

ผลกระทบของผงฝุ่นทรายได้แบบที่มีต่อความทนทานของคอนกรีต

Effects of Foundry Sand Powder upon Durability of Concrete

ณรงค์ศักดิ์ มากุล^[1] และ บุรฉัตร ฉัตรวีระ^[2]Narongsak Makul^[1] and Burachat Chatveera^[2]

ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ (ศูนย์รังสิต) อ. คลองหลวง จ.ปทุมธานี 12121

โทรศัพท์ : (+662) 564-3001-9 ต่อ 3105 โทรสาร : (+662) 564-3010

E-mail : ^[1]shinomomo7@hotmail.com and ^[2]cburacha@engr.tu.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความทนทานของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายได้แบบ (Foundry Sand Powder) กลุ่ม Green Sand and Molding Waste (GSW) ซึ่งเป็นผลพลอยได้จากกระบวนการทำแบบหล่อภายนอกและถูกกำจัดทิ้งหลังจากมีสภาพเป็นฝุ่น คุณสมบัติที่ทำการทดสอบประกอบด้วย องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของผงฝุ่นทรายได้แบบและคุณสมบัติทางด้านความทนทาน ประกอบด้วย การหดตัวแบบแห้ง ความทนทานต่อสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และการสูญเสีย น้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และอะซิติก (CH_3COOH) ซึ่งกำหนดความเข้มข้นที่ 1.0 นอร์มอลิตี (N) โดยตัวแปรหลักได้แก่ ปริมาณการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบในทรายแม่น้ำ โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ตามลำดับ จากผลการทดสอบพบว่า ปริมาณที่เพิ่มขึ้นของผงฝุ่นทรายได้แบบ มีผลทำให้การหดตัวแบบแห้งและการขยายตัวเนื่องจากซัลเฟตของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ในขณะที่ความต้านทานภายใต้การกัดกร่อนของกรดซัลฟูริกและอะซิติกลดลง

ABSTRACT

The objective of this research was to study the durability of concrete containing foundry sand powder in a group of green sand and molding waste (GSW), which was a by-product from the automobile engine outer forming and casting process and was disposed after being changed to dust form. The tested properties included the chemical compositions and physical properties of foundry sand powder. The durability properties of concrete to be determined were the expansion in water, drying shrinkage, and resistance of sodium sulfate (Na_2SO_4) at a concentration of 5% by weight, weight loss due to sulfuric (H_2SO_4) and acetic acid (CH_3COOH) attacks. The concentration of H_2SO_4 and CH_3COOH were equal to 1.0 Normality (N). The main variables were the percentage replacements of foundry sand by weight in natural sand at 0%, 5%, 10%, and 15%. The test results were found that when the

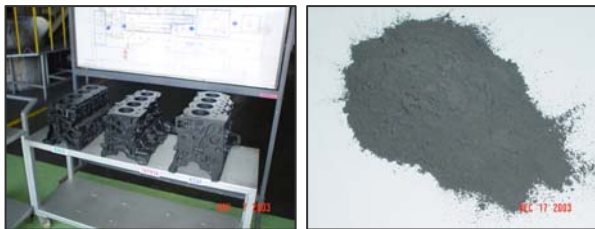
proportions of GSW foundry sand powder in river sand increased, the drying shrinkage and expansion in sulfate solution of concrete increased, whereas the resistance under corrosion of sulfuric and acetic acid attack decreased.

1. บทนำ

ปัญหาสำหรับภาคอุตสาหกรรมซึ่งมีกระบวนการเปลี่ยนวัตถุดิบประเภทต่างๆ ให้เป็นผลิตภัณฑ์หรือสินค้าออกมาคือ ของเสีย (Waste) ทั้งที่เป็นพิษและไม่เป็นพิษ ดังเช่น อุตสาหกรรมการหล่อขึ้นส่วนเครื่องยนต์ซึ่งมีของเสียจากกระบวนการผลิตอยู่หลายประเภทและมีปริมาณที่เกิดขึ้นในแต่ละปีสูง โดยหากระบบการจัดการของเสียดังกล่าวไม่ดีพอจะทำให้เกิดปัญหาด้านมา ยกตัวอย่าง ในกรณีของของเสียจากกระบวนการหล่อเครื่องยนต์ที่เกิดขึ้นเป็นจำนวนมากและต้องเสียค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียนับล้านบาทให้กับบริษัทที่ทำการกำจัดของเสียดังกล่าวซึ่งเกือบทั้งหมดมีลักษณะเป็นผงฝุ่นเช่น ผงฝุ่นทรายได้แบบ (Foundry Sand Powder) จนถึงเป็นก้อนขนาดใหญ่เช่น ตะกรันจากเตาหลอมโลหะ (Slag) ผงเหล็ก (Steel Powder) เป็นต้น ปัจจุบันทางบริษัทได้ใช้วิธีการกำจัดของเสียจากกระบวนการผลิตโดยนำเข้ากระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ผ่านบริษัทผลิตปูนซีเมนต์และบางส่วนนำไปถมที่ (Landfill) แต่ทั้งนี้การนำของเสียไปใช้ในกระบวนการผลิตปูนซีเมนต์ก็ยังคงเสียค่าใช้จ่ายในส่วนของการกำจัดมาก เพียงแต่เปลี่ยนรูปแบบของการกำจัดไปเท่านั้น อีกทั้งการนำไปถมที่เป็นการทิ้งประโยชน์จากของเหลือทิ้งและไม่ได้ก่อให้เกิดการพัฒนาที่ยั่งยืน ดังนั้นจึงได้มีแนวทางในการนำของเสียกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์ให้งานคอนกรีตผ่านอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จซึ่งเป็นอุตสาหกรรมที่มีศักยภาพในการเปลี่ยนของเสียหลายๆ ชนิด เช่น เถ้าลอย (Fly Ash) จากโรงผลิตไฟฟ้าจากถ่านหิน เถ้าตะกรัน (Slag) จากโรงงานหลอมโลหะ เป็นต้น มาใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตและก่อให้เกิดประโยชน์ได้มากขึ้น แต่การนำของเสียมาใช้จำเป็นต้องมีการพิจารณาในประเด็นของการปรับปรุงคุณภาพของคอนกรีตที่ต้องมีคุณสมบัติที่ดีขึ้นตามไปด้วย และการนำมาใช้ต้องสามารถนำมาใช้ได้โดยตรงและผ่าน

กระบวนการปรับปรุงคุณภาพของวัสดุหินน้อยที่สุดเพื่อที่ลดต้นทุนของการผลิต

ในการนำของเสียจากกระบวนการทำแบบหล่อชิ้นส่วนซึ่งวัสดุหินในการทำแบบหล่อเป็นทรายที่นำเข้ามาจากประเทศออสเตรเลียทำให้โดยในปีฯ หนึ่งนับหลายพันตัน ผงฝุ่นทรายได้แบบดังกล่าวสามารถจำแนกตามสายการผลิตออกเป็น 3 กลุ่มใหญ่คือ ผงฝุ่นทรายได้แบบจากกระบวนการทำแบบหล่อภายนอกดังแสดงในรูปที่ 1 ได้ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม Green Sand and Molding Waste (GSW) ซึ่งเป็นผงฝุ่นทรายได้แบบที่ได้จากกระบวนการทำแบบหล่อภายนอกเช่น เสื้อสูบลและเพลาลูกเบี้ยว เป็นต้น โดยปกติมี สีดำซึ่งเป็นสีของทรายไหม้เนื่องจากทรายกลุ่มนี้ได้รับอุณหภูมิสูงในขณะขึ้นรูปประมาณ 1,400 องศาเซลเซียส ดังแสดงในรูปที่ 2 จากการทำแบบหล่อภายในได้ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม Shell Sand Waste (SSW) และจากการคบแต่งชิ้นส่วนได้ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม Finishing Waste (FW) ซึ่งมีปริมาณโดยเฉลี่ยรวมผงฝุ่นทรายทั้ง 3 กลุ่มอยู่ที่ 240 ตันต่อเดือน ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงนำผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่มคือ GSW มาทำการศึกษาผลกระทบที่มีต่อความทนทานของคอนกรีต



รูปที่ 1 ชิ้นส่วนเครื่องย่นตัภายนอก รูปที่ 2 ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW

การนำผงฝุ่นทรายได้แบบซึ่งมีส่วนประกอบของทราย เรซินเบนโทไนท์ และซีโคล ซึ่งเป็นของเสียจากอุตสาหกรรมมาใช้งานเพื่อสร้างผลิตภัณฑ์ใหม่จำเป็นต้องพิจารณาผลกระทบเบื้องต้นในหลายประเด็น ดังต่อไปนี้

1. ปริมาณสารพิษที่ตกค้าง

สารพิษที่ตกค้างในผงฝุ่นทรายได้แบบซึ่งอาจมีผลต่อสุขภาพของผู้ใช้ผลิตภัณฑ์คอนกรีต เมื่อนำผงฝุ่นทรายได้แบบมาใช้เป็นวัสดุหินในการผลิต โดยจากการทดสอบพบว่าสารพิษที่ตกค้างอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานที่ยอมรับได้ของกระทรวงอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 1 [1]

2. คุณสมบัติเมื่อนำมาใช้เป็นส่วนประกอบของคอนกรีต

การแทนที่ในมวลรวมละเอียด (ทรายแม่น้ำ) ดังนั้นจึงนำมาตรฐาน ASTM C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates [2] ของมวลรวมละเอียด มาประกอบการพิจารณาดังต่อไปนี้

2.1 ขนาดคละ (Gradation)

จากผลการทดสอบหาการกระจายขนาดคละด้วยการร่อน (Sieve Analysis) ผ่านตะแกรงเบอร์ 3/8, 4, 8, 16, 30, 50 และ 100 ของทรายแม่น้ำพบว่า การกระจายขนาดคละอยู่ภายในขอบเขตตามมาตรฐาน

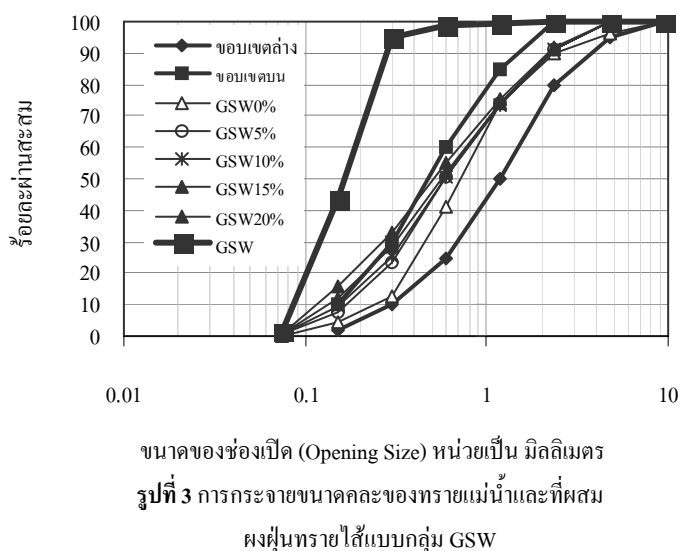
ASTM C 33 [2] ซึ่งการกระจายขนาดของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ที่อยู่นอกขอบเขต โดยค่าร้อยละผ่านสะสมของอนุภาคมีค่ามากกว่าที่กำหนด กล่าวคือ ค่าร้อยละผ่านสูงมากกว่าร้อยละ 90 จากตะแกรงเบอร์ 50 ซึ่งแสดงถึงอนุภาคส่วนใหญ่มีขนาดเล็กมาก (น้อยกว่า 0.3 มิลลิเมตร) นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบกับทรายแม่น้ำพบว่าอนุภาคของผงฝุ่นทรายได้แบบมีขนาดเล็กกว่าทรายแม่น้ำ ในขณะที่เมื่อทำการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนร้อยละ 5 (GSW5%), 10 (GSW10%), 15 (GSW15%) และ 20 (GSW20%) ตามลำดับ มีผลทำให้การกระจายขนาดคละของมวลรวมผสมเปลี่ยนแปลงไปจากมาตรฐาน โดยการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW โดยน้ำหนักที่ร้อยละ 20 มีการกระจายขนาดคละเกินกว่าขอบเขตที่กำหนดตามมาตรฐาน กล่าวคือ มีค่าร้อยละผ่านของอนุภาคในช่วงตะแกรงเบอร์ 50 และ 100 มากกว่าที่กำหนด (ไม่เกินร้อยละ 10 ถึง 30 สำหรับตะแกรงเบอร์ 50 และไม่เกินร้อยละ 2 ถึง 10 สำหรับตะแกรงเบอร์ 50) อย่างไรก็ตาม การกระจายขนาดคละของมวลรวมผสมของทรายแม่น้ำและผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในช่วงตะแกรงเบอร์ 3/8 ถึง 16 พบว่าการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบไม่มีผลกระทบต่อการกระจายขนาดคละของทรายแม่น้ำ ในขณะที่อนุภาคในช่วงตะแกรงเบอร์ 16 ถึง 100 จะเห็นการเปลี่ยนแปลงของการกระจายขนาดคละของมวลรวมผสมอย่างชัดเจน อันเป็นผลเนื่องมาจากขนาดอนุภาคของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ส่วนใหญ่มีขนาดเล็กกว่าทรายแม่น้ำในช่วงดังกล่าว

ตารางที่ 1 ปริมาณสารพิษที่ทำการตรวจวัดจากของเสียจากโรงงานผลิตชิ้นส่วนเครื่องย่น [1]

สารพิษ (Total of)	หน่วย	วิธีทดสอบ	GSW	เกณฑ์ มาตรฐาน
Arsenic	Mg/l as As	Atomic Absorption Spectrometric Method	0.019	≤ 5.0
Barium	Mg/l as Ba	Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometric Method	0.17	≤ 100
Cadmium	Mg/l as Cd	Inductively Coupled Plasma Emission Spectrometric Method	0.02	≤ 1.0
Chromium	Mg/l as Cr	Atomic Absorption Spectrometric Method	< 0.10	≤ 5.0
Copper	Mg/l as Cu	Atomic Absorption Spectrometric Method	< 0.10	-
Iron	Mg/l as Fe	Atomic Absorption Spectrometric Method	0.70	-

2.2 ปริมาณของอนุภาคที่ขนาดเล็กกว่าขนาดตะแกรงเบอร์ 200 (75 ไมโครเมตร) ต้องมีค่าไม่เกินร้อยละ 3.0 โดยจากการทดสอบด้วย

การร่อนผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ผ่านตะแกรง พบว่าปริมาณของอนุภาคที่มีขนาดเล็กกว่า 75 ไมโครเมตร มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.95 ในขณะที่อัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW เท่ากับร้อยละ 0 (GSW0%), 5 (GSW5%), 10 (GSW10%), 15 (GSW15%) และ 20 (GSW20%) มีค่าเท่ากับร้อยละ 0.14, 0.38, 0.49, 0.61 และ 0.81 ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 3



2.3 ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) ซึ่งเป็นดัชนีที่เป็นปฏิกิริยาโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของวัสดุในมวลรวม โดยมาตรฐานได้กำหนดค่าโมดูลัสความละเอียดของมวลรวมละเอียดต้องอยู่ในช่วง 2.3 ถึง 3.1 ซึ่งผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2 พบว่าค่าโมดูลัสความละเอียดซึ่งประกอบด้วยทรายแม่น้ำและผงฝุ่นทรายได้แบบมีค่าอยู่ในขอบเขตที่มาตรฐานกำหนด

ตารางที่ 2 ค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) ของทรายแม่น้ำผสมผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW

ร้อยละการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำ โดยน้ำหนัก	โมดูลัสความละเอียด (F.M.)
0 (ทรายแม่น้ำ)	2.81
5	2.53
10	2.50
15	2.43
GSW	1.40

ดังนั้นสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำ โดยตามข้อกำหนดของการกระจายขนาดผล (Gradation) ที่มีค่าไม่เกินขอบเขตที่มาตรฐานกำหนด [2,3] พบว่าสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ไม่เกินร้อยละ 15 โดยน้ำหนัก

โดยในการศึกษานี้ได้ทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำที่ร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ตามลำดับ

จากงานวิจัยของ McIntyre, S. W. et al. [4] ได้สรุปเบื้องต้นเกี่ยวกับการนำทรายได้แบบที่ผ่านการใช้งาน (Spent Sand) มาใช้แทนที่ในมวลรวมละเอียดบางส่วน พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากเผาไหม้ (LOI) ของทรายได้แบบที่ผ่านการใช้งานมีค่าในช่วงร้อยละ 0.99 ถึง 3.53 ในขณะที่ค่าความถ่วงจำเพาะและค่าโมดูลัสความละเอียด (F.M.) มีค่าในช่วง 2.35 ถึง 2.60 และ 1.7 ถึง 1.9 ตามลำดับ สำหรับกำลังของคอนกรีตผสมทรายได้แบบมีค่าสูงกว่าคอนกรีตปกติ โดยมีค่าในช่วงร้อยละ 12 ถึง 35 ของคอนกรีตที่ใช้ทรายปกติ ในขณะที่ Naik, T. et al. [5,6] พบว่าคอนกรีตที่ผสมทรายได้แบบที่ผ่านการใช้งานมีกำลังอัดกำลังดึงและโมดูลัสยืดหยุ่นที่อายุ 28 วัน ต่ำกว่าคอนกรีตที่ผสมทรายได้แบบที่ไม่ผ่านการใช้งานร้อยละ 20 ถึง 30 ในขณะที่กำลังอัดของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ทรายได้แบบที่ไม่ผ่านการใช้งานในมวลรวมละเอียดร้อยละ 25 และ 35 มีค่าใกล้เคียงกับคอนกรีตที่ผสมทรายปกติ และในส่วนผสมที่ทำการแทนที่ทรายได้แบบในสัดส่วนร้อยละ 30 และ 60 ในมวลรวมละเอียด มีค่าเกินกว่า 150 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (10.5 กก./ซม.²) ในขณะที่การแทนที่ทรายได้แบบในมวลรวมละเอียดเท่ากับร้อยละ 70 ทำให้คอนกรีตมีกำลังอัดเท่ากับ 120 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว (8.4 กก./ซม.²) ส่วน Wang S.Y. and Vipulanandan C. [7] พบว่าทรายได้แบบประกอบด้วยทราย ซิลิกา ดินและสารผสมเพิ่ม และจากการทดสอบการชะล้าง (Leachate) พบว่าทรายได้แบบเป็นวัสดุที่ไม่มีอันตราย นอกจากนั้นการแทนที่ทรายได้แบบในลักษณะการเพิ่ม (Adding) ในปูนซีเมนต์ร้อยละ 6 ทำให้กำลังรับแรงเพิ่มขึ้นมากกว่า 250 ปอนด์ต่อตารางนิ้ว และได้นำทรายได้แบบเหลือทิ้งซึ่งเป็นผลพลอยได้จากอุตสาหกรรมการหล่อโลหะมาประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมทาง (Highway Engineering) และทรายดังกล่าวสามารถนำมาใช้แทนที่ในทรายแม่น้ำได้ [8,9]

2. วัตถุประสงค์

ศึกษาผลกระทบของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตปกติที่ไม่ผสมสารเคมีผสมเพิ่ม โดยทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำหรือทรายแม่น้ำ

3. วิธีการศึกษา

3.1 ขอบเขตของการศึกษา

3.1.1 ปริมาณการแทนที่ของผงฝุ่นทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำที่อัตราส่วนร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ

3.1.2 องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพ อาทิเช่น ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al₂O₃) ไอรอนออกไซด์ (Fe₂O₃) แคลเซียมออกไซด์ (CaO) เป็นต้น และคุณสมบัติทางกายภาพ

ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ ความหนาแน่นรวม พื้นที่ผิวจำเพาะในรูปของความละเอียดด้วยวิธีเบลน ปริมาณความชื้น การกระจายขนาดผลของอนุภาค ลักษณะและพื้นที่ผิวของอนุภาคด้วยเทคนิค Scanning Electron Microscope และดัชนีกำลัง

3.1.3 คุณสมบัติทางด้านการทนทานของคอนกรีตได้แก่ การขยายตัวในน้ำ การหดตัวแบบแห้ง ทั้งในรูปของการหดตัวและการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการระเหยของน้ำออกจากคอนกรีต ความทนทานต่อการกระทำเนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ในรูปของการขีดหรือหดตัว และความทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากสารละลายกรดซัลฟริก (H_2SO_4) และอะซิติก (CH_3COOH) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 นอร์มอลิตี้ ซึ่งมีค่าความเป็นกรดด่าง (pH) เท่ากับ 0.66 และ 2.56 ตามลำดับ ในรูปของการสูญเสีย น้ำหนักที่อายุ 3, 7, 28, 60, 90 และ 120 วัน ตามลำดับ

3.1.4 คอนกรีตมีข้อกำหนดดังต่อไปนี้

3.1.4.1 คอนกรีตผสมเสร็จ เป็นคอนกรีตปกติที่ไม่มีสารเคมีผสมเพิ่มเป็นส่วนประกอบ

3.1.4.2 ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ในคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้น ของคอนกรีตผสมเสร็จเท่ากับ 5, 10 และ 15 ซม. ตามลำดับ

3.2 รายละเอียดการทดสอบ

3.2.1 วัสดุที่ใช้

1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1
2. ผงฝุ่นทรายได้แบบที่ใช้คือ Green Sand and Molding Waste (GSW) จากจังหวัดชลบุรี
3. น้ำ ใช้น้ำประปาที่มีค่าความเป็นกรดด่างเท่ากับ 7
4. ทราย ทรายที่ใช้เป็นทรายแม่น้ำที่มีขนาดผลตามมาตรฐาน ASTM C 33 [2]
5. หิน เป็นหินปูน (Crushed Limestone) มีขนาดใหญ่สุด 25 มม. และขนาดผลตามมาตรฐาน ASTM C 33 [2]

6. สารเคมีที่ใช้ดังต่อไปนี้

- 6.1 กรดซัลฟริก (H_2SO_4) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.84 และปริมาณรีเอเจนต์ (เนื้อสาร) ร้อยละ 98 (โดยน้ำหนัก)
- 6.2 กรดอะซิติก (CH_3COOH) มีค่าความถ่วงจำเพาะ 1.05 และปริมาณรีเอเจนต์ (เนื้อสาร) ร้อยละ 99.5 (โดยน้ำหนัก)
- 6.3 โซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก หรือคิดเป็นปริมาณเท่ากับ 50 มก./ล. ตามมาตรฐาน ASTM C 1012 [10]

3.2.2 วิธีการทดสอบ

คุณสมบัติของคอนกรีตปกติและคอนกรีตที่ผสม GSW โดยมาตรฐานที่ใช้ในการทดสอบจะเป็นไปตามมาตรฐาน ดังต่อไปนี้

1. การหดตัวแบบแห้ง (Drying Shrinkage) โดยทำการผสมคอนกรีตแล้วจึงนำมาเทลงแบบหล่อขนาด 75 x 75 x 285 มม. ถอดแบบออกหลังจากผสม 1 วัน จากนั้นนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน ระหว่างนั้นให้นำมาทำการวัดด้วยเครื่อง Digital Length Comparator ทุกๆ 3 วัน เมื่อครบกำหนด 28 วัน ให้นำขึ้นจากน้ำมาทำการบ่มในตู้บ่มที่ควบคุมอุณหภูมิที่ 25 ± 2 องศาเซลเซียส และความชื้นสัมพัทธ์ที่ร้อยละ 60 ± 5 ทำการวัดเช่นเดียวกับขณะที่ทำการบ่มในน้ำ โดยความยาวเริ่มต้น L_0 และความยาวของแท่งตัวอย่าง ณ วันที่ทำการวัดต่อไปเป็น L_i แล้วจึงนำค่าดังกล่าวมาคำนวณหาความยาวที่เปลี่ยนไปต่อความยาวเดิม ดังสมการที่ (1) ทำการวัดไปจนกระทั่งความยาวที่เปลี่ยนไปมีแนวโน้มค่าคงที่

$$\text{Strain} = \frac{L_0 - L_i}{L_0} \quad (1)$$

2. ความทนทานการกัดกร่อนเนื่องจากซัลฟริกและอะซิติก โดยทำการผสมคอนกรีตแล้วจึงนำมาเทลงแบบหล่อลูกบาศก์ขนาด 10 x 10 x 10 ซม. ถอดแบบหล่อเมื่อคอนกรีตมีอายุ 1 วัน จึงนำไปบ่มในน้ำเป็นเวลา 28 วัน จากนั้นจึงนำคอนกรีตมาทำการฝังจมน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักเริ่มต้น จากนั้นนำไปทำการแช่ในสารละลายกรดซัลฟริกและอะซิติกที่มีความเข้มข้น 1 นอร์มอลิตี้ (N) โดยทำการควบคุมอัตราส่วนพื้นที่ผิวต่อปริมาตรของสารละลายกรดเท่ากับ 1 ต่อ 3 เพื่อให้กรดสามารถกระทำต่อทุกผิวหน้าของคอนกรีตอย่างเพียงพอ เมื่อแช่ครบอายุที่ 7, 28, 60, 90 และ 120 วัน ตามลำดับ จึงนำมาทำการตัดผิวตัวอย่างคอนกรีตและฝังให้แห้งจนมีน้ำหนักคงที่แล้วจึงนำมาชั่งน้ำหนักที่เหลืออยู่ดังแสดงในรูปที่ 4 และนำผลการทดสอบมาคำนวณหาร้อยละของการสูญเสีย น้ำหนักจากน้ำหนักที่ลดลงเปรียบเทียบกับน้ำหนักเริ่มต้น



(ก) บ่มในกรดซัลฟริก (H_2SO_4) (ข) แช่ในกรดอะซิติก (CH_3COOH)
รูปที่ 4 ตัวอย่างคอนกรีตที่ผ่านการแช่ในกรด

3. ความทนทานต่อซัลเฟตในรูปของการขยายตัวของตัวอย่างคอนกรีต ซึ่งอ้างอิงมาจากมาตรฐาน ASTM C 1012 [10] เป็นแนวทางเบื้องต้น โดยเริ่มจากการหล่อแท่งตัวอย่างคอนกรีตขนาด 75 x 75 x 285 มม. และทำการถอดแบบที่อายุ $23\frac{1}{2} \pm \frac{1}{2}$ ชั่วโมง หลังการผสมจึงวัดความยาวเริ่มต้นของตัวอย่าง จากนั้นจึงนำตัวอย่างไปทำการบ่มในน้ำปูนใสเป็นเวลา 28 วัน แล้วจึงนำไปแช่ในสารละลายโซเดียมซัลเฟตที่มีความเข้มข้นรวมเท่ากับ 50 ก./ล. ทำการวัดความยาวโดยใช้เครื่อง Digital

Length Comparator วัดเป็นประจำทุกสัปดาห์และนำค่าที่ได้มาคำนวณหาหน่วยการยืดหดจากความยาวที่เปลี่ยนไปเทียบกับความยาวเริ่มต้น

3.2.3 สัดส่วนของคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

อัตราส่วนผสมของคอนกรีตที่ทำการศึกษาแสดงในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 สัดส่วนของคอนกรีตที่ใช้ในการศึกษา (กก./ม.³)

สัญลักษณ์	ปูนซีเมนต์	น้ำ	ทราย	GSW	หิน
300(5)GSW0	300	210	780	0	1058
300(5)GSW5	300	212	741	39	1055
300(5)GSW10	300	215	702	78	1050
300(5)GSW15	300	218	663	117	1030
350(5)GSW0	350	214	758	0	1027
350(5)GSW5	350	217	720	38	1020
350(5)GSW10	350	224	682	76	995
350(5)GSW15	350	226	644	114	990
400(5)GSW0	400	222	730	0	990
400(5)GSW5	400	224	694	37	985
400(5)GSW10	400	228	657	74	975
400(5)GSW15	400	231	621	111	960
300(10)GSW0	300	218	792	0	1025
300(10)GSW5	300	237	752	40	975
300(10)GSW10	300	241	713	79	960
300(10)GSW15	300	253	673	119	925
350(10)GSW0	350	226	744	0	1005
350(10)GSW5	350	235	707	37	985
350(10)GSW10	350	236	670	74	980
350(10)GSW15	350	247	633	111	950
400(10)GSW0	400	251	743	0	945
400(10)GSW5	400	251	706	35	945
400(10)GSW10	400	252	669	70	940
400(10)GSW15	400	256	632	105	930
300(15)GSW0	300	243	743	0	1007
300(15)GSW5	300	247	706	37	995
300(15)GSW10	300	251	669	74	985
300(15)GSW15	300	253	632	111	975
350(15)GSW0	350	259	706	0	958
350(15)GSW5	350	262	671	35	950
350(15)GSW10	350	265	635	71	940
350(15)GSW15	350	270	600	106	925
400(15)GSW0	400	265	681	0	924
400(15)GSW5	400	269	647	34	915
400(15)GSW10	400	271	613	68	905
400(15)GSW15	400	277	579	102	890

หมายเหตุ : X(Y)GSWZ คือ คอนกรีตที่ปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ X กก./ม.³ และมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นที่ Y ซม. นอกจากนั้นยังทำการแทนที่ทรายแม่น้ำด้วยผงฟูทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในอัตราส่วนร้อยละ Z โดยน้ำหนัก

4. ผลการทดสอบและวิจารณ์ผล

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของผงฟูทรายได้แบบกลุ่ม GSW

ผงฟูทรายได้แบบกลุ่ม GSW มีองค์ประกอบหลักเป็นซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO₂) ดังแสดงในตารางที่ 4 เนื่องจากวัตถุประสงค์ในการผลิต

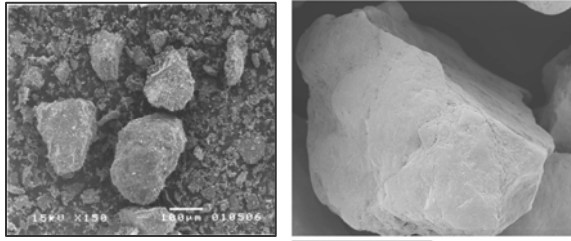
เป็นทรายของประเทศออสเตรเลียซึ่งมีสารประกอบดังกล่าวถึงร้อยละ 85.9 [1] นอกจากนั้นผงฟูทรายได้แบบกลุ่ม GSW เป็นผลพลอยได้จากการทำแบบหล่อภายนอกซึ่งต้องการความแข็งแรง ดังนั้นจึงต้องเติมสารผสมเพิ่มซึ่งเป็นสารประกอบของเหล็กจำพวกเฟอร์โรแมงกานีสและเฟอร์โรโครเมียมในอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น [1] อีกทั้งจากการที่ทรายได้แบบหล่อภายนอกต้องทนความร้อนของน้ำเหล็กในกระบวนการเทลงได้แบบถึง 1,400 องศาเซลเซียส ทำให้ต้องเติมสารเชื่อมประสานจำพวกเรซินเพิ่มขึ้นอีกจึงส่งผลให้ปริมาณของซิลิกอนไดออกไซด์ลดลง

สำหรับคุณสมบัติทางกายภาพที่สำคัญซึ่งได้แก่ ความละเอียดด้วยวิธีเบลน ผงฟูทรายได้แบบมีความละเอียดเท่ากับ 710 ซม.²/ก. ซึ่งเป็นผลจากการปรับปรุงคุณภาพของได้แบบในขณะทำการหล่อซึ่งและเมื่อหลังจากเคาะทรายได้แบบจึงทำให้เศษทรายส่วนใหญ่อยู่ในสภาวะที่มีการเกาะยึดกันเป็นกลุ่มเม็ดทรายส่งผลให้ความละเอียดต่ำและจากลักษณะอนุภาคของทรายที่ใช้ทำแบบหล่อดังแสดงในรูปที่ 5 พบว่าอนุภาคทรายมีผิวค่อนข้างขรุขระเช่นเดียวเมื่อเปรียบเทียบกับทรายแม่น้ำ

ตารางที่ 4 องค์ประกอบเคมีและคุณสมบัติทางกายภาพของผงฟูทรายได้แบบกลุ่ม GSW

องค์ประกอบทางเคมี (ร้อยละ)	ผงฟูทรายได้แบบ
ซิลิกอนไดออกไซด์ (SiO ₂)	74.0
อะลูมิเนียมออกไซด์ (Al ₂ O ₃)	7.1
ไอรอนออกไซด์ (Fe ₂ O ₃)	4.0
แคลเซียมออกไซด์ (CaO)	2.2
แมกนีเซียมออกไซด์ (MgO)	1.4
โพแทสเซียมออกไซด์ (K ₂ O)	0.5
โซเดียมออกไซด์ (Na ₂ O)	1.4
ร้อยละการสูญเสียน้ำหนักจากการเผาไหม้	1.5
คุณสมบัติทางกายภาพ	ผงฟูทรายได้แบบ
ปริมาณความชื้น (ร้อยละ)	2.2
พื้นที่ผิวจำเพาะ (ความละเอียดด้วยวิธีเบลน (ซม. ² /ก.))	710
ความถ่วงจำเพาะ	2.58
ร้อยละค่าคงที่แรงร้อน	
- ขนาด 38 ไมโครเมตร (μm)	57.20
- ขนาด 45 ไมโครเมตร (μm)	54.67
- ขนาด 90 ไมโครเมตร (μm)	27.27

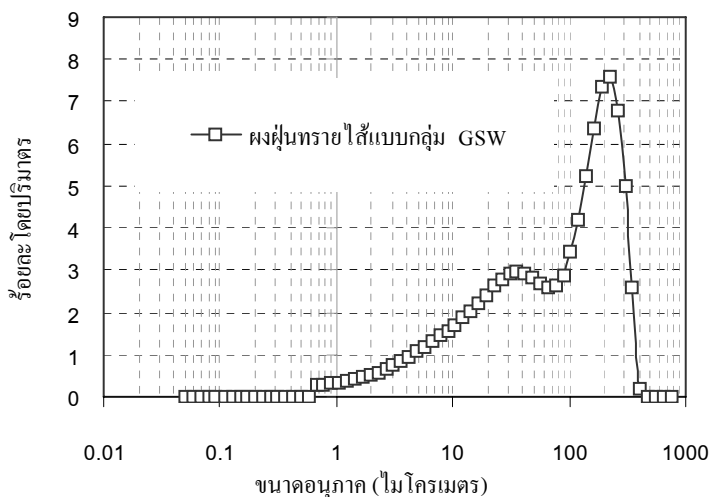
ผลการทดสอบการกระจายขนาดผลของอนุภาคผงฟูทรายได้แบบทั้งกลุ่ม GSW แสดงในรูปที่ 5 ทำให้คำนวณขนาดอนุภาคเฉลี่ยของผงฟูทรายได้แบบได้เท่ากับ 165.4 ไมโครเมตร



(ก) ผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW

(ข) ทรายแม่น้ำ

รูปที่ 5 ลักษณะของอนุภาคผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW และ ทรายแม่น้ำที่กำลังขยาย 150 เท่า



รูปที่ 6 การกระจายขนาดของอนุภาคผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW

4.2 การหดตัวแบบแห้ง

4.2.1 การเปลี่ยนแปลงความยาวของคอนกรีต

ผลการทดสอบค่าการหดตัวของคอนกรีตปกติเปรียบเทียบกับคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำ โดยคอนกรีตมีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10 และ 15 ซม. และปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ แสดงในรูปที่ 7 พบว่าที่ทุกๆ อัตราส่วนของคอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งเพิ่มขึ้นในอัตราที่สูงในช่วง 30 วันแรก เมื่อระยะเวลาเพิ่มขึ้นด้วยเหตุผลที่เมื่อมีการสูญเสียจะทำให้เกิดแรงดันติดลบ (Negative Pressure) ขึ้นภายในโพรงกาฬวารีส่งผลให้คอนกรีตเกิดการหดตัวโดยเฉพะที่บริเวณผิวหน้า [11]

สำหรับคอนกรีตที่มีปริมาณสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบในทรายแม่น้ำเพิ่มมีผลทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดที่ 700 ไมโครเมตร สำหรับคอนกรีตที่อายุ 150 วัน ทั้งนี้เนื่องจากเหตุผล 3 ประการคือ การที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบมีความละเอียดมากกว่าในทรายแม่น้ำทำให้เมื่อทำการแทนที่ในทรายแม่น้ำจะส่งผลให้คอนกรีตมีความต้องการน้ำเพิ่มขึ้นเพื่อเคลือบผงฝุ่นทรายไล่แบบอันเป็นรักษาความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตให้ได้อยู่ในช่วงที่กำหนด ดังนั้นเมื่อปริมาณน้ำในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้นจึงทำให้คอนกรีตมี

การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น [12] ประกอบกับการที่ผงฝุ่นทรายไล่แบบมีความสามารถในการทำปฏิกิริยาได้ต่ำ ซึ่งดูได้จากดัชนีกำลังของผงฝุ่นทรายไล่แบบที่อายุ 7 และ 28 วัน มีค่าร้อยละ 55 และ 60 ตามลำดับ เมื่อเทียบกับคอนกรีตล้วน ทำให้น้ำที่ทั้งดูดซึมที่ผิวอนุภาคและดูดซับสามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกได้ง่าย สิ่งที่เป็นปัจจัยประการหนึ่งของผงฝุ่นทรายไล่แบบคือ ขนาดอนุภาคที่เล็กกว่าอนุภาคทรายแม่น้ำมีผลต่อแรงดันที่ติดลบภายในกาฬวารีสูงขึ้น อันจะส่งผลต่อการหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้นตามไปด้วย [11]

เมื่อพิจารณาผลการทดสอบค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่ทำการยุบเริ่มต้นเท่ากับ 10 และ 15 ซม. และมีปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ พบว่าแนวโน้มของค่าการหดตัวแบบแห้งมีลักษณะเช่นเดียวกับคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 5 ซม. โดยคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไล่แบบมีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าคอนกรีตปกติ อันเนื่องมาจากเหตุผลดังกล่าวข้างต้น ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของปริมาณน้ำ (ค่าการยุบตัวเริ่มต้นมากขึ้น) ทำให้ค่าการหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย นอกจากนั้นปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นไม่ส่งผลกระทบต่อค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตเมื่อคอนกรีตมีค่าของการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากัน

4.2.2 การสูญเสียน้ำหนักจากการระเหยของน้ำ

เป็นที่ทราบกันดีอยู่ว่า การหดตัวแบบแห้งเกิดขึ้นจากการสูญเสียความชื้นจากภายในคอนกรีตกับสิ่งแวดล้อมภายนอกซึ่งมีความชื้นที่ต่ำกว่า โดยการหดตัวของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW กับค่าร้อยละการสูญเสียของน้ำเปรียบเทียบกับคอนกรีตผสมทรายแม่น้ำ ดังแสดงในรูปที่ 8 พบว่าคอนกรีตมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการหดตัวแบบแห้งเพิ่มขึ้นเมื่อเพิ่มสัดส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำ นอกจากนั้นเมื่อเปรียบเทียบที่ค่าการสูญเสียน้ำเดียวกันซึ่งได้ว่าคอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งมากกว่าคอนกรีตปกติ ดังเช่นคอนกรีตที่มีค่าการยุบตัวเริ่มต้นเท่ากับ 15 ซม. และมีปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 300 กก./ม.³ ที่ค่าการสูญเสีย น้ำหนักของน้ำมีค่าเท่ากับร้อยละ 2.0 คอนกรีตมีค่าการหดตัวแบบแห้งเท่ากับ 187, 190, 267 และ 412 ไมโครเมตร สำหรับอัตราส่วนการแทนที่ของผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำโดยน้ำหนัก เท่ากับร้อยละ 0, 5, 10 และ 15 ตามลำดับ เป็นต้น เนื่องจากขนาดอนุภาคของผงฝุ่นทรายไล่แบบกลุ่ม GSW มีความละเอียดมากกว่าทรายแม่น้ำและผิวมีลักษณะขรุขระทำให้ความสามารถในการดูดซับน้ำมีมากขึ้น น้ำที่ดูดซับที่เพิ่มขึ้นมีผลทำให้ความพรุนของคอนกรีตเพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงปริมาณน้ำจากภายในคอนกรีตมีโอกาที่จะสูญเสียไปเพิ่มขึ้นตามไปด้วย ดังนั้นการหดตัวแบบแห้งจึงเกิดได้มากขึ้นตามลำดับ

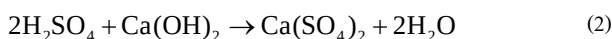
เมื่อพิจารณาจากรูปที่ 8 ยังพบว่า ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวและค่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักมีลักษณะแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยในช่วงแรกที่เกิดการหดตัวมีการสูญเสียน้ำหรือความชื้นในปริมาณที่สูง

อันแสดงกลไกในช่วงต้นว่าปริมาณน้ำที่สูญเสียในช่วงแรกจากน้ำที่อยู่ในโพรงคาวาลรีที่สามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกได้ง่ายมีสูง ในขณะที่ช่วงหลังปริมาณความชื้นที่สามารถเคลื่อนที่ออกสู่ภายนอกมีลดลงหรือมีระยะในการเคลื่อนตัวของความชื้นที่มากขึ้นทั้งที่ยึดรั้งกับ โครงสร้างแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต [12]

4.3 การกระทำเนื่องจากกรด

4.3.1 การกระทำเนื่องจากกรดซัลฟริก

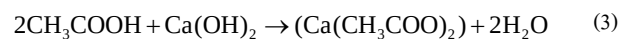
ผลการทดสอบความทนทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากกรดซัลฟริกในรูปของอัตราการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) ของคอนกรีตเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติที่กำหนดค่าการยวบยัเริ่มต้นและปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตเท่ากับ 5 ซม. และ 300 กก./ม.³ ตามลำดับ ดังแสดงในรูปที่ 9 พบว่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟริก (H₂SO₄) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 นอร์มอลิตี้ (Normality, N) ของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ทรายแม่น้ำเปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ พบว่าคอนกรีตผสมผงปูนทรายได้แบบมีค่าการสูญเสียน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตปกติ โดยมีแนวโน้มลดลงเมื่อสัดส่วนการแทนที่ของผงปูนทรายได้แบบมีค่าเพิ่มขึ้น อาทิเช่น คอนกรีตที่มีปริมาณวัสดุผง (ปูนซีเมนต์และผงปูนทรายได้แบบ) เท่ากับ 400 กก./ม.³ และค่าการยวบยัเริ่มต้น 5 ซม. มีค่าการกัดกร่อนซึ่งเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติเท่ากับร้อยละ 2.98 เมื่อทำการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบในทรายแม่น้ำเท่ากับร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก และมีระยะเวลาในการบ่มที่ 120 วัน ทั้งนี้สามารถอธิบายได้ในทำนองเดียวกับการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตที่ความสามารถในการยึดเกาะจากปฏิกิริยาของตัวผงปูนทรายได้แบบมีน้อยมาก ดังนั้นหากเปรียบเทียบกับโครงสร้างแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรต มีความต่อเนื่องจากการมีอนุภาคผงปูนทรายได้แบบแทรกตัวอยู่ โดยเฉพาะบริเวณผิวหน้าของคอนกรีตและในโพรงคาวาลรีที่ไอออนของกรด(ความสามารถในการละลาย (Solubility) ของแคลเซียมซัลเฟตที่มีค่าน้อย อยู่ที่ 0.256 กรัมในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) สามารถเข้าทำปฏิกิริยาตามสมการที่ (2) ได้ง่ายขึ้นและทำให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่ถูกชะล้างออกจากคอนกรีตได้ง่าย



4.3.2 การกระทำเนื่องจากกรดอะซิติก

ผลการทดสอบค่าอัตราการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตเนื่องจากการกัดกร่อนของกรดอะซิติก (CH₃COOH) ที่มีความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 นอร์มอลิตี้ (ค่าความเป็นกรดต่างเท่ากับ 2.56 ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) เปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ แสดงในรูปที่ 10 พบว่าแนวโน้มของความสามารถในการต้านทานการกัดกร่อนมีแนวโน้มลักษณะเดียวกับการกัดกร่อนของกรดซัลฟริกกล่าวคือ ในช่วงแรกของการแช่ในสารละลายกรดมีอัตราการสูญเสียน้ำหนักสูงและจะลดลงตามเวลาที่

เพิ่มขึ้น ด้วยเหตุผลดังกล่าวข้างต้น นอกจากนั้นจะเห็นว่าการเพิ่มร้อยละการแทนที่ของผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำทำให้ลดความสามารถในการต้านทานต่อการกัดกร่อนเนื่องจากกรดอะซิติก ทั้งนี้เมื่อพิจารณาจากสมการที่ (3) พบว่าความทนทานของคอนกรีตในรูปของค่าการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการกัดกร่อนของกรดอะซิติก (CH₃COOH) ที่ความเข้มข้นเท่ากับ 1.0 นอร์มอลิตี้ (Normality, N) ซึ่งมีค่าความเป็นกรดต่าง (pH) เท่ากับ 2.56 ของคอนกรีตซึ่งทำการแทนที่ผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ทรายแม่น้ำและมีค่าการยวบยัเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10 และ 15 ซม. ตามลำดับ พบว่าค่าการสูญเสียน้ำหนักของคอนกรีตผสมผงปูนทรายได้แบบมีน้อยกว่าคอนกรีตปกติเล็กน้อย โดยมีแนวโน้มของการสูญเสียน้ำหนักลดลงเมื่ออัตราส่วนของการแทนที่ของผงปูนทรายได้แบบในทรายแม่น้ำค่าเพิ่มขึ้น ทั้งนี้เพราะการแทนที่ของผงปูนทรายได้แบบมีแนวโน้มทำให้โครงสร้างของคอนกรีตมีความพรุนมากขึ้น ดังนั้นปฏิกิริยาระหว่างไอออนกรดได้ผลิตภัณฑ์แคลเซียมอะซิเตต (Ca(CH₃COO)₂) ซึ่งมีความสามารถในการละลายน้ำได้มาก (52.0 กรัม ในน้ำ 100 กรัม ที่อุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส) ทำให้เกิดการชะล้างได้ง่าย อันส่งผลให้ไอออนของกรดสามารถเข้าทำปฏิกิริยาได้อย่างต่อเนื่อง



สำหรับอิทธิพลของปริมาณปูนซีเมนต์ในคอนกรีตที่เพิ่มขึ้นจากปริมาณ 300 เป็น 350 และ 400 กก./ม.³ พบว่าคอนกรีตมีค่าการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากการกัดกร่อนเนื่องจากกรดเพิ่มขึ้น ตามปริมาณผลิตภัณฑ์ของปฏิกิริยาไฮเดรชันที่เพิ่มขึ้นดังสมการที่ (3) ในขณะที่การเพิ่มขึ้นของค่าการยวบยัเริ่มต้นซึ่งก็คือปริมาณน้ำเพิ่มขึ้นทำให้ค่าการสูญเสียน้ำหนักมีค่าเพิ่มขึ้นตามความพรุนของโครงสร้างของเพสต์ที่เพิ่มขึ้นทำให้กรดสามารถเข้าทำลายโครงสร้างของคอนกรีตได้ดียิ่งขึ้น

4.4 การกระทำเนื่องจากซัลเฟต

ผลการทดสอบความต้านทานต่อการกระทำเนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na₂SO₄) ที่มีความเข้มข้น 50 มก./ล. โดยทำการควบคุมค่าความเป็นกรดต่าง (pH) ในช่วง 6 ถึง 8 ด้วยกรดซัลฟริก (H₂SO₄) (ความเป็นกรดต่างของสารละลายซัลเฟตในธรรมชาติ อาทิเช่น ในน้ำใต้ดินมีค่าอยู่ในช่วง 6 ถึง 8) โดยความต้านทานเนื่องจากสารละลายซัลเฟตสามารถวัดในรูปของการขยายตัวเชิงเส้น (Linear Expansion)

ผลการทดสอบการขยายตัวเนื่องจากสารละลายโซเดียมซัลเฟตของคอนกรีตซึ่งทำการผงปูนทรายได้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำ พบว่าทั้งคอนกรีตที่มีค่าการยวบยัเริ่มต้นเท่ากับ 5, 10 และ 15 ซม. และมีปริมาณปูนซีเมนต์เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ ดังแสดงในรูปที่ 11 มีค่าการขยายตัวเป็นไปลักษณะเดียวกันกล่าวคือ ในช่วงแรกของการบ่มในสารละลายโซเดียมซัลเฟต คอนกรีตมีค่าการขยายตัวที่ไม่แตกต่างกัน

จากคอนกรีตปกติ อันเป็นผลจากปริมาณของอิปซัม ($\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$) และเอ็ทริงไคต์ที่มีน้อยทำให้การขยายตัวเกิดขึ้นไม่มาก [11]

สำหรับการเพิ่มขึ้นของสัดส่วนปริมาณผงฟูทรายไล้แบบกลุ่ม GSW ในทรายแม่น้ำมีผลทำให้การขยายตัวเนื่องจากสารละลายโซเดียมซิลเฟต มีค่าเพิ่มขึ้น เนื่องจากการที่ผงฟูทรายไล้แบบมีความละเอียดที่มากกว่า ทรายแม่น้ำทำให้เป็นการเพิ่มความต้องการน้ำในส่วนผสมของคอนกรีต อันจะนำไปสู่ความพูนที่เพิ่มขึ้น ซึ่งหมายถึงไอออนของซิลเฟตสามารถ เคลื่อนที่เข้าไปภายในคอนกรีตผ่านโพรงคาพิลลารีแล้วทำปฏิกิริยากับ แคลเซียมไฮดรอกไซด์ได้เพิ่มมากขึ้น

เมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของปริมาณปูนซีเมนต์เป็น 350 และ 400 กก./ม.³ พบว่าจะให้ผลของการแทนที่ของผงฟูทรายไล้แบบในทราย แม่น้ำในลักษณะเดียวกัน และเช่นเดียวกับการเพิ่มขึ้นของค่าการยุบตัว เริ่มต้นที่เพิ่มขึ้นจาก 5 เป็น 10 และ 15 ซม. ตามลำดับ

5. สรุปผลการศึกษา

คอนกรีตปกติที่ไม่มีสารเคมีผสมเพิ่มเป็นส่วนประกอบ โดยควบคุม ปริมาณปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 เท่ากับ 300, 350 และ 400 กก./ม.³ และค่าการยุบตัวเริ่มต้นของคอนกรีตเท่ากับ 5, 10 และ 15 ซม. ตามลำดับ สรุปได้ว่า

5.1 คอนกรีตที่มีการแทนที่ของผงฟูทรายไล้แบบในทรายแม่น้ำมี ผลทำให้การหดตัวแบบแห้งมีค่าเพิ่มขึ้น โดยมีค่าสูงสุดประมาณ 700 ไมโครเมตร ที่อายุ 150 วัน นอกจากนั้นความสัมพันธ์ระหว่างค่าการ หดตัวและค่าร้อยละของการสูญเสียน้ำหนักมีลักษณะไม่เป็นเชิงเส้น โดยในช่วงแรกที่เกิดการหดตัวมีการสูญเสียน้ำหรือความชื้นใน ปริมาณสูง

5.2 คอนกรีตผสมผงฟูทรายไล้แบบมีค่าการสูญเสียน้ำหนัก เนื่องจากการกัดกร่อนของกรดซัลฟูริก (H_2SO_4) และกรดอะซิติก (CH_3COOH) มากกว่าคอนกรีตปกติ โดยมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นเมื่อสัดส่วน ปริมาณการแทนที่ของผงฟูทรายไล้แบบเพิ่มขึ้น

5.3 คอนกรีตผสมผงฟูทรายไล้แบบทำให้ความต้านทานต่อการ กระทำเนื่องจากโซเดียมซิลเฟต (Na_2SO_4) ที่ความเข้มข้นร้อยละ 5 ลดลง

6. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลงด้วยดี ผู้วิจัยใคร่ขอขอบคุณ สำนักงาน กองทุนสนับสนุนการวิจัย (สกว.) ที่ให้การสนับสนุนทุนวิจัยสัญญาเลขที่ RGD4650019 และฝ่ายอุตสาหกรรมได้แก่บริษัท สยามโด้ไฮด์ อุตสาหกรรม จำกัด และบริษัท เอเชียผลิตภัณฑ์ซีเมนต์ จำกัด

เอกสารอ้างอิง

[1] ฌรณศักดิ์ มากุล, 2547. ผลของผงฟูทรายไล้แบบจากโรงหล่อ เครื่องยนต์ต่อคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเสร็จ. วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์.

[2] ASTM Committee, "ASTM C 33 Standard Specification for Concrete Aggregates", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete and Aggregate.

[3] ASTM Committee, 2004. "ASTM C 94 Standard Specification for Ready-mixed Concrete", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete and Aggregate.

[4] McIntyre, S., Rundman, K., Bailhood, C., Rush, P., Sandell, J., and Stillwell, B., 1992. "Benefication and Reuse of Foundry Sand Residuals: A Preliminary Report", AFS Transaction, No. 92, pp. 201 – 208.

[5] Naik, T., and Kraus, R., 1995. "Development of Controlled Low Strength Materials", Report No. Rep – 274 Submitted to Kohler Company.

[6] Naik, T., Patel, V. M., Parikh, D.M., and Tharaniyall, M.P., 1994. "Utilization of Used Foundry Sand in Concrete", Journal of Material in Civil Engineering, No. 2 : pp. 254 – 263.

[7] Wang, S.Y. and Vipulanandan, C., 1995. "Foundry Sand for Highway Application", Transportation Research Record, No. 1486 : pp. 213 – 222.

[8] Wang, S. C. and Vipulanandan C., 1995. "Use of Foundry Sand in Transpotation Application", Journal of Transpotation, Vol. 9 No. 2 : pp. 492 – 499

[9] Asgeirsson, H. and Gudmunwon, G., 1979. "Pozzolan Activity of Silica Dust", Cement and Concrete Research, pp. 249-252.

[10] ASTM Committee, "ASTM C 1012 Standard Test Method for Length Change of Hydraulic-Cement Mortars Exposed to a Sulfate Solution", Annual Book of ASTM Standard, Section 4 Construction, Volume 04.02 Concrete and Aggregate

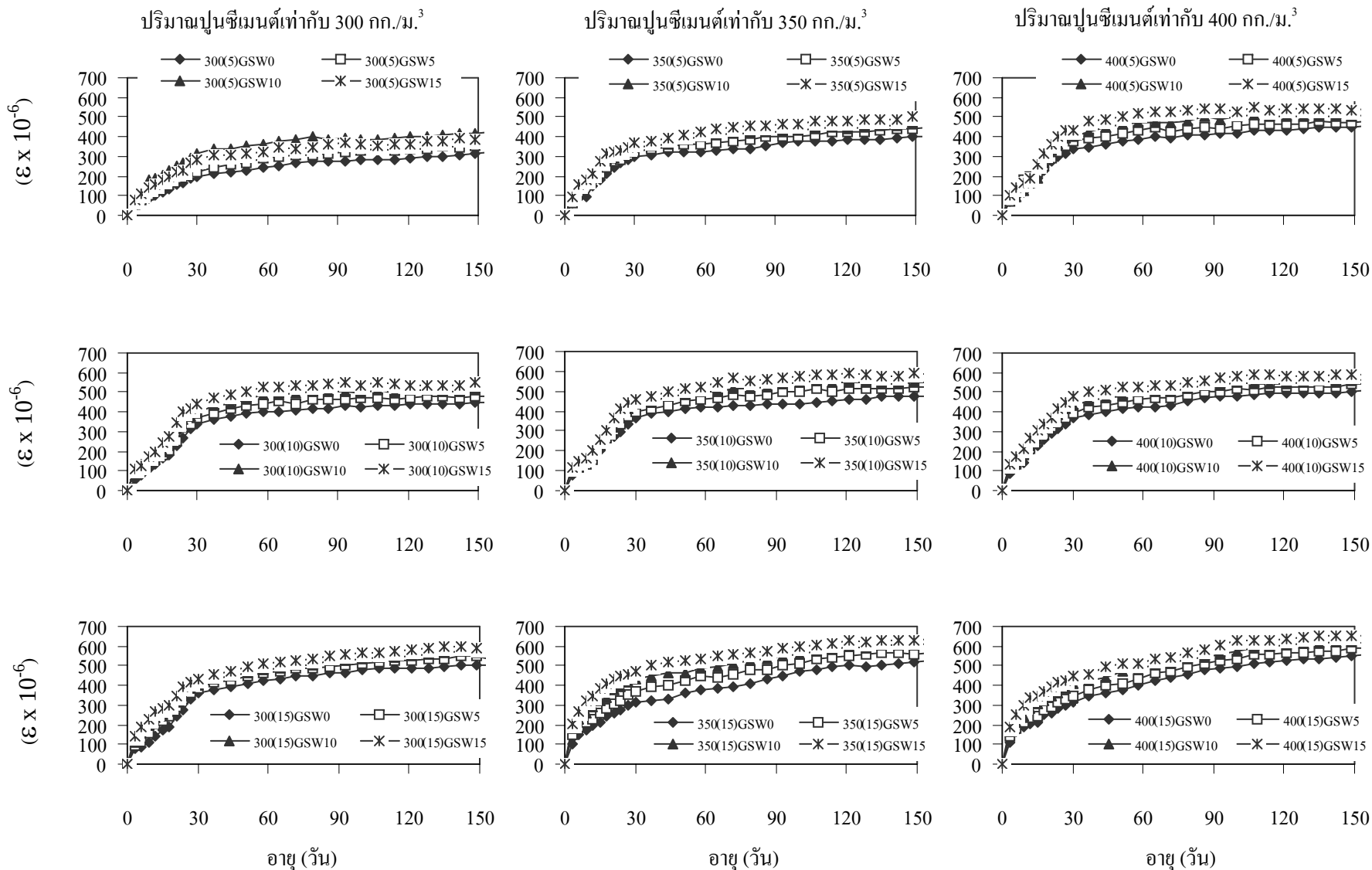
[11] Bensted, J. and Barnes, P., 2002. Structure and Performance of Cements. Second Edition, New York: Spon Press.

[12] Hewlett, P. C., 1998. Lea's Chemistry of Cement and Concrete. Fourth Edition. New York: John Wiley & Sons Inc.

ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 5 ซม.

ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 10 ซม.

ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 15 ซม.



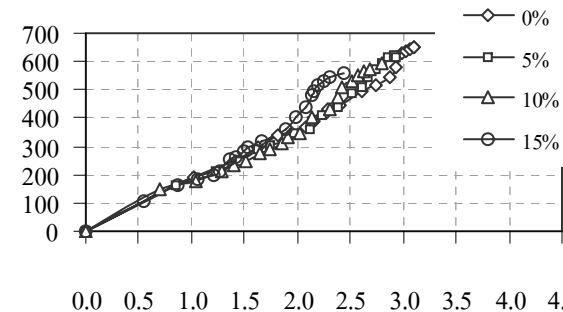
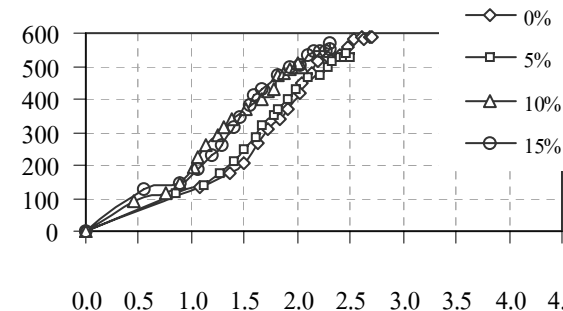
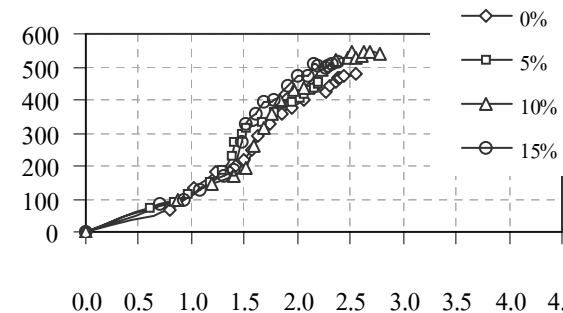
รูปที่ 7 ค่าการหดตัวแบบแห้งของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายใส่แบบกลุ่ม GSW เปรียบเทียบกับคอนกรีตปกติ

ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 5 ซม.

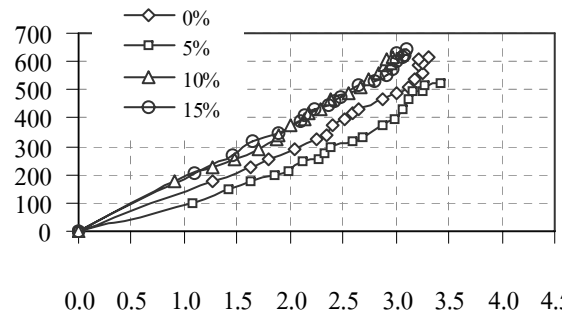
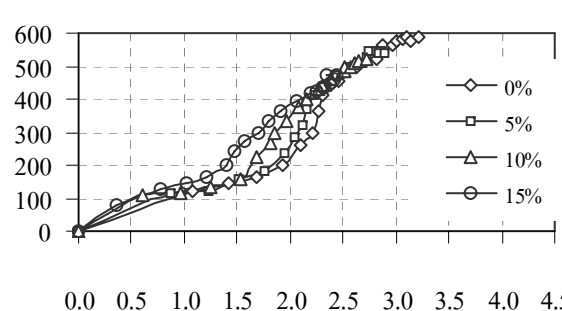
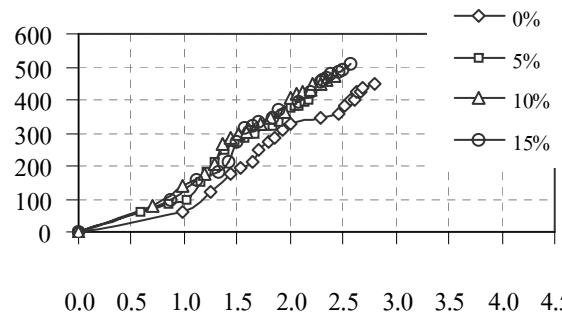
ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 10 ซม.

ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 15 ซม.

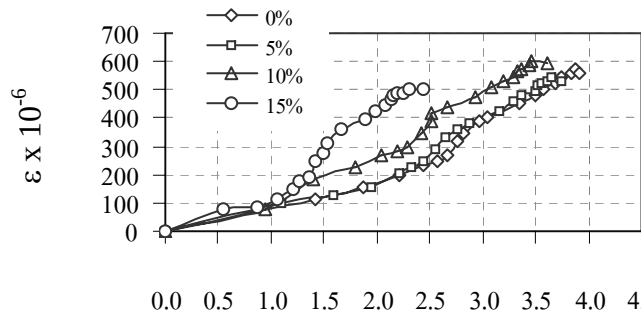
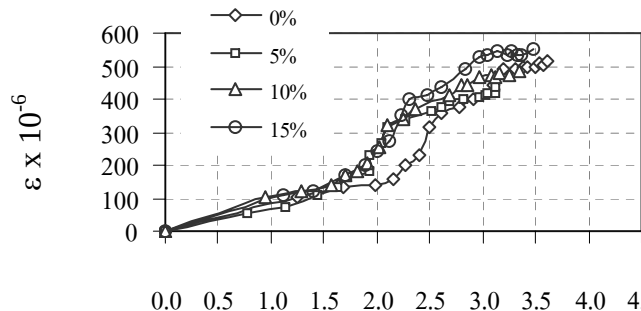
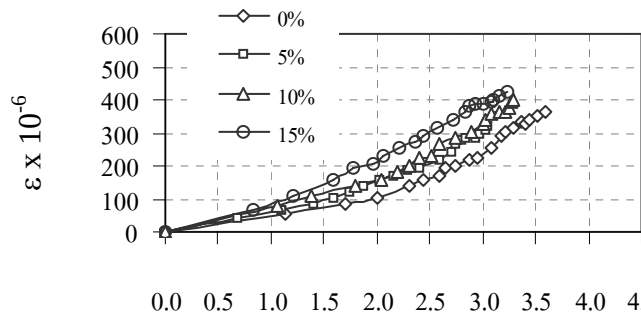
ปริมาณปูนซีเมนต์ 400 กก./ม.³



ปริมาณปูนซีเมนต์ 350 กก./ม.³



ปริมาณปูนซีเมนต์ 300 กก./ม.³



ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)

ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)

ค่าการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ)

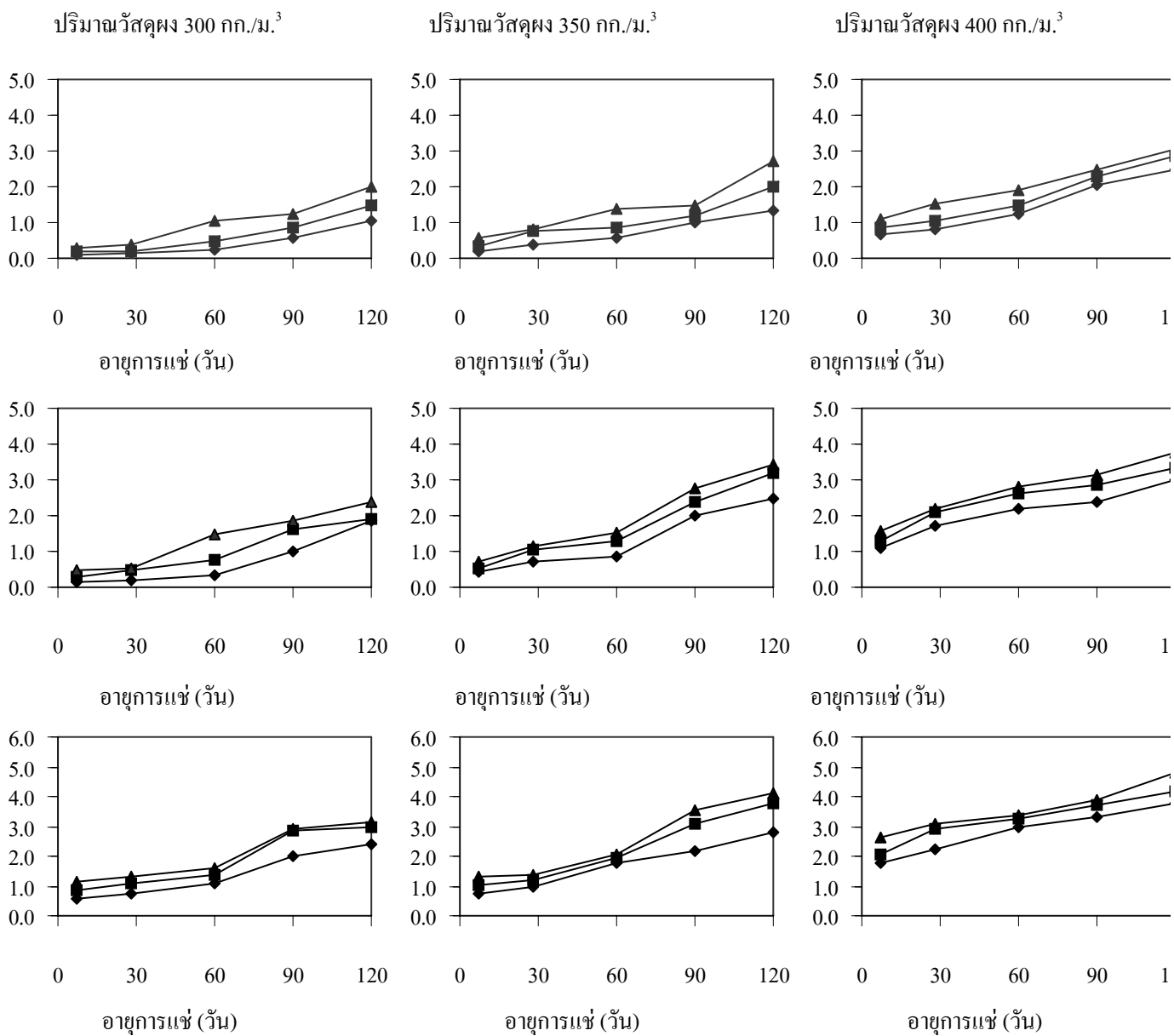
รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างค่าการหดตัวแบบแห้งและค่าการสูญเสียน้ำหนัก (ร้อยละ) ของคอนกรีตผสมผงฝุ่นทรายไส้แบบกลุ่ม GSW

ร้อยละ 5 ร้อยละ 10 ร้อยละ 15

ค่าการดูดซับตัวเริ่มต้น 5 ชม.

ค่าการดูดซับตัวเริ่มต้น 10 ชม.

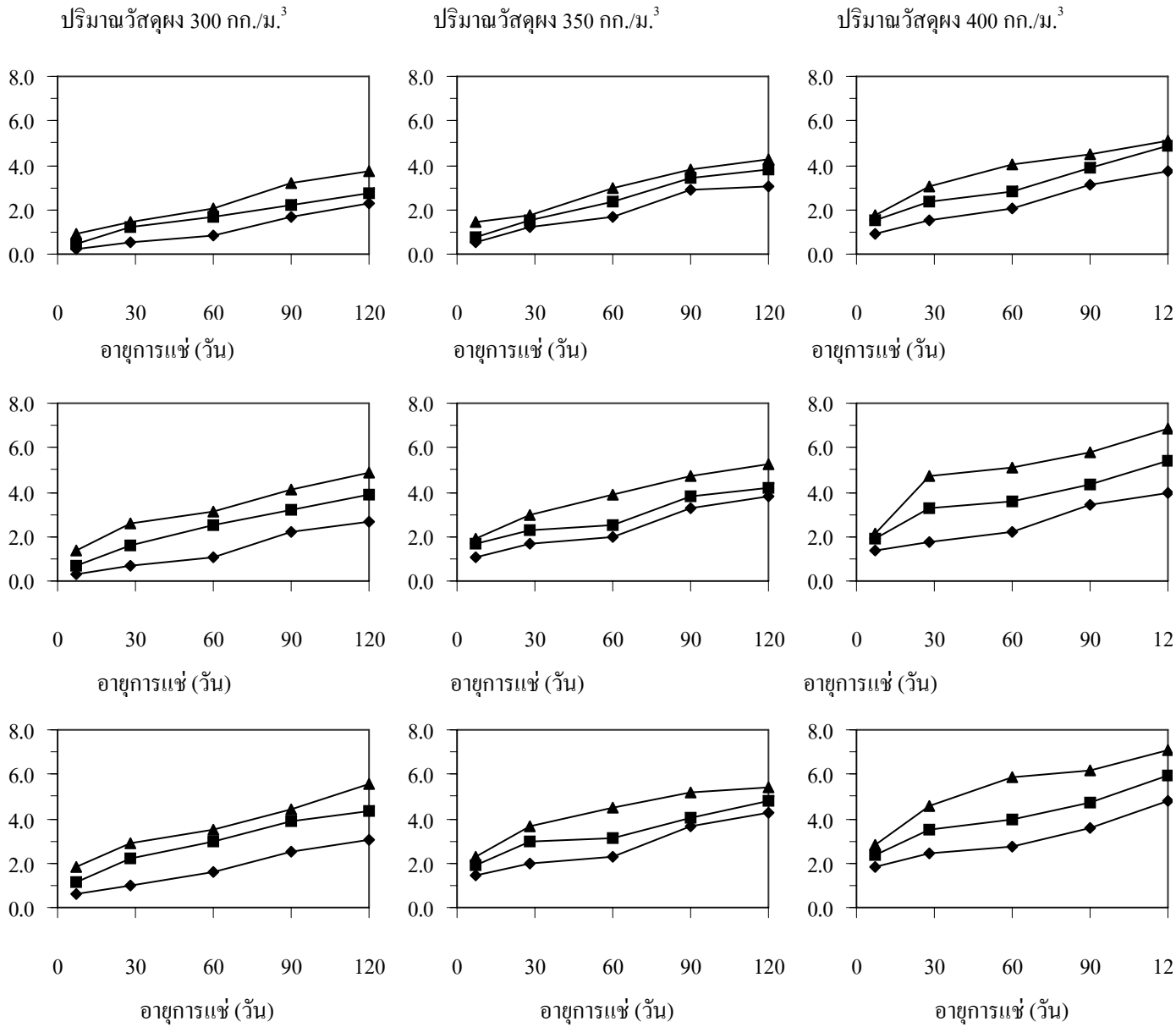
ค่าการดูดซับตัวเริ่มต้น 15 ชม.



รูปที่ 9 อัตราการดูดซับน้ำหนักเนื่องจากกรดซัลฟูริกเทียบกับค่าคงที่ปฏิกิริยาของคอนกรีตผสมผงฟูทรายไส้แบบกลุ่ม GSW

ร้อยละ 5
ร้อยละ 10
ร้อยละ 15

ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 5 ซม.
ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 10 ซม.
ค่าการยุบตัวเริ่มต้น 15 ซม.

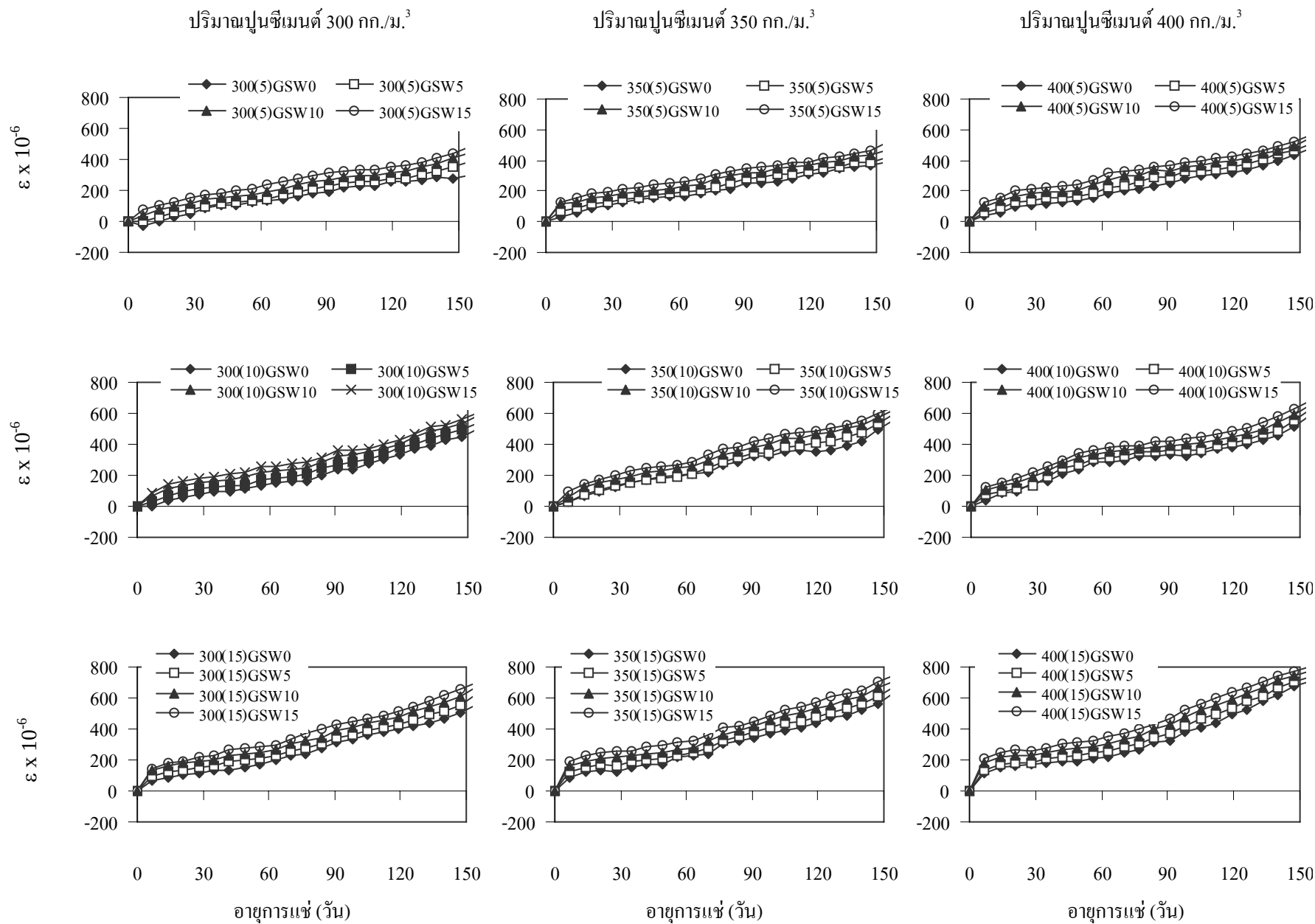


รูปที่ 10 อัตราการสูญเสียน้ำหนักเนื่องจากแรงกดอัดของดินเหนียวที่คอนกรีตปกติดของคอนกรีตผสมผงปูนทรายใช้แบบกลุ่ม GSW

ค่าการขยายตัวเริ่มต้น 5 ชม.

ค่าการขยายตัวเริ่มต้น 10 ชม.

ค่าการขยายตัวเริ่มต้น 15 ชม.



รูปที่ 11 ค่าการขยายตัวในสารละลายโซเดียมซัลเฟต (Na_2SO_4) ของคอนกรีตผสมผงปูนทรายใส่แบบกลุ่ม GSW