

การศึกษากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตจากมวลรวมหยาบประดิษฐ์

The Study of Compressive Strength of Concrete Made of Artificial Coarse aggregates

จิรัญต์ บรรจงศิริ¹

Jirat Bunjongsiri¹

บทคัดย่อ

บทความนี้ทำการศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากมวลรวมหยาบประดิษฐ์ โดยทำการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบประดิษฐ์เทียบกับมวลรวมหยาบปกติและทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต เมื่อใช้วัสดุมวลรวมหยาบประดิษฐ์ทดแทนมวลรวมหยาบปกติ โดยกำหนดส่วนผสมอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.5, 0.7 และ 0.9 ค่าการยุบตัว 3-5, 8-10 และ 15-18 เซนติเมตรมวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่ใช้มีขนาดโตสุดที่ $\frac{3}{4}$ นิ้ว (20 มิลลิเมตร)

ผลการวิจัยพบว่าค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบประดิษฐ์เทียบเมื่อนำมาเทียบกับมวลรวมหยาบปกติ หน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีค่าอยู่ในช่วง 1,680.55–1,972.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตรและค่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตที่ทำจากมวลรวมหยาบปกติค่าอยู่ในช่วง 2,134.08–2,524.06 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ทำให้เห็นว่ามวลรวมประดิษฐ์มีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่ามวลรวมหยาบจากธรรมชาติอยู่ประมาณร้อยละ 25–30 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีค่าอยู่ในช่วง 99.51-341.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ส่วนกำลังรับแรงอัดของมวลรวมหยาบปกติ มีค่าอยู่ในช่วง 146.18–421.74 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร แสดงให้เห็นว่ามวลรวมหยาบประดิษฐ์สามารถรับกำลังอัดได้น้อยกว่ามวลรวมหยาบประมาณร้อยละ 20-60 และแสดงให้เห็นถึงความแตกต่างกันในด้านของกำลังรับแรงอัดค่อนข้างมาก

Abstract

This paper studies the properties of concrete made of artificial coarse aggregates, by comparing the unit weight of artificial coarse aggregates to the normal coarse aggregates and testing the compressive strength of concrete, when using artificial coarse aggregates as replacement for normal coarse aggregate. The water to cement ratios were 0.5, 0.7 and 0.9. The slump values were 3-5, 8-10 and 15-18 cm. The maximum size of the artificial coarse aggregate was $\frac{3}{4}$ inch (20 mm.).

The results showed the unit weight of artificial coarse aggregate when compared with normal coarse aggregate. The unit weight of artificial coarse aggregate is in the range of 1,680.55 to 1,972.65 kilograms per cubic meter. And the unit weight of concrete, made of normal coarse aggregates, is in the range of 2,134.08 to 2,524.06 kilograms per cubic meter. It showed that the unit weight of artificial coarse aggregate is less than normal coarse aggregate about 25 - 30%. The test results showed that the compressive strength of the artificial coarse aggregate is in the range of 99.51 to 341.02 ksc, while the compressive strength of the normal coarse aggregate is in the range of 146.18 to 421.74 ksc. It showed that the artificial coarse aggregate has lower compressive strength than normal coarse aggregate about 20-60% and it showed a significant difference in their compressive strength.

Keywords : Compressive Strength, Concrete, Artificial Coarse aggregates

Email : Jiratb@sau.ac.th

¹ สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเอเชียอาคเนย์ หนองแขม กรุงเทพฯ 10160

¹ Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, South-East Asia University, Nongkhaem, Bangkok 10160

คำนำ

ในปัจจุบันงานก่อสร้างโครงสร้างอาคารคอนกรีตมีจำนวนมากขึ้น เพิ่มขึ้นตามจำนวนของประชากรที่มากขึ้น ทั้งนี้วัสดุมวลรวมหยาบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตส่วนใหญ่ได้จากหินที่ได้จากการระเบิดภูเขาก่อให้เกิดฝุ่นละอองเป็นจำนวนมากรวมทั้งเป็นการทำลายทรัพยากรธรรมชาติให้ลดลง และหินมีขนาดน้ำหนักและปริมาณที่ใช้ในคอนกรีตเป็นจำนวนมาก ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักมากขึ้นตามไปด้วย ถ้าหากสามารถลดการใช้ปริมาณของหินลงก็จะเป็นการรักษาทรัพยากรธรรมชาติและ ลดน้ำหนักของมวลรวมลงก็จะส่งผลให้คอนกรีตในโครงสร้างมีน้ำหนักลดลงอีกด้วย งานวิจัยนี้จึงมีแนวคิดที่จะทดแทนมวลรวมหยาบด้วยเม็ดดินเหนียวเบา (Lightweight Expanded Clay Aggregate) ซึ่งเป็นการนำดินเหนียวอ่อน (Soft Clay) ซึ่งจัดได้ว่าเป็นวัสดุที่มีคุณสมบัติทางวิศวกรรมต่ำมาก มาทำการปั้นเป็นก้อนรูปทรงกลม ให้มีลักษณะคล้ายมวลรวม (Aggregates) แล้วนำมาผ่านกระบวนการให้ความร้อนสูงภายใต้อุณหภูมิระหว่าง 600-1,200 องศาเซลเซียส ทำให้เนื้อดินเหนียวเปลี่ยนสภาพโครงสร้างอย่างถาวรได้ดินเหนียวเบา ซึ่งเม็ดดินเหนียวเบาจัดเป็นวัสดุมวลรวมหยาบเบา (Lightweight Aggregate) ตามมาตรฐาน ASTM C331 ที่ระบุให้มีหน่วยน้ำหนักระหว่าง 600-1,000 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับ 1,100 – 1,750 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ของมวลรวมปกติ

คุณสมบัติเบื้องต้นของดินเหนียวมีเนื้อละเอียดสามารถอุ้มน้ำได้ดี มีความยืดหยุ่น เมื่อนำมาทดลองปั้นขึ้นรูปเป็นทรงกลมเมื่อปั้นแล้วจึงนำไปเผา ณ เวลาและอุณหภูมิที่ต่าง ๆ เมื่อเม็ดดินเหนียวเผาเย็นตัวแล้วจะเห็นว่าดินเหนียวที่ได้มีน้ำหนักที่เบา แข็ง ไม่ละลายน้ำ ภายในมีลักษณะเป็นรูพรุน เป็นฉนวนสามารถทนความร้อนได้ดีในงานโครงการนี้จึงมุ่งศึกษาคอนกรีตมวลเบาจากดินเหนียวเพราะสามารถใช้แทนวัสดุมวลรวมหยาบในคอนกรีตได้ เป็นการลดน้ำหนักของคอนกรีตโครงสร้างลงอีกด้วยคอนกรีตมวลเบาจากดินเหนียวเป็นอีกทางเลือกหนึ่งของคอนกรีตมวลเบาเนื่องจากดินเหนียวเป็นวัสดุดิบที่มีมวลเบาหาได้ง่ายมีจำนวนมากและเป็นของเหลือทิ้งตามสถานที่ก่อสร้างต่างๆที่มีการใช้ซีเมนต์ เมื่อทำการเผาแล้วดินเหล่านั้นจะไม่ได้นำมาใช้ให้เกิดประโยชน์ดังนั้นในงานวิจัยนี้จึงทำการศึกษากำลัรับแรงอัดของคอนกรีตมวลเบาผลิตจากดินเหนียวเพื่อใช้แทนวัสดุมวลรวมหยาบ

วัตถุประสงค์ของงานวิจัย

การศึกษากำลัรับแรงอัดของคอนกรีตจากมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีวัตถุประสงค์ของงานวิจัยแบ่งออกเป็นหัวข้อต่าง ๆ ดังต่อไปนี้

1. ศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นทางด้านวิศวกรรมของดินเหนียวที่นำมาทำเม็ดดินเหนียวมวลเบา
2. เปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบประดิษฐ์เทียบกับมวลรวมหยาบจากธรรมชาติ
3. ศึกษากำลัรับแรงอัดของคอนกรีต เมื่อใช้วัสดุมวลรวมหยาบประดิษฐ์ทดแทนหิน

ระเบียบวิธีการวิจัย

ขั้นตอนการทดสอบ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งวิธีการดำเนินงานออกเป็น 3 ส่วน เพื่อให้บรรลุตามวัตถุประสงค์ของการทดสอบดังนี้ ส่วนที่ 1 การเตรียมวัสดุและอุปกรณ์ เช่น ตัวอย่างดินเหนียว เตาสำหรับเผาดิน (แสดงใน Figure 1) เป็นต้น และทำการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุเพื่อใช้ในการออกแบบคอนกรีตโดยใช้วิธีตามมาตรฐานการออกแบบ ACI 211.1-91 จากส่วนนี้เราจะได้ส่วนผสมของคอนกรีต



Figure 1 Kiln for Firing Clay

ส่วนที่ 2 การเตรียมเม็ดดินที่มีรูปร่างเป็นแบบทรงกลม การเผาให้ได้วัสดุมวลรวมหยาบตามที่กำหนดไว้ การหาอัตราออกแบบส่วนผสมของคอนกรีต ตามวิธีการออกแบบของ ACI 211.1-91 โดยกำหนดตัวแปรดังต่อไปนี้ W/C 0.5, 0.7 และ 0.9 ควบคุมค่ายุบตัว 3 ช่วงคือ 3-5, 8-10 และ 15-18 ซม. ค่าที่ใช้ในการออกแบบได้จากการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้นของวัสดุจากการทดสอบในส่วนที่ 1

จาก Figure 2 ตัวอย่างการปั้นขึ้นรูปของดินเหนียว การขึ้นรูปของดินเหนียวจะมีลักษณะเป็นแบบทรงกลม โดยกำหนดให้มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลาง 1.00 - 2.00 เซนติเมตร และมีน้ำหนัก 4.5 - 5.5 กรัม และในการเผาดินเหนียวตัวอย่างโดยใช้อุณหภูมิในการเผาตั้งแต่ 800, 1,000 และ 1,200 องศาเซลเซียส ทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการเผาดินเหนียวที่เหมาะสม เพื่อให้ได้มวลรวมที่มีน้ำหนักเบาและลักษณะของก้อนมวลรวมมีความสมบูรณ์มากที่สุด ไม่แตกหรือละลาย



Figure 2 The molding of the clay aggregate

ส่วนที่ 3 ทำการผสมคอนกรีตโดยควบคุมค่า W/C ดังที่กำหนดไว้ในส่วนที่ 2 โดยใช้ส่วนผสมจากวิธีการออกแบบของ ACI 211.1-91 ตรวจสอบรวมค่าการยุบตัวให้อยู่ในช่วงที่กำหนด อาจมีการปรับปรุงส่วนผสมเพื่อให้ได้ตามตัวแปรที่กำหนดไว้ เมื่อได้ตามตัวแปรที่กำหนดทำการหล่อตัวอย่างและบ่มในน้ำที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน ทำการทดสอบหน่วยน้ำหนักของก้อนตัวอย่างและทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต โดยตัวอย่างทั้งหมดในส่วนของมวลรวมทำมาจากเม็ดดินเหนียวเผามวลเบาและมวลรวมจากหินปูนปกติ และทำการทดสอบตัวอย่างทั้งหมด

ผลการทดลองและวิจารณ์

ผลการทดสอบคุณสมบัติเบื้องต้น

1. ค่าคุณสมบัติเบื้องต้นของดินเหนียว

1.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของดินเหนียว จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของดินเหนียวมีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.66

1.2 การทดลองค่าดัชนีและขีดจำกัดอัตราเบริกของดินเหนียว Liquid Limit, L.L = 68.93 Plastic Limit, P.L = 34.65 Plasticity Index, P.I = 34.30 Group Symbol= MH Group Name= Sandy elastic silt

2. ค่าคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวมหยาบประดิษฐ์

2.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบประดิษฐ์ จากการทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบประดิษฐ์ มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 1.16

2.2 ค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบประดิษฐ์ (Test for Unit Weight of Concrete Aggregate) เท่ากับ 754.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

2.3 ค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 4.01

3. ค่าคุณสมบัติเบื้องต้นของมวลรวมหยาบ

3.1 ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมหยาบจากการทดสอบเท่ากับ 2.73

3.2 ค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวมหยาบ จากการทดสอบหาค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวม มีค่าเท่ากับ 1,515.23 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

3.3 ค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ จากการทดสอบหาค่าการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบมีค่าการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 0.21

ผลการทดสอบการขึ้นรูปของดินเหนียวเผา

จากการทดสอบหาเวลาที่ใช้ในการเผาดินเหนียว 1.48 ชั่วโมงเพื่อดูการเปลี่ยนแปลงของดินเหนียวเมื่อนำมาเผาในอุณหภูมิที่ต่างกันมาเปรียบเทียบจะเห็นได้ว่าอุณหภูมิที่ 1,200 องศาเซลเซียสเป็นอุณหภูมิที่ดีที่สุดจึงเพราะเนื่องจากมีน้ำหนักเบาที่สุดและสามารถเปลี่ยนแปลงโครงสร้างของดินเหนียว

Figure 3 ตัวอย่างของก้อนดินเหนียวที่เผาที่อุณหภูมิต่าง ๆ จะเห็นได้ว่าผิวของเม็ดดินมีลักษณะแตกต่างกันไปตามอุณหภูมิที่เพิ่มขึ้น รวมถึงระยะเวลาที่ใช้ในการเผาอีกด้วย ซึ่งเม็ดดินที่ขึ้นรูปแล้วจะนำไปอบที่อุณหภูมิที่ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 1 ชั่วโมง ก่อนที่จะนำไปเข้าเตาเผา



Figure 3 An example of a lump of clay burned at various temperatures.



Figure 4 Samples of aggregates available and internal structure of aggregates

Figure 4 ตัวอย่างของก้อนมวลรวมที่พร้อมใช้งาน และโครงสร้างภายในของก้อนตัวอย่างมวลรวม ลักษณะของตัวอย่างที่ผ่านการเผาในอุณหภูมิที่ 1,200 องศา ใช้เวลาในการเผาของดินเหนียว 1 ชั่วโมง 48 นาที ก้อนมวลรวมที่ได้มีน้ำหนักที่เบา ผิวภายนอกแข็ง บางก้อนผิวด้านนอกมีลักษณะเป็นมัน ไม่ละลายน้ำ ภายในก้อนตัวอย่างมีลักษณะเป็นโพรงช่องว่างและมีรูพรุนมาก บางส่วนของมวลรวมสามารถลอยน้ำได้

ผลการทดสอบการยุบตัวของคอนกรีต

จาก Figure 5 และ 6 คอนกรีตมีค่าการยุบตัวอยู่ในช่วง 15-18 ซม. คอนกรีตมีเนื้อเดียวกัน มีลักษณะการยุบตัวแบบถูกต้อง (True Slump) การยุบตัวของคอนกรีตภายใต้น้ำหนักของคอนกรีตเอง ปริมาณส่วนผสมคอนกรีตเมื่อทำการทดลองผสมและควบคุมค่าการยุบตัวของคอนกรีตให้อยู่ในช่วงที่กำหนดแสดงใน Table 1

Table 1 Shows Concrete Mixture made of artificial and natural coarse aggregates

No.	W/C	Slump range	Concrete mixture (kg./m. ³)			
			Cement	Water	Sand	Stone
1	0.5	3-5	360	180	995	925
			360*	180*	790*	460*
2	0.5	8-10	400	200	905	925
			440*	220*	612*	460*
3	0.5	15-18	430	215	839	925
			500*	250*	478*	460*
4	0.7	3-5	283	198	1,012	925
			257*	180*	879*	460*
5	0.7	8-10	324	227	897	925
			267*	187*	851*	460*
6	0.7	15-18	329	230	885	925
			271*	190*	839*	460*
7	0.9	3-5	233	210	1,022	925
			206*	185*	909*	460*
8	0.9	8-10	245	220	985	925
			211*	190*	891*	460*
9	0.9	15-18	278	250	875	925
			222*	200*	854*	460*

Note : * artificial coarse aggregate

ค่าการยุบตัวในช่วง 8-10 เซนติเมตร เนื่องจากมีน้ำในปริมาณคอนกรีตน้อยและลักษณะของคอนกรีตมีความชื้นและเป็นเนื้อเดียวกันดี ค่าการยุบตัวของคอนกรีตที่ได้จากการทดสอบมีลักษณะการยุบตัวแบบถูกต้อง บางส่วนผสมของการทดสอบแม้คอนกรีตมีลักษณะการยุบตัวมากขึ้น เนื่องจากมีน้ำในคอนกรีตเพิ่มขึ้น ผลการยุบตัวของคอนกรีตที่ทดสอบได้มีลักษณะยุบตัวแบบแบบเฉือน (Shear Slump) จากผลกระทบของทรายในส่วนผสม



(5a) Natural aggregates concrete



(5b) artificial aggregates concrete

Figure 5 Natural aggregates concrete and artificial aggregates concrete. The range of slump at 15 cm.

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตแสดงใน Table 2 และ 3 ผลของกำลังรับแรงอัดของมวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่แสดงใน Table 2 อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 ,0.7 และ 0.9 ค่าการยุบตัวมี 3 ช่วงดังนี้ คือ 3-5, 8-10 และ 15-18 เซนติเมตร ผลของค่ากำลังรับแรงอัดคอนกรีตมวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่อายุ 7 วัน มีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 100.31-276.52 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อายุ 14 วัน เท่ากับ 117.07-268.06 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรและ อายุ 28 วัน เท่ากับ 107.74-320.84 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

Table 2 Table shows a results of compressive strength of artificial coarse aggregates concrete

No.	W/C	slump	slump range	Compressive strength (ksc)		
				7 days	14 days	28 days
1	0.5	3.5	3-5	276.52	257.44	320.84
2	0.5	8.7	8-10	186.62	210.17	232.69
3	0.5	17.5	15-18	243.36	222.74	315.15
4	0.7	4.2	3-5	173.97	268.06	213.70
5	0.7	9.5	8-10	124.49	127.03	218.34
6	0.7	17	15-18	125.71	131.81	239.94
7	0.9	3.4	3-5	124.03	126.06	107.74
8	0.9	8.5	8-10	105.60	117.07	113.70
9	0.9	15.5	15-18	100.31	117.52	123.24

จาก Table 3 ผลของกำลังรับแรงอัดของมวลรวมหยาบที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.5 , 0.7 และ 0.9 มีค่าการยุบตัว 3-5, 8-10 และ 15-18 เซนติเมตร โดยมีค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตมวลรวมหยาบอยู่ในช่วง ที่อายุ 7 วัน เท่ากับ 92.4 -325.24 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร อายุ 14 วัน เท่ากับ 172.73-319.76 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และ อายุ 28 วัน เท่ากับ 170.65-394.81 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

Figure 6 คอนกรีตส่วนใหญ่มีการพัฒนา กำลังอัดที่เพิ่มขึ้นตามอายุของการบ่มและมวลรวมจากหินปูนธรรมชาติมีค่ากำลังรับแรงอัดมากกว่ามวลรวมประดิษฐ์ ตัวอย่างของกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.9 อายุการบ่มที่ 7, 14 และ 28 วัน ค่าการยุบตัว 3-5 เซนติเมตร คอนกรีตมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีกำลังรับแรงอัดน้อยกว่าร้อยละ 22.91, 37.0 และ 45.49 ตามลำดับอายุการบ่ม

Table 3 Table shows a results of compressive strength of natural aggregates concrete

No.	W/C	slump	slump range	Compressive strength (ksc)		
				7 days	14 days	28 days
1	0.5	3.5	3-5	297.29	313.21	369.20
2	0.5	8.7	8-10	325.24	288.82	394.81
3	0.5	17.5	15-18	302.70	319.76	343.83
4	0.7	4.2	3-5	212.70	228.24	233.66
5	0.7	9.5	8-10	92.40	241.57	282.57
6	0.7	17	15-18	193.44	209.49	242.40
7	0.9	3.4	3-5	152.45	172.73	189.08
8	0.9	8.5	8-10	151.85	173.90	205.94
9	0.9	15.5	15-18	153.42	168.42	170.65

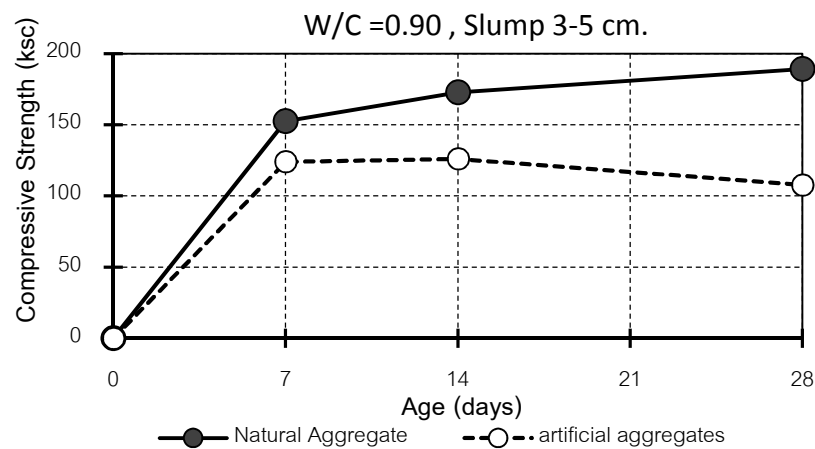


Figure 6 Natural aggregates concrete and artificial aggregates concrete. The range of slump at 15 cm.

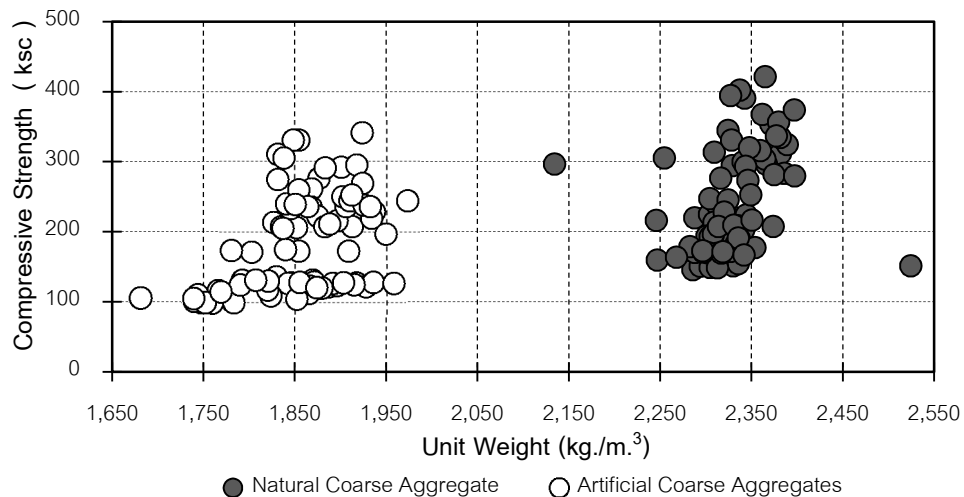


Figure 7 Graph comparison the compressive strength and unit weight of artificial aggregates and natural coarse aggregate.

ผลการทดสอบการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักกับกำลังรับแรงอัดของมวลรวมประติษฐ์และมวลรวมหยาบ

Figure 7 กราฟการเปรียบเทียบหน่วยน้ำหนักกับกำลังอัดของมวลรวมประติษฐ์และมวลรวมหยาบ จะพบว่าน้ำหนักของมวลรวมหยาบประติษฐ์มีค่าน้อยกว่ามวลรวมหยาบจึงทำให้กำลังรับแรงอัดน้อยกว่ามวลรวมหยาบ โดยหน่วยน้ำหนักอยู่ในช่วง 1,747.63-1,972.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร กำลังรับแรงอัดอยู่ในช่วง

99.51-341.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ซึ่งค่าหน่วยน้ำหนักมากที่สุดของมวลรวมหยาบประดิษฐ์จะน้อยกว่ามวลรวมหยาบเท่ากับร้อยละ 27.95 และค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุดของมวลรวมหยาบประดิษฐ์จะน้อยกว่ามวลรวมหยาบเท่ากับร้อยละ 23.67

สรุปผลการศึกษา

จากการผลการพบว่ามวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.5, 0.7 และ 0.9 มีค่าการยุบตัว 3-5, 8-10 และ 15-18 เซนติเมตร ขนาดมวลรวมหยาบประดิษฐ์ที่โตสุดเท่ากับ $\frac{3}{4}$ นิ้ว (20 มิลลิเมตร) ซึ่งมีการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7, 14 และ 28 วัน หน่วยน้ำหนักมีค่าน้อยมวลรวมหยาบจากธรรมชาติ ทำให้กำลังรับแรงอัดมีค่าน้อยกว่า โดยหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 1,680.55 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้อยกว่ามวลรวมหยาบเท่ากับร้อยละ 26.99 และค่าหน่วยน้ำหนักมากที่สุดเท่ากับ 1,972.65 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร น้อยกว่ามวลรวมหยาบเท่ากับร้อยละ 27.95 หรือ อาจกล่าวได้ว่ามวลรวมประดิษฐ์มีหน่วยน้ำหนักน้อยกว่ามวลรวมหยาบประมาณร้อยละ 25-30 และกำลังรับแรงอัดของมวลรวมหยาบประดิษฐ์มีค่าน้อยสุดเท่ากับ 99.51 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร น้อยกว่ามวลรวมหยาบเท่ากับร้อยละ 46.90 ค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุดเท่ากับ 341.02 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร น้อยกว่ามวลรวมหยาบเท่ากับร้อยละ 23.67 หรือมวลรวมหยาบประดิษฐ์รับกำลังอัดได้น้อยกว่ามวลรวมหยาบประมาณร้อยละ 20-60

กิตติกรรมประกาศ

ผู้เขียนขอขอบพระคุณ คุณย่าแปลก เหมือนบัว, ห้องปฏิบัติการวิจัย สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเอเซียอาคเนย์ และผู้ประเมินบทความ ซึ่งให้ข้อคิดเห็นและความรู้แก่ผู้เขียนบทความเป็นอย่างมาก ขอขอบคุณคุณพิรุณรัตน์ อารีย์สว่างกิจ, ผศ. กุลธิดา บรรจงศิริ, ผศ. วราธร แก้วแสง, ผศ. เทอดศักดิ์ สายสุทธิ และนักศึกษาสาขาวิชาวิศวกรรมโยธา ซึ่งประกอบด้วย นางสาวพิมลพรรณ อารมชื่น, นางสาวพัชรี ชาวเหรียญ, นายเรวัตน์ สมสุข, นางสาววาสนา แสงหอม, นายสุรศักดิ์ ไชยพลบาล และนายอนุชา มูแกง ช่วยให้ข้อมูลและทำการทดสอบทำให้บทความนี้มีความสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

- ปริญญา จินดาประเสริฐ, **ถ้ำลอยในงานคอนกรีต**, ฉบับปรับปรุง. ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- ปฐม อินทร์ปรุงและอุทุมพร วสุนันต์ผล. 2546, **การศึกษาวัสดุน้ำหนักเบาเพื่อใช้ทดแทนหินในงานผสมคอนกรีต**, วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต ภาควิชาวิศวกรรมเคมี คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น
- วิชัย สังวรปทานสกุล, 2523, **การผลิตและหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรมของเม็ดดินเผาซึ่งทำมาจากดินเหนียว**, กรุงเทพฯ, วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย
- อภิรัฐ คล้ายริน. 2547. **การผลิตดินเหนียวเผามวลเบาจากดินเหนียวอ่อนกรุงเทพมหานคร**. วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตรมหาบัณฑิต สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.