

การศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล

The Study of Concrete Properties Produced from Lime Dust and Basalt Dust Mixed with Biomass Ash and without Biomass Ash

จิรวัดน์ วิมุตตสิขวิริยา^{1*}

Cheellawad Vimuttasoongviriya^{1*}

¹คณะเทคโนโลยีอุตสาหกรรม มหาวิทยาลัยราชภัฏบุรีรัมย์

¹ Faculty of Industrial Technology, Buriram Rajabhat University

*Corresponding author; E-mail: jirawat.wm@bru.ac.th

Received: 17 February 2021 /Revised: 16 March 2021 /Accepted: 28 April 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล โดยคอนกรีตตัวอย่างแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ผลิตจากหินฝุ่น A หรือหินฝุ่นหินปูน และกลุ่มที่ผลิตจากหินฝุ่น B หรือหินฝุ่นบะซอลต์ แต่ละกลุ่มหลักจะแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อย คือ กลุ่มย่อยไม่ผสมเถ้าชีวมวล กลุ่มย่อยผสมเถ้าชีวมวล X หรือเถ้าชีวมวลไม้ยูคาลิปตัส และกลุ่มย่อยผสมเถ้าชีวมวล Y หรือเถ้าชีวมวลชานอ้อย ผลการวิจัยพบว่า ตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีความหนาแน่นมากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 5.68 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 56.05 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 29.53 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 96.45 ส่วนตัวอย่างที่ผลิตจากหินฝุ่น B มีความหนาแน่นมากกว่าที่ผลิตจากหินฝุ่น A เฉลี่ยร้อยละ 7.01 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 17.72 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 17.87 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 7.99 สำหรับตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X มีความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 2.24 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 21.83 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 7.88 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 17.49 ตลอดจนตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล Y มีความหนาแน่นมากกว่าตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 1.64 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 22.72 มีความพรุนน้อยกว่าเฉลี่ยร้อยละ 6.22 และมีกำลังอัดมากกว่าเฉลี่ยร้อยละ 22.22 การวิจัยนี้ยังพบอีกว่า หินฝุ่น B สามารถใช้ผลิตคอนกรีตทรงที่บตันได้ดีเช่นเดียวกับหินฝุ่น A และคอนกรีตที่ผสมเถ้าชีวมวล X หรือ Y จะช่วยให้คุณสมบัติทางกลดีขึ้น

คำสำคัญ : คอนกรีตผลิตจากหินฝุ่น, เถ้าชีวมวล, หินฝุ่นหินปูน, หินฝุ่นบะซอลต์

Abstract

The objective of this research was to study of properties of concrete produced from lime dust and basalt dust mixed with biomass ash and without biomass ash. The concrete samples divided into 2 main groups: the group of concrete from dust A or lime dust concrete and the group of concrete from dust B or basalt dust concrete. Each main group divided into 3 subgroups: the group of non-biomass ash concrete, the group of concrete from biomass ash X or eucalyptus biomass ash concrete and the group of concrete from biomass ash Y or bagasse biomass ash concrete. The research results found that samples of the 1:8 ratio had more average density (5.68%), less average water absorption (56.05%), less average porosity (29.53%) and more average compressive strength (96.45%) when compared to that of the 1:24 ratio. The samples from dust B had more average density (7.01%), less average water absorption (17.72%), less average porosity (17.87%) and more average compressive strength (7.99%) when compared to that of the dust A samples. The samples from biomass ash X had more average density (2.24%), less average water absorption (21.83%), less average porosity (7.88%) and more compressive strength (17.49%) when compared to that of the non-biomass ash. Moreover, samples from biomass ash Y had more average density (1.64%), less average water absorption (22.72%), less average porosity (6.22%) and more average compressive strength (22.22%) when compared to that of the non-biomass ash. This research also found that dust B produced solid shape of concrete as well as dust A, and concrete with biomass ash X or Y increased the mechanical properties.

Keywords: Concrete produced from dust stone, Biomass ash, Lime dust, Basalt dust

บทนำ

คอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นเป็นมวลรวมแทนหินย่อย และทรายนิยมใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกสำหรับ ก่อผนังหรือคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น หนึ่งคอนกรีต ที่ผลิตจากหินฝุ่นมีจุดเด่นหลายด้าน เช่น ต้นทุน การผลิตต่ำ ทนสภาพแวดล้อมได้ดี ระบายน้ำได้ดี และเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี เป็นต้น ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์นิยมผลิตคอนกรีตบล็อกก่อผนังจากหินฝุ่น

หินปูนซึ่งขนส่งมาจากจังหวัดสระบุรี ในขณะที่จังหวัดบุรีรัมย์เป็นแหล่งผลิตหินเพื่อใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้างที่สำคัญแหล่งหนึ่งของภาคตะวันออกเฉียงเหนือตอนล่างและมีอุตสาหกรรมเหมืองหินในพื้นที่จำนวนมาก [1,2] กรมทรัพยากรธรณี [3] ได้รายงานการ จำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากร ธรณีของจังหวัดบุรีรัมย์ว่า พื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มีหินอัคนี ประเภทหิน บะซอลต์จำนวนมากอยู่บริเวณอำเภอเฉลิม

พระเกียรติและพื้นที่ทางใต้ของอำเภอเมืองบุรีรัมย์ ถ้ามีการนำหินฝุ่นบะซอลต์ซึ่งมีมากในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์มาพัฒนาเป็นคอนกรีตบล็อกย้อมสีส่งผลดีต่อท้องถิ่นอย่างไรก็ตามการศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่น บะซอลต์ในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ยังมีอยู่อย่างจำกัด ทั้งนี้ สัจจะชาฎะ พรตมะลิ และประชุม คำพุด [4] ได้ศึกษาคูณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนผสมหินฝุ่นบะซอลต์โพรงชายของจังหวัดบุรีรัมย์เพื่อใช้ผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกพบว่า คอนกรีตบล็อกที่ใช้หินฝุ่นหินปูนผสมหินฝุ่นบะซอลต์ปริมาณมากมีผลทำให้ความหนาแน่น กำลังอัดและการนำความร้อนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูน ถึงแม้ว่าการใช้หินฝุ่นบะซอลต์ทำให้อุณหภูมิทางกลลดลงแต่หากถูกแก้ไขด้วยการนำสารผสมเพิ่มมาใช้ร่วมด้วยย่อมเป็นทางเลือกที่น่าสนใจ ทั้งนี้มีงานวิจัยได้นำเสนอการใช้สารผสมเพิ่มชนิดเถ้าชีวมวล (Biomass Ash) ในการพัฒนาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตอย่างต่อเนื่อง [5-11] งานวิจัยส่วนใหญ่พบว่า คอนกรีตผสมเถ้าชีวมวลร้อยละ 10-20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ช่วยเพิ่มคุณสมบัติทางกลให้ดีขึ้นเมื่อเทียบกับที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวล จากข้อมูลข้างต้นงานวิจัยนี้จึงสนใจศึกษาคูณสมบัติของคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวลเพื่อนำผลมาประยุกต์ใช้กับคอนกรีตบล็อกสำหรับก่อผนังในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์

วัตถุประสงค์การวิจัย

เพื่อศึกษาคูณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล

วิธีดำเนินการวิจัย

งานวิจัยนี้ศึกษาเชิงทดลอง (Experimental study) คุณสมบัติคอนกรีตที่ผลิตจากหินฝุ่นหินปูนและหินฝุ่นบะซอลต์ทั้งที่ผสมและไม่ผสมเถ้าชีวมวล ซึ่งมีขั้นตอนการวิจัยเริ่มจากการศึกษาข้อมูลงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง จัดหาวัสดุและทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในการผลิตก่อนคอนกรีตตัวอย่าง จากนั้นจึงเลือกอัตราส่วนผสมโดยอ้างอิงจากอัตราส่วนผสมสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อกในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์และอัตราส่วนผสมจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง ดำเนินการผลิตคอนกรีตตัวอย่างในห้องปฏิบัติการ ทดสอบคุณสมบัติที่อายุ 28 วัน สรุปและอภิปรายผลการวิจัย

วัสดุที่ใช้ผลิตคอนกรีตตัวอย่าง

รายละเอียดวัสดุผลิตคอนกรีตตัวอย่างมีดังนี้

1. ปูนซีเมนต์ : ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.15 เล่ม 1
2. หินฝุ่น : งานวิจัยนี้เลือกใช้หินฝุ่นจำนวน 2 ชนิด คือ หินฝุ่น A เป็นหินฝุ่นหินปูน (Lime Dust) มีสีเทาคล้ายซีเมนต์และมีสารอินทรีย์ปนเล็กน้อย [12,13] หินฝุ่น A มาจากโรงโม่หินอำเภอพระพุทธรบาท จังหวัดสระบุรี และหินฝุ่น B เป็นหินฝุ่นบะซอลต์ (Basalt Dust) มีสีเทาปนเหลืองมาจากโรงโม่หินที่ตั้งอยู่ทางทิศเหนือของทางหลวงหมายเลข 226 ในตำบลสวายจิก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์ หินฝุ่น B มีเปลือกดินและฝุ่นหินขนาดเล็กปะปนมาด้วย อนึ่งคุณสมบัติหินฝุ่นทั้ง 2 ชนิดแสดงใน Table 1 และการกระจายขนาดอนุภาคหินฝุ่นทั้ง 2 ชนิดแสดงใน Figure 1

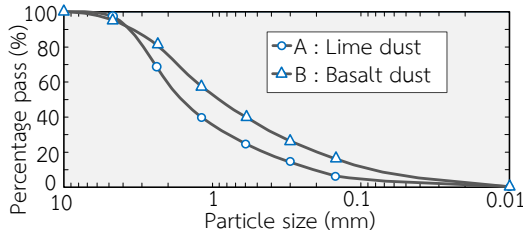


Figure 1. Dust stone particle size distribution

Table 1. Dust stone properties

Detail	Dust A	Dust B
Chemical properties (%)		
Silicon dioxide (SiO ₂)	0.11	39.36
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	-	11.47
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	0.04	25.88
Calcium oxide (CaO)	51.70	14.15
Potassium oxide (K ₂ O)	0.005	2.86
Magnesium oxide (MgO)	0.36	-
Manganese oxide (MnO)	-	0.39
Titanium dioxide (TiO ₂)	-	5.47
Physical properties		
Water content (%)	0.37-1.85	1.33-2.94
Bulk Specific gravity	2.72	2.92
Fineness modulus	3.53	3.49

เมื่อพิจารณาองค์ประกอบเคมีหลักของวัสดุเชื่อมประสานในงานคอนกรีต [14] คือ CaO SiO₂ Al₂O₃ และ Fe₂O₃ จาก Table 1 พบว่า หินฝุ่น A มีปริมาณองค์ประกอบเคมีหลักรวมกันร้อยละ 51.85 ส่วนหินฝุ่น B มีปริมาณองค์ประกอบเคมีหลักรวมกันร้อยละ 90.86 ถึงแม้ว่าหินฝุ่น A จะมีองค์ประกอบเคมีหลักรวมกันน้อยกว่าหินฝุ่น B แต่หินฝุ่น A มีปริมาณ CaO ร้อยละ 51.70 ซึ่งมากกว่าหินฝุ่น B ที่มีร้อยละ

14.15 อนึ่ง CaO หรือปูนขาว (Lime) เมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะช่วยให้การเชื่อมประสานมวลรวมได้ดี ในขณะที่ Figure 1 แสดงให้เห็นการกระจายตัวของอนุภาคหินฝุ่น B ซึ่งมีการกระจายขนาดกันดีกว่าหินฝุ่น A ส่งผลให้ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk specific gravity) ของหินฝุ่น B มีค่ามากกว่าหินฝุ่น A และยังทำให้หินฝุ่น B มีช่องว่างระหว่างอนุภาคน้อยกว่าหินฝุ่น A อีกด้วย

3. เถ้าชีวมวล : เถ้าชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยได้จากอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวลในพื้นที่จังหวัดบุรีรัมย์ซึ่งเลือกใช้ 2 ชนิด คือ ชนิด X เป็นเถ้าชีวมวลไม้ยูคาลิปตัสจากอำเภอสตึกและชนิด Y เป็นเถ้าชีวมวลชานอ้อยจากอำเภอคูเมือง คุณสมบัติเถ้าชีวมวลที่ใช้ในงานวิจัยทั้ง 2 ชนิดแสดงใน Table 2, Figure 2, และ Figure 3

Table 2. Biomass ash properties

Detail	Ash X	Ash Y
Chemical properties (%)		
Silicon dioxide (SiO ₂)	3.33	60.75
Aluminum oxide (Al ₂ O ₃)	-	3.46
Iron oxide (Fe ₂ O ₃)	1.63	9.63
Calcium oxide (CaO)	62.81	13.70
Potassium oxide (K ₂ O)	17.25	5.88
Sulfur trioxide (SO ₃)	4.39	1.57
Manganese oxide (MnO)	2.45	0.84
Scromium oxide (SrO)	0.20	0.08
Phosphorous acid (P ₂ O ₅)	2.17	2.61
Chlorine (Cl)	5.76	-
Zinc oxide (ZnO)	-	0.11
Zirconium dioxide (ZrO ₂)	-	0.18
Titanium dioxide (TiO ₂)	-	1.20

Table 2. Biomass ash properties (cont.)

Detail	Ash X	Ash Y
Physical properties		
Loss on Ignition (LOI)	4.9	13.4
Water content (%)	3.18	4.59
Retained on sieve #325 (%)	66.3	81.5
Passing sieve #200 (%)	91.7	49.0
Bulk Specific gravity	2.194	2.124

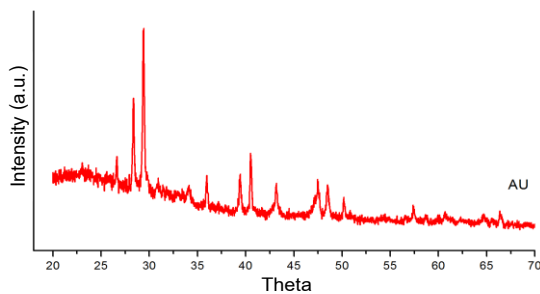


Figure 2. Chemical properties of biomass ash X

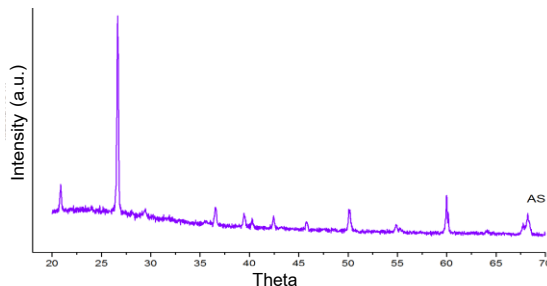


Figure 3. Chemical properties of biomass ash Y

พิจารณาองค์ประกอบเคมีหลักของวัสดุเชื่อมประสานจาก Table 2 พบว่า เถ้าชีวมวล X มีปริมาณ CaO ร้อยละ 62.81 ซึ่งมากกว่าเถ้าชีวมวล Y ที่มีเพียงร้อยละ 13.70 โดย CaO ในเถ้าชีวมวลเมื่อทำปฏิกิริยากับน้ำจะช่วยเชื่อมประสานมวลรวมได้เช่นเดียวกับที่มีในหินปูน นอกจากนั้นเถ้าชีวมวล X ยังมีปริมาณคังบอน

ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 325 ร้อยละ 66.3 ซึ่งน้อยกว่าเถ้าชีวมวล Y ที่ร้อยละ 81.5 แสดงว่าขนาดอนุภาคเถ้าชีวมวล X เล็กกว่าเถ้าชีวมวล Y ส่งผลให้การแทรกตัวเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคมวลรวมได้ดี อย่างไรก็ตามเมื่อพิจารณาผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ในเถ้าชีวมวล Y ซึ่งมีปริมาณร้อยละ 73.84 จัดอยู่ในกลุ่มแร่ผสมเพิ่มชนิดเถ้าลอยประเภทที่ 1 ตามข้อกำหนดวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ว.ส.ท. 1014-40 [14] ซึ่งมีผลทำให้คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตเพิ่มขึ้นในระยะยาว

อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมที่เลือกใช้ผลิตคอนกรีตตัวอย่างอ้างอิงจากงานวิจัยที่เกี่ยวข้องและอัตราส่วนผสมที่ใช้จริงในอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตบล็อกของจังหวัดบุรีรัมย์ งานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคอนกรีตบล็อกมักใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินปูนระหว่าง 1:4 ถึง 1:12 [15,16] ในขณะที่โรงงานผลิตคอนกรีตบล็อกในจังหวัดบุรีรัมย์ใช้อัตราส่วนผสมซีเมนต์ต่อหินปูนระหว่าง 1:15 ถึง 1:25 สำหรับงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการศึกษาคอนกรีตผสมเถ้าชีวมวลมักใช้เถ้าชีวมวลชนิดต่าง ๆ ระหว่างร้อยละ 10-30 โดยใช้น้ำหนักซีเมนต์ [6-9] ตลอดจนมีข้อเสนอแนะให้คอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนซีเมนต์ต่อหินปูนหินปูน 1:4.3 ถึง 1:5 ควรใช้ปริมาณเถ้าชีวมวลที่เหมาะสมประมาณร้อยละ 20 โดยน้ำหนักซีเมนต์ [15] อนึ่งงานวิจัยนี้เลือกใช้ปริมาณเถ้าชีวมวลร้อยละ 15 เนื่องจากมีบางอัตราส่วนผสมใช้ปริมาณหินปูนมากกว่างานวิจัยก่อนหน้า สำหรับอัตราส่วนผสมทั้งหมดที่ใช้ในงานวิจัยแบ่งเป็น 2 กลุ่มหลัก คือ กลุ่มที่ 1 คอนกรีตผลิตจากหินปูน A และกลุ่มที่ 2 ผลิตจากหินปูน B โดยกลุ่มหลักแบ่งเป็น 3 กลุ่มย่อยซึ่งแต่ละกลุ่ม



ยอ่ยมีจำนวน 5 อัตราส่วนผสม คือ กลุ่มยอ่ยที่ 1 เป็นคอนกรีตไม่ผสมเ้าชีวมวล ได้แก่ A1 ถึง A5 และ B1 ถึง B5 กลุ่มยอ่ยที่ 2 เป็นคอนกรีตที่ผสมเ้าชีวมวล X ได้แก่ AX1 ถึง AX5 และ BX1 ถึง BX5 และกลุ่มยอ่ยที่ 3 เป็นคอนกรีตที่ผสมเ้าชีวมวล Y ได้แก่ AY1 ถึง AY5 และ BY1 ถึง BY5 สำหรับรายละเอียดอัตราส่วนผสมทั้ง 2 กลุ่มหลักแสดงใน Table 3 ทั้งนี้ข้อมูลปริมาณหินฝุ่นและเ้าชีวมวลที่ใช้เป็นสัดส่วนโดยน้ำหนักซีเมนต์ และอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) ใช้ระหว่าง 0.55-0.65

Table 3. Concrete mix ratios

Symbol	Cement:Dust stone:Biomass ash	w/c
Dust stone without biomass ash		
A1	1:8:0	0.55
A2	1:12:0	0.55
A3	1:16:0	0.55
A4	1:20:0	0.55
A5	1:24:0	0.55
B1	1:8:0	0.55
B2	1:12:0	0.55
B3	1:16:0	0.55
B4	1:20:0	0.55
B5	1:24:0	0.55
Dust stone with biomass ash X		
AX1	1:8:0.15	0.65
AX2	1:12:0.15	0.65
AX3	1:16:0.15	0.65
AX4	1:20:0.15	0.65
AX5	1:24:0.15	0.65
BX1	1:8:0.15	0.65
BX2	1:12:0.15	0.65
BX3	1:16:0.15	0.65
BX4	1:20:0.15	0.65

Symbol	Cement:Dust stone:Biomass ash	w/c
BX5	1:24:0.15	0.65
Dust stone with biomass ash Y		
AY1	1:8:0.15	0.65
AY2	1:12:0.15	0.65
AY3	1:16:0.15	0.65
AY4	1:20:0.15	0.65
AY5	1:24:0.15	0.65
BY1	1:8:0.15	0.65
BY2	1:12:0.15	0.65
BY3	1:16:0.15	0.65
BY4	1:20:0.15	0.65
BY5	1:24:0.15	0.65

ขนาดตัวอย่างและมาตรฐานการทดสอบ

ขนาดก้อนคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้เป็นรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 5 ซม. ซึ่งตัวอย่างทดสอบแต่ละกรณีใช้จำนวน 5 ก้อน [17-19] วิธีการหาความหนาแน่น การดูดกลืนน้ำ ความพรุน และกำลังอัดคอนกรีตอ้างอิง มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2530; มอก. 566 มอก.109-2517; มาตรฐาน ASTM C20 และ ASTM C140 ตามลำดับ การวิเคราะห์องค์ประกอบเคมี ใช้เทคนิคการเรืองรังสีเอกซ์ (X-Ray Fluorescence : XRF) และเทคนิคการวิเคราะห์การเลี้ยวเบนรังสีเอกซ์ (X-Ray Diffractometer : XRD) สำหรับค่าสถิติที่ใช้ในงานวิจัยประกอบด้วย ค่าเฉลี่ย (\bar{x}) และส่วนเบี่ยงเบนมาตรฐาน (SD) ดังสมการต่อไปนี้

$$\bar{x} = (\sum_{i=1}^n x_i) / n \quad (1)$$

$$SD = \sqrt{(\sum_{i=1}^n (x_i - \bar{x})^2) / n} \quad (2)$$

ผลการวิจัยและอภิปรายผล

ผลการทดสอบคุณสมบัติก้อนตัวอย่างแสดงใน Table 4 และมีรายละเอียดดังต่อไปนี้

1. ความหนาแน่น

เมื่อพิจารณาผลทดสอบความหนาแน่นที่แสดงใน Table 4 และ Figure 4 กรณีเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินปูนชนิด

เดียวกันพบว่า คอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวล A1 มีความหนาแน่นมากกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 5.37 และคอนกรีต B1 มีความหนาแน่นมากกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 4.34 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล X พบว่า คอนกรีต AX1 มีความหนาแน่นมากกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 6.67 และคอนกรีต BX1 มีความหนาแน่นมากกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 5.48

Table 4. Density, water absorption, porosity and compressive strength of concrete samples

Symbol	Density (kg/m ³)	SD	Water absorption (%)	SD	Porosity (%)	SD	Compressive strength (kg/cm ²)	SD
Dust stone without biomass ash								
A1	2,039	11.2	4.85	0.16	13.69	0.09	178.5	2.79
A2	2,028	10.4	5.56	0.14	14.54	0.08	165.7	2.52
A3	1,983	10.1	6.15	0.15	15.83	0.05	143.0	2.99
A4	1,973	12.7	6.48	0.12	16.42	0.05	115.2	1.55
A5	1,935	11.6	6.69	0.16	17.07	0.06	89.1	1.07
B1	2,186	8.4	3.91	0.09	11.70	0.09	200.0	3.26
B2	2,176	13.6	4.56	0.15	12.64	0.07	185.4	1.47
B3	2,142	11.7	4.96	0.08	13.54	0.05	149.3	1.60
B4	2,116	13.9	5.38	0.12	14.52	0.07	131.9	1.99
B5	2,095	10.4	5.64	0.14	15.11	0.07	108.2	1.47
Dust stone with biomass ash X								
AX1	2,111	8.4	3.61	0.15	12.58	0.01	242.1	1.29
AX2	2,089	13.6	4.03	0.19	13.88	0.05	207.1	3.69
AX3	2,030	11.7	4.61	0.17	14.83	0.07	162.7	2.21
AX4	1,999	13.9	5.24	0.12	15.38	0.04	122.2	1.98
AX5	1,979	10.4	6.13	0.16	16.28	0.06	111.3	1.35
BX1	2,253	12.8	3.24	0.13	10.58	0.05	245.7	2.77
BX2	2,205	6.8	3.75	0.09	11.44	0.05	211.3	2.71
BX3	2,185	10.5	4.19	0.21	12.36	0.01	170.0	2.28
BX4	2,149	11.8	4.69	0.06	13.16	0.03	133.9	1.81
BX5	2,136	14.3	4.98	0.16	13.97	0.04	116.5	0.89
Dust stone with biomass ash Y								

Table 4. Density, water absorption, porosity and compressive strength of concrete samples (cont.)

Symbol	Density (kg/m ³)	SD	Water absorption (%)	SD	Porosity (%)	SD	Compressive strength (kg/cm ²)	SD
AY1	2,113	15.5	3.56	0.16	12.90	0.08	227.7	2.69
AY2	2,074	18.2	4.35	0.15	14.07	0.06	207.9	2.38
AY3	2,038	21.5	4.50	0.21	15.14	0.04	165.1	2.61
AY4	1,995	11.9	5.51	0.34	15.74	0.06	134.7	1.87
AY5	1,961	10.7	5.94	0.27	16.75	0.05	122.6	2.02
BY1	2,211	22.9	3.12	0.12	10.65	0.08	237.7	1.88
BY2	2,189	22.3	3.50	0.03	11.51	0.05	223.5	2.85
BY3	2,167	8.8	3.97	0.27	12.43	0.05	193.6	3.46
BY4	2,148	19.7	4.59	0.23	13.31	0.06	146.8	2.07
BY5	2,116	15.9	5.11	0.06	14.06	0.07	132.5	2.08

สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าซีเมนต์ Y พบว่า คอนกรีต AY1 มีความหนาแน่นมากกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 7.75 และคอนกรีต BY1 มีความหนาแน่นมากกว่า BY5 เฉลี่ยร้อยละ 4.49 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างไม่ผสมเถ้าซีเมนต์ทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 4.86 กลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าซีเมนต์ X ทั้งกลุ่ม AX และกลุ่ม BX มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 6.08 กลุ่มตัวอย่างผสมเถ้าซีเมนต์ Y ทั้งกลุ่ม AY และกลุ่ม BY มีความหนาแน่นเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 6.12 พิจารณาทุกกลุ่มพบว่า ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 5.68 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมซึ่งมีปริมาณหินปูนมากมีผลทำให้ความหนาแน่นลดลง

กรณีเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินปูนต่างชนิดกันพบว่า

ความหนาแน่นคอนกรีตไม่ผสมเถ้าซีเมนต์กลุ่ม B มีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 7.6 สอดคล้องกับผลการทดสอบกลุ่มที่ผสมเถ้าซีเมนต์ X และ Y ซึ่งพบว่า คอนกรีตกลุ่ม BX มีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 7.1 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีความหนาแน่นมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 6.4 เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.01 คอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีความหนาแน่นมากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เนื่องจากหินปูน B มีความถี่จำเพาะรวมมากกว่าหินปูน A ดังแสดงใน Table 1 อีกทั้งหินปูน B มีขนาดอนุภาคละกัณดีจึงทำให้ก้อนตัวอย่างมีความหนาแน่นมากกว่าหรือมีความพรุนน้อยกว่าดังแสดงใน Figure 5

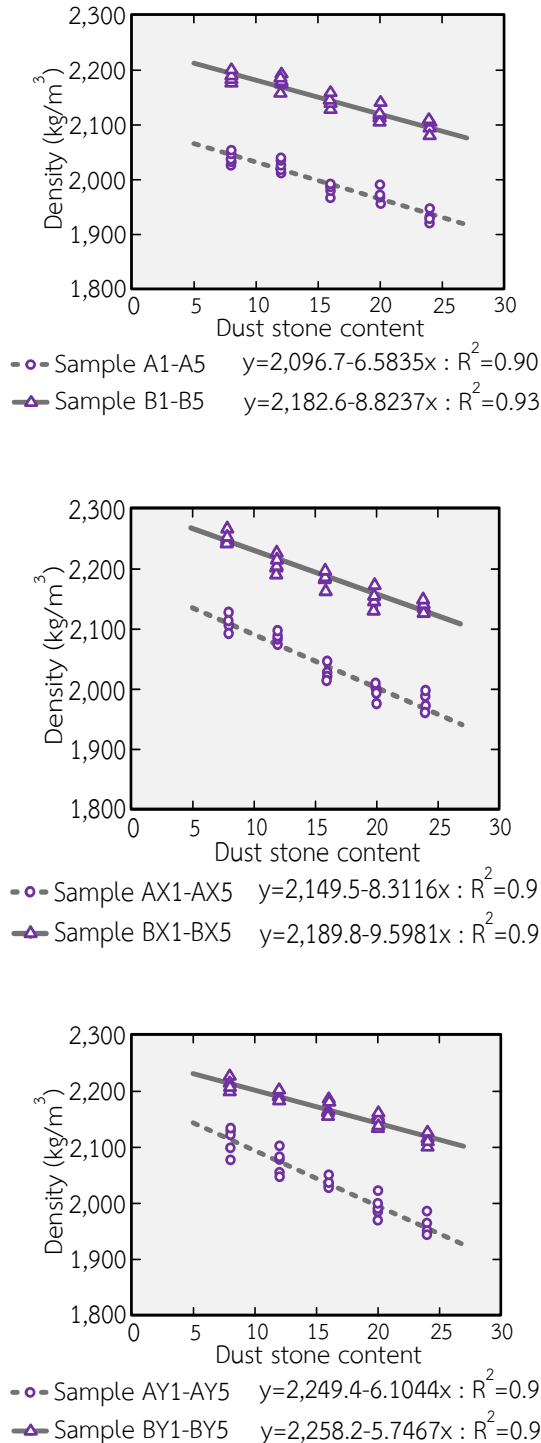


Figure 4. Density of concrete samples

กรณีเปรียบเทียบความหนาแน่นระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลและกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวลพบว่า กลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X หรือเถ้าชีวมวล Y มีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 2.24 และ 1.64 ตามลำดับ อนึ่งกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีความหนาแน่นมากกว่ากลุ่มผสมเถ้าชีวมวล Y เนื่องจากเถ้าชีวมวล X มีความถ่วงจำเพาะรวมมากกว่าเถ้าชีวมวล Y อีกทั้งเถ้าชีวมวล X มีขนาดอนุภาคเล็กกว่าเถ้าชีวมวล Y ซึ่งเห็นได้จากปริมาณที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 325 ดังแสดงใน Table 2 ทำให้อนุภาคเถ้าชีวมวลขนาดเล็กแทรกเข้าไปภายในช่องว่างระหว่างอนุภาคหินปูนได้ดีและส่งผลให้มีความหนาแน่นมากกว่าหรือมีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า

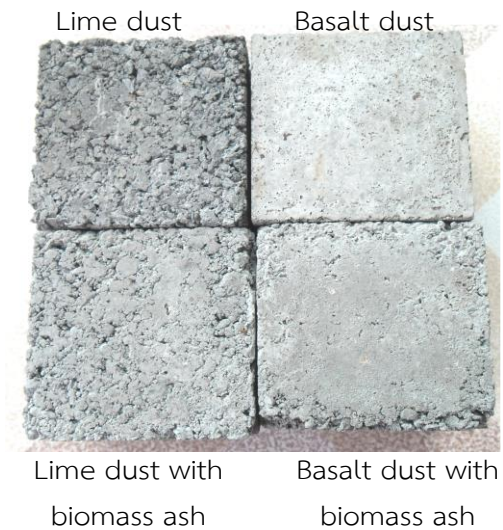


Figure 5. Concrete samples

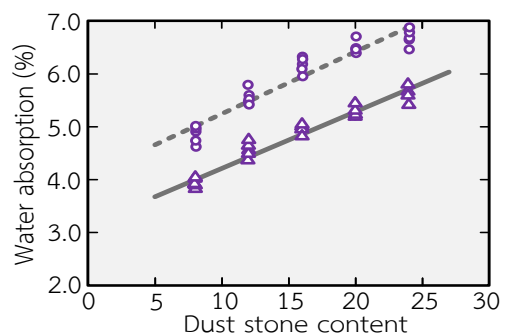
ตัวอย่างการทำนายความหนาแน่นเมื่อปริมาณหินปูนเปลี่ยนไป เช่น คอนกรีตกลุ่ม A ใช้อัตราส่วนผสมหินปูน 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์หรือ $x = 15$ จะมีความหนาแน่น $2,096.7 - (6.5835 \times 15) = 1,998$ กก./ลบ.ม. เป็นต้น

2. การดูดกลืนน้ำและความพรุน

จากผลการทดสอบการดูดกลืนน้ำและความพรุนที่แสดงใน Table 4, Figure 6, และ Figure 7 กรณีเปรียบเทียบการดูดกลืนน้ำและความพรุนระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินฝุ่นชนิดเดียวกันพบว่า คอนกรีตไม่ผสมเถ้าชีวมวล A1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 37.9 และคอนกรีต A1 มีความพรุนน้อยกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 24.7 คอนกรีต B1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 44.2 และมีความพรุนน้อยกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 29.1 ส่วนกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล X พบว่า คอนกรีต AX1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 69.8 และมีความพรุนน้อยกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 29.4 คอนกรีต BX1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 53.7 และมีความพรุนน้อยกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 32.0 สำหรับกลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล Y พบว่า คอนกรีต AY1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 66.9 และมีความพรุนน้อยกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 29.8 คอนกรีต BY1 มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่า BY5 เฉลี่ยร้อยละ 63.8 และมีความพรุนน้อยกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 32.0 กลุ่มตัวอย่างไม่ผสมเถ้าชีวมวลทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 41.1 และ 26.9 ตามลำดับ ส่วนกลุ่มตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X ทั้งกลุ่ม AX และกลุ่ม BX มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 61.8 และ 30.7 ตามลำดับ กลุ่มตัวอย่างที่ผสมเถ้าชีวมวล Y ทั้งกลุ่ม AY และกลุ่ม BY มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 น้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 65.4 และ 30.9 ตามลำดับ เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า คอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตรา

ส่วนผสม 1:8 มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนน้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 56.05 และ 29.53 ตามลำดับ ทั้งนี้กลุ่มที่ใช้อัตราส่วนผสมซึ่งมีปริมาณหินฝุ่นมากมีผลทำให้การดูดกลืนน้ำและความพรุนมากขึ้นสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลง

กรณีเปรียบเทียบการดูดกลืนน้ำและความพรุนระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินฝุ่นต่างชนิดกันพบว่า คอนกรีตกลุ่ม B มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 17.8 และคอนกรีตกลุ่ม B มีความพรุนน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 12.9 สอดคล้องกับผลการทดสอบกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X และ Y ซึ่งพบว่า คอนกรีตกลุ่ม BX มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 11.7 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 14.9 ขณะที่ความพรุนคอนกรีตกลุ่ม BX มีค่าน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 15.7 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีความพรุนน้อยกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 16.9 เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า คอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินฝุ่น B มีการดูดกลืนน้ำและความพรุนน้อยกว่าที่ผลิตจากหินฝุ่น A เฉลี่ยร้อยละ 17.72 และ 17.87 ตามลำดับ



-○- Sample A1-A5 $y=0.1148x+4.1101$; $R^2=0.91$
 -△- Sample B1-B5 $y=0.1071x+3.1756$; $R^2=0.95$

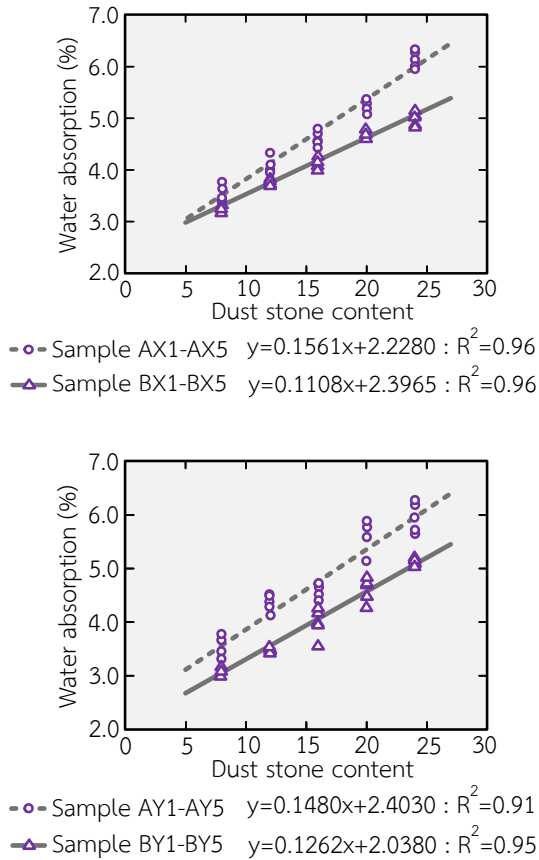


Figure 6. Water absorption of concrete samples

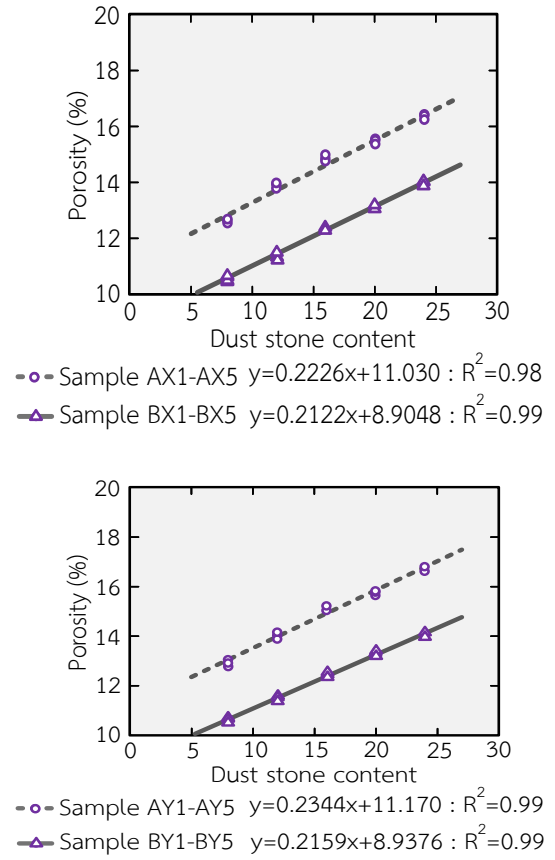
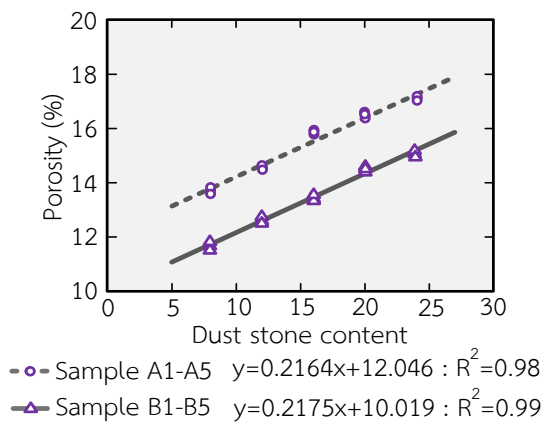


Figure 7. Porosity of concrete samples



กรณีเปรียบเทียบการดูดกลืนน้ำและความพรุนระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลและกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวลพบว่า กลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีการดูดกลืนน้ำลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 17.6 และกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล Y มีการดูดกลืนน้ำลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 18.4 ขณะที่กลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 7.4 และกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล Y มีความพรุนลดลงเมื่อเทียบกับคอนกรีตกลุ่มไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 6.0 เมื่อพิจารณาทุก

กลุ่มพบว่า คอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าซีวมวล X และเถ้าซีวมวล Y มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าไม่ผสมเถ้าซีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 21.83 และ 22.72 และมีความพรุนน้อยกว่าไม่ผสมเถ้าซีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 7.88 และ 6.22 ตามลำดับ

ตัวอย่างการทำนายการดูดกลืนน้ำและความพรุนเมื่อปริมาณหินฝุ่นเปลี่ยนไป เช่น คอนกรีตกลุ่ม AX ใช้อัตราส่วนผสมหินฝุ่น 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์หรือ $x = 15$ จะมีการดูดกลืนน้ำร้อยละ $(0.1561 \times 15) + 2.228 = 4.57$ และมีความพรุนร้อยละ $(0.2226 \times 15) + 11.03 = 14.37$ เป็นต้น

3. กำลังอัด

ผลการทดสอบกำลังอัดแสดงใน Table 4 และ Figure 8 กรณีเปรียบเทียบระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินฝุ่นชนิดเดียวกันพบว่า คอนกรีตไม่ผสมเถ้าซีวมวล A1 มีกำลังอัดมากกว่า A5 เฉลี่ยร้อยละ 100.3 และคอนกรีต B1 มีกำลังอัดมากกว่า B5 เฉลี่ยร้อยละ 84.8 ส่วนกลุ่มผสมเถ้าซีวมวล X พบว่า คอนกรีต AX1 มีกำลังอัดมากกว่า AX5 เฉลี่ยร้อยละ 117.5 และคอนกรีต BX1 มีกำลังอัดมากกว่า BX5 เฉลี่ยร้อยละ 110.9 สำหรับกลุ่มผสมเถ้าซีวมวล Y พบว่า คอนกรีต AY1 มีกำลังอัดมากกว่า AY5 เฉลี่ยร้อยละ 85.7 และคอนกรีต BY1 มีกำลังอัดมากกว่า BY5 เฉลี่ยร้อยละ 79.4 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างไม่ผสมเถ้าซีวมวลทั้งกลุ่ม A และกลุ่ม B มีกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 92.6 กลุ่มผสมเถ้าซีวมวล X ทั้งกลุ่ม AX และกลุ่ม BX มีกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 114.2 สำหรับกลุ่มผสมเถ้าซีวมวล Y ทั้งกลุ่ม AY และกลุ่ม BY มีกำลังอัดเฉลี่ยที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8

มากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 ร้อยละ 82.6 พิจารณาทุกกลุ่มพบว่า กำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 96.45 ทั้งนี้กลุ่มตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสมซึ่งมีปริมาณหินฝุ่นมากมีผลทำให้กำลังอัดลดลง

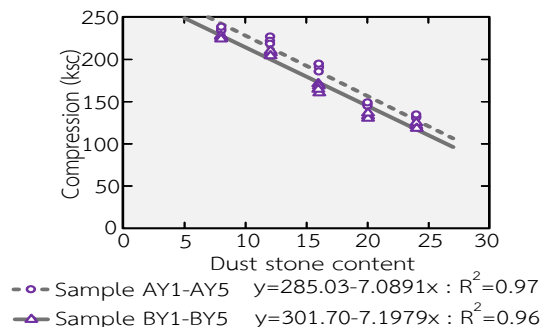
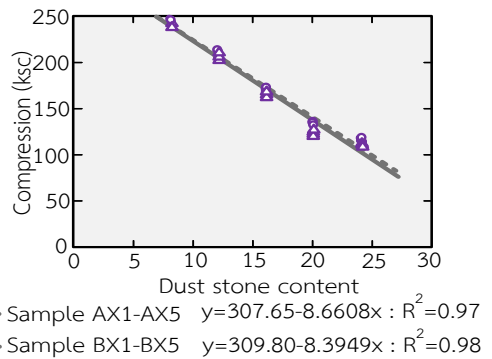
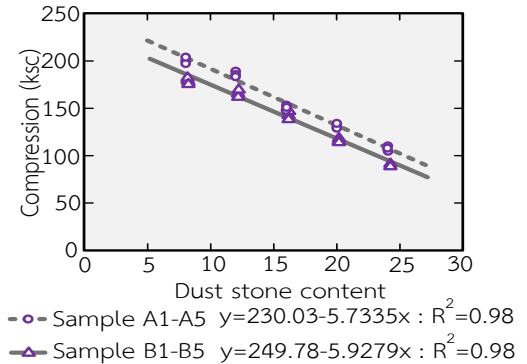


Figure 8. Compressive strength of samples

กรณีเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ใช้หินปูนต่างชนิดกันพบว่า คอนกรีตกลุ่ม B มีกำลังอัดมากกว่ากลุ่ม A เฉลี่ยร้อยละ 12.1 สอดคล้องกับกำลังอัดกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y ซึ่งพบว่า คอนกรีตกลุ่ม BX มีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AX เฉลี่ยร้อยละ 3.8 และคอนกรีตกลุ่ม BY มีกำลังอัดมากกว่าคอนกรีตกลุ่ม AY เฉลี่ยร้อยละ 8.9 เมื่อพิจารณาทุกกลุ่มพบว่า กำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.99 การที่คอนกรีตผลิตจากหินปูน B มีกำลังอัดมากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เนื่องจากก้อนตัวอย่างที่ผลิตเป็นรูปทรงลูกบาศก์ที่บิดันจึงทำให้ชิ้นงานที่ผลิตจากหินปูน B มีความหนาแน่นมากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A หรือมีความพรุนน้อยกว่าที่ผลิตจากหินปูน A กรณีนี้ถึงแม้ว่าหินปูน A จะมีปริมาณองค์ประกอบเคมี CaO ซึ่งช่วยในการเชื่อมประสานมวลรวมได้ดีกว่าหินปูน B แต่ก้อนตัวอย่างที่บิดันทำให้ความหนาแน่นและความพรุนชิ้นงานมีอิทธิพลต่อกำลังอัดมากกว่าองค์ประกอบเคมีในหินปูน อย่างไรก็ตามผลการทดสอบกำลังอัดอาจต่างออกไปหากก้อนตัวอย่างมีโพรงอยู่ภายในและมีผนังโพรงบาง

กรณีเปรียบเทียบกำลังอัดระหว่างคอนกรีตตัวอย่างกลุ่มที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลและกลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวลพบว่า กลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล X หรือเถ้าชีวมวล Y มีกำลังอัดเพิ่มขึ้นเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 17.49 และ 22.22 หนึ่งกลุ่มผสมเถ้าชีวมวล X มีกำลังอัดมากกว่ากลุ่มที่ผสมเถ้าชีวมวล Y สอดคล้องกับความหนาแน่นและความพรุนดังที่ได้กล่าวมาข้างต้น อีกทั้งเถ้าชีวมวล X มีองค์ประกอบเคมีของ CaO มากกว่าเถ้าชีวมวล Y ซึ่ง CaO สามารถช่วย

ซีเมนต์ในการเชื่อมประสานมวลรวมได้อย่างเด่นชัดในช่วง 28 วัน

ตัวอย่างการทำนายกำลังอัดเมื่อปริมาณหินปูนเปลี่ยนไป เช่น คอนกรีตกลุ่ม BY ที่ใช้อัตราส่วนผสมหินปูน 15 โดยน้ำหนักซีเมนต์หรือ $x = 15$ จะมีกำลังอัด $301.7 - (7.1979 \times 15) = 193.7$ กก./ตร.ซม. เป็นต้น

สรุปผลการวิจัย

1. ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 5.68 ความหนาแน่นคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.01 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีความหนาแน่นมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 2.24 และ 1.64 ตามลำดับ
2. การดูดกลืนน้ำคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 56.05 การดูดกลืนน้ำคอนกรีตตัวอย่างที่ผลิตจากหินปูน B มีค่าน้อยกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 17.72 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีการดูดกลืนน้ำน้อยกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 21.83 และ 22.72 ตามลำดับ
3. ความพรุนของคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่าน้อยกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 29.53 ความพรุนคอนกรีตตัวอย่างผลิตจากหินปูน B มีค่าน้อยกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 17.87 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีความพรุนน้อยกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 7.88 และ 6.22 ตามลำดับ

4. กำลังอัดคอนกรีตตัวอย่างที่ใช้อัตราส่วนผสม 1:8 มีค่ามากกว่าอัตราส่วนผสม 1:24 เฉลี่ยร้อยละ 96.45 กำลังอัดของคอนกรีตตัวอย่างผลิตจากหินปูน B มีค่ามากกว่าที่ผลิตจากหินปูน A เฉลี่ยร้อยละ 7.99 และคอนกรีตตัวอย่างผสมเถ้าชีวมวล X และเถ้าชีวมวล Y มีกำลังอัดมากกว่าที่ไม่ผสมเถ้าชีวมวลเฉลี่ยร้อยละ 17.49 และ 22.22 ตามลำดับ

5. คุณสมบัติทางกลของคอนกรีตตัวอย่างเมื่อเปรียบเทียบกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2530 พบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีกำลังอัดเฉลี่ย 5 ก้อนไม่น้อยกว่า 2.5 เมกะปาสคาล หรือ 25.49 กก./ตร.ซม. ซึ่งผ่านตามข้อกำหนด อย่างไรก็ตามผลการทดสอบดังกล่าวเป็นของก้อนตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ซึ่งอาจให้ผลต่างจากก้อนตัวอย่างมีโพรงอยู่ภายในและมีผนังกันโพรงบาง

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้สำเร็จลุล่วงได้ด้วยดีโดยได้รับความอนุเคราะห์วัสดุผสมจากกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตคอนกรีตบล็อก กลุ่มอุตสาหกรรมไม้อัดและกลุ่มอุตสาหกรรมผลิตกระแสไฟฟ้าชีวมวลในจังหวัดบุรีรัมย์ ตลอดจนได้รับความอนุเคราะห์ทดสอบคุณสมบัติวัสดุที่ใช้ในงานวิจัยจากศูนย์บริการวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยี มหาวิทยาลัยเชียงใหม่

เอกสารอ้างอิง

1. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. 2549. รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมเมืองแร่ในพื้นที่ ต.อีสาน อ.เมือง จ.บุรีรัมย์. สำนักงานอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่เขต 2 อุตรดิตถ์, อุตรดิตถ์.

- บริษัทไมน์เอ็นจิเนียริ่งคอนซัลแตนท์จำกัด. 2557. รายงานผลการปฏิบัติตามมาตรการป้องกันและแก้ไขผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมและมาตรการติดตามตรวจสอบคุณภาพสิ่งแวดล้อม : โครงการเหมืองแร่หินอุตสาหกรรมชนิดหินบะซอลต์เพื่ออุตสาหกรรมก่อสร้าง ประทานบัตรที่ 27271/15204. บริษัทไมน์เอ็นจิเนียริ่งคอนซัลแตนท์จำกัด, ปทุมธานี.
- กรมทรัพยากรธรณี. 2553. การจำแนกเขตเพื่อการจัดการด้านธรณีวิทยาและทรัพยากรธรณีจังหวัดบุรีรัมย์. บริษัทจันฉวนฉีเคียววี่ดีพรินท์ติ้งจำกัด, กรุงเทพฯ.
- สัจจะชาญ พัดมะลิและประทุม คำพุด. 2560. การใช้เทคโนโลยีสำหรับชุมชนในการพัฒนาผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกจากเศษหินบะซอลต์. การประชุมวิชาการระดับชาติมหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลรัตนโกสินทร์ ครั้งที่ 2. 1-11.
- ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2555. การใช้เถ้าขาน้อยเยื่อเป็นวัสดุปอชโซลานในงานคอนกรีต. วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. 16: 1-11.
- บุรฉัตร ฉัตรวีระและเพิ่มพล ศรีนวล. 2555. การศึกษาสมบัติของมอร์ต้าปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ประเภทที่ 5 ผสมเถ้าแกลบและผงหินปูน. วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี. 35(2): 201-218.
- ประจักษ์ ทูลกลสิกร, วีระชาติ ตั้งจิรภัทรและชัย จาตุรพิทักษ์กุล. 2557. Strength and Chloride Resistance of Recycled Aggregate Concrete Containing Ground Rice Husk Ash. วารสารสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย. 2: 8-16



8. วันโชค เครือหงส์, ธีรวัฒน์ สินศิริ, ชัย จาตุรพิทักษ์กุล และปริญญา จินดาประเสริฐ. 2555. การศึกษาโครงสร้างจุลภาคของซีเมนต์เพสต์ผสมเถ้าปาล์มน้ำมัน. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 35(2): 187-200.
9. สาโรจน์ ดำรงค์ศิลป์และสุวิมล สัจจาภิรักษ์. 2550. ผลกระทบของปูนซีเมนต์ผสมเถ้าขาน้อยและเถ้าลอยในลักษณะบดร่วมต่อคุณสมบัติทางกายภาพและเชิงกลของคอนกรีต. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 30(3): 489-499.
10. สุชีรา กุลชนะประสิทธิ์และชูชัย สุจิ๋วกุล. 2548. ผลกระทบของเถ้าขาน้อยต่อคุณสมบัติของมอร์ตาร์ปอร์ตแลนด์. *การประชุมวิชาการโยธาแห่งชาติครั้งที่ 10*. 67-72.
11. Gritsada, S. and Natt M. 2013. Use of Increasing Amounts of Bagasse Ash Waste to Produce Self-Compacting Concrete by Adding Limestone Power Waste. *Journal of Cleaner Production*. 1-12.
12. สุชาดา ศรีไพโรจน์กุล. 2539. การศึกษาคุณภาพของหินปูนและโดโลไมต์จากแหล่งต่าง ๆ ของประเทศไทยโดยวิธี XRF. กรมทรัพยากรธรณี, กรุงเทพฯ.
13. อาทิตมา ดวงจันทร์และสุวิมล สัจจาภิรักษ์. 2548. คอนกรีตบดอัดผสมเถ้าขาน้อย. *การประชุมวิชาการคอนกรีตแห่งชาติครั้งที่ 2*. 6-10.
14. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย. 2540. ว.ส.ท. 1014-40 : ข้อกำหนดมาตรฐานวัสดุและการก่อสร้างสำหรับโครงสร้างคอนกรีต. วิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย, กรุงเทพฯ.
15. บุรฉัตร ฉัตรวีระ, สุธี จริยธีรเวชและณัฐ มากุล. 2552. คุณสมบัติของคอนกรีตบดอัดกลวงชนิดไม่รับน้ำหนักและไม่ควบคุมความชื้นผสมแร่ดินเบาและเถ้าขาน้อย. *วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี*. 32(1): 59-76.
16. สิทธิชัย แสงอาทิตย์. 2556. อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินปูนที่เหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบดอัดหรืออิฐบดอัด. *วารสารคอนกรีต*. 20: 1-5.
17. วิษณุรักษ์ เทียมวีรสกุลและนที อतिकุณการ. 2543. การศึกษากำลังรับแรงอัดของมอร์ตาร์ผสมเถ้าขาน้อย. มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์, กรุงเทพฯ.
18. พงษ์ธร จุฬพันธ์ทอง. 2557. การพัฒนาวัสดุผสมปูนหินอ่อน-เถ้าขาน้อยเพื่อเป็นวัสดุซีเมนต์สำหรับอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตบดอัด. มหาวิทยาลัยนเรศวร, พิษณุโลก.
19. มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. 2530. มอก. 58-2530 : คอนกรีตบดอัดไม่รับน้ำหนัก. กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ.