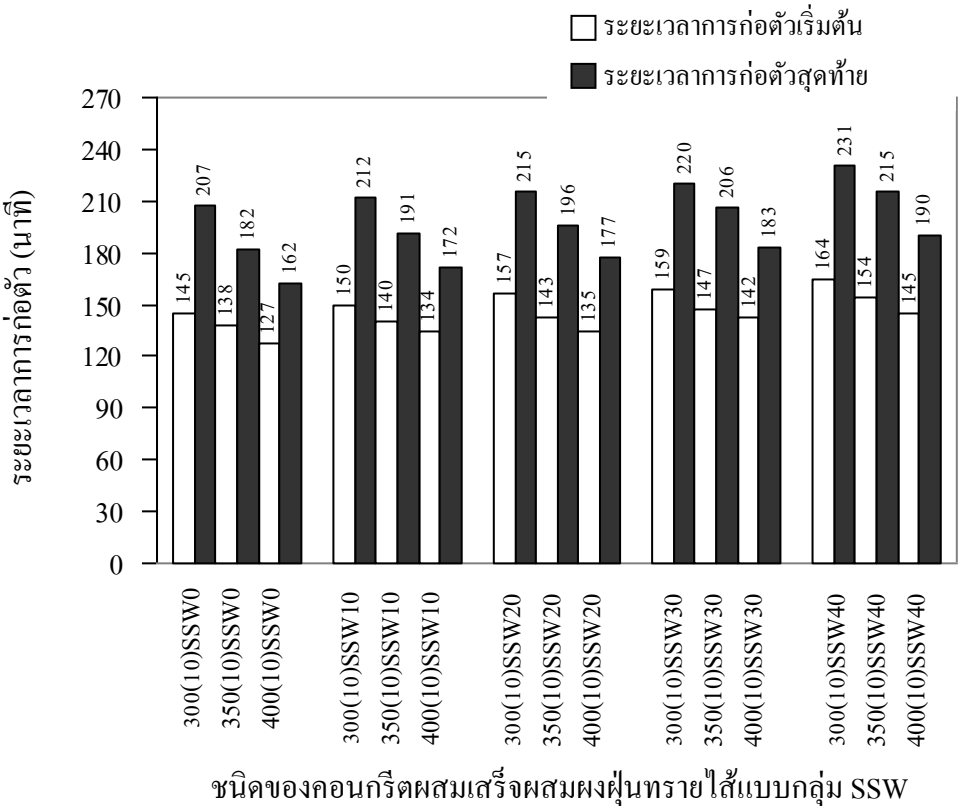


ภาพที่ 5.43 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.

($3CaO.SiO_2$) ในส่วนผสมของคอนกรีต (ไตรแคลเซียมซิลิเกต ($3CaO.SiO_2$) เป็นสารประกอบหลักที่สามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นกับน้ำแล้วเกิดการแข็งตัวภายใน 2 ถึง 3 ชั่วโมงแรก) ส่งผลให้ปฏิกิริยาไฮเดรชั่นลดลงตามไปด้วย ท้ายที่สุดจะทำให้คอนกรีตแข็งตัวช้าลงอันเนื่องจากปริมาณของแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C-S-H$) ลดลง และผลของการแทนที่ผลฝุ่นทรายไส้แบบดังกล่าวได้ส่งผลกระทบต่อการก่อตัวระยะสุดท้าย (Final Setting Time) ที่เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น อีกสารประกอบหนึ่งที่มีผลต่อระยะเวลาการก่อตัวคือ ปริมาณไตรแคลเซียมอะลูมิเนต ($3CaO.Al_2O_3$) ที่มีปริมาณลดลงเช่นเดียวกัน จึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น (Sidney M. et al., p. 211)

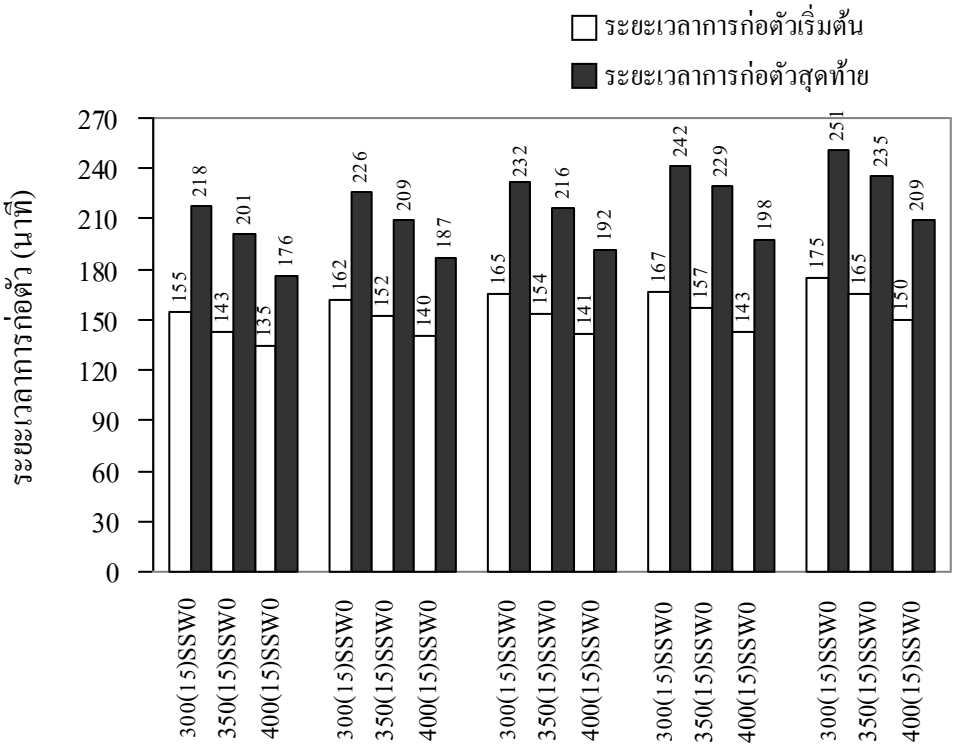
เมื่อพิจารณาในประเด็นของการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์จาก 300 กก./ม.^{3} เป็น 350 และ 400 กก./ม.^{3} ตามลำดับ พบว่าผลของการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบในปูนซีเมนต์จะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตทั้งระยะเริ่มต้นและสุดท้ายมีค่าเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันด้วยเหตุผลจากที่กล่าวมา ในขณะที่คอนกรีตที่มีการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบเดียวกันนั้น คอนกรีตที่มีปริมาณปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวลดลง ทั้งนี้เพราะในคอนกรีตมีปริมาณปูนซีเมนต์ที่สามารถทำปฏิกิริยาไฮเดรชั่นมากขึ้นจึงส่งให้ผลิตภัณฑ์ที่ให้สร้างกำลังให้กับคอนกรีต (แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต ($C-S-H$)) เพิ่มขึ้นตามไปด้วย

สำหรับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นเป็น 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. (ภาพที่ 5.43 และ 5.44) จะเห็นว่าการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกัน ในขณะที่เมื่อพิจารณาในส่วนของร้อยละการแทนที่ของฝุ่นทรายไส้แบบเดียวกัน คอนกรีตที่ค่าการยุบตัวเพิ่มขึ้นจะทำให้ระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้นด้วย เนื่องจากการที่ปริมาณน้ำในคอนกรีตเพิ่มขึ้นทำให้อนุภาคปูนซีเมนต์กระจายตัวมากขึ้น อันจะส่งผลให้แคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตที่เกิดจากแต่ละอนุภาคของปูนซีเมนต์มีความไม่ต่อเนื่อง ดังนั้นการเชื่อมประสานที่ก่อให้เกิดการแข็งตัวจึงต้องใช้เวลานานขึ้น (Neville, A.M., p. 19)



ภาพที่ 5.44 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (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. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก



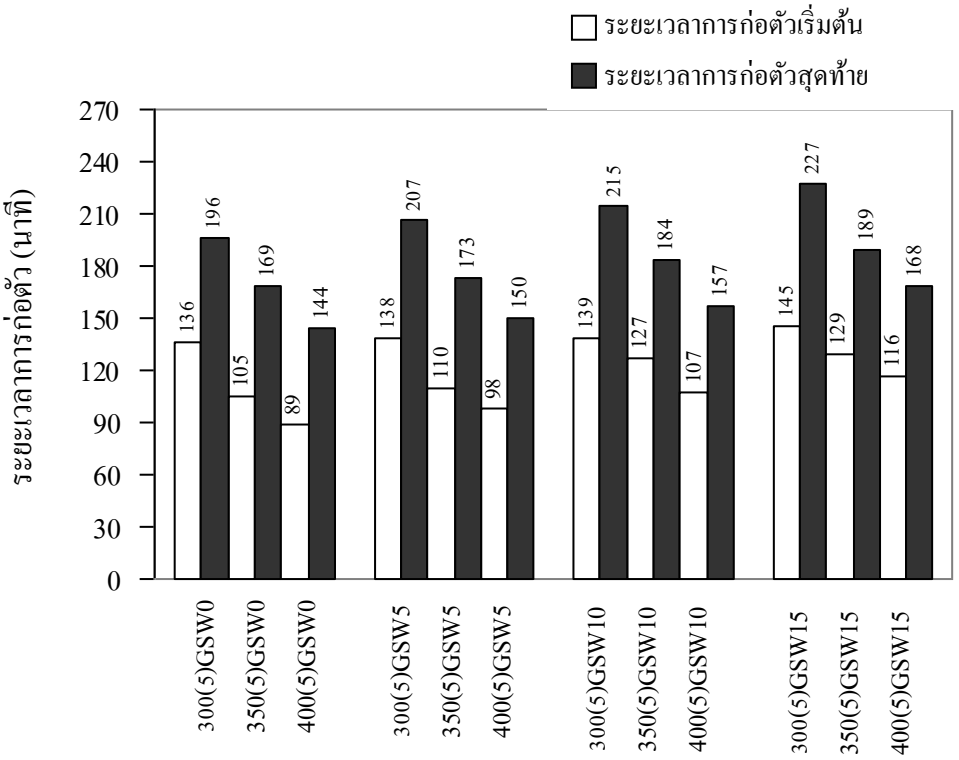
ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW

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. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW ในปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

สำหรับภาพที่ 5.46 ถึง 5.48 เป็นค่าระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ที่กำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ± 0.5, 10 ± 0.5 และ 15 ± 0.5 ซม. ตามลำดับ พบว่าการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบในทรายธรรมชาติเพิ่มขึ้นทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเช่นเดียวกันกับคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม SSW แต่ในกรณีของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม 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 สำหรับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบเท่ากับ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ ทั้งนี้เนื่องมาจากการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบ

ในทรายธรรมชาติไม่ได้เป็นการเปลี่ยนแปลงปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตจึงทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตไม่แตกต่างกันมาก และผลกระทบจากการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบดังกล่าวทำให้ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตเพิ่มขึ้นเพียงเล็กน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติเช่นกันเมื่อปริมาณของปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นเป็น 350 และ 400 กก./ม.^{3} ในขณะที่เมื่อพิจารณาคอนกรีตที่มีสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไส้แบบเดียวกันมีระยะเวลาการก่อตัวเพิ่มขึ้น

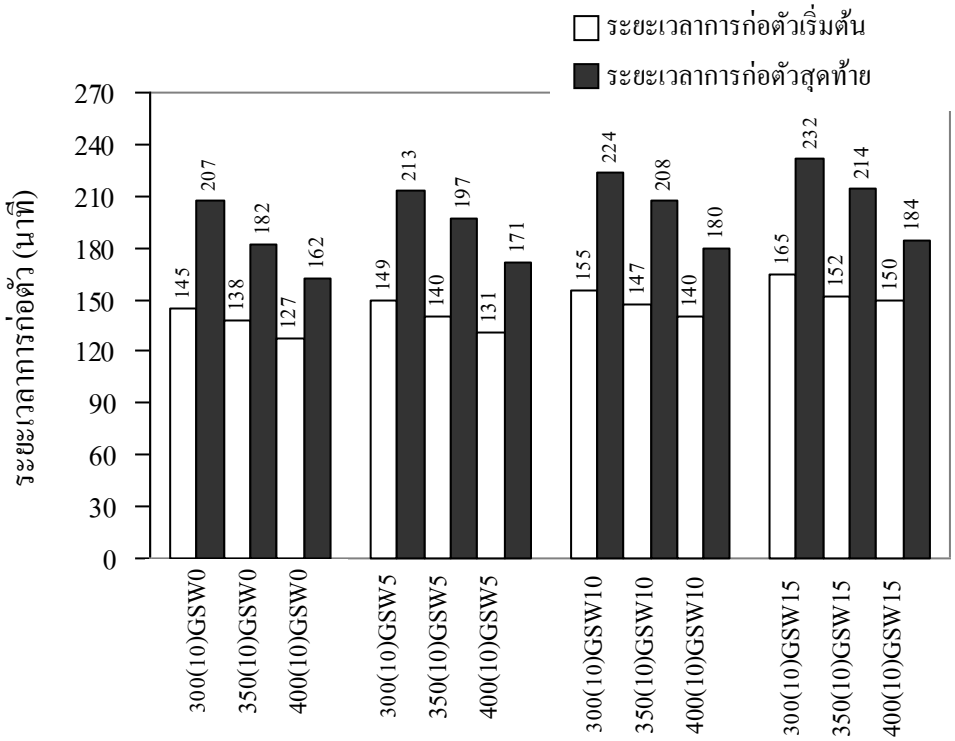


ชนิดของคอนกรีตผสมเสร็จผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW

ภาพที่ 5.46 ระยะเวลาการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (Initial Slump) เท่ากับ 5 ± 0.5 ซม.

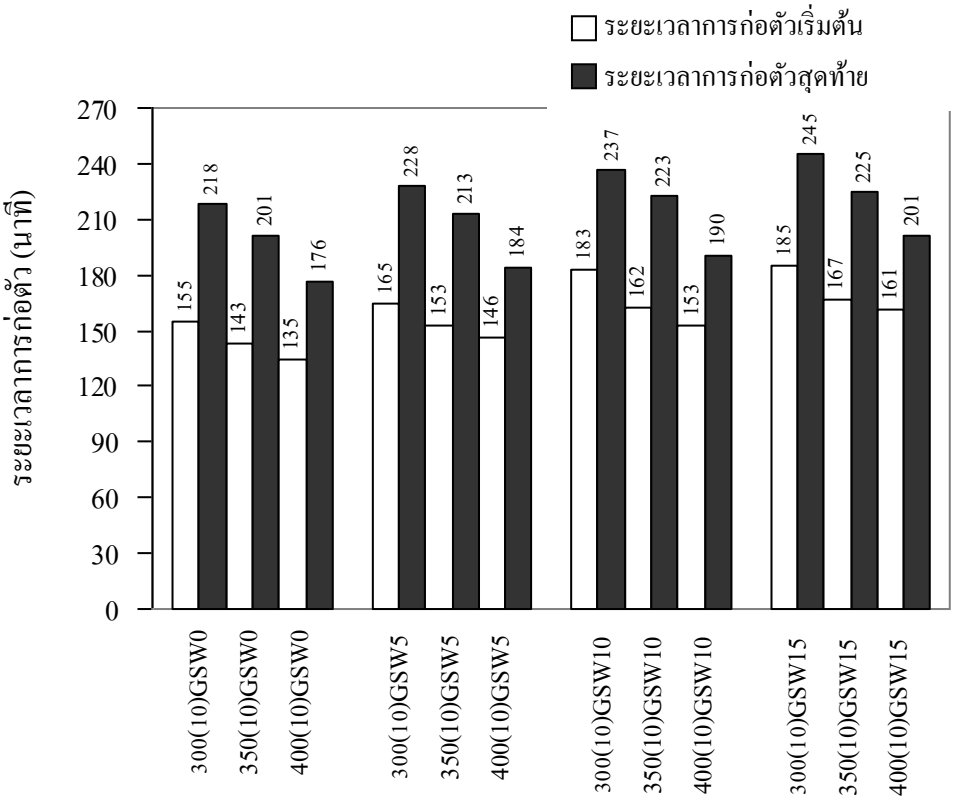
หมายเหตุ สัญลักษณ์ **X**(**Y**)GSW(**Z**) คือ คอนกรีตผสมเสร็จที่กำหนดปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.^{3} ค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ Y $\pm$ 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

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



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 ± 0.5 ซม. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก



ภาพที่ 5.48 ระยะเวลการก่อตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ โดยกำหนดค่าการยุบตัวเริ่มต้น (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. และทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW ในทรายธรรมชาติที่ร้อยละ Z โดยน้ำหนัก