

ผลกระทบจากสารผสมเพิ่มที่มีต่อจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต

Effects of Admixtures on Geopolymer Concrete

ทรงฤทธิ์ พุทธลา¹, สหलग โหมวุฒิวังค์^{2*}

Songrit Puttala¹, Sahalaph Homwutiwong^{2*}

¹สาขาวิชาโยธาและสถาปัตยกรรม คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏสกลนคร อำเภอเมืองสกลนคร จังหวัดสกลนคร ประเทศไทย 47000

²สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม อำเภอกันทรวิชัย จังหวัดมหาสารคาม ประเทศไทย รหัสไปรษณีย์ 44150

¹Department of Civil and Architecture, Faculty of Industrial Technology Sakon Nakhon Rajabhat University, Mueang Sakon Nakhon City, Sakon Nakhon Province, Thailand, 47000

² Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering Mahasarakham University, Kantarawichai City, Mahasarakham Province, Thailand, 44150

*Corresponding author E-mail: sahalaph.h@msu.ac.th

<https://doi.org/10.55674/snrujiti.v1i1.246612>

Received: 7 May 2022

Revised: 17 June 2022

Accepted: 27 June 2022

Available online: 1 July 2022

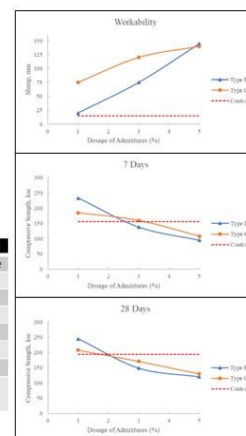
บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้นำเถ้าขานอ้อยซึ่งเป็นวัสดุเหลือทิ้งจากอุตสาหกรรมผลิตน้ำตาลมาเป็นวัสดุตั้งต้นสำหรับผลิตจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ซึ่งถือว่าเป็นวัสดุที่ช่วยลดผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อม เถ้าขานอ้อยที่นำมาผลิตจีโอโพลิเมอร์ถูกบดเพิ่มความละเอียดโดยให้มีขนาดอนุภาคที่ค้ำตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5 โดยน้ำหนัก ส่วนผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตถูกเติมสารผสมเพิ่มประเภท



Figure 1. จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตในแบบหล่อ และหุ้มด้วยพลาสติกกันน้ำ

Mix No.	BA kg	Admixtures (kg)	NaOH kg	Na-SiO ₂ kg	Aggregate (kg)
		Type F			Fine Coarse
BA1F	410	4.10	-	113	113 577 1242
BA3F	410	12.30	-	113	113 577 1242
BA5F	410	20.50	-	113	113 577 1242
BA1G	410	-	4.10	113	113 577 1242
BA3G	410	-	12.30	113	113 577 1242
BA5G	410	-	20.50	113	113 577 1242
Control	410	-	-	113	113 577 1242



ซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ (Superplasticizers, SPs) 2 ชนิด ได้แก่ Type F และ Type G ผลจากงานวิจัยพบว่า สารผสมเพิ่มทั้ง 2 ชนิด สามารถปรับปรุงการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ผลิตจากเถ้าขานอ้อยให้สูงขึ้นตามปริมาณการใช้ของสารผสมเพิ่ม สำหรับซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ Type G ให้ค่าการยุบตัวสูงสุด แต่ในทางกลับกันพบว่ากำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์ลดลงตามค่าการยุบตัวที่สูงขึ้น และยังพบอีกว่าอัตราส่วนการใช้สารผสมเพิ่มร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของวัสดุตั้งต้น มีความเหมาะสมสำหรับการผลิตจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าขานอ้อย

คำสำคัญ: จีโอโพลิเมอร์คอนกรีต, เถ้าขานอ้อย, สารผสมเพิ่ม, กำลังรับแรงอัด, ความสามารถในการทำงานได้

Abstract

This research applied bagasse ash which is a waste from the sugar mill industry to produce Geopolymer concrete. This type of concrete reduces the environmental effect. The bagasse ash was ground until the residual particle was retained on sieve No. 325 was less than 5%. The admixture blend contained two types of Superplasticizers, SPs: Type F and Type G. The results showed that the using of both superplasticizers improved the workability of Geopolymers concrete with an increasing amount of usage. The SPs Type G exhibited the highest workability. On the other hand, it was found that the compressive strength of Geopolymer concrete decreased with higher workability. And, it was found that the using of SPs at 1% was suitable for making Geopolymer concrete.

Keywords: Geopolymer concrete, Bagasse ash, Admixtures, Compressive strength, Workability

© 2022 Faculty of Industrial Technology reserved

1. บทนำ

ปัจจุบันวัสดุที่ใช้ในงานก่อสร้างมีมากมายหลากหลาย แหล่งที่มาของวัสดุตั้งต้นที่นำมาผลิตนั้นก็มีที่มาแตกต่างกันออกไป โดยส่วนใหญ่วัตถุดิบที่นำมาเป็นวัสดุตั้งต้นนั้นยังคงใช้วัตถุดิบตามธรรมชาติ เนื่องจากหาได้ง่าย ในงานก่อสร้างวัสดุที่จำเป็นลำดับแรก คือ ปูนซีเมนต์ ซึ่งเป็นวัสดุที่นำมาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีต เราทราบกันดีอยู่แล้วว่าปูนซีเมนต์นั้นผลิตมาจากหินปูน โดยการระเบิดภูเขาหินปูนนำมาบดให้มีขนาดเล็กลง ผ่านกระบวนการเผาที่อุณหภูมิสูงในการผลิตระหว่าง 1,200 ถึง 1,600 องศาเซลเซียส และบดให้มีขนาดอนุภาคละเอียดถึง 45 ไมโครเมตร ตามมาตรฐาน ASTM C430 [1] จากขบวนการผลิตที่กล่าวมาข้างต้นตั้งแต่การนำวัตถุดิบจากธรรมชาติมาผลิตเป็นปูนซีเมนต์นั้นจะเห็นได้ว่าส่งผลกระทบต่อสภาพแวดล้อมหลายด้าน เช่น เสียพลังงาน และมีการปล่อยก๊าซ CO_2 เข้าสู่ชั้นบรรยากาศโลกประมาณร้อยละ 5 ของการปล่อยก๊าซ CO_2 ทั่วโลก [2] ซึ่งส่งผลเสียทำให้โลกร้อนขึ้น

จากการเปลี่ยนแปลงของสภาพแวดล้อมทั่วโลกนักวิจัยจึงหันมาให้ความสำคัญกับผลกระทบที่ทำให้เกิดการเปลี่ยนแปลงสภาพแวดล้อมมากขึ้น ดังนั้นจึงมีการศึกษาเพื่อพัฒนาวัสดุใหม่ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ในหลายปีที่ผ่านมาวัสดุที่เรียกว่าจีโอโพลิเมอร์ซึ่งเป็นวัสดุที่มีนักวิจัยหลายท่านทำการศึกษาเนื่องจากเห็นว่าสามารถนำวัสดุเหลือทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรม เช่น แกลบ แกลบอ้อย เป็นต้น นำมาเป็นวัสดุตั้งต้นในการผลิตจีโอโพลิเมอร์ได้ ซึ่งวัสดุเหลือทิ้งเหล่านี้สามารถช่วยลดปัญหาสภาพแวดล้อมได้ ทั้งทางด้านกากจัดของเสียจากโรงงานอุตสาหกรรม และการปล่อย CO_2 เข้าสู่ชั้นบรรยากาศ

วัสดุตั้งต้นที่จะนำมาผลิตจีโอโพลิเมอร์ได้นั้นจะต้องมีองค์ประกอบหลักทางเคมี 2 ชนิด ได้แก่ อะลูมิเนียม (SiO_3) และซิลิกา (Al_2O_3) ซึ่งในแกลบอ้อยมีองค์ประกอบหลักทางเคมี คือ SiO_3 และมีจำนวนของ Al_2O_3 ค่อนข้างสูง [3] แกลบอ้อยเป็นของเสียจากโรงงานผลิตน้ำตาล โดยส่วนใหญ่ในภาคตะวันออกเฉียงเหนือมีการปลูกอ้อยเป็นจำนวนมาก จึงทำให้มีปริมาณแกลบอ้อยมากปัจจุบันแกลบอ้อยถูกนำไปฝังกลบหรือถมที่ ยัง

ไม่ได้นำไปใช้ประโยชน์จริงจังมากนัก งานวิจัยนี้จึงได้นำเอาแกนอ้อยมาผลิตเป็นวัสดุจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต เพื่อลดปัญหาสิ่งแวดล้อม อีกทั้งงานวิจัยส่วนใหญ่ที่ผ่านมายังคงมุ่งเน้นทางด้านการพัฒนากำลังรับแรงอัดเป็นหลัก [4-6] แต่สำหรับการศึกษาด้านความสามารถในการทำงานได้ และการตอบสนองต่อสารผสมเพิ่มยังมีไม่มากนัก ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมุ่งเน้นที่จะศึกษาปัจจัยดังกล่าว เพื่อเป็นแนวทางในการพัฒนาจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ผลิตจากแกนอ้อยต่อไป และกำหนดขอบเขตการศึกษาในครั้งนี้ โดยใช้อัตราส่วนของ AL/BA เท่ากับ 0.55 และ NaOH/ Na_2SiO_3 เท่ากับ 1 [4-6] ทดสอบความสามารถในการทำงานได้ในเทอมของการทดสอบหาค่าการยุบตัว (Slump testing) และกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต

2. วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

- 2.1 เพื่อศึกษาผลกระทบของสารผสมเพิ่มต่อจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตแกนอ้อย
- 2.2 เพื่อศึกษาอัตราส่วนสารผสมเพิ่มที่เหมาะสมในการผลิตจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตแกนอ้อย

3. วิธีดำเนินงานวิจัย

3.1 การเตรียมวัสดุ

3.1.1 แกนอ้อย (BA) ที่ได้นำมาตากแดดให้แห้ง แล้วนำมาร้อนผ่านตะแกรงเบอร์ 16 จากนั้นนำไปบดในเครื่องบดโดยใส่ลูกเหล็กขนาดต่างๆ ทำการบดจนกระทั่งแกนอ้อยมีขนาดอนุภาคที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ไม่เกินร้อยละ 5

3.1.2 สารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ (NaOH) ชนิดเกล็ดมีความบริสุทธิ์ร้อยละ 98 นำไปละลายในน้ำกลั่นให้มีความเข้มข้น 10 โมลาร์ [4-6] ทิ้งไว้ให้เย็นในอุณหภูมิห้อง 24 ชั่วโมง และสารละลายโซเดียมซิลิเกตชนิดของเหลว (Na_2SiO_3) มีองค์ประกอบทางเคมี Na_2O ร้อยละ 15.32 SiO_2 ร้อยละ 32.87 และ H_2O ร้อยละ 51.81 โดยน้ำหนัก และใช้อัตราส่วน NaOH/ Na_2SiO_3 เท่ากับ 1 [4-6]

3.1.3 มวลรวมละเอียดใช้ทรายแม่น้ำที่มีค่า FM ในช่วง 2.5 ถึง 2.7 และมวลรวมหยาบใช้หินภูเขาเย้ย ขนาด 3/8 นิ้ว

3.1.4 สารผสมเพิ่ม (Admixtures) ประเภทซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ Type F และ Type G ตามมาตรฐาน ASTM C 494 [7]

3.2 การเตรียมตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตแกนอ้อย มีขั้นตอนดังต่อไปนี้

3.2.1 ขั้นตอนแรกนำแกนอ้อยมาผสมกับสารละลายโซเดียมไฮดรอกไซด์ ที่เตรียมไว้ผสมจนเป็นเนื้อเดียวกันในเครื่องผสมคอนกรีต ดังแสดงในภาพที่ 1

3.2.2 เติมทรายหลังจากผสมในขั้นตอนแรกผสมให้เข้ากันเรียบร้อยแล้ว หลังจากนั้นจึงเติมสารละลายโซเดียมซิลิเกต ลงไปผสมอีกจนส่วนผสมทั้งหมดเข้ากันด้วยดี

3.2.3 ขั้นตอนต่อไปเป็นการเติมมวลรวมหยาบที่เตรียมไว้ลงไปทำการผสมจนวัสดุทั้งหมดนั้นผสมกันจนเข้ากันดี

3.2.4 ขั้นตอนสุดท้ายเติมสารผสมเพิ่มประเภทซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ Type F และ Type G ซึ่งสัดส่วนผสมทั้งหมดแสดงไว้ในตารางที่ 1



ภาพที่ 1 การผสมจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตในเครื่องผสมคอนกรีต

3.3 ทดสอบค่ายุบตัว และกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเก่าชานอ้อย

3.3.1 ทดสอบการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ด้วยวิธีการทดสอบค่าการยุบตัว ตามมาตรฐาน ASTM C143 [8] หลังจากนั้นหล่อจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตในแบบหล่อทรงลูกบาศก์ขนาด 10x10x10 เซนติเมตร ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C192 [9] และมาตรฐาน BS EN 12390-2 [10] จากนั้นหุ้มแบบหล่อด้วยพลาสติกแผ่นบางเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำ จากนั้นทำการบ่มรอในอุณหภูมิห้องปฏิบัติการเป็นเวลา 1 ชั่วโมง (Delay time) ดังแสดงในภาพที่ 2 เมื่อครบกำหนดแล้วนำก้อนตัวอย่างไปบ่มในตู้อบไฟฟ้า 48 ชั่วโมง ที่อุณหภูมิ 60 องศาเซลเซียส



ภาพที่ 2 ตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตในแบบหล่อ และหุ้มด้วยพลาสติกแผ่นบาง

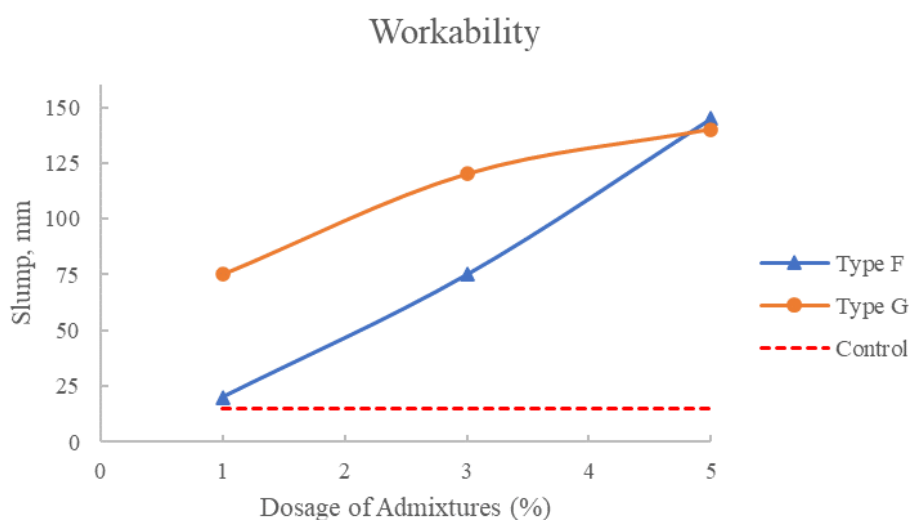
3.3.2 ทดสอบกำลังอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตด้วยเครื่องทดสอบเอนกประสงค์ (Universal testing machine) ขนาด 300 ตัน ดำเนินการตามมาตรฐาน ASTM C 39 [11] และมาตรฐาน BS EN 12390-3 [12] ทดสอบที่อายุตัวอย่าง 7 วัน และ 28 วัน

ตารางที่ 1 สัดส่วนผสมของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเก้าชานอ้อย ต่อ 1 ลูกบาศก์เมตร

Mix No.	BA kg	Admixtures (kg)		NaOH kg	Na ₂ SiO ₃ kg	Aggregate (kg)	
		Type F	Type G			Fine	Coarse
BA1F	410	4.10	-	113	113	577	1242
BA3F	410	12.30	-	113	113	577	1242
BA5F	410	20.50	-	113	113	577	1242
BA1G	410	-	4.10	113	113	577	1242
BA3G	410	-	12.30	113	113	577	1242
BA5G	410	-	20.50	113	113	577	1242
Control	410	-	-	113	113	577	1242

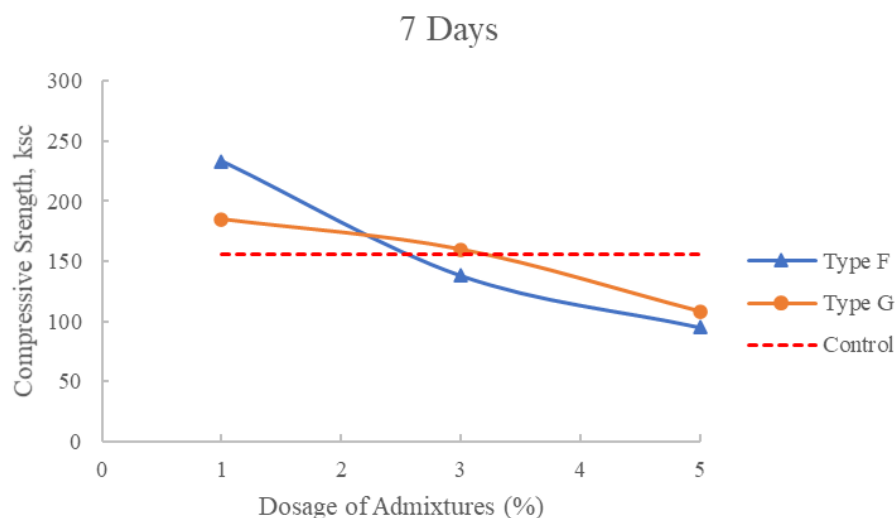
4. ผลการวิจัย

4.1 ผลของการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเก้าชานอ้อย ในเทอมของการทดสอบหาค่าการยุบตัว จากการทดลองพบว่าค่าการยุบตัวในอัตราส่วนร้อยละ 1 ของสารผสมเพิ่ม Type F มีค่าการยุบตัวใกล้เคียงกับค่าการยุบตัวของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตควบคุมในทางกลับกันสารผสมเพิ่ม Type G กับให้ค่าการยุบตัวที่สูงกว่าอย่างเห็นได้ชัด เมื่อเพิ่มอัตราส่วนสารผสมเพิ่มเข้าไปที่ร้อยละ 3 พบว่าสารผสมเพิ่มทั้ง Type F และ Type G ให้ค่าการยุบตัวที่สูงกว่าจีโอโพลิเมอร์ควบคุมอย่างเห็นได้ชัดเจน ซึ่งสารผสมเพิ่ม Type G ให้ค่าการยุบตัวสูงสุด และเมื่อเพิ่มสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ประเภทที่อัตราส่วนร้อยละ 5 กลับพบว่าสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ประเภท มีค่าการยุบตัวที่แตกต่างกันเล็กน้อยโดยสารผสมเพิ่ม Type F ให้ค่าการยุบตัวสูงสุดที่ 145 มิลลิเมตร และเมื่อเทียบกับคอนกรีตควบคุมนั้นจะเห็นได้ว่าสารผสมเพิ่มสามารถช่วยให้จีโอโพลิเมอร์คอนกรีตมีความสามารถในการทำงานได้เพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนสารผสมเพิ่มที่มีปริมาณมากขึ้น ดังแสดงในภาพที่ 3 สอดคล้องกับผลของคอนกรีตทั่วไปที่เติมสารประเภทซูเปอร์พลาสติกไซเซอร์ [13]

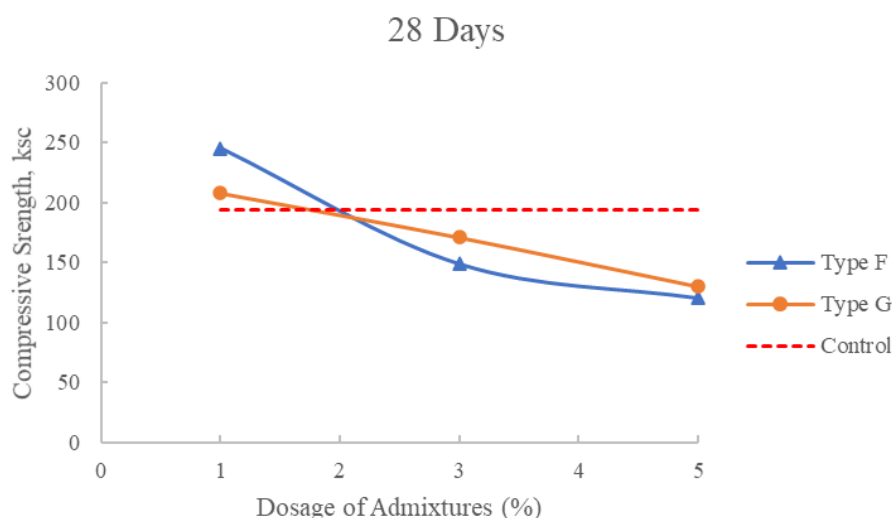


ภาพที่ 3 ค่าการยุบตัวของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่างกัน

4.2 ผลกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเก้าชานอ้อย ปรับปรุงการทำงานได้ด้วยการเติมสารผสมเพิ่มประเภทซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ Type F และ Type G ตัวอย่างทดสอบที่อายุ 7 วัน พบว่าที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มร้อยละ 1 มีค่ากำลังรับแรงอัดสูงกว่าจีโอโพลิเมอร์ควบคุม โดยสารผสมเพิ่ม Type F มีค่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 297 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร เมื่อเพิ่มสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนร้อยละ 3 พบว่ากำลังรับแรงอัดของตัวอย่างที่เติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ประเภท ไม่แตกต่างกันกับจีโอโพลิเมอร์ควบคุมมากนัก แต่กับพบว่าเมื่อเติมสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ประเภท ถึงร้อยละ 5 จะเห็นว่ามีการลดลงเมื่อเทียบกับจีโอโพลิเมอร์ควบคุมอย่างชัดเจน [13-14] ดังแสดงในภาพที่ 4 ในการณตัวอย่างทดสอบที่อายุ 28 วัน ที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มร้อยละ 1 Type G มีค่ากำลังอัดใกล้เคียงกับจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตควบคุม และมีแนวโน้มกำลังรับแรงอัดลดลงอย่างชัดเจนเมื่อเพิ่มสารผสมเพิ่มเป็นร้อยละ 3 เป็นที่สังเกตว่ามีแนวโน้มเหมือนกันกับการทดสอบที่อายุ 7 วัน แต่สารผสมเพิ่ม Type G ก็ยังคงมีกำลังรับแรงอัดที่สูงกว่า Type F เมื่อเติมสารผสมเพิ่มที่อัตราส่วนถึงร้อยละ 5 นั้นจะเห็นว่ากำลังรับแรงอัดลดลงอย่างมากเมื่อเทียบกับตัวอย่างควบคุม และพบว่าสารผสมเพิ่มทั้ง 2 ประเภทมีกำลังรับแรงอัดใกล้เคียงกัน มีแนวโน้มเหมือนกันกับการทดสอบตัวอย่างจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต ที่อายุ 7 วัน ดังแสดงในภาพที่ 5



ภาพที่ 4 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต 7 วัน ที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่างกัน



ภาพที่ 5 กำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีต 28 วัน ที่อัตราส่วนสารผสมเพิ่มต่างกัน

5. สรุปผลและการอภิปรายผล

5.1 สารผสมเพิ่ม ประเภทซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ Type F และ Type G ทั้ง 2 ประเภท เพิ่มความสามารถในการทำงานได้ของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตเข้างานอ้อยได้ ในรูปแบบของค่าการยุบตัว โดยสารผสมเพิ่ม Type G จะมีค่าการยุบตัวสูงสุดทุกอัตราส่วน และค่าการยุบตัวมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามปริมาณสารผสมเพิ่มที่มีอัตราส่วนสูงขึ้น ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยที่ผ่านมา [11] ส่วนกำลังรับแรงอัดมีแนวโน้มลดลงตามค่าการยุบตัวที่สูงขึ้นทั้งช่วงต้น และช่วงปลายอายุของตัวอย่างทดสอบที่ผสมประเภทซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ ทั้ง 2 ชนิด

5.2 ปริมาณการใช้สารผสมเพิ่มประเภทซูเปอร์พลาสติกไฮเซอร์ที่เหมาะสมของทั้ง Type F และ Type G คือ อัตราส่วนร้อยละ 1 โดยน้ำหนักของสารตั้งต้น นั้นช่วยปรับปรุงทั้งความสามารถในการทำงานได้ และกำลังรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ผลิตจากเข้างานอ้อย

6. กิตติกรรมประกาศ

การทำวิจัยครั้งนี้ขอขอบคุณความร่วมมือจาก สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหาสารคาม ที่ได้ร่วมทำวิจัยในครั้งนี้ อีกทั้งยังให้ความอนุเคราะห์วัสดุ และอุปกรณ์ตลอดจนเจ้าหน้าที่ดูแลห้องวิจัยที่คอยสนับสนุนให้ความช่วยเหลือด้วยดีตลอดการทำวิจัย

7. เอกสารอ้างอิง

- [1] ASTM. (1996). C430-96. Standard test method for fineness of hydraulic cement. West Conshohocken, PA, USA: ASTM.
- [2] Bosoaga, A., Masek, O., & Oakey, J. E. (2009). CO2 capture technologies for cement industry. Energy procedia, 1(1), 133-140.

- [3] Joshaghani, A., & Moeini, M. A. (2017). Evaluating the effects of sugar cane bagasse ash (SCBA) and nanosilica on the mechanical and durability properties of mortar. *Construction and building materials*, 152, 818-831.
- [4] อติศักดิ์ ชนะพันธ์, & สหलग หอมวุฒิวงศ์. (2021). การพัฒนาจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตที่ผลิตจากเถ้าขานอ้อย และตะกอนน้ำประปาเผา. *UBU Engineering Journal*, 14(3), 63-75.
- [5] Homwuttiwong, S. (2020). ปัจจัยที่มีผลต่อการรับแรงอัดของจีโอโพลิเมอร์คอนกรีตจากเถ้าขานอ้อยผสมเศษอะลูมิเนียม. *Naresuan University Engineering Journal*, 15(2), 65-74.
- [6] Kittisayarm, P., Pantongsuk, T., Srikhacha, A., Chaysuwan, D., & Tippayasam, C. (2020). Development of High-Strength Geopolymers by High-Reactive Bagasse Ash. *The Journal of Industrial Technology*, 16(3), 66.
- [7] ASTM, C. 494/C 494 M. (2005). *Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete*. ASTM International.
- [8] ASTM, C. 143/C-143 M, 2000. *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*.
- [9] ASTM C 192-98. (1998). *Standard practice for making and curing concrete test specimens in the laboratory*.
- [10] BS EN 12390-2. (2009). *Testing hardened concrete. Making and curing specimens for strength tests*.
- [11] ASTM, C. 39. (2014) *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*. West Conshohocken, PA: ASTM International.
- [12] BS EN 12390-3. (2009). *Testing hardened concrete. Compressive strength of test specimens*. British Standard Institution.
- [13] Muhit, I. B. (2013). Dosage limit determination of super plasticizing admixture and effect evaluation on properties of concrete. *International Journal of Scientific & Engineering Research*, 4(3), 1-4.
- [14] Nuruddin, F., Demie, S., Memon, F. A., & Shafiq, N. (2011). Effect of superplasticizer and NaOH molarity on workability, compressive strength and microstructure properties of self-compacting geopolymer concrete. *World Academy of Science, Engineering and Technology*, 75.