



การศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทราย

กรณีศึกษา หินฝุ่นบะชอลต์จากโรงโม่หินนารัตน์

Study of Compressive Strength of Concrete in Case Study using Basalt Dust

Aggregate from Nawarat Crushing Plant as Sand Replacement

สุรัชย์ โกเมนธรรมโสภณ^{1*}

Surachai Komenthammasopon^{1*}

(Received: February 20, 2020; Revised: March 23, 2020; Accepted: April 22, 2020)

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทราย กรณีศึกษาหินฝุ่นบะชอลต์จากโรงโม่หินนารัตน์ รวมไปถึงการศึกษาการประยุกต์ใช้ในงานวิศวกรรมโยธา ทั้งนี้จะใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 (แทนทรายทั้งหมด) โดยน้ำหนัก การผสมคอนกรีตใช้อัตราส่วน 1:2:4 (ปูนซีเมนต์:ทราย:หิน) โดยน้ำหนัก ที่อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) เท่ากับ 0.55 ค่าการยุบตัวของคอนกรีต (Slump) ที่ผสมหินฝุ่นบะชอลต์ อยู่ในช่วง 7.0 - 8.5 ซม. ทั้งนี้ปรากฏว่าการรับกำลังอัดของคอนกรีต เมื่ออายุการบ่มน้ำ 28 วัน ของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์แทนทราย มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 173 - 229 กก./ตร.ซม. (หรือเฉลี่ย 200 กก./ตร.ซม.) โดยคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทราย ที่อัตราส่วนร้อยละ 80 โดยน้ำหนักได้ให้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดที่ 229 ± 2.90 กก./ตร.ซม. ทั้งนี้เมื่อเปรียบเทียบกับค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดนี้ กับค่ากำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสมตามปกติ ที่มีค่ากำลังอัด 272 กก./ตร.ซม. จะเห็นว่าคอนกรีตปกติมีค่ากำลังอัดสูงกว่าประมาณ 15.8% ในส่วนของการประยุกต์ใช้ หากพิจารณามาตรฐาน มยพ.1101-52 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ที่กำหนดค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุด ที่ 150 180 210 และ 240 กก./ตร.ซม. สำหรับคอนกรีตประเภท ค1 (งานก่อสร้างทั่วไป) ค2 ค3 และ ค4 พบว่า คอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะชอลต์แทนทรายทุกอัตราส่วนร้อยละ ให้ค่ากำลังอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน และมีศักยภาพสูงที่จะประยุกต์ใช้ในงานก่อสร้างทางโยธาด้านต่าง ๆ

คำสำคัญ: หินฝุ่นบะชอลต์ ทราย คอนกรีต กำลังอัด

¹มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

¹Rajamangala University of Technology Thanyaburi

*Corresponding Author: surachai.k@en.rmutt.ac.th



Abstract

The research objectives were to investigate the compressive strength of the concrete, comprising partly in its mixture the basalt dust aggregate from Nawarat crushing plant as case study and to study its application in civil engineering. The basalt dust partially replaces quantity of sand in the concrete mixture were ranged from the ratio of 0, 20, 40, 60, 80, and 100 % (only basalt dust aggregate) by weight. The proportion of cement, sand and rock aggregate was 1:2:4 by weight and the water-cement ratio of the mixture (W/C) was 0.55. The slump of the partially-mixed concrete was 7.0-8.5 cm. The experimental results of this research project found that the compressive strengths at 28 days water curing for different proportions ranged from 173 to 229 kilograms per square centimeter (ksc) (or average value at 200 ksc). The outcomes also indicated that the concrete with 80 percentage of basalt dust in place of sand gave the highest compressive strength at 229 ± 2.90 ksc. The strength of normal concrete was 272 ksc which was higher than 15.8%, compared with the peak at 229 ksc of the partially mixed. For the application viewpoint, the standard of the Department of Public Works and Town & City Planning (DPT) 1101-52 had specified the lowest ultimate compressive strength at 150, 180, 210, and 240 ksc for the concrete type K1 (general civil construction) K2, K3 and K4. Thus, the strengths of concrete comprising of basalt dust as sand replacement for all proportions should comply the standard of concrete. The partly basalt mixed concrete therefore give high potential for the application in various civil constructions.

Keywords: Basalt dust, Sand, Concrete, Compressive strength

บทนำ

คอนกรีตเป็นองค์ประกอบหลักสำคัญ และจำเป็นในการทำโครงสร้างส่วนใหญ่ในงานด้านวิศวกรรมโยธา ซึ่งเป็นงานที่มีบทบาทและผูกโยงกับความเจริญของสังคมมนุษย์และประเทศอย่างมาก เช่น การสร้างอาคารบ้านเรือน ที่อยู่อาศัย โรงเรียน โรงงานอุตสาหกรรม งานโครงสร้างพื้นฐาน (Infrastructure) เพื่อการคมนาคมขนส่งและการขนส่งมวลชน (Mass transit) ถนน รถไฟความเร็วสูงมอเตอร์เวย์ อื่น ๆ ดังนั้น งานด้านวิศวกรรมโยธา จึงมีการขยายตัวอย่างต่อเนื่องตลอดเวลา อย่างไรก็ตาม งานโครงสร้างต่าง ๆ ในงานก่อสร้างเหล่านี้จำเป็นต้องใช้คอนกรีตเนื่องจากเป็นวัสดุที่สามารถออกแบบให้รับน้ำหนักได้ตามความต้องการการ มีความคงทนถาวร และมีอายุการใช้งานยาวนาน (Kingkaew, Chaijit, Chotchuay, & Chaihan, 2015)



วัสดุผสมคอนกรีตที่ใช้ในงานก่อสร้าง โดยส่วนใหญ่จะประกอบด้วยหินก่อสร้างหรือกรวด และทราย โดยรวมเรียกว่ามวลรวม (Aggregates) โดยจะต้องเป็นวัสดุเฉื่อย (Inert material) ที่ไม่ทำปฏิกิริยากับซีเมนต์เพสต์ (Cement paste) โดยมีหน้าที่ในการแทรกในเนื้อซีเมนต์เพสต์ประมาณสามในสี่ส่วนของเนื้อคอนกรีต และจะต้องมีราคาถูกกว่าปูนซีเมนต์ ดังนั้นมวลรวม จึงต้องมีหน้าที่ทำให้ราคาคอนกรีตถูกลงด้วย โดยที่คอนกรีตจะต้องมีสมบัติที่เราต้องการคงเดิม (Chovichian, 2001)

หินฝุ่นบะซอลต์จากโรงโม่หินของบริษัท บุรีรัมย์วรรณ จำกัด เป็นหินก่อสร้างชนิดหนึ่งที่เป็นผลผลิตจากการโม่หินบะซอลต์ในโรงโม่ โดยหินบะซอลต์ที่นำมาโม่เป็นหินที่ขนส่งมาจากหน้างานการทำเหมืองหินก่อสร้าง ซึ่งโดยปกติ ผลผลิตที่ได้จากโรงโม่หินก่อสร้าง จะประกอบไปด้วย หินก่อสร้างชนิดต่าง ๆ ได้แก่ หิน 1 นิ้ว หิน 3/4 นิ้ว หินเกล็ด (หรือหิน 3/8 นิ้ว) และ หินฝุ่น (หรือ หิน 3/16 นิ้ว) (Nokkaew, 2015) อย่างไรก็ตาม หินฝุ่นมักจะเป็นผลผลิตของโรงโม่ที่มียอดจำหน่ายน้อย หลายครั้งเป็นภาระแก่ผู้ประกอบการในการหาพื้นที่เก็บกอง สิ้นเปลืองค่าใช้จ่ายในการขนย้าย ดังนั้นผู้ประกอบการบางรายจึงถือว่า หินฝุ่น เป็นวัสดุเหลือใช้ที่ไม่มีประโยชน์ และก่อให้เกิดค่าใช้จ่ายอีกส่วนหนึ่ง ทั้งนี้ได้มีการประมาณการว่า ผลผลิตหินฝุ่นบะซอลต์จากโรงโม่หินในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ และจังหวัดใกล้เคียงมีประมาณ 2 ล้านตันต่อปี

โครงการทดลองการใช้หินฝุ่นชนิดหินต่าง ๆ แทนทรายในคอนกรีตของกลุ่มนักวิจัยในอดีตที่ผ่านมา มีเป้าหมายแตกต่างกัน หลายโครงการที่ศึกษาสมบัติเชิงกลของคอนกรีต (Suresh & Manjunatha, 2016) โครงการศึกษาวิจัยคุณสมบัติทางโครงสร้างของคอนกรีตที่ใช้ทรายจากศิลาแลง (lateritic soil) และหินฝุ่นชนิดหินต่าง ๆ เป็นมวลรวมละเอียด (Ukpata, Ephraim, & Akeke, 2012) เป็นการศึกษาวิจัย เพื่อให้ได้ข้อมูลเชิงวิชาการที่ถูกต้อง เป็นโครงการตามนโยบายของรัฐ เพื่อสนับสนุนการสร้างบ้านเรือน ที่อยู่อาศัยที่นิยมในภาคใต้ของประเทศไทย เพื่อให้ได้ราคาที่เหมาะสมสามารถจัดหาหรือสร้างเองได้ รวมทั้งมีความปลอดภัยไม่ก่อให้เกิดอันตรายเหมือนที่เกิดขึ้น ในเมืองสำคัญ ๆ ของประเทศ โครงการศึกษาวิจัยการใช้หินฝุ่นชนิดหินปูน (Nijansansri, 2005) และ หิน แกร นิต (Komenthammasopon, 2013) เพื่อใช้แทนทรายในส่วนผสมของคอนกรีตโดยศึกษาการรับกำลังอัดและการประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างทางโยธา เป็นการศึกษาเพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับหินฝุ่น และเป็นการอนุรักษ์ใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้เกิดประโยชน์สูงสุด โครงการวิจัยเปรียบเทียบเชิงเทคนิคและเชิงเศรษฐศาสตร์ในการใช้หินฝุ่นชนิดหินบะซอลต์ และหินไนส์ แทนทรายจากแม่น้ำ (alluvial sand) ในการผสมคอนกรีต (Leroy, Guy Molay, Joseph, Colince, & Bienvenu, 2017) ปรากฏว่า มีความเป็นไปได้ที่จะใช้หินฝุ่นทั้งสองชนิดหิน แทนทรายจากแม่น้ำเพื่อผลิตคอนกรีต เมื่อพิจารณาจากค่ากำลังอัดที่ได้ โดยมีค่าใช้จ่ายที่ลดลงจากค่าขนส่ง และแหล่งทรายแม่น้ำที่หายาก นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยลดปัญหา



ทางด้านสิ่งแวดล้อมจากการใช้ทรายแม่น้ำมากเกินไป ซึ่งส่งผลกระทบให้แนวเส้นทางรถไฟของแม่น้ำเปลี่ยนแปลงเร็วและต่อเนื่องขึ้น

วัตถุประสงค์

1. เพื่อศึกษากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายที่อัตราส่วนต่าง ๆ
2. เพื่อศึกษาสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินฝุ่นบะชอลต์จากโรงโม่หินของบริษัท บุรีรัมย์ นวัตกรรม จำกัด ได้แก่ ความถ่วงจำเพาะ อัตราการดูดซึมน้ำ ขนาดผลของมวลรวม และโมดูลัสความเค้นเฉือน
3. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ในการนำคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะชอลต์แทนทรายที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ ไปประยุกต์ใช้ในงานโครงสร้างทางโยธาบางประเภท

วิธีการวิจัย

วิธีการดำเนินงานของโครงการวิจัยมีขั้นตอนการปฏิบัติดังนี้

1. ศึกษาข้อมูลทางเอกสาร
2. การสำรวจแหล่งวัสดุผสมคอนกรีต
3. การเก็บตัวอย่างวัสดุผสมคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นบะชอลต์จากโรงโม่หินของบริษัท บุรีรัมย์ นวัตกรรม จำกัด ที่ตำบลสวายจิก อำเภอเมือง จังหวัดบุรีรัมย์
4. การทดสอบสมบัติทางวิศวกรรมของวัสดุผสมคอนกรีต ประกอบด้วย สัดส่วนของมวลผล ค่าความถ่วงจำเพาะ การดูดซึมน้ำ ค่าปริมาณความชื้น หน่วยน้ำหนักของมวลรวม
5. ผสมคอนกรีตโดยใช้หินฝุ่นบะชอลต์แทนทรายในอัตราส่วนร้อยละ 0 (ผสมทรายตามปกติ) 20 40 60 80 และ 100 (แทนทรายทั้งหมด) โดยน้ำหนัก การผสมคอนกรีตใช้อัตราส่วน 1 : 2 : 4 (ปูนซีเมนต์ : ทราย : หินก่อสร้าง) โดยน้ำหนัก และ ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ เท่ากับ 0.55
6. หล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก ตามมาตรฐาน ASTM C192 เส้นผ่านศูนย์กลาง 15 ซม. สูง 30 ซม. จำนวน 170 ตัวอย่าง
7. ทดสอบความสามารถในการรับแรงอัดของแท่งคอนกรีตที่อายุการบ่ม 7 14 21 และ 28 วัน
8. วิเคราะห์ผลการทดสอบ
9. สรุปผลการวิจัยและข้อเสนอแนะ



ตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบ

แท่งตัวอย่างคอนกรีตรูปทรงกระบอก จะมีส่วนผสมประกอบด้วยมวลรวมละเอียดที่เป็นทรายและหินฝุ่นบะซอลต์ จากโรงโม่ของ บริษัทบุรีรัมย์วรรัตน์ จำกัด จังหวัดบุรีรัมย์ มวลรวมหยาบที่เป็นหินปูน ขนาด 3/4 นิ้ว จากโรงโม่ในเขต จังหวัดสระบุรี นำวัสดุรวมเหล่านี้มาทดสอบหาคุณสมบัติทางด้านวิศวกรรม จากนั้นผสมแท่งคอนกรีตตัวอย่าง โดยใช้หินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 0 20 40 60 80 และ 100 (แทนทรายทั้งหมด) โดยน้ำหนัก แท่งตัวอย่างคอนกรีตแต่ละอัตราส่วนผสมนี้จะถูกนำไปทดสอบหาความสามารถในการรับกำลังอัด หลังจากอายุการบ่ม 7 14 21 และ 28 วัน จะใช้แท่งตัวอย่างจำนวน 5 แท่ง สำหรับแต่ละอัตราส่วนผสม และอายุการบ่ม ทั้งนี้จำนวนแท่งตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบมีจำนวนทั้งสิ้น 170 ตัวอย่าง เป็นส่วนที่ใช้ในการทดสอบเบื้องต้น 120 ตัวอย่าง และส่วนที่ใช้ในการทดสอบเพิ่มเติม เพื่อการวิเคราะห์ ยืนยันผล จากการวิจัยทดสอบเบื้องต้น อีก 50 ตัวอย่าง

หลังการทดสอบเบื้องต้น คาดว่าจะได้ค่ากำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต ที่อัตราส่วนผสมของหินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายค่าหนึ่ง จากนั้นจะดำเนินการทดสอบเพิ่มเติม เพื่อวิเคราะห์ยืนยันให้มั่นใจว่าค่ากำลังอัดสูงสุดและอัตราส่วนแทนที่ทรายที่ได้ เป็นค่าที่ดีที่สุด (optimum) ที่แท้จริงหรือไม่ ทั้งนี้โดยการทดสอบตัวอย่างเพิ่มเติม และกำหนดอัตราส่วนแทนทราย คร่อมอัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุดนั้น ซึ่งจะเป็นช่วงที่แคบเข้า (เป็นอัตราส่วนร้อยละมากกว่า และน้อยกว่าอัตราส่วนที่ให้ค่าสูงสุด ร้อยละ 10) ซึ่งค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่อัตราส่วนแทนทรายในช่วงที่แคบเข้า จะแสดงแนวโน้ม (trend) ยืนยันความน่าเชื่อถือ ความถูกต้องของผลลัพธ์ที่ได้จากการทดสอบเบื้องต้น อนึ่ง เฉพาะตัวอย่างที่อายุการบ่ม 28 วัน จะใช้จำนวน 10 ตัวอย่าง ดังนั้น จำนวนตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเพิ่มเติม เพื่อการวิเคราะห์ยืนยันผล มีจำนวนรวมทั้งสิ้น 50 ตัวอย่าง

วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

วัสดุที่ใช้ทดสอบครั้งนี้ประกอบด้วย

1. วัสดุประสาน ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 (Portland Cement Type 1)
2. วัสดุผสมมวลรวมละเอียด ประเภททราย ใช้ทรายที่มีสัดส่วนมวลกละ ตามมาตรฐาน ASTM C33
3. วัสดุผสมมวลรวมละเอียดประเภทหินฝุ่นบะซอลต์ที่ใช้เป็นวัสดุทดแทนทราย เป็นหินฝุ่นจากโรงโม่หินของบริษัทบุรีรัมย์ วรรัตน์ ต.สวายจิก อ.เมือง จ.บุรีรัมย์
4. วัสดุผสมมวลรวมหยาบใช้หินขนาด 3/4 นิ้ว ที่มีสัดส่วนมวลกละเป็นไปตามมาตรฐาน ASTM C33 จากโรงโม่หิน ในเขตจังหวัด สระบุรี
5. น้ำ ที่ใช้ผสมคอนกรีตเป็นน้ำประปาที่ใช้ตามบ้าน



วิธีการทดสอบ

การวิจัยครั้งนี้ได้ใช้วิธีการทดสอบวัสดุตามมาตรฐานของสมาคมทดสอบวัสดุประเทศสหรัฐอเมริกา (American Society for Testing Material: ASTM) โดยได้กำหนดวิธีการทดสอบตามมาตรฐานดังต่อไปนี้

1. การทดสอบหาค่าปริมาณความชื้นของมวลรวมละเอียด (Test for Total Moisture Content of Aggregate by Drying) ใช้มาตรฐาน ASTM C70 – 20 (2020)
2. การทดสอบหาส่วนขนาดละเอียดของมวลรวม (Test for Sieve or Screen Analysis of Fine and Coarse Aggregate) ใช้มาตรฐาน ASTM C136/C136 M – 19 (2019)
3. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมหยาบ (Test for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate) ใช้มาตรฐาน ASTM C127 – 15 (2015)
4. การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำของมวลรวมละเอียด (Test for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate) ใช้มาตรฐาน ASTM C128 – 15 (2015)
5. การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักของมวลรวม (Test for Unit Weight in Aggregate) ใช้มาตรฐาน ASTM C29/C29M – 17a (2017)
6. การทดสอบค่าการยุบตัว (Test for Slump of Portland Cement Concrete) ใช้มาตรฐาน ASTM C143/C143M – 15a (2015)
7. การหล่อแท่งคอนกรีตตัวอย่างรูปทรงกระบอก (Standard Practice for Making Concrete Test Specimens in the Laboratory) ใช้มาตรฐาน ASTM C192/C192M – 19 (2019)
8. การทดสอบกำลังรับแรงอัดของแท่งคอนกรีต (Test for Compressive Strength of Concrete) ใช้มาตรฐาน ASTM C39/C39M – 20 (2020)

ผลการวิจัย

ผลการวิจัยทดสอบที่ได้เป็นค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน และสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินฝุ่นบะซอลต์

1. ผลการทดสอบสมบัติทางด้านวิศวกรรมพื้นฐานของ หินฝุ่นบะซอลต์ และทราย มีดังนี้

1.1 การทดสอบหาขนาดละเอียดของ หินฝุ่นบะซอลต์ และทราย ปรากฏว่าหินฝุ่นบะซอลต์มีขนาดละเอียดกว่าทราย และหยาบกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C33 ส่วนขนาดละเอียดของทราย เป็นไปตามเกณฑ์ (ภาพที่ 1 และ 2)



1.2 หินฝุ่นบะชอลต์ และทราย มีค่า ความถ่วงจำเพาะ อัตราการดูดซึมน้ำ ปริมาณความชื้น และ โมดูลัสความละเอียด ตามที่แสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 แสดงรายละเอียดของสมบัติมวลรวม

สมบัติของมวลรวม	หินฝุ่นบะชอลต์	ทราย
ความถ่วงจำเพาะ	2.87	2.56
อัตราการดูดซึมน้ำ (ร้อยละ)	2.30	0.83
ความชื้น (ร้อยละ)	4.18	3.11
โมดูลัสความละเอียด	3.28	2.54
ขนาดกละ (ASTM C33)	หยาบกว่าเกณฑ์มาตรฐาน	อยู่ในเกณฑ์มาตรฐาน

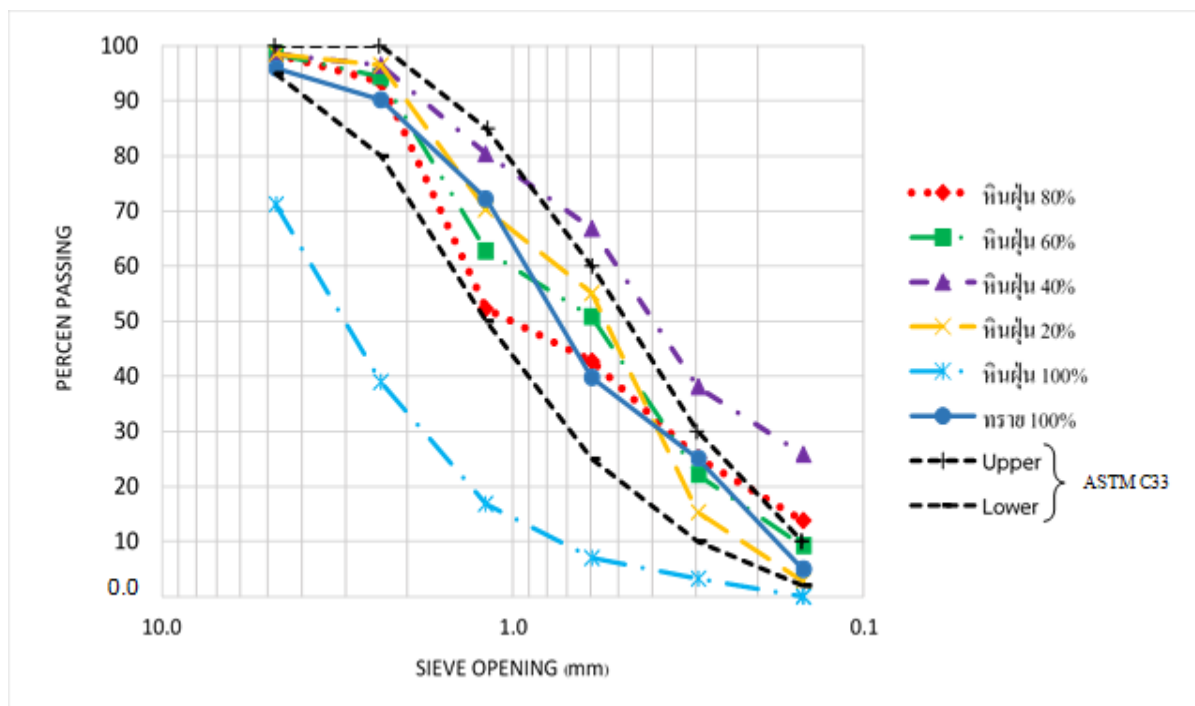
2. ผลการทดสอบด้านกำลังอัดของคอนกรีต ที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์แทนทราย มีดังต่อไปนี้

2.1 คอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทราย ร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ให้ค่า กำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดที่ 229 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยมีค่าการยุบตัวที่ 8.5 ซม.

2.2 การรับกำลังอัดของคอนกรีต ของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์แทนทราย มีค่า แตกต่างกันในช่วง 173 - 229 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน (หรือ เฉลี่ย 200 กก./ตร.ซม.) (ภาพที่ 3)

2.3 คอนกรีตที่ผสมตามปกติ มีค่ากำลังอัด 272 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน ซึ่งมีค่าสูงกว่าค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุด 229 กก./ตร.ซม. ประมาณ 15.8%

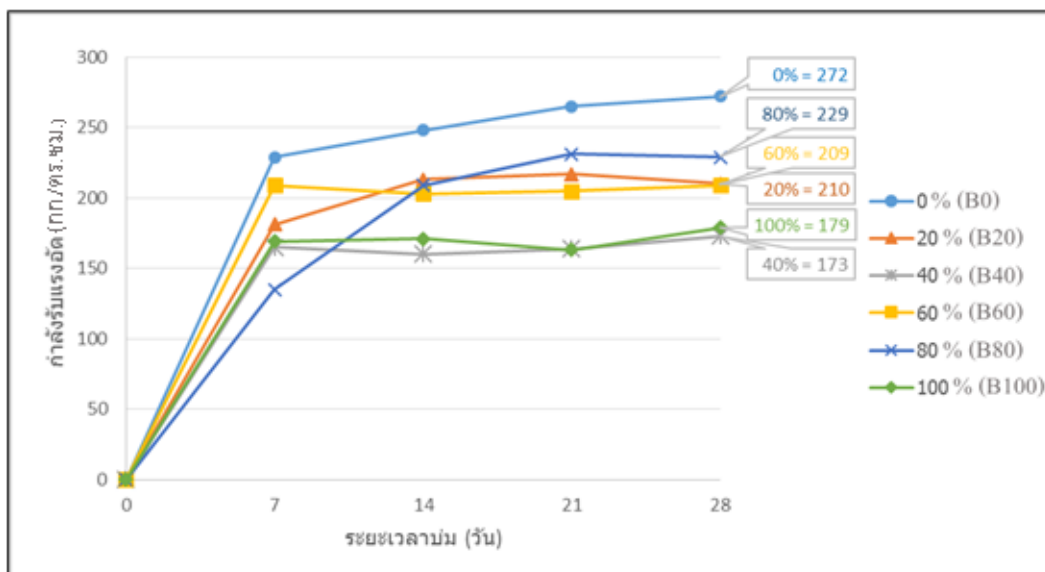
ผลการทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีต ตามภาพที่ 3 ที่นำเสนอข้างล่าง ได้รับการวิเคราะห์เพิ่มเติมในประเด็นความน่าเชื่อถือ ความมั่นใจ และความแปรปรวน ของค่ากำลังอัดสูงสุด 229กก./ตร.ซม. รวมไปถึง การพิจารณาถึงแนวทางการประยุกต์ใช้ในงานด้านวิศวกรรมโยธา



ภาพที่ 1 แสดงการกระจายตัวของขนาดเม็ด (Grainsize distribution) ของทราย หินฝุ่นบะชอลต์ ทรายผสม หินฝุ่นบะชอลต์ ที่อัตราส่วนต่าง ๆ และช่วงขอบเขต (upper and lower) ตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C33



ภาพที่ 2 ภาพถ่ายเปรียบเทียบขนาดเม็ด (grainsize) ระหว่างทราย และ หินฝุ่นบะชอลต์ที่ไม่ได้คัดขนาด



ภาพที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายที่อัตราส่วนผสมต่าง ๆ กัน โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (W/C) 0.55 (B100 = หินฝุ่นแทนทรายทั้งหมด B80 = หินฝุ่น แทนที่ทราย ร้อยละ 80 และ B0 = ผสมทรายตามปกติ (ไม่มีหินฝุ่น))

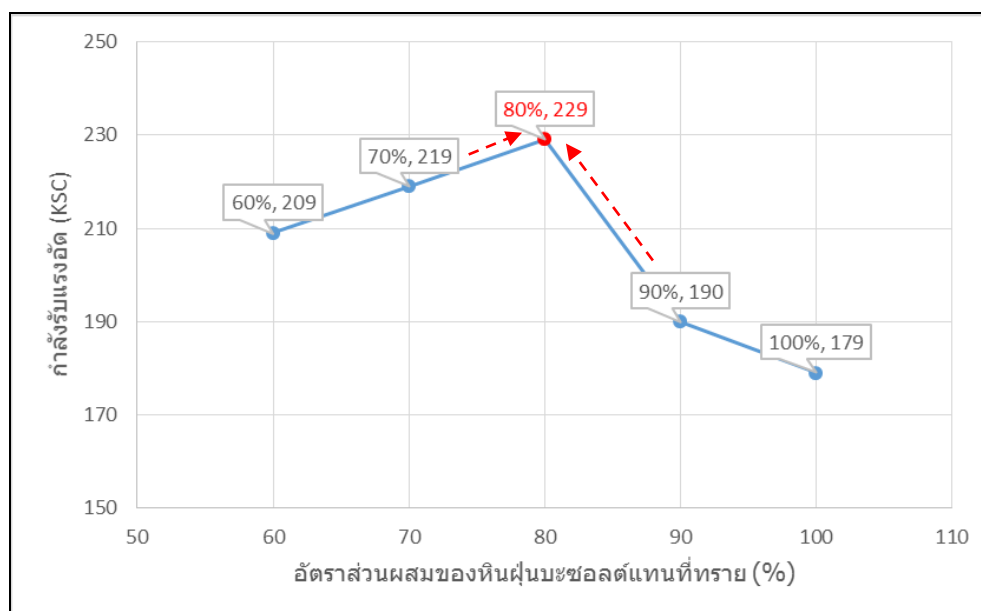
เนื่องจากค่าอัตราส่วนผสมของหินฝุ่นบะซอลต์แทนทราย ในช่วงร้อยละ 60 80 และ 100 ยังเป็นช่วงที่กว้าง ดังนั้น เพื่อตรวจสอบความคลาดเคลื่อนที่อาจเกิดจากผลการทดสอบ และเพื่อยืนยันผลให้ได้ความมั่นใจ ความน่าเชื่อถือ ของค่ากำลังอัดสูงสุดที่ได้ จึงทำการทดสอบกำลังอัดของแท่งตัวอย่างคอนกรีตเพิ่มเติม ในช่วงที่แคบเข้าที่อัตราส่วนร้อยละ 70 และ 90 (ตารางที่ 2 และ ภาพที่ 4) ประเด็นถัดไปที่จะตรวจสอบคือความแปรปรวนของค่ากำลังอัดสูงสุดที่ได้ โดยการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) (ตารางที่ 3) ทั้งนี้ สิ่งที่จะพิจารณาเป็นประเด็นสุดท้ายคือการประยุกต์ใช้ ซึ่งจะพิจารณาจากมาตรฐานของกรมโยธาธิการและผังเมือง มยพ.1101-52 (ตารางที่ 4) มาตรฐานนี้ได้กำหนดค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุดสำหรับคอนกรีตแต่ละประเภทที่ใช้ในงานก่อสร้าง



ตารางที่ 2 ผลการทดสอบการรับกำลังอัดที่อัตราส่วนผสมของหินฝุ่นบะซอลต์แทนที่ทรายร้อยละ 60 70 80 90 และ 100

อายุการบ่ม (วัน)	กำลังอัดของคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์ที่ W/C = 0.55 (ksc)				
	ร้อยละ 60	ร้อยละ 70	ร้อยละ 80 *	ร้อยละ 90	ร้อยละ 100
7	209	177	135	160	169
14	203	188	209	188	171
21	205	226	213	191	163
28	209	219	229	190	179

หมายเหตุ* กำลังอัดของคอนกรีต(อายุการบ่ม 28 วัน)ที่อัตราส่วนผสมหินฝุ่นบะซอลต์ คิดเป็นร้อยละ 80 ให้กำลังอัดสูงกว่าอัตราส่วนผสมอื่นๆ



ภาพที่ 4 แสดงการเปรียบเทียบให้เห็นแนวโน้ม (trend) ไปสู่กำลังอัดสูงสุดของคอนกรีต ที่ใช้หินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายในช่วงอัตราส่วนร้อยละ 60 70 80 90 และ 100 ที่อายุการบ่ม 28 วัน



ตารางที่ 3 แสดงรายละเอียดการคำนวณค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ของแท่งตัวอย่างที่ทดสอบเพิ่มเติม เพื่อตรวจสอบความแปรปรวนของค่ากำลังอัดสูงสุดที่ได้

ตัวอย่างที่	ผลการทดสอบของตัวอย่างที่ใช้หินปูนบะซอลต์เป็นส่วนผสมแทนทรายที่ร้อยละ 80		
	ผลการทดสอบที่อายุ 28 วัน (kN)	หน่วย ksc	$(x_i - \bar{x})^2$
1	380	226.10	6.65
2	385	228.98	0.09
3	380	225.07	13.03
4	385	230.04	1.85
5	380	225.11	12.74
6	385	232.08	11.56
7	390	231.95	10.69
8	386	230.14	2.13
SUM	-	1829.47	58.74
ค่าเฉลี่ย	-	228.68	-
ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (Standard deviation: S.D.)			± 2.90

ตารางที่ 4 ค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุดของคอนกรีตแต่ละประเภทตามมาตรฐาน มยผ.1101-52 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง (Standard of the Department of Public, 2020)

ประเภท ของคอนกรีต	กำลังอัดประลัยต่ำสุดของแท่งคอนกรีตมาตรฐานที่อายุ 28 วัน	
	ลูกบาศก์ 150x150x150 มม. (กก./ตร.ซม.)	ทรงกระบอก D150x300 มม. (กก./ตร.ซม.)
ค1	190	150
ค2	210	180
ค3	240	210
ค4	280	240



อภิปรายผล

คอนกรีตที่แต่ละอัตราส่วนผสมของหินฝุ่นบะซอลต์แทนทราย ควรมีค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้น เมื่ออายุการบ่มมากขึ้น แต่เนื่องจากการวิจัยทดลองครั้งนี้ การทำให้คอนกรีตแน่นระหว่างการหล่อตัวอย่าง ได้ใช้แรงงานคน ดังนั้น ค่ากำลังอัดของคอนกรีตอาจมีความคลาดเคลื่อน อย่างไรก็ตามค่ากำลังอัดของคอนกรีต ที่อายุการบ่ม 28 วัน เป็นค่าที่ใช้ในการพิจารณา วิเคราะห์ เป็นหลัก ในโครงการวิจัยนี้ และผลลัพธ์ที่ได้ค่อนข้างชัดเจน

ผลการทดสอบปรากฏว่าคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์ ร้อยละ 100 มีค่ากำลังอัดต่ำที่ 179 ksc (ใกล้เคียงกับค่าต่ำสุด 173 ksc) ทั้งนี้ควรมีสาเหตุมาจากการที่หินฝุ่นบะซอลต์ดูดซึมน้ำมาก จนทำให้ปริมาณน้ำที่เหลือไม่เพียงพอให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันที่สมบูรณ์ของซีเมนต์ และในทำนองเดียวกัน หินฝุ่นบะซอลต์ แทนที่ทรายร้อยละ 80 อาจเป็นปริมาณที่ให้น้ำหลังการดูดซึมน้ำพอเหมาะ ทำให้เกิดปฏิกิริยาที่สมบูรณ์ นอกจากนี้ผลการทดสอบเพิ่มเติมที่อัตราส่วนแทนที่ทรายร้อยละ 70 และ 90 ก็แสดงแนวโน้มที่ทำให้มัน้จางมากขึ้น อนึ่งในส่วนของการยุบตัวนั้น ปรากฏว่ามีค่าใกล้เคียงกัน ระหว่างคอนกรีตปกติ ที่มีค่า 8 ซม. และ คอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์แทนทราย ร้อยละ 20 40 60 80 และ 100 ที่มีค่า 7.0 7.0 7.5 8.5 และ 8.5 ซม. ทั้งนี้อาจเป็นผลมาจากปริมาณฝุ่นละเอียดจำนวนมากของหินฝุ่นบะซอลต์ เนื่องจากเป็นหินฝุ่นที่ไม่ได้คัดขนาด

เนื่องจากหินฝุ่นบะซอลต์มีความถ่วงจำเพาะหนักกว่าทราย (หินฝุ่น 2.87 และ ทราย 2.56) และมีอัตราการดูดซึมน้ำสูงกว่าทรายประมาณ 2.8 เท่า (ร้อยละ 2.30 และ 0.83) โดยคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายในช่วงอัตราส่วนร้อยละ 0 ถึง 80 โดยน้ำหนัก แสดงแนวโน้มของค่ากำลังอัดเพิ่มขึ้นเป็นลำดับ อาจเป็นผลมาจากการแทนที่โดยน้ำหนักของวัสดุที่มีความถ่วงจำเพาะไม่เท่ากัน และ ในกรณีนี้ส่งผลต่อปริมาตรของคอนกรีต หินฝุ่นบะซอลต์มีความถ่วงจำเพาะหนักกว่าทราย จึงทำให้ปริมาตรของคอนกรีต โดยรวมมีค่าลดลง ในขณะที่ส่วนผสมคอนกรีตที่ทดสอบ ใช้ค่า w/c คงที่ เท่ากับ 0.55 เป็นผลทำให้มีปริมาณน้ำในส่วนผสมต่อปริมาตรคอนกรีตทั้งหมด จำนวนมากขึ้น ส่งผลให้ค่ากำลังอัดค่อย ๆ ไต่ระดับค่าสูงขึ้นเป็นลำดับ จนถึงอัตราส่วนแทนที่ทรายที่ปริมาณน้ำคงเหลือ มีค่าพอเหมาะกับการปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์ ทำให้ได้ค่ากำลังอัดสูงสุด หลังจากนั้นปริมาณหินฝุ่นบะซอลต์แทนทราย ที่มากขึ้นจะดูดซึมน้ำมากเกินไป ทำให้มีน้ำไม่เพียงพอที่จะทำให้ปฏิกิริยาการแข็งตัวของซีเมนต์สมบูรณ์ และส่งผลให้ได้คอนกรีตที่ค่ากำลังอัดต่ำลง เช่น ค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นแทนทรายทั้งหมดได้ค่ากำลังอัด 179 ksc

เมื่อพิจารณาสมบัติของวัสดุรวมรวม ดังที่ได้แสดงในตารางที่ 1 จะเห็นว่าความถ่วงจำเพาะ และอัตราการดูดซึมน้ำที่แตกต่างกัน มีส่วนสำคัญ ส่งผลกระทบโดยตรงต่อค่ากำลังอัดของคอนกรีตที่ผสม



หินฝุ่นบะซอลต์แทนทราย ดังที่ได้อภิปรายมาแล้ว นอกจากนี้ สมบัติส่วนที่ส่งผลกระทบสำคัญต่อกำลังอัดยังได้แก่ ขนาด และรูปร่างของขนาดเม็ด (grainsize) หินฝุ่นบะซอลต์ที่มีขนาดเม็ดที่หยาบกว่า และมีเหลี่ยมมุม (angular) จะช่วยให้การยึดเกาะภายในมวลรวมแข็งแกร่งขึ้น และส่งเสริมให้คอนกรีตมีกำลังอัดมากขึ้น อย่างไรก็ตาม หินฝุ่นบะซอลต์ที่นำมาใช้ในโครงการวิจัยนี้ มิได้มีการคัดขนาด และ ยังมีส่วนที่เป็นฝุ่นละเอียดอยู่ ฝุ่นละเอียดส่วนนี้ควรส่งผลให้ค่ากำลังอัดของคอนกรีตลดลง

อนึ่งหากพิจารณาผลการวิจัยทดสอบกำลังอัดสูงสุดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายในครั้งนี้ และผลการวิจัยของนักวิจัยท่านอื่น ๆ ที่ใช้หินฝุ่นชนิดหินต่าง ๆ แทนทราย ปรากฏว่าเมื่อเปรียบเทียบกับกำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสมตามปกติ การใช้หินฝุ่นชนิดหินแกรนิต และ หินฝุ่นชนิดหินปูน แทนทราย จะให้คอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดเฉลี่ยต่ำกว่าประมาณ 6% (Komenthammasopon, 2012) และ 18% (Nijanpansri, 2005; Suwansukroj, Pansaengdao, & Termsak, 1998)

ทั้งนี้ กรณีหินฝุ่นแกรนิต ที่ให้กำลังอัดเฉลี่ยใกล้เคียงกับคอนกรีตปกติมากกว่า อาจเนื่องมาจากลักษณะทางเคมี ที่มีความใกล้เคียงกับทรายในธรรมชาติมาก (SiO_2 ประมาณ 72% และ 90%) (Frandon, 2006) และมีขนาดเม็ดที่หยาบกว่า พร้อมลักษณะที่มีเหลี่ยมคม ทำให้เกิดการเกาะตัวภายใน (interlock) ของมวลผละแข็งแกร่งขึ้น (Komenthammasopon, 2013; Ukpata et al., 2012). ทั้งนี้ค่ากำลังอัด 272 ksc ที่ได้มีความใกล้เคียงกับค่าผลลัพธ์ 251 ksc (หินฝุ่นแกรนิต แทนทรายร้อยละ 75 ที่ $w/c = 0.55$) ของโครงการวิจัยก่อนหน้านี้โดย Ukpata et al. (2012) นอกจากนี้หากได้มีการคัดขนาดหินฝุ่น (นำส่วนที่เป็นฝุ่นละเอียดออกไป) ที่จะใช้แทนทราย และใช้ค่า w/c ที่เหมาะสม อาจได้คอนกรีตที่มีค่ากำลังอัดสูงถึง ประมาณ 300 ksc (Leroy et al., 2017).

เมื่อพิจารณาในประเด็นการประยุกต์ใช้ในงานโยธา พบว่า ค่ากำลังอัด 173 และ 179 ksc ของคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายร้อยละ 40 และ 100 นั้น จัดอยู่ในคอนกรีตประเภท ค1 ตามมาตรฐาน มยพ.1101-52 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ซึ่งเป็นคอนกรีตที่สามารถพิจารณาใช้ในงานก่อสร้างทั่วไป เช่น ลานจอดรถ ลานโรงเรียน เป็นต้น ค่ากำลังอัด 209 ksc ของคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์แทนทราย ร้อยละ 60 ทำให้จัดอยู่ในคอนกรีตประเภท ค2 สามารถพิจารณาใช้ในงานสร้างถนนที่มีการจราจรน้อย บ้านชั้นเดียวหรือสองชั้น พื้นรอบอาคาร หรือ พื้นร้านค้า เป็นต้น ส่วนค่ากำลังอัด 229 ksc ของคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์แทนทรายร้อยละ 80 นั้น ทำให้จัดเป็นคอนกรีตประเภท ค3 สามารถพิจารณาใช้ในการสร้างถนนเทศบาล อบต. หรือ อบจ. อาคารพาณิชย์ อาคารสำนักงาน หรือ โรงแรมที่ไม่เกิน 4 ชั้น เป็นต้น (Farndon, 2006).



สรุป

1. คอนกรีตที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์เป็นส่วนผสมแทนทราย ที่อัตราส่วนร้อยละ 80 โดยน้ำหนัก ได้ให้ค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุดที่ 229 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน โดยเป็นค่าที่มีความแปรปรวนต่ำ (ค่าเบี่ยงเบนมาตรฐาน (S.D.) ± 2.90 กก./ตร.ซม.)

2. การรับกำลังอัดของคอนกรีต หลังการบ่มน้ำ 28 วัน ของแต่ละอัตราส่วนผสมที่ใช้หินฝุ่นบะชอลต์แทนทราย มีค่าแตกต่างกันอยู่ในช่วง 173 - 229 กก./ตร.ซม. (หรือ เฉลี่ย 200 กก./ตร.ซม.)

3. เมื่อเปรียบเทียบระหว่างค่ากำลังอัดเฉลี่ยสูงสุด 229 กก./ตร.ซม. ที่ได้ กับค่ากำลังอัดเฉลี่ยของคอนกรีตที่ผสมตามปกติที่มีค่ากำลังอัด 272 กก./ตร.ซม. ที่อายุการบ่ม 28 วัน จะเห็นว่าคอนกรีตที่ผสมตามปกติ มีค่ากำลังอัดสูงกว่าประมาณ 15.8%

4. ผลการศึกษาทดสอบสมบัติทางด้านวิศวกรรมของหินฝุ่นบะชอลต์ จากโรงโม่หินนารวรัตน์ ได้แสดงไว้ในตารางที่ 1

5. เนื่องจากมาตรฐาน มยผ.1101-52 ของกรมโยธาธิการและผังเมือง ได้กำหนดค่ากำลังอัดประลัยต่ำสุดไว้ที่ 150 180 และ 210 กก./ตร.ซม. สำหรับคอนกรีต ประเภท ค1 (งานก่อสร้างทั่วไป) ค2 และ ค3 ตามลำดับ ดังนั้นคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะชอลต์แทนทราย ที่อัตราส่วนต่าง ๆ กัน ให้ความเป็นไปได้สูงที่จะนำไปประยุกต์ใช้ในงานโยธาบางประเภท ดังนี้

อัตราส่วนแทนทราย (ร้อยละ) ค่ากำลังอัด (กก./ตร.ซม.) ประเภทของคอนกรีตในงานโยธา

20	210	ค3
40	173	ค1
60	209	ค2
80	229	ค3
100	179	ค1

ข้อเสนอแนะ

1. โครงการศึกษาวิจัยนี้ ได้ใช้หินฝุ่นบะชอลต์จากโรงโม่หิน ของบริษัทบุรีรัมย์นารวรัตน์ จำกัด ในเขตจังหวัดบุรีรัมย์ โดยใช้เป็นกรณีศึกษา ดังนั้นหากใช้วัสดุหินฝุ่น ชนิดหินบะชอลต์ จากแหล่งอื่น ๆ ซึ่งมีลักษณะ คุณสมบัติ และองค์ประกอบที่แตกต่างออกไป อาจส่งผลให้การทดสอบเปลี่ยนไป การใช้หินฝุ่นบะชอลต์ จากแหล่งอื่นมาเป็นส่วนผสมแทนทรายในงานคอนกรีต จำเป็นต้องมีการศึกษาวิจัยเฉพาะแหล่งนั้น



2. การใช้หินอัคนีเป็นวัสดุมวลรวมในปอร์ตแลนด์ซีเมนต์ อาจก่อให้เกิดปัญหาได้ องค์ประกอบในหินที่มีซิลิกาเม็ดละเอียด จะทำให้ปริมาตรของคอนกรีตขยายตัว จากปัญหาการเกิดปฏิกิริยาอัลคาไล-ซิลิกา

อย่างไรก็ตาม โดยปกติ หินบะซอลต์ มีปริมาณซิลิกาน้อยเกินไปที่จะทำให้เกิดปฏิกิริยา (West, 2010; Farndon, 2006) แต่ทั้งนี้หากเป็นหินบะซอลต์ที่เกิดได้พื้นมหาสมุทร ปกติก็มีหินเชิร์ต และ แอสเบอร (SiO₂) ซึ่งเป็นองค์ประกอบที่ไม่เหมาะสมที่สุด ในการผสมคอนกรีต (Blyth & Freitas, 2006) ดังนั้น การศึกษากำลั้งอัดของคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นบะซอลต์ ในบางกรณี อาจมีความจำเป็นต้องเป็นการศึกษาโดยละเอียดในระยะยาว

3. หินบะซอลต์ เป็นวัสดุในธรรมชาติที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ไม่สลาย ชะละลาย (leaching) ลงสู่ได้ดิน ไม่เป็นพิษ (non-toxic) ปลอดภัยกับสัตว์น้ำ และ พืช (Al-Rawashdeh & Shaqadan, 2015) ดังนั้นโครงการศึกษาวิจัยในอนาคตที่เกี่ยวข้องกับหินบะซอลต์ จึงน่าจะเป็นโครงการที่มีศักยภาพ

4. เนื่องจากคุณสมบัติทางด้าน โครงสร้างของคอนกรีตที่ผสมหินฝุ่นชนิดหินต่างๆ แทนทราย อยู่ในเกณฑ์ที่ใช้ได้ ดังนั้นพื้นที่ใดที่สามารถสร้างที่อยู่อาศัยให้กับชุมชนในราคาที่ประหยัด โดยใช้คอนกรีตที่ผสมหินฝุ่น จะเป็นพื้นที่ที่ควรได้รับการสนับสนุน และ ส่งเสริม (Ukpata et al., 2012)

5. ผลสรุปจากโครงการศึกษาวิจัยนี้ หากมีการศึกษาวิจัยเพิ่มเติมในรายละเอียด เชิง เศรษฐศาสตร์วิศวกรรม และสิ่งแวดล้อม อาจเป็นแนวทาง หรือประโยชน์ ไปสู่การลดต้นทุนการผลิตคอนกรีต การลดต้นทุนการผลิตใน โรงม้อหินก่อสร้าง การช่วยส่งเสริมการอนุรักษ์ใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้ได้ประโยชน์สูงสุด รวมไปถึงการลดผลกระทบสิ่งแวดล้อมจากการขุดทรายจากแหล่งต่าง ๆ ในธรรมชาติ

รายการอ้างอิง (References)

- Al-Rawashdeh, M. & Shaqadan, A. (2015) Effect of basalt aggregates and plasticizer on the compressive strength of concrete. *International Journal of Engineering & Technology*. 4(4), 520-525. Science Publishing Corporation.
- ASTM C70-20. (2020). *Standard Test Method for Surface Moisture in Fine Aggregate*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C136/C136M-19. (2019). *Standard Test Method for Sieve Analysis of Fine and Coarse Aggregates*, ASTM International, West Conshohocken, PA.



- ASTM C127-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Coarse Aggregate*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C128-15. (2015). *Standard Test Method for Relative Density (Specific Gravity) and Absorption of Fine Aggregate*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C29/C29M-17a. (2017). *Standard Test Method for Bulk Density (Unit Weight) and Voids in Aggregate*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C143 C143M-15a. (2015). *Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C192/C192M-19. (2019). *Standard Practice for Making and Curing Concrete Test Specimens in the Laboratory*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- ASTM C39/C39M-20. (2020). *Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens*, ASTM International, West Conshohocken, PA.
- Blyth, F.G.H. & Freitas de, M.H. (2006) *A Geology for Engineers*. (5th Ed.). CRC Press.
- Chovichian, V. (2001). *Concrete Technology*. Bangkok: P. Sampanpanich. (In Thai).
- Farndon, J. (2006). *The Complete Guide to Rocks & Minerals*. Anness Publishing Ltd.
<http://www.knc2001.com/files/knc2001.pdf>.
- Kingkaew, R., Chaijit, P., Chotchuay, V. & Chaihan, J. (2015). The Substitution of Sand by Stonedust in Ready Mixed Concrete. *Journal of Southern Technology*. 8(2), 55-61.
- Komenthammasopon, S. (2012). The Investigation of Compressive Strength of Concrete in Case Study using Granite Dust from Thai Crushing Plant as Replacement for Sand. *Princess of Naradhiwas University Journal*. 4(3), 44-53.
- Komenthammasopon, S. (2013). The Investigation of Compressive Strength of Concrete in Case Study using Sieved Granite Dust from Thai Crushing Plant as Replacement for Sand. *Princess of Naradhiwas University Journal*. 5(1), 49-60.
- Leroy, M.N., Guy Molay T.G., Joseph N., Colince, F.M. & Bienvenu J.N. (2017). A Comparative study of concrete using metamorphic, igneous, and sedimentary rocks (crushed gneiss, crushed basalt, alluvial sand) as fine aggregate. *Journal of Architectural Engineering Technology*, 6(1), 1-6.



- Nijanpansri, P. (2005). *Research report on the use of dust aggregate as sand replacement*. National Research Council of Thailand. (In Thai).
- Nokkaew, N. (2015). *Highway Engineering*. (5th Ed.) Faculty of Engineering, Rajamangala University of Technology Thanyaburi. (In Thai).
- Standard of the Department of Public (2020) *Works and Town & City Planning (DPT) 1101-52*.
Retrieved 13 January 2020 from: <http://www.dpt.go.th>
- Suresh, N., & Manjunatha M. (2016). Effect of different types of fine aggregates on mechanical properties of concrete – A review. *The Indian Concrete Journal*, 69-71.
- Suwansukroj, N., Pansaengdao, T. & Termsak, S. (1998). Compressive Strength of Concrete Composed of Crushed Dust Instead of Sand. *KKU Engineering Journal*. 25(2), 1-5.
- Ukpata, O.J., Ephraim, E.M. & Akeke A.G. (2012). Compressive strength of concrete using lateritic sand and quarry dust as fine aggregate. *APRN Journal of Engineering and Applied Sciences*, 7(1), 81-92.
- West, R.T. (2010). *Geology Applied to Engineering*. Waveland Press, Inc.