การใช้เศษแกรนิตในคอนกรีตกำลังสูงที่ผสมซิลิกาฟูม

USE OF GRANITE WASTE IN HIGH STRENGTH CONCRETE MADE FROM SILICA FUME

ศุภากร อังกินันท์[1], ภีม เหนือคลอง[1] , พิชชา จองวิวัฒสกุล[1] และ เสวกชัย ตั้งอร่ามวงศ์[2,*]
[1] หน่วยปฏิบัติการวิจัยนวัตกรรมวัสดุก่อสร้าง ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ. กรุงเทพฯ
[2] ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย จ.กรุงเทพฯ
*Corresponding author address: 6272086221@student.chula.ac.th

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์ในการศึกษาผลกระทบของการใช้เศษหินแกรนิตต่อสมบัติของคอนกรีตกำลังสูงที่มีสวนผสมของซิลิกาฟูม เศษหินแกรนิตถูกใช้แทนที่ทรายธรรมชาติ โดยใช้เศษหินแกรนิตแทนทรายที่ร้อยละ 0, 50 และ 100 โดยน้ำหนักและใช้ซิลิกาฟูมในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงโดยใช้ซลิกาฟูมร้อยละ 0, 3, 6 และ 9 โดยน้ำหนักของซีเมนต์ การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตประกอบไปด้วย ความสามารถในการทำงานได้ หน่วยน้ำหนัก และกำลังอัด จากผลการศึกษาพบว่าทรายจากเศษหินแกรนิตสามารถผลิตคอนกรีตกำลังสูงได้

กำลังอัดที่คอนกรีตที่ใช้ทรายจากเศษหินแกรนิตรับได้อยู่ในช่วง 48.4 ถึง 61.2 MPa และสามารถสรุปได้ว่าปริมาณที่เหมาะสมในการใช้ซิลิกาฟูมเพื่อการผสมคอนกรีตกำลังสูงอยู่ที่ร้อยละ 6 ของมวลรวม

Abstract

The purpose of this research is to study the effects of using granite waste for making high strength concrete. The granite waste was used as natural sand replacement. The granite waste content was 0%, 50% and 100% in mass basis. Also, silica fume was used to produce high strength concrete. The silica fume was used at the levels of 0%, 3%, 6% and 9% by mass of cement. The concrete properties testing consisted of workability, unit weight, and compressive strength. The results showed that the granite waste can be used to produce high strength concrete. The compressive strength of concrete made with granite waste ranged from 48.4 to 61.2 MPa. It can be concluded that the optimum content of silica fume content was 6%.

1. บทนำ

ในปัจจุบันอุตสาหกรรมการก่อสร้างมีการขยายตัวเพิ่มมากขึ้นตามความเจริญเติบโตทางเศรษฐกิจและสังคม งานด้านวิศวกรรมโยธาถือเป็นงานหลักที่สำคัญในการช่วยขับเคลื่อนความเจริญของประเทศในการพัฒนาและสรรค์สร้างระบบโครงสร้างพื้นฐาน [1] ดังนั้นแล้วงานวิจัยและนวัตกรรมด้านวัสดุจะส่งผลในการส่งเสริมการเติบโตแบบก้าวกระโดดของประเทศ การศึกษาและวิจัยด้านคอนกรีตเพื่อลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อมรวมทั้งการพัฒนาวัสดุงานก่อสร้างชนิดใหม่ๆ จึงมีบทบาทความสำคัญอย่างมาก คอนกรีตเป็นวัสดุก่อสร้างที่ได้รับความนิยมนำมาใช้งานอย่างต่อเนื่องเป็นระยะเวลามายาวนานตั้งแต่สมัยอดีตจนถึงปัจจุบัน เนื่องจากมีความสะดวก ง่ายต่อการทำงาน และยังมีคุณสมบัติเชิงกลที่ดี อีกทั้งในปัจจุบันยังมีการทดลองและวิจัยเพื่อศึกษาการพัฒนาคุณสมบัติของคอนกรีตมาอย่างต่อเนื่อง

หินแกรนิตซึ่งได้จากการระเบิดภูเขามักถูกนำมาใช้ในอุตสาหกรรมการก่อสร้าง อย่างไรก็ตามกระบวนการผลิตก่อให้เกิดเศษหินแกรนิตที่ไม่สารนำไปใช้ประโยชน์ได้ ต้องเสียพื้นที่ในการกองเก็บทำให้ส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมที่เกิดจากฝุ่น ดังนั้นเพื่อที่จะลดผลกระทบดังกล่าวแนวทางที่สามารถทำได้ คือ การนำเศษหินแกรนิตมาใช้แทนทรายแม่น้ำดังเช่นในงานวิจัยของ Rao et al. [2, 3] พบว่าการแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษหินแกรนิตสามารถทำได้โดยแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษกินแกรนิตที่ร้อยละ 50 มีกำลังอัดสูงที่สุดแต่ถ้าแทนที่มากกว่าร้อยละ 50 กำลังอัดจะลดลงเล็กน้อยแต่ยังคงสูงกว่าใช้ทรายธรรมชาติ 100% ในขณะที่ Adigun [4] พบว่าที่อัตราส่วนซีเมนต์: ทราย: หิน เป็น 1:1:2 มีกำลังอัด 30.6 MPa เมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษหินแกรนิตร้อยละ 50 มีกำลังอัด 35.2 MPa และเมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษหินแกรนิตร้อยละ 100 มีกำลังอัด 30.4 MPa และที่อัตราส่วน 1:1.5:3 มีกำลังอัด 25.4 MPa เมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษหินแกรนิตร้อยละ 50 ทำให้มีกำลังอัด 30.3 MPa และเมื่อแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษหินแกรนิตร้อยละ 100 ทำให้มีกำลังอัด 25.1 MPa อย่างไรก็ตามงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้เศษหินแกรนิตในคอนกรีตกำลังสูงนั้นมีอยู่อย่างจำกัด ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อใช้เศษหินแกรนิตแทนทรายธรรมชาติในการผลิตคอนกรีตกำลังสูงและใช้ซิลิกาฟูมมาปรับปรุงคุณสมบัติเชิงกลของคอนกรีตกำลังสูง

2. วัสดุและวิธีการดำเนินงานวิจัย

2.1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ในงานวิจัยครั้งนี้วัสดุหลักประกอบด้วยมวลรวมได้แก่ หินปูน

ย่อย ทรายแม่น้ำ และเศษหินแกรนิต วัสดุประสานได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ซิลิกาฟูมและสารผสมเพิ่มได้แก่ Superplasticizer

2.1.1. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1

มีคุณสมบัติให้กำลังอัดสูง เหมาะสำหรับงานโครงสร้างที่ต้องการความแข็งแรงสูง อาทิ ฐานราก เสา คาน พื้น ของบ้านพักอาศัย อาคารทั่วไป และงานโครงสร้างขนาดใหญ่ อาทิ อาคารสูง ถนน และสนามบิน โครงสร้างที่ได้มีความแข็งแรง ทนทาน

2.1.2. SUPERPLASTICIZER (SP)

Sika ViscoCrete-10 น้ำยาผสมคอนกรีตประเภทโพลีคาร์- บ๊อกซิเลต เหมาะสำหรับคอนกรีตที่ควบคุมอัตราน้ำต่อซีเมนต์ที่ต่ำ สามารถใช้ผลิตคอนกรีตที่ให้กำลังอัดสูง

2.1.3. ซิลิกาฟูม

เป็นวัสดุที่ใช้ผสมในคอนกรีตสำหรับเพิ่มกำลังคอนกรีตหรือทำคอนกรีต UHPC (Ultra High Performance Concrete)

2.1.4. มวลรวม

มวลรวมหยาบจากหินปูนย่อย มวลรวมละเอียดจากทรายแม่น้ำ (NA) และเศษหินแกรนิต(GW) จากเหมืองหินเทพศิลาในจังหวัดชลบุรี ดังแสดงในรูปที่ 1 และ 2 ตามลำดับ ซึ่งคุณสมบัติของทรายธรรมชาติและเศษหินแกรนิตเป็นไปตามตามตารางที่ 1

รูปที่ 1 ทรายธรรมชาติ

รูปที่ 2 เศษหินแกรนิต

ตารางที่ 1 คุณสมบัติของมวลรวมหยาบและมวลรวมละเอียด

มวลรวม	ความถ่วงจำเพาะ	หน่วยน้ำหนัก (kg/m^3)	การดูดซึมน้ำ (%)	โมดูลัสความละเอียด (FM)
หินปูน	2.70	1,621	0.60	-
ทรายธรรมชาติ	2.57	1,664	0.72	2.42
เศษหินแกรนิต	2.58	1,593	0.87	3.68

2.2. สัดส่วนการผสมคอนกรีต

งานวิจัยนี้เป็นการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตผสมซิลิกาฟูมที่ใช้มวลรวมจากเศษวัสดุ โดยใช้เศษหินแกรนิตแทนที่ทรายธรรมชาติในสถานะอิ่มตัวผิวแห้ง(Saturated Surface Dry ;SSD) ในอัตราส่วนโดยน้ำหนักร้อยละ 0, 50 และ 100 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมของคอนกรีตได้แสดงในตารางที่ 3 การผสมคอนกรีตมี 3 ขั้นตอนใช้เวลา 8 นาที ขั้นตอนแรกใส่ส่วยผสมทั้งหมดแล้ว ผสมกันเป็นเวลา 3 นาที หลังจากนั้นพักการผสมไว้ 3 นาที สุดท้ายผสมอีก 2 นาที เมื่อผสมเรียบร้อยแล้วนำคอนกรีตมาเข้าแบบหล่อที่เตรียมไว้สำหรับการทดสอบ ส่วนการบ่มนั้นจะใช้วิธีการแช่น้ำแล้วบ่มที่อุณหภูมิห้อง ก่อนจะนำตัวอย่างไปทดสอบคุณสมบัติต่าง ๆ ต่อไป

ตารางที่ 2 ส่วนผสมคอนกรีตที่ใช้ในการทดสอบ

(Kg/m^3)	OPC	น้ำ	หิน	ซิลิกาฟูม	SP	ทรายแม่น้ำ	เศษหินแกรนิต (GW)
0GW	552	110	960	0%	22	558	
0GW-3	552	110	960	3%	22	558	
0GW-6	552	110	960	6%	22	558	
0GW-9	552	110	960	9%	22	558	
50GW	552	110	960	0%	22	279	279
50GW-3	552	110	960	3%	22	279	279
50GW-6	552	110	960	6%	22	279	279
50GW-9	552	110	960	9%	22	279	279
100GW	552	110	960	0%	22		558
100GW-3	552	110	960	3%	22		558
100GW-6	552	110	960	6%	22		558
100GW-9	552	110	960	9%	22		558

2.3. การทดสอบคอนกรีต

สมบัติของคอนกรีตที่จะทำการทดสอบ ได้แก่ความสามารถในการทำงานได้ กำลังอัด กำลังดัด พร้อมทั้งประเมินค่าความเหนียวของคอนกรีต

2.3.1. ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีต

ทดสอบความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตทดสอบจากความสามารถในการไหลแผ่ (Slump flow) ตามมาตรฐาน ASTM C1611 [3]

2.3.2. กำลังอัด

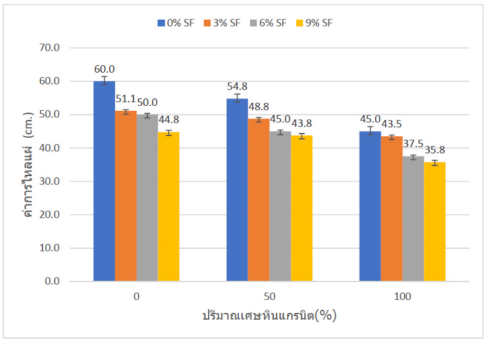
ทดสอบความสามารถในการรักกำลังอัดของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM C39 [6] โดยใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10 ซม. สูง 20 ซม. ที่อายุบ่ม 7วัน

2.3.3. หน่วยน้ำหนัก

3. ผลการทดสอบและอภิปรายผล

3.1. ความสามรถในการทำงานได้

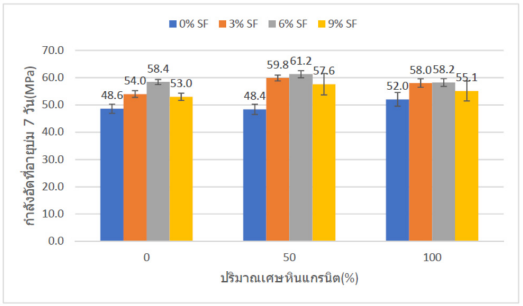
รูปที่ 3 แสดงผลการทดสอบในความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตที่ใช้ทรายธรรมชาติและทรายจากเศษหินแกรนิตโดยวัดค่าการไหลแผ่ตามมาตรฐาน ASTM C1611 เมื่อทรายธรรมชาติถูกแทนที่ด้วยทรายจากเศษหินแกรนิตในร้อยละ 0, 50 และ 100 โดยน้ำหนักและผสมสารผสมเพิ่มซิลิกาฟูม 0, 3, 6 และ 9 % โดยน้ำหนักซีเมนต์พบว่าทีค่าการไหลแผ่ตามรูปที่ 3 พบว่าความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตมีค่าลดลงตามตามปริมาณและสัดส่วนของทรายจากเศษหินแกรนิตที่เพิ่มขึ้นนอกจากนี้ความสามารถในการทำงานได้ยังลดลงตามปริมาณของซิลิกาฟูมที่เพิ่มขึ้นด้วย ส่วนผสมที่มีปริมาณทรายจากหินแกรนิต ร้อยละ 100 และผสมซิลิกาฟูม ร้อยละ 9 มีความสามารถในการทำงานได้น้อยที่สุด



รูปที่ 3 ค่าการไหลแผ่ของคอนกรีต

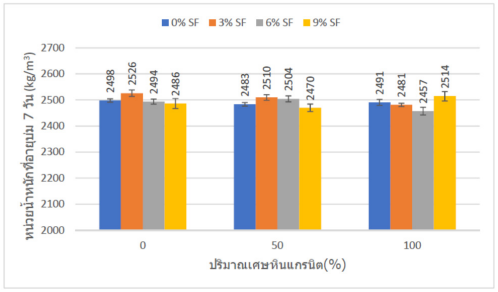
3.2. กำลังรับแรงอัด

รูปที่ 4 แสดงผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่ใช้ทรายธรรมชาติและทรายแกรนิตที่อายุบ่ม 7 วันจะเห็นได้ว่าคอนกรีตผสมซิลิกาฟูมที่แทนที่ทรายด้วยเศษหินแกรนิต ยิ่งแทนที่ทรายธรรมชาติด้วยเศษหินแกรนิมมากทำให้กำลังรับแรงอัดสูงขึ้น แต่การผสมซิลิกาฟูมที่ร้อยละ 6 รับกำลังอัดได้ดีกว่าร้อยละ 9



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่อายุบ่ม 7 วัน

3.3. หน่วยน้ำหนัก



รูปที่ 5 หน่วยน้ำหนักที่อายุบ่ม 7 วัน

4. สรุป

ผลการทดสอบพบว่าค่าการไหลแผ่ของคอนกรีตมีค่าลงลงตามสัดส่วนของทรายจากเศษหินแกรนิตที่เพิ่มขึ้น ในส่วนของสมบัติทางกลของคอนกรีตพบว่าความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุบ่ม 7 วันของส่วนผสมที่ทรายธรรมชาติที่ถูกแทนที่ด้วยเศษหินแกรนิตในร้อยละ 50 และ 100 มีกำลังอัดที่ใกล้เคียงกับคอนกรีตจากทรายธรรมชาติและพบว่ากำลังอัดจะดีที่สุดเมื่อผสมซิลิกาฟูมที่ร้อยละ 6 แต่เมื่อผสมซิลิกาฟูมร้อยละ 9 จะทำให้กำลังน้อยกว่าร้อยละ 6 จากผลการทดสอบข้างต้นสรุปได้ว่าทรายแกรนิตนั้นสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมละเอียดแทนที่ทรายธรรมชาติในคอนกรีตกำลังสูงได้

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากทุนส่งเสริมการวิจัยคณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย ขอขอบคุณห้าง หุ้นส่วนจำกัด เทพศิลาอุตสาหกรรม ที่สนับสนุนวัสดุ (เศษหินแกรนิต) และขอขอบคุณบริษัท ซิก้า (ประเทศไทย) จำกัด ที่สนับสนุนวัสดุ Superplasticizer ที่ใช้ในงานวิจัย

6. การอ้างอิง

[1] Davidovits, J. (1994). Global warming impact on the cement and aggregates industries. World resource review, 6(2), pp. 263-278.

[2] Rao, K., Bhaskar Desai, V., Jagan Mohan, D., February 2012a. Probabilistic analysis of Mode II fracture of concrete with crushed granite stone fine aggregate replacing sand. Constr. Build. Mater. 27 (1), 319-330.

[3] Rao, K.B., Desai, V.B., Mohan, D.J., 2012b. Experimental investigations on mode II fracture of concrete with crushed granite stone fine aggregate replacing sand. Mater. Res. 15 (1), 41-50.

[4] Adigun, E.M.A., 2013. Cost effectiveness of replacing sand with crushed granite fine (CGF) in the mixed design of concrete. IOSR J. Mech. Civ. Eng. (IOSR JMCE) 10 (1), P01eP06.

[5] American Society for Testing and Materials. (2005). Standard Test Method for Slump Flow of Self-Consolidating Concrete. ASTM C1611/C1611M-05. Annual Book of ASTM Standards, 4(2).

[6] American Society for Testing and Materials. (2018). Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens. ASTM C39/C39M-18. Annual Book of ASTM Standards, 4(2).

[7] American Society for Testing and Materials. (2002). Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete (Using Simple Beam with Third-Point Loading). ASTM C78-02. Annual Book of ASTM Standards, 4(2).

[8] Singh, S., Khan, S., Khandelwal, R., Chugh, A., & Nagar, R. (2016). Performance of sustainable concrete containing granite cutting waste. Journal of Cleaner Production, 119, pp. 86-98.