รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้ยางรถยนต์เก่าในการผลิตคอนกรีตพรุนสำหรับลดปริมาณน้ำนอง

Recycling Scrapped Tire into the Porous Concrete Prevents Water Overflow

ภคพล ช่างยันต์
ศิริวรรณ อาจบำรุง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การใช้ยางรถยนต์เก่าในการผลิตคอนกรีตพรุนสำหรับลดปริมาณน้ำนอง

Recycling Scrapped Tire into the Porous Concrete Prevents Water Overflow

ภคพล ช่างยันต์
ศิริวรรณ อาจบำรุง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

รายงานการวิจัย

เรื่อง

การใช้ยางรถยนต์เก่าในการผลิตคอนกรีตพรุนสำหรับลดปริมาณน้ำนอง

Recycling Scrapped Tire into the Porous Concrete Prevents Water Overflow

ภคพล ช่างยันต์
ศิริวรรณ อาจบำรุง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2562

ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

รายงานการวิจัย
เรื่อง

การใช้ยางรถยนต์เก่าในการผลิตคอนกรีตพรุนสำหรับลดปริมาณน้ำนอง

Recycling Scrapped Tire into the Porous Concrete Prevents Water Overflow

ภคพล ช่างยันต์
ศิริวรรณ อาจบำรุง

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
2562
ลิขสิทธิ์ของมหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
(งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนามหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ปีงบประมาณ 2561)

บทที่ 1
บทนำ

ความเป็นมาและความสำคัญ

คอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทย โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนับว่าเป็นโครงสร้างที่แพร่หลายและเป็นที่คุ้นเคยมากที่สุดในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าสภาวะของโลกนั้นเลวร้ายลงไปทุกทีและอีกปัญหาสำคัญคือภาวะโลกร้อน สภาวะน้ำท่วม ดังนั้นจึงเกิดความต้องการในสิ่งที่ช่วยปัญหาเหล่านี้ ซึ่งการคิดค้นงานวิจัยต่างๆจึงควรเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงถือว่าได้ว่าเป็นประโยชน์ในด้านนี้คือ เทคโนโลยีคอนกรีตพรุน (Porous concrete) คอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้พลังงานก็เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน ภาครัฐได้เล็งเห็นและให้ความสำคัญในเรื่องของการประหยัดพลังงานเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการรณรงค์เรื่องการประหยัดพลังงานในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุที่ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน ส่วนสำคัญอันหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยคือการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นให้อาคารและสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ดังนั้นการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคารจะช่วยให้ประหยัดพลังงาน คอนกรีตพรุนเป็นเทคโนโลยีคอนกรีตที่มีรูพรุนต่อเนื่องกันไป ไม่มีมวลละเอียดในส่วนผสม เพื่อต้องการให้เกิดรุโพรงที่ต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต ซึ่งน้ำหรือของเหลวสามารถซึมผ่านได้ ซึ่งยังคงมีความสามารถยึดเกาะกันของมวลรวมคอนกรีตทุกๆผิวสัมผัส โดยสามารถที่จะออกแบบคุณสมบัติได้อย่างหลากหลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในด้านความแข็งแรง ความสามารถในการระบายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ สามารถเก็บเสียงได้ สามารถลดความร้อนที่สะท้อนสู่บรรยากาศได้ดีกว่าคอนปรกติ ช่วยให้ลดภาวะเรือนกระจก (Green house effect) ภาวะโลกร้อน (Global warming) ลดลงได้เป็นอย่างดี และความสามารถด้านอื่นๆ คอนกรีตพรุนได้ถูกคิดค้นและพัฒนาในประเทศอังกฤษและอเมริกาเป็นเวลากว่า 30 ปี เพื่อใช้ในงานคอนกรีตที่รักษาสภาพแวดล้อมกล่าวคือได้นำคอนกรีตพรุนมาใช้สำหรับงานปูผิวถนน พื้นทางเดิน ขอบสระ พื้นสถานที่ออกกำลังกายในสวนสาธารณะ ใช้ในการดาดคลองและปูพื้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมอื่นๆจะเห็นว่าคอนกรีตพรุนมีประโยชน์หลายๆด้านและยังมีลักษณะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งปัจจุบันกำลังให้ความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก

ดังนั้นคอนกรีตพรุนจึงเป็นที่สนใจและแพร่หลายในอนาคตการนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งโดยเฉพาะการนำเอาวัสดุเหลือใช้ยางรถยนต์เก่ามาทดแทนวัสดุมวลรวมหยาบบางส่วนยางรถยนต์เป็นสิ่งเหลือใช้ที่ย่อยสลายอยากและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการลดการมวลรวมหยาบที่ได้จากธรรมชาติโดยเฉพาะหินที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้นจะได้มาจากการระเบิดหินจากภูเขา ประเภทภูเขาหินปูน โดยทั่วไปในประเทศไทยจะต้องมีการขอสัมปทานการทำเหมืองหิน แล้วจึงสามารถทำการระเบิดหินออกมาแล้วลำเลียงเข้าสู่เครื่องย่อยหินหรือโรงโม่หิน ขั้นตอนนี้อาจต้องลำเลียงหินผ่านเครื่องย่อยหินหลายชุดเพื่อย่อยหินให้ได้ขนาดตามต้องการ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถผลิตทดแทนได้เป็นสิ่งที่สังคม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ต้องพึงระวังและให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งจากรายงานของสำนักงานคณะกรรมการสิทธิมนุษยชนแห่งชาติ สำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ปัญหาเนื่องจากการระเบิดหิน มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม และการดำรงอยู่อย่างปกติสุขของชุมชนเกิดผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของชาวบ้าน อาทิ ฝุ่น การสั่นสะเทือนและเสียงทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและในบางกรณีการระเบิดหินยังเป็นการละเมิดสิทธิชุมชน ขาดการมีส่วนร่วมของชุมชน การระเบิดหินจะทำให้แผ่นดินยุบตัวลงซึ่งเป็นอันตรายต่อชุมชนได้เป็นการทำลายสุขภาวะด้านร่างกายและจิตใจ ทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และการปนเปื้อนแหล่งน้ำธรรมชาติในชุมชน ภาพรวมจากปัญหาความเดือดร้อนที่ประชาชนทั่วประเทศได้รับจากเหมืองแร่ทั่วประเทศมีทั้งหมด 35 กรณี เป็นโรงโม่หิน 20 แห่งตัวอย่างที่โด่งดัง เช่น กรณีโรงโม่หินใน จ.ราชบุรี ระเบิดหินจนเป็นเหตุทำให้หินขนาดใหญ่กว่า 1,000 ตันร่วงตกลงมาใกล้บริเวณวัดถ้ำยอดทอง จ.ราชบุรี ที่พระในวัดต้องสวมหมวกกันน็อกนั่งสวดมนต์ทำวัตรเย็นเป็นต้น ปัญหาเกี่ยวกับโรงโม่หินมีในประเทศไทยมานานและรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ (ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการสิทธิมนุษยชนแห่งชาติ www.nhrc.or.th)

ดังนั้นการใช้คอนกรีตพรุนจะเป็นทางเลือกใหม่ต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทยเมื่อพิจารณาจุดเด่นของคอนกรีตพรุน จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนสำหรับการก่อสร้างมีข้อได้เปรียบกว่าคอนกรีตปกติหลายข้อ อาทิเช่น ลดความร้อนที่สะท้อนสู่บรรยากาศ ระบายน้ำได้ดี ลดน้ำหนักของโครงสร้าง ซึ่งช่วยลดค่าก่อสร้าง และช่วยลดมลภาวะจากการใช้หินในส่วนผสมคอนกรีต รวมถึงกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรราคาแพงและการลงทุนที่สูง อย่างไรก็ตามการใช้คอนกรีตพรุนในประเทศไทยยังเป็นเรื่องใหม่ไม่แพร่หลายและส่วนใหญ่แล้วจะถูกใช้ในการผลิตส่วนประกอบที่ไม่ใช่ชิ้นส่วนโครงสร้างรับน้ำหนักเป็นหลัก เช่นบล็อกปูพื้นทางเท้า ทางเดินในสวนสาธารณะ เป็นต้นทั้งนี้เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่นคอนกรีตเป็นวัสดุหลักที่สำคัญสำหรับอุตสาหกรรมการก่อสร้างในประเทศไทย โครงสร้างคอนกรีตเสริมเหล็กนับว่าเป็นโครงสร้างที่แพร่หลายและเป็นที่คุ้นเคยมากที่สุดในปัจจุบันนี้จะเห็นได้ว่าสภาวะของโลกนั้นเลวร้ายลงไปทุกทีและอีกปัญหาสำคัญคือภาวะโลกร้อน สภาวะน้ำท่วม ดังนั้นจึงเกิดความต้องการในสิ่งที่ช่วยปัญหาเหล่านี้ ซึ่งการคิดค้นงานวิจัยต่างๆจึงควรเป็นประโยชน์ต่อสิ่งแวดล้อม งานวิจัยนี้จึงถือว่าได้ว่าเป็นประโยชน์ในด้านนี้คือเทคโนโลยีคอนกรีตพรุน (Porous concrete) คอนกรีตที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและการใช้พลังงานก็เป็นปัญหาที่สำคัญอย่างยิ่งในปัจจุบัน ภาครัฐได้เล็งเห็นและให้ความสำคัญในเรื่องของการประหยัดพลังงานเป็นอย่างมาก ดังจะเห็นได้จากการรณรงค์เรื่องการประหยัดพลังงานในรูปแบบต่างๆ ทั้งนี้เนื่องจากการใช้พลังงานโดยเฉพาะพลังงานไฟฟ้าส่งผลต่อสิ่งแวดล้อมและกระทบต่อทรัพยากรธรรมชาติที่มีอยู่อย่างจำกัด ด้วยเหตุที่ประเทศไทยอยู่ในเขตร้อน ส่วนสำคัญอันหนึ่งของการใช้พลังงานไฟฟ้าในประเทศไทยคือการใช้พลังงานไฟฟ้าเพื่อทำความเย็นให้อาคารและสิ่งปลูกสร้างต่าง ๆ ดังนั้นการลดปริมาณความร้อนที่ผ่านเข้าสู่ตัวอาคารจะช่วยให้ประหยัดพลังงาน คอนกรีตพรุนเป็นเทคโนโลยีคอนกรีตที่มีรูพรุนต่อเนื่องกันไป ไม่มีมวลละเอียดในส่วนผสม เพื่อต้องการให้เกิดรุโพรงที่ต่อเนื่องในเนื้อคอนกรีต ซึ่งน้ำหรือของเหลวสามารถซึมผ่านได้ ซึ่งยังคงมีความสามารถยึดเกาะกันของมวลรวมคอนกรีตทุกๆผิวสัมผัส โดยสามารถที่จะออกแบบคุณสมบัติได้อย่างหลากหลายแตกต่างกันขึ้นอยู่กับวัตถุประสงค์ของการใช้งาน ทั้งในด้านความแข็งแรง ความสามารถในการ

ระบายน้ำ ความสามารถในการอุ้มน้ำ สามารถเก็บเสียงได้ สามารถลดความร้อนที่สะท้อนสู่บรรยากาศได้ดีกว่าคอนปรกติ ช่วยให้ลดภาวะเรือนกระจก (Green house effect) ภาวะโลกร้อน (Global warming)ลดลงได้เป็นอย่างดี และความสามารถด้านอื่นๆ คอนกรีตพรุนได้ถูกคิดค้นและพัฒนาในประเทศอังกฤษและอเมริกาเป็นเวลากว่า 30 ปี เพื่อใช้ในงานคอนกรีตที่รักษาสภาพแวดล้อมกล่าวคือได้นำคอนกรีตพรุนมาใช้สำหรับงานปูผิวถนน พื้นทางเดิน ขอบสระ พื้นสถานที่ออกกำลังกายในสวนสาธารณะ ใช้ในการดาดคลองและปูพื้น นอกจากนี้ยังสามารถใช้ในงานวิศวกรรมอื่นๆจะเห็นว่าคอนกรีตพรุนมีประโยชน์หลายๆด้านและยังมีลักษณะเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมอีกด้วย ซึ่งปัจจุบันกำลังให้ความสำคัญในด้านสิ่งแวดล้อมเป็นอย่างมาก ดังนั้นคอนกรีตพรุนจึงเป็นที่สนใจและแพร่หลายในอนาคต

การนำคอนกรีตพรุนมาประยุกต์ใช้จึงเป็นทางเลือกที่ดีอีกทางหนึ่งโดยเฉพาะการนำเอาวัสดุเหลือใช้ยางรถยนต์เก่ามาทดแทนวัสดุมวลรวมหยาบบางส่วนยางรถยนต์เป็นสิ่งเหลือใช้ที่ย่อยสลายอยากและเป็นมลภาวะต่อสิ่งแวดล้อมและเป็นการลดการมวลรวมหยาบที่ได้จากธรรมชาติโดยเฉพาะ หินที่ใช้ในงานก่อสร้างนั้นจะได้มาจากการระเบิดหินจากภูเขา ประเภทภูเขาหินปูน โดยทั่วไปในประเทศไทยจะต้องมีการขอสัมปทานการทำเหมืองหิน แล้วจึงสามารถทำการระเบิดหินออกมาแล้วลำเลียงเข้าสู่เครื่องย่อยหินหรือโรงโม่หิน ขั้นตอนนี้อาจต้องลำเลียงหินผ่านเครื่องย่อยหินหลายชุดเพื่อย่อยหินให้ได้ขนาดตามต้องการ การใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ไม่สามารถผลิตทดแทนได้เป็นสิ่งที่สังคมต้องพึงระวังและให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่งจากรายงานของสำนักงานคณะกรรมการสิทธิมนุษยชนแห่งชาติสำนักงานนโยบายและแผนทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อม และกรมควบคุมมลพิษ พบว่า ปัญหาเนื่องจากการระเบิดหิน มีผลกระทบอย่างรุนแรงต่อสิ่งแวดล้อม และการดำรงอยู่อย่างปกติสุขของชุมชนเกิดผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวันของชาวบ้าน อาทิ ฝุ่น การสั่นสะเทือนและเสียงทำลายทรัพยากรธรรมชาติและสิ่งแวดล้อมและในบางกรณีการระเบิดหินยังเป็นการละเมิดสิทธิชุมชน ขาดการมีส่วนร่วมของชุมชน การระเบิดหินจะทำให้แผ่นดินยุบตัวลงซึ่งเป็นอันตรายต่อชุมชนได้เป็นการทำลายสุขภาวะด้านร่างกายและจิตใจทำให้เกิดมลพิษทางอากาศ และการปนเปื้อนแหล่งน้ำธรรมชาติในชุมชน ภาพรวมจากปัญหาความเดือดร้อนที่ประชาชนทั่วประเทศได้รับจากเหมืองแร่ทั่วประเทศมีทั้งหมด 35 กรณี เป็นโรงโม่หิน 20 แห่งตัวอย่างที่โด่งดัง เช่น กรณีโรงโม่หินใน จ.ราชบุรี ระเบิดหินจนเป็นเหตุทำให้หินขนาดใหญ่กว่า 1,000 ตันร่วงตกลงมาใกล้บริเวณวัดถ้ำยอดทอง จ.ราชบุรี ที่พระในวัดต้องสวมหมวกกันน็อกนั่งสวดมนต์ทำวัตรเย็นเป็นต้น ปัญหาเกี่ยวกับโรงโม่หินมีในประเทศไทยมานานและรุนแรงขึ้นเรื่อย ๆ (ที่มา: สำนักงานคณะกรรมการสิทธิมนุษยชนแห่งชาติ www.nhrc.or.th)

ดังนั้นการใช้คอนกรีตพรุนจะเป็นทางเลือกใหม่ต่ออุตสาหกรรมก่อสร้างในประเทศไทยเมื่อพิจารณาจุดเด่นของคอนกรีตพรุน จะเห็นได้ว่าการประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนสำหรับการก่อสร้างมีข้อได้เปรียบกว่าคอนกรีตปกติหลายข้อ อาทิเช่น ลดความร้อนที่สะท้อนสู่บรรยากาศ ระบายน้ำได้ดี ลดน้ำหนักของโครงสร้างซึ่งช่วยลดค่าก่อสร้าง และช่วยลดมลภาวะจากการใช้หินในส่วนผสมคอนกรีต รวมถึงกรรมวิธีการผลิตที่ง่ายโดยไม่ต้องอาศัยเครื่องจักรราคาแพงและการลงทุนที่สูง อย่างไรก็ตามการใช้คอนกรีตพรุนในประเทศไทยยังเป็นเรื่องใหม่ไม่แพร่หลายและส่วนใหญ่แล้วจะถูกใช้ในการผลิตส่วนประกอบที่ไม่ใช่ชิ้นส่วน

โครงสร้างรับน้ำหนักเป็นหลัก เช่นบล็อกปูพื้นทางเท้า ทางเดินในสวนสาธารณะ เป็นต้นทั้งนี้เนื่องจากหลายสาเหตุ เช่น

(1) การขาดความรู้และเข้าใจกระบวนการผลิตคอนกรีตพรุน
(2) ยังไม่มีหลักการทั่วไปหรือแนวทางที่ชัดเจนในการกำหนดปริมาณและอัตราส่วนผสมสำหรับวัสดุที่ใช้ในการผลิต
(3) ความไม่เข้าใจคุณสมบัติของคอนกรีตพรุนอย่างแท้จริง
(4) ยังไม่ถูกรับรองเป็นวัสดุตามมาตรฐานอุตสาหกรรม (ม.อ.ก.)
(5) ขาดการส่งเสริมความรู้ความเข้าใจต่อประโยชน์ของการใช้คอนกรีตพรุนอย่างจริงจัง
(6) ขาดแหล่งข้อมูลความรู้ ที่จะทำหน้าที่เผยแพร่องค์ความรู้แก่นักศึกษา นักวิจัย ผู้ผลิต รวมไปถึง ผู้ประยุกต์ใช้งานคอนกรีตพรุน

ด้วยเหตุผลนี้ งานวิจัยอย่างเป็นระบบและผลงานตีพิมพ์ที่เกี่ยวกับคอนกรีตชนิดนี้มีค่อนข้างจำกัด และการขาดองค์ความรู้ในเชิงพฤติกรรมโครงสร้างและการนำไปใช้จริงในโครงสร้างยังคงมีปรากฏ ดังนั้นการศึกษาการใช้คอนกรีตพรุนสำหรับการก่อสร้างจะช่วยเติมเต็มองค์ความรู้ที่ขาด ช่วยพัฒนาศักยภาพและผลผลิตด้านอุตสาหกรรมก่อสร้างของประเทศไทย อีกทั้งเป็นจุดเริ่มต้นของการพัฒนาการใช้วัสดุก่อสร้างที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม ช่วยลดการใช้พลังงาน และช่วยลดการพึ่งพาเทคโนโลยีการผลิตจากต่างประเทศในอนาคตได้อีก ด้วยแผนงานวิจัยนี้มุ่งเน้นที่จะศึกษาทำความเข้าใจพื้นฐานความรู้เกี่ยวกับคอนกรีตพรุน เริ่มตั้งแต่กระบวนการผลิต สัดส่วนปริมาณของวัสดุผสม คุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตทั้งด้านกำลังรับน้ำหนัก คุณสมบัติด้านความคงทนและคุณสมบัติที่เกี่ยวข้องในการนำไปใช้งานจริง รวมถึงพฤติกรรมและการออกแบบองค์อาคาร เพื่อที่จะเป็นแหล่งข้อมูลให้ความรู้ ส่งเสริมความเข้าใจ เผยแพร่ประโยชน์และความสำคัญของคอนกรีตพรุนแก่ผู้ที่สนใจ สามารถนำองค์ความรู้ที่ได้ไปใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง และเป็นฐานข้อมูลการวิจัยเพื่อพัฒนาวัสดุก่อสร้างประเภทคอนกรีตพรุนต่อไป

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

วัตถุประสงค์ของการวิจัย

1. เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ และหาอัตราส่วนที่เหมาะสมในการเตรียมอัตราส่วนสำหรับการผลิตคอนกรีตพรุน
2. ศึกษาผลของคุณสมบัติทางกายภาพ, แข็งแรงเชิงกล และสมบัติการซึมผ่านของน้ำ โดยยังคงความแข็งแรงของคอนกรีตพรุน
3. เพื่อให้เกิดองค์ความรู้ เผยแพร่ และส่งเสริมการนำคอนกรีตพรุนไปใช้สำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างไทย
4. เพื่อส่งเสริมให้คอนกรีตพรุนเป็นที่ยอมรับในอุตสาหกรรมก่อสร้างของไทย

ขอบเขตการวิจัย

1.ศึกษาผลของอัตราส่วนผสมของการใช้ชิ้นยางรถยนต์เก่าแทนที่มวลรวมหยาบต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติความแข็งเชิงกล ความพรุนตัวของคอนกรีตพรุน ค่าการซึมผ่านน้ำ

2. ศึกษาผลกระทบของปริมาณซีเมนต์เพสต์ต่อสมบัติทางกายภาพสมบัติความแข็งเชิงกล ค่าการซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุน

3. ส่วนผสมของชิ้นยางรถยนต์แทนที่มวลรวมหยาบ เท่ากับ 0,10,,20,30,40และ 50% โดยน้ำหนัก

4. ทดสอบสมบัติเชิงกลได้แก่ ค่าความต้านทานความเค้นอัดCompressive (Crushing) Strength ตามมาตรฐาน ASTM C773-88, (2011) และความต้านทานแรงดัด

5. หล่อตัวอย่างที่ใช้ในการทดสอบคอนกรีตทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง10 เซนติเมตรสูง 20 เซนติเมตร

6. นำผลการทดลองไปใช้จริงและทดลองการผลิตกับโรงงานผลิตคอนกรีต ชุมชนและวิสาหกิจชุมชน

ผลที่คาดว่าจะได้รับ

1. เป็นการส่งเสริมนำวัสดุเหลือใช้ให้กลับมาใช้ใหม่ให้เกิดประโยชน์สูงสุด และลดต้นทุนการผลิต นอกจากนี้ยังเป็นการช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมในระยะยาวให้ดีขึ้น
2. เป็นการสร้างองค์ความรู้ใหม่ซึ่งในข้อกำหนดของมาตรฐานด้วยเรื่องของคอนกรีตพรุนสำหรับก่อสร้างยังไม่ได้ระบุค่าการซึมผ่านของน้ำ และกำลังอัดในการก่อสร้างและสามารถทำได้จริงนำไปสู่การผลิตในเชิงพาณิชย์ได้
3. เป็นการส่งเสริมให้เกิดการวิจัยอย่างต่อเนื่อง โดยเฉพาะการนำวัสดุที่มีเหลือใช้ในท้องถิ่นหรือชุมชนเอามาใช้ให้เกิดประโยชน์ อีกทั้งเป็นการถ่ายทอดความรู้ที่สามารถนำไปประยุกต์ใช้ได้จริงกับอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตพรุน และสอดคล้องกับโครงการวิจัยและนโยบายรวมถึงยุทธศาสตร์การวิจัยของชาติ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 2
แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

แนวคิด ทฤษฎี

การนำวัสดุที่เหลือทิ้งชิ้นยางรถยนต์ใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตพรุนนั้นจะเกิดประโยชน์อย่างยิ่งเพราะจะช่วยลดปริมาณของขยะจากยางรถยนต์เก่า และทำให้ประหยัดต้นทุนในการผลิต อีกทั้งยังเป็นการนำเศษวัสดุเหลือใช้ที่มีมากในปัจจุบันมาใช้ให้เกิดประโยชน์สูงสุด อีกทั้งยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อม ดังนั้นถ้าหากการศึกษาครั้งนี้มีความเป็นไปได้ก็จะเป็นประโยชน์สำหรับการต่อยอดในการทำวิจัยเพื่อพัฒนาคอนกรีตขึ้นมาเพื่อเป็นทางเลือกสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างที่กำลังเติบโตในขณะนี้คอนกรีตพรุนคือคอนกรีตที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์มวลรวมหยาบ น้ำ สารกระจายฟองอากาศ ซึ่งเป็นตัวเพิ่มฟองอากาศในเนื้อคอนกรีต โดยที่ไม่มีส่วนประกอบของมวลรวมละเอียด ซึ่งฟองอากาศเหล่านี้จะสลายไปเมื่อปฏิกิริยาไฮเดรชั่นของคอนกรีตสิ้นสุดลง เหลือไว้เพียงช่องว่างอากาศขนาดเล็กสม่ำเสมอจำนวนมากมายภายในเนื้อคอนกรีต ดังนั้นคอนกรีตที่ได้จึงมีความพรุนสูงและมีน้ำหนักเบาโดยที่คุณสมบัติต่าง ๆ ทั้งคุณสมบัติทางวิศวกรรม คุณสมบัติด้านกำลัง และคุณสมบัติด้านความคงทนจะแปรเปลี่ยนตามปริมาณช่องว่างอากาศหรือความหนาแน่นของตัวคอนกรีตนั่นเอง การประยุกต์ใช้คอนกรีตพรุนสำหรับเป็นวัสดุก่อสร้างเป็นเทคโนโลยีที่เกิดขึ้นในต่างประเทศเป็นเวลาหลายสิบปีแล้ว อย่างไรก็ตามองค์ความรู้เกี่ยวกับคอนกรีตพรุนถูกจำกัดไว้เป็นลิขสิทธิ์เฉพาะและไม่ได้ถูกนำออกมาเปิดเผยในเชิงวิชาการสู่สาธารณะชน ดังนั้นงานวิจัยอย่างเป็นระบบและผลงานตีพิมพ์มีค่อนข้างจำกัด อย่างไรก็ตามโดยทั่วไปแล้วคุณสมบัติต่าง ๆ ของคอนกรีตพรุนที่เหนือกว่าคอนกรีตปกติ ได้แก่มีความหนาแน่นต่ำ สามารถลดการใช้หิน มีค่าการนำความร้อนต่ำ และความสามารถในการซึมผ่านของน้ำได้ดี ข้อดีทั้งหมดที่กล่าวมานี้ เกิดจากการใช้ฟองอากาศขนาดเล็กเข้าไปแรกในเนื้อคอนกรีต ทำให้เกิดช่องว่างอากาศขนาดเล็กจำนวนมากที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตซึ่งช่วยลดน้ำหนัก ดังนั้นความเข้าใจถึงคุณสมบัติและพฤติกรรมของคอนกรีตพรุนจึงมีความจำเป็นต่อการนำคอนกรีตพรุนนี้ไปใช้ในงานก่อสร้างในอนาคต

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ยาง (Rubber) มีแหล่งที่มา 2 แหล่งคือยางธรรมชาติ (Natural Rubber) และยางสังเคราะห์ (Synthetic Rubber) ยางเป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตผลิตภัณฑ์ต่างๆสำหรับชีวิตประจำวันและสำหรับอุตสาหกรรมต่างๆ เช่น อุตสาหกรรมยานยนต์อุตสาหกรรมเครื่องจักรและอุตสาหกรรมก่อสร้างเป็นต้น ยางทั้งยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์มีคุณสมบัติต่างๆ ที่เหมาะสมต่อการใช้งานและยังสามารถปรับปรุงคุณภาพยางด้วยการผสมสารเคมีเติมแต่งต่างๆ เพื่อให้มีสมบัติพิเศษเฉพาะตัวเรียกว่ายางคอมปาวด์ (Rubber Compound) เนื่องจากไทยเป็นแหล่งผลิตยางธรรมชาติอันดับหนึ่งของโลกการศึกษาเกี่ยวกับยางธรรมชาติจึงมีความสำคัญยิ่งต่อเกษตรกรและเศรษฐกิจของประเทศ ยางธรรมชาตินั้นเมื่อกรีดต้นยางจะได้น้ำยาง (Rubber Latex) และเมื่อนำน้ำยางมาเติมกรดและสารป้องการการเน่าเสียจะได้ยางในรูปของแข็งโดยในอุตสาหกรรมแปรรูปยางดิบมีรูปแบบของยางดิบได้แก่ ยางแผ่นรมควัน ยางแท่งน้ำ ยางเข้มข้น และยางคอมปาวด์ ประเทศไทยส่งออกยางในรูปของยางแท่งมากที่สุด รองลงมาคือยางแผ่นรมควันน้ำยางข้น และยางคอมปาวด์ตามลำดับอย่างไรก็ตามปัจจุบันประเทศไทยส่งออกยางในรูปแบบของยางคอมปาวด์มากขึ้นเนื่องจากประเทศจีนมีโครงสร้างการเก็บภาษีนำเข้ายางคอมปาวด์น้อยกว่ายางแท่งและยางแผ่นรมควัน ยางธรรมชาติและยางสังเคราะห์เป็นวัตถุดิบที่ใช้ในการผลิตเป็นผลิตภัณฑ์อีกทอดหนึ่ง ดังนั้นความสำคัญของวัตถุดิบยางชนิดต่างๆ

จึงอยู่ที่การเลือกใช้ยางเป็นส่วนประกอบหลักของผลิตภัณฑ์นั้นๆ ยางธรรมชาติเองถูกใช้ไปในหลายๆ ประเภท โดยการแบ่งประเภทของยางอาจแบ่งตามอุตสาหกรรมปลายทางหรือลักษณะการใช้งานดังตาราง

ตารางที่ 2.1 การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติของไทย

หน่วย: ตัน

ประเภท	2550	2551	2552	2553	2554	2555
1. ยางยานพาหนะ	170,893	208,886	233,257	290,982	292,963	317,654
2. ยางยืด	72,193	54,108	50,107	46,064	66,054	67,078
3. ถุงมือยาง	54,808	52,436	42,835	49,663	67,413	66,381
4. ยางรถจักรยานยนต์	29,589	29,614	22,787	24,262	20,858	21,958

ซีเมนต์ (cement) เป็นวัสดุเชื่อมประสานสำหรับผลิตคอนกรีตและที่สำคัญในงานก่อสร้างรวมถึงการผลิตคอนกรีตที่ผ่านกระบวนการผลิตจากโรงงานประกอบด้วยสารประกอบหลัก 4 ชนิดได้แก่ tricalcium silicate(C_3S),dicalcium silicate (C_2S), tricalcium aluminate (C_3A) และ tetracalciumaluminoferrite (C_4AF) เมื่อสารประกอบเหล่านี้ทำปฏิกิริยากับน้ำ (hydration) จะเกิดสารประกอบ calcium silicate hydrate หรือ CHS($C_3S_2H_3$) ซึ่งเป็นวัสดุเชื่อมประสานและ calcium hydroxide หรือ $Ca(OH)_2$ ตัวอย่างการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันของ C_3S และ C_2S แสดงดังสมการด้านล่าง

$$C_3S + 4.3H_2O \Rightarrow C_{1.7}SH_3 + 1.3Ca(OH)_2$$

$$C_2S + 3.3H_2O \Rightarrow C_{1.7}SH_3 + 0.3Ca(OH)_2$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

อีกวิธีหนึ่งในการสร้างปฏิกิริยาเคมีเพื่อสังเคราะห์สารเชื่อมประสาน CHS ได้แก่การเกิดปฏิกิริยาปอซโซลานิคระหว่างสารประกอบซิลิเกตในวัสดุปอซโซลานทำปฏิกิริยากับ $Ca(OH)_2$ ดังสมการ

$$SiO_2 + Ca(OH)_2 + H_2O \Rightarrow CSH$$

จากการศึกษาผลการวิจัยที่ผ่านมาแสดงให้เห็นว่าอุตสาหกรรมการผลิตหินอ่อนก่อให้เกิดฝุ่นหินอ่อนจำนวนมากทั้งจากขั้นตอนการระเบิดหินจากเหมืองและขั้นตอนการขึ้นรูปผลิตภัณฑ์และเมื่อศึกษาองค์ประกอบทางเคมีพบว่าองค์ประกอบหลักทางเคมีของฝุ่นหินอ่อนประกอบด้วย CaO ซึ่งสามารถทำปฏิกิริยากับน้ำเกิดเป็น calcium hydroxide ได้ดังสมการ

$$CaO + H_2O \Rightarrow Ca(OH)_2$$

ดังนั้นกรอบแนวคิดของงานวิจัยนี้ก็คือการศึกษาศักยภาพของการเป็นวัสดุเชื่อมประสานของซีเมนต์เจล CHS ซึ่งเกิดจากปฏิกิริยาปอซโซลานิคระหว่าง$Ca(OH)_2$ และออกไซด์ของซิลิเกตหรืออลูมิเนตในอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตพรุน

งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

Mannan and Ganapathy (2001) ได้ศึกษาการออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจากกะลาปาล์มน้ำมัน โดยใช้มาตรฐาน ACI ในการออกแบบและทดสอบกำลังอัดทีjอายุ 28 วันนั้นผลที่ได้มาค่าแตกต่างกันมากตามทีjได้ออกแบบไว้จึงได้ออกแบบส่วนผสมคอนกรีตจากกะลาปาล์มน้ำมันใหม่ใช้วิธีการสุ่มตัวอย่างโดยให้ปูนซีเมนต์คงที่และปรับอัตราส่วนของทรายกับอัตราส่วนของกะลาปาล์มน้ำมันได้อัตราส่วนผสมปูนซีเมนต์ต่อทรายต่อกะลาปาล์มน้ำมันเท่ากับ 1 : 1.71 : 0.77 ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.41 ทดสอบกำลังอัดที่อายุ28 วันมีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ 24.20 เมกะปาสคาล

ยุวดีและคณะ (2550) ได้ศึกษาอัตราส่วนผสมและชนิดของหินที่เหมาะสมในการทำบล็อกปูถนนเพื่อก่อสร้างลานจอดรถหรือทางเดินเท้าในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนครเพื่อลดการก่อสร้างพื้นที่ทึบน้ำทำให้น้ำผิวดินสามารถไหลซึมผ่านผิวลงสู่ชั้นดินได้ช่วยลดปัญหาเรื่องการระบายน้ำและปัญหาน้ำท่วมการไหลนองของน้ำฝนได้โดยได้ทำการวิจัยคุณสมบัติด้านกำลังอัดและความซึมน้ำของส่วนผสมคอนกรีตที่ทำจากหินเกล็ดและหินกรวดที่มีขนาดอยู่ระหว่างตะแกรงเบอร์ 4 และเบอร์ 8 จากการวิจัยพบว่าส่วนผสมคอนกรีตที่มีความเหมาะสมคือส่วนผสมที่ใช้หินกรวดที่มีขนาดคละและมีอัตราส่วนผสมของปูนซีเมนต์ร้อยละ 20 โดยน้ำหนักหินจะมีค่าความซึมน้ำของคอนกรีตเหมาะสมกับค่าความซึมน้ำของดินในเขตพื้นที่มหาวิทยาลัยเกษตรศาสตร์วิทยาเขตเฉลิมพระเกียรติจังหวัดสกลนครและมีกำลังอัดเฉลี่ยที 242 ksc

ดนุพลและคณะ (2550) ได้ศึกษาคุณสมบัติของมวลรวมจากกะลาปาล์มน้ำมันโดยทดสอบค่าการกระแทกการสึกหรอแบบลอสแองเจอลีสวิเคราะห์รูปทรงและความหนาแน่นรวมซึ่งออกแบบส่วนผสมคอนกรีตโดยใช้กะลาปาล์มเป็นมวลรวมและใส่หินฝุ่นแกรนิตเป็นแร่ผสมเพิ่มแทนที่ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 ในอัตราส่วนร้อยละ 10, 20 และ 30 โดยน้ำหนักทดสอบคอนกรีตทำการบ่มที่อายุ 7 และ 28 วันในน้ำปูนขาวอิ่มตัวเปรียบเทียบกับคอนกรีตควบคุมหาค่าการหดตัวแบบแห้งความหนาแน่นรวมการดูดซึมน้ำความแข็งแบบที่ผิวแบบชมิดต์ความต้านทานไฟฟ้าและกำลังอัดสรุปได้ว่าคอนกรีตกะลาปาล์มที่บ่มด้วยน้ำปูนขาวอิ่มตัวมีความหนาแน่นรวมและกำลังอัดอยู่ในช่วงเกณฑ์ของคอนกรีตมวลเบาการเติมหินฝุ่นแกรนิตแทนที่ปูนซีเมนต์ส่งผลต่อกำลังอัดเพิ่มขึ้นเล็กน้อยในอัตราส่วนแทนที่ร้อยละ 10 ที่อายุบ่ม 7 วันมีค่ากำลังอัดสูงสุดเท่ากับ27.61 เมกะปาสคาลและอัตราส่วนอื่นลดลงราวอัตราส่วนละร้อยละ 5 อย่างไรก็ตามกำลังอัดของคอนกรีตผสมกะลาปาล์มที่อายุบ่ม 7 วันสามารถให้ค่าเทียบเคียงกับที่อายุบ่ม 28 วันนั้นคือลดเวลาการบ่มคอนกรีตมีประสิทธิภาพในการใช้งานได้เร็วขึ้น

ธรรมนูญและคณะ (2552) ได้ศึกษาอัตราส่วนผสมในการทำคอนกรีตระบายน้ำได้โดยได้ทำการวิจัยคุณสมบัติด้านกำลังอัดหน่วยน้ำหนักและอัตราการไหลของน้ำผ่านคอนกรีตพรุนส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ทำจากหิน 3 ขนาดที่เลือกใช้คือ 3/4, 1/2 และ 3/8 นิ้วโดยใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 15, 20 และ 30 ของน้ำหนักหินและใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (w/c) เท่ากับ 0.20, 0.30และ 0.40 จากการวิจัยพบว่าคอนกรีตพรุนที่ใช้อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์สูงส่งผลให้กำลังการยึดเกาะของปูนซีเมนต์เพสต์มีค่าต่ำจึงทำให้คอนกรีตพรุนที่ใช้หินขนาดใหญ่มีค่ารับแรงอัดต่ำกว่าคอนกรีตพรุนที่ใช้หินขนาดเล็กในทางกลับกันคอนกรีตพรุนทีใช้อัตราส่วน

น้ำต่อซีเมนต์ทีมีค่าต่ำส่งผลให้กำลังการยึดเกาะของปูนซีเมนต์เพสต์มีค่าที่สูงกว่าแรงเสียดทานระหว่างเม็ดหิน จึงทำให้คอนกรีตพรุนทีใช้หินขนาดใหญ่มีค่ารับแรงอัดมากกว่าคอนกรีตพรุนทีใช้หินขนาดเล็ก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 3
วิธีดำเนินการวิจัย

ก่อนจะมีการทดสอบในห้องปฏิบัติการจำเป็นต้องมีการรวบรวมข้อมูลและผลงานวิจัยที่เกี่ยวข้องกับการใช้ชิ้นยางรถยนต์เก่าในงานต่างๆ และวิธีทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติด้านความร้อน โดยรวบรวมประวัติความเป็นมารวมถึงการนำไปใช้งานของคอนกรีตพรุนทั้งในประเทศและต่างประเทศ การจำแนกประเภทและคุณสมบัติต่างๆของชิ้นยางรถยนต์ขนาดต่างๆที่มีการนำมาใช้ในส่วนผสมของการทำคอนกรีตพรุนรวมทั้งกลไกการปรับปรุงคุณสมบัติของการเติมชิ้นยางรถยนต์ในคอนกรีตพรุนเพื่อศึกษาลักษณะและผลที่เกิดขึ้นหลังจากการทดสอบเพื่อนำข้อมูลมาสังเคราะห์สำหรับการนำไปขยายผลเพื่อถ่ายทอดองค์ความรู้และนำไปใช้ได้จริง

1. สถานที่ทำการทองและเก็บข้อมูล

1. สาขาเทคโนโลยีการจัดการงานช่างและผังเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

2. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

3. ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่น

4. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาราชมงคลรัตนโกสินธิ์ ศาลายา

2. วัสดุที่ใช้ในการทดลอง

1 นำหินมาแยกขนาดด้วยตะแกรงขนาด 3/8 นิ้วและ3/4นิ้วแล้วล้างทำความสะอาดหลังจากนั้นนำมาหาค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของหินหาค่าความถ่วงจำเพาะหาค่าหน่วยน้ำหนักและอบหินในตู้อบที่อุณหภูมิ 110 ± 5 องศาเซลเซียสเป็นเวลา 24 ชั่วโมง นำชิ้นยางรถยนต์เก่าทั่วไปใน อำเภอเมือง จังหวัดมหาสารคาม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

2. ชิ้นยางรถยนต์เก่าทั่วไปนำมาย่อยให้ได้ขนาดค้างตะแกรง 3/8 นิ้วและ 3/4 นิ้ว

3. ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

4 ใช้น้ำประปาในการผสมคอนกรีต

3. การศึกษาคุณสมบัติทั่วไปของวัสดุ

3.1 ความถ่วงจำเพาะของหิน

การทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหิน ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C127-88 Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Coarse Aggregate โดยใช้หินตัวอย่างที่อยู่ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (Saturated Surface Dry, SSD) มาทดสอบ

3.2 การหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวม

การทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวม ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C29 Standard Test Method for Bulk Density (“Unit Weight”) and Void in Aggregate ตัวอย่างการทดสอบหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8 " แสดงในตางรางที่ 3.1

ตารางที่ 3.1 ตัวอย่างหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8"

ตัวอย่าง	ขนาดของหิน	น้ำหนัก Mold (kg)	น้ำหนักหิน+ Mold (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	ปริมาตรของ Mold (m^3)	Unit Weight (Kg/m^3)	Percent Void (%)	Average (%)
1	3/8"	3.72	13.19	9.47	0.00707	1,865.629	30.604	
2	3/8"	8.30	27.88	19.58	0.01605	1,737.072	35.386	33.916
3	3/8"	15.76	54.04	38.28	0.03129	1,727.069	35.758	

3.1 การหล่อตัวอย่างในการวิจัยมีขั้นตอนดังนี้

1. เตรียมหิน และชิ้นยางรถยนต์เก่า โดยอัตราส่วนผสมของหินต่อชิ้นย่างรถยนต์ในอัตราส่วน 0,5,10,20,30,40 และ 50 เปอร์เซนต์โดยน้ำหนัก

2. นำอัตราส่วนผมในแต่ละกลุ่มที่ออกแบบไว้ผสมเพื่อให้เป็นเนื้อเดียวกัน โดยจะผสมในเครื่องผสม จากนั้นนำมาหล่อในแบบขนาด 15*15*15 เซนติเมตรโดยแบ่งใส่ชั้นเป็น 3 ชั้นในแต่ละชั้นจะมีปริมาตรประมาณ 1/3 ของปริมาตรคอนกรีตแบบหล่อตัวอย่างทดสอบกระทุ้ง 25 ครั้งในแต่ละชั้นโดยกระทุ้งให้ทั่วพื้นที่หน้าตัดของคอนกรีตและลึกลงไปในเนื้อคอนกรีตชั้นล่างเล็กน้อยชั้นบนใส่คอนกรีตให้สูงกว่าขอบแบบหล่อตัวอย่างหลังจากนั้นปาดผิวให้เรียบ แล้วทิ้งไว้ 48 แล้วใช้พลาสติกคลุ้มเพื่อป้องกันการระเหยของน้ำแต่ละอัตราส่วนผสมๆ ละ 3 ตัวอย่าง จากทั้งหมด 22 กลุ่มตัวอย่างส่วนผสม

3. นำตัวอย่างออกจากแบบแล้วบ่มชื้นไม่น้อยกว่า28 วัน

4. นำวิธีการทดลองนี้ไปผลิตจริงกับโรงงานผลิตอิฐมอญเพื่อดูผลการทดลองเปรียบเทียบกับห้องปฏิบัติการ

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

3.2 การออกแบบส่วนผสม

การออกแบบส่วนผสมคอนกรีตพรุนยังคงไม่มีมาตรฐานที่ยอมรับและใช้งานทั่วไปอย่างคอนกรีตธรรมดา ACI522R-10 (ACI522r-10, 2010) แนะนำการออกแบบคอนกรีตพรุนไว้ว่า คอนกรีตพรุนที่มีปริมาณ 1 ลูกบาศก์เมตร ประกอบด้วยมวลรวมหยาบที่อยู่ชิดกันในสภาพที่หลวมกว่าสภาพอัดแน่น เล็กน้อย ทั้งนี้เนื่องจากมีปริมาณเพสต์เข้าไปเคลือบผิวมวลรวมและแทรกตัวอยู่ในช่องว่าง ทั้งนี้สภาพการ อยู่ชิดกันของมวลรวมในคอนกรีตนั้นขึ้นอยู่กับสมบัติของเพสต์ ปริมาณเพสต์ และพลังงานที่ใช้ในการอัด แน่น เพสต์ที่มีค่าการไหลสูงจะเคลือบผิวมวลรวมได้บางกว่า ทำให้มวลรวมอยู่ชิดกันมากกว่า แต่จะไม่สามารถใช้ในปริมาณมากได้เนื่องจากจะเกิดการไหลของซีเมนต์เพสต์ไปอุดตันด้านล่าง ขณะที่ซีเมนต์เพสต์ที่มีค่าต่ำจะ เคลือบผิวมวลรวมได้หนากว่า ส่งผลให้มวลรวมอยู่ห่างกันมากขึ้น ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่มากขึ้นจะส่งผลให้มวลรวมอยู่ห่างกันมากขึ้น และพลังงานในการอัดแน่นที่สูงขึ้นจะทำให้มวลรวมอยู่ชิดกันมากขึ้น โดยทั่วไป ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะสมมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 15-25 ทั้งนี้ขึ้นอยู่กับขนาดและลักษณะของมวลรวม โดย ที่มวลรวม

ขนาดเล็กหรือมีผิวหยาบจะมีพื้นที่ผิวมากกว่ามวลรวมขนาดใหญ่หรือผิวเรียบ ดังนั้น จึงต้องการ ปริมาณซีเมนต์เพสต์ในการเคลือบผิวมากกว่า และปริมาณซีเมนต์เพสต์ยังขึ้นอยู่กับพลังงานที่ใช้ในการอัดแน่น หากพลังงานในการอัดแน่นสูง ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ไม่ควรมาก ทั้งนี้เพื่อป้องกันการไหลลงด้านล่างของซีเมนต์เพสต์การออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตพรุนเบื้องต้นจึงต้องทำการทดลองหาปริมาณหินและปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะสมกับระดับพลังงานที่ใช้ในการอัดแน่น สำหรับปริมาณปูนซีเมนต์ (C) นั้น เมื่อกำหนด ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ (Vp) ในคอนกรีตพรุน 1 ลูกบาศก์เมตร และอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ (W/C) แล้วสามารถคำนวณหาปริมาณได้พร้อมทั้งปริมาณน้ำ (W) ตามสมการที่ 3.1และ 3.2

3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลคอนกรีตพรุนดังนี้

$$V_p = C/(3.15 \times 1000\ kg/m^3) + W/(1000\ kg/m^3) \quad \text{..... (3.1)}$$

$$W = (W/C) \times C \quad \text{..... (3.2)}$$

และสามารถคำนวณปริมาณปูนซีเมนต์ได้จากสมการที่ 3.3 คือ

$$C = (Vp*1000)/(0.315+W/C)\ \ kg/m^3 \quad \text{(3.3)} \quad \text{..... (3.3)}$$

Vp คือ ปริมาตรของซีเมนต์เพสต์ (กิโลกรัม/ลูกบาศก์เมตร)

C คือ ปริมาณปูนซีเมนต์ (กิโลกรัม)

W คือ ปริมาณน้ำ (กิโลกรัม)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตัวอย่างการออกแบบส่วนผสมของคอนกรีตพรุนโดยกำหนดเพลต์จากช่องว่างของหินแต่ละขนาดเท่ากับ 0.10 และ W/C Ratio 0.40 แสดงในตารางที่ 3.2

ตารางที่ 3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุน

ขนาดหิน	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	น้ำหนัก TR(kg)	น้ำหนักTR (kg)
3/8"	0.15	0.30	242.931	72.879	1,829.158	2,144.968	0
3/4"	0.15	0.30	242.931	72.879	1,842.208	2,158.018	0

สำหรับขั้นตอนการผสมและอัดแน่นตัวอย่างทำโดยผสมซีเมนต์เพสต์จนเนื้อซีเมนต์เพสต์เข้ากัน ได้ดีใช้เวลา 5 นาที ใส่หินที่เตรียมไว้ในสภาพอิ่มตัวผิวแห้งลงในส่วนผสมต่อไปเป็นเวลา 3 นาที แล้วนำส่วนผสมที่ได้เทลงในแบบหล่อ โดยแบ่งเป็น 3 ชั้น แต่ละชั้นทำการกระทุ้งชั้นละ 25 ครั้ง ปาดหน้าให้เรียบ ทิ้งให้คอนกรีตแข็งตัวเป็นเวลา 24 ชั่วโมง ถอดแบบและบ่มชื้นจนครบอายุการทดสอบ ใช้ตัวอย่างรูป ทรงกระบอก

เส้นผ่าศูนย์กลาง 10 เซนติเมตร และสูง 20 เซนติเมตร สำหรับทดสอบกำลังรับแรงอัด และ ใช้ตัวอย่างรูปคานหนา 15 เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร และสูง 15 เซนติเมตร สำหรับทดสอบกำลัง รับแรงดัด และใช้ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง3 นิ้ว เป็นแบบหล่อสำหรับการทดสอบการไหลซึมผ่าน ของน้ำในคอนกรีตพรุน

3.4 การทดสอบค่าการยุบตัวและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

การทดสอบหาค่าการยุบตัวของคอนกรีต ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C143-89 Standard Test Method for Slump of Portland Cement Concrete

3.4.1การทดสอบกำลังรับแรงอัด การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM C39 โดยจะ ทำการทดสอบที่อายุ 7 วันและ 28 วัน ใช้ตัวอย่างทรงกระบอกขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 10เซนติเมตรสูง 20 เซนติเมตร

3.4.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัด การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต ทดสอบโดยอ้างอิงมาตรฐาน ASTM C78 โดยใช้ ตัวอย่างรูปคานหนา 15 เซนติเมตร กว้าง 50 เซนติเมตร สูง 15 เซนติเมตร ทำการทดสอบที่อายุ 7 วัน ใช้ วิธีการทดสอบแบบกดสองจุดโดยที่ระยะระหว่างแรงกดเท่า ๆ กัน โดยใช้สมการที่ 3.4 และ 3.5 ในการ คำนวณกำลังรับแรงดัด

$$R = \frac{PL}{Bd^2} \quad \text{(สำหรับรอบแตกขาดอยู่ในช่วงกลางคาน)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.4)$$

และ

$$R = \frac{PL}{Bd^2} \quad \text{(รอยแตกขาดอยู่นอกช่วงกลางคาน)} \quad \ldots\ldots\ldots\ldots \quad (3.5)$$

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM RAJABHAT UNIVERSITY

R คือ กำลังรับแรงดัด (กิโลกรัม/ตารางเซนติเมตร)

P คือ แรงกดสูงสุด (กิโลกรัม)

L คือ ช่วงคานระหว่างจุดรองรับ (เซนติเมตร)

b คือ ความกว้างเฉลี่ยของคานบริเวณรอยแตก (เซนติเมตร)

d คือ ความลึกเฉลี่ยของคานบริเวณรอยแตก (เซนติเมตร)

A คือ ระยะทางเฉลี่ยระหว่างรอยแตกถึงจุดรองรับที่ใกล้ที่สุด (เซนติเมตร)

ภาพที่ 3.1 เครื่องมือทดสอบกำลังอัดคอนกรีตคอนกรีต

3.4.4 การทดสอบค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ

การทดสอบค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ ทดสอบตามมาตรฐาน ASTM D2434 โดยใช้ ท่อ PVC ขนาดเส้นผ่าศูนย์กลาง 3 นิ้วเป็นแบบหล่อ เป็นการทดสอบหาค่าการซึมผ่านน้ำแบบแรงดันคงที่ (Constant Head Test) ค่าการซึมผ่านของน้ำสามารถคำนวณได้จากสมการที่ 3.4

$$k = \frac{QL}{HAt} \quad \text{.....} \quad (3.6)$$

Q คือ ปริมาตรน้ำ (ลูกบาศก์เซนติเมตร) ที่วัดในเวลา t (วินาที)

k คือ ค่าการซึมผ่านน้ำ (เซนติเมตร/วินาที)

A คือ ขนาดหน้าตัดตัวอย่าง (ตารางเซนติเมตร)

L คือ ความสูงของตัวอย่าง (เซนติเมตร)

H คือ ระยะระหว่างระดับน้ำที่ทางออกทั้งสองทาง (เซนติเมตร)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 3.2 เครื่องมือทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต

3.4.5 การทดสอบการไหลแผ่ (Flow Test)

ทดสอบเพื่อหาระดับความข้นเหลวของซีเมนต์เพสต์ว่ามีสภาพเหมาะในการนำไปใช้งานหรือไม่ค่าการไหลของซีเมนต์เพสต์ที่เหมาะแก่การนำไปใช้งานอยู่ในช่วง 150-230 มิลลิเมตร (ที่มา: วารสารราชบัณฑิตยสถาน, 2553) ซึ่งทดสอบโดยใช้เครื่อง Flow Table ในการทดสอบ โดยใช้การหาค่า ร้อยละของการไหลจากสมการ 3.7

$$\text{ค่าร้อยละการไหล} = \frac{(\text{Ø}s - \text{Ø}c)}{\text{Ø}c} \times 100 \quad \text{.....} \quad (3.7)$$

$\text{Ø}s$ คือ เส้นผ่าศูนย์กลางเฉลี่ยของคอนกรีต (cm)

$\text{Ø}c$ คือ เส้นผ่าศูนย์กลางของขอบล่างของแบบหล่อ (cm)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 4
ผลการทดสอบและอภิปลายผล

4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

4.1.1 ความถ่วงจำเพาะของหิน

ค่าความถ่วงจำเพาะของหินที่ใช้ในการทดสอบเท่ากับ 2.70 โมดูลัสความละเอียดของหินเท่ากับ 2.65

4.1.2 การ**หาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวม**

ค่าหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8 " และ 3/4 " ได้แสดงในตารางที่ 4.1 และ4.2 จากผลการทดสอบหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบมีค่าระหว่าง 1,727.069 ถึง 1,951.909 กิโลกรับต่อลูกบาศก์เมตร และช่องว่างของมวลรวมหยาบมีค่าระหว่าง 31.770 ถึง 33.916 โดยมวลรวมหยาบปกติจะมีค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมหยาบมีค่าระหว่าง 1,500 ถึง 1,800 ช่องว่างระหว่างมวลรวม (Voids) เป็นค่าที่แสดงถึงว่ามีอากาศปนแทรกอยู่ระหว่างมวลรวมเท่าใด โดยทั้งนี้ไม่รวมช่องว่างภายในของมวลรวม ซึ่งค่านี้จะเป็นตัวกำหนดปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่จะผสมลงในคอนกรีต โดยหน่วยน้ำหนักและช่องว่างของมวลรวมหยาบจะขึ้นอยู่กับรูปร่างและปริมาณความชื้นของมวลรวมหยาบ

ตารางที่ 4.1 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8"

ตัวอย่าง	ขนาดของหิน	น้ำหนัก Mold (kg)	น้ำหนักหิน+ Mold (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	ปริมาตรของ Mold (m^3)	Unit Weight (Kg/m^3)	Percent Void (%)	Average (%)
1	3/8"	3.72	13.19	9.47	0.00507	1,865.629	30.604	
2	3/8"	8.30	27.88	19.58	0.01127	1,737.072	35.386	33.916
3	3/8"	15.76	54.04	38.28	0.02216	1,727.069	35.758	

ตารางที่ 4.2 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/4"

ตัวอย่าง	ขนาดของหิน	น้ำหนัก Mold (kg)	น้ำหนักหิน+ Mold (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	ปริมาตรของ Mold (m^3)	Unit Weight (Kg/m^3)	Percent Void (%)	Average (%)
1	3/4”	3.72	13.80	10.08	0.00507	1,951.909	27.394	
2	3/4"	8.30	28.35	20.05	0.01127	1,766.355	34.296	31.770
3	3/4"	15.76	55.84	40.08	0.02216	1,784.595	33.618	

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

4.1.3 การทดสอบการไหลแผ่ (Flow Test)

จากการทดสอบช่วง W/C Ratio ที่มีความสามารถในการทำงานได้อยู่ในช่วง 0.28 – 0.43 ซึ่งเมื่อ W/C Ratio น้อยกว่า 0.28 การไหลแผ่จะมีค่าน้อยมากกว่า 150 มิลลิเมตร มีความสามารถในการทำงานได้ไม่เพียงพอ เช่นเดียวกันเมื่อ W/C Ratio มากกว่า 0.43 การไหลแผ่จะมีค่ามากกว่า 230 มิลลิเมตร ซีเมนต์เพสต์ไหลออกจาก Flow Table ในขณะที่ทำการหมุนกระทุ้ง เมื่อนำไปผสมคอนกรีตจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ไม่เกาะตัวกับมวลรวม

ตารางที่ 4.3 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์ 0.15และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40

ขนาดหิน และ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	น้ำหนัก TR(kg)
3/8"-0	0.15	0.40	209.071	83.628	1,784.26	0
3/8"-10	0.15	0.40	209.071	83.628	1,605.84	178.426
3/8"-20	0.15	0.40	209.071	83.628	1,427.41	356.852
3/8"-30	0.15	0.40	209.071	83.628	1,248.41	535.278
3/8"-40	0.15	0.40	209.071	83.628	1,070.56	713.704
3/8"-50	0.15	0.40	209.071	83.628	892.13	892.13
3/4"-0	0.15	0.40	209.071	83.628	1,842.208	0
3/4"-10	0.15	0.40	209.071	83.628	1,657.99	184.221
3/4"-20	0.15	0.40	209.071	83.628	1,473.77	368.442
3/4"-30	0.15	0.40	209.071	83.628	1,289.55	552.663
3/4"-40	0.15	0.40	209.071	83.628	1,105.33	736.884
3/4"-50	0.15	0.40	209.071	83.628	921.1	921.105

ตารางที่ 4.4 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์0.20และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40

ขนาดหิน และ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	น้ำหนัก TR(kg)
3/8"-0	0.20	0.40	278.761	111.504	1,829.158	0
3/8"-10	0.20	0.40	278.761	111.504	1646.242	182.916
3/8"-20	0.20	0.40	278.761	111.504	1463.326	365.832
3/8"-30	0.20	0.40	278.761	111.504	1280.411	548.747
3/8"-40	0.20	0.40	278.761	111.504	1097.495	731.663
3/8"-50	0.20	0.40	278.761	111.504	914.579	914.579
3/4"-0	0.20	0.40	278.761	111.504	1,842.208	0
3/4"-10	0.20	0.40	278.761	111.504	1,657.99	184.221
3/4"-20	0.20	0.40	278.761	111.504	1,473.77	368.442
3/4"-30	0.20	0.40	278.761	111.504	1,289.55	552.663
3/4"-40	0.20	0.40	278.761	111.504	1,105.33	736.884
3/4"-50	0.20	0.40	278.761	111.504	921.1	921.105

4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต

ตารางที่ 4.5 และ 4.6 แสดงค่ากำลังอัดของคอนกรีตพรุนที่อายุการบ่ม 7 วัน โดยมีค่าของปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 และ 0.20 ตามลำดับ และในแต่ละซีเมนต์เพสต์มีอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40 มีขนาดของมวลรวมที่ต่างกัน พบว่าคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบขนาดเล็กให้ความสามารถในการเทเข้าแบบได้ง่ายกว่าคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบที่มีขนาดใหญ่และลักษณะของก้อนตัวอย่างมีความสม่ำเสมอหรือมีการกระจายตัวของซีเมนต์เพสต์ที่ดีกว่าด้านบนของก้อนตัวอย่างมีการยึดเกาะกันดีไม่หลุดร่อนง่ายเหมือนคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบขนาดใหญ่

ตารางที่ 4.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงดัดและการไหลซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนของปริมาตรเพสต์ 0.15

ขนาดหินและ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	กำลังรับแรงดัด (kg/cm^2)	ค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ(cm/s)
3/8"-0	0.15	0.40	29.689	9.541	5.262
3/8"-10	0.15	0.40	25.985	5.505	6.761
3/8"-20	0.15	0.40	17.632	4.771	6.931
3/8"-30	0.15	0.40	14.622	3.641	6.642
3/8"-40	0.15	0.40	13.233	2.794	7.844
3/8"-50	0.15	0.40	6.985	1.896	7.237
3/4"-0	0.15	0.40	33.150	6.789	5.659
3/4"-10	0.15	0.40	30.283	4.954	6.726
3/4"-20	0.15	0.40	22.930	4.771	6.927
3/4"-30	0.15	0.40	14.853	3.664	7.446
3/4"-40	0.15	0.40	11.983	2.789	7.842
3/4"-50	0.15	0.40	5.980	1.742	7.894

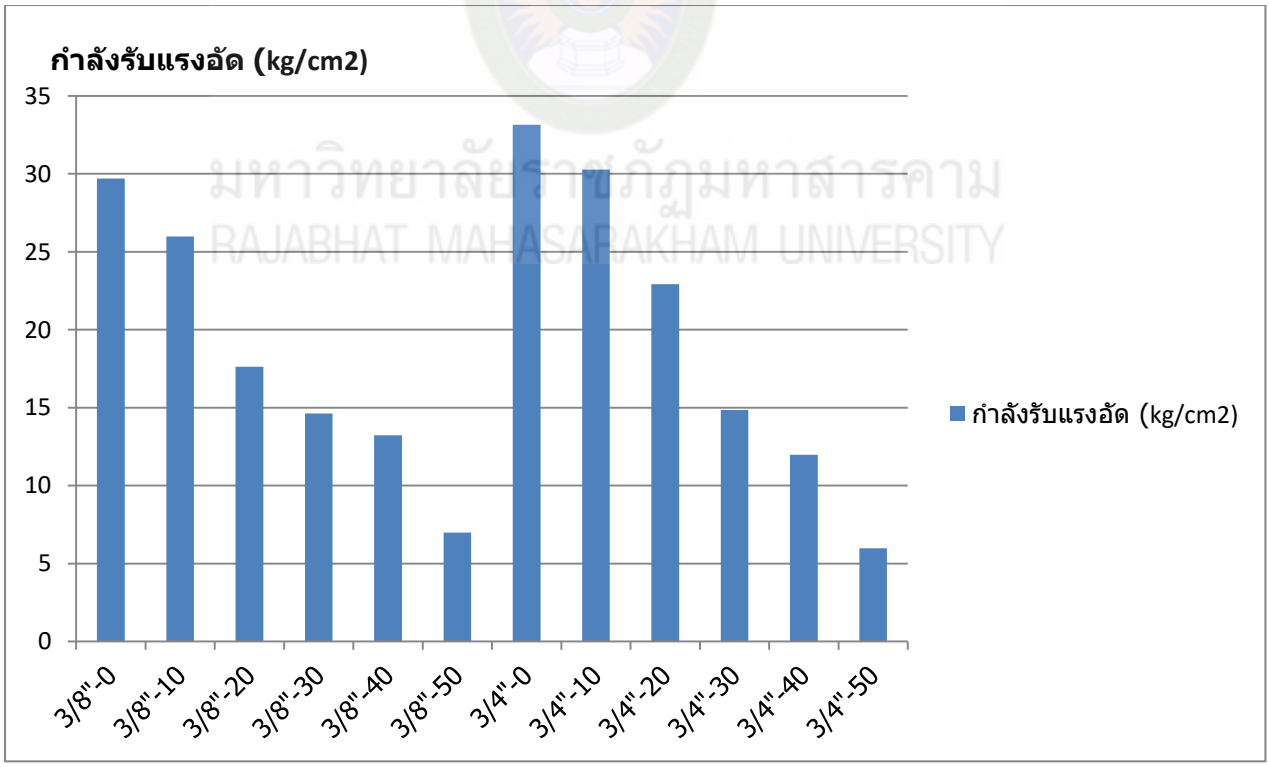
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ 4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงดัดและการไหลซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนของปริมาตรเพสต์ 0.20

ขนาดหินและ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	กำลังรับแรงดัด (kg/cm^2)	ค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ(cm/s)
3/8"-0	0.20	0.40	55.877	12.661	6.926
3/8"-10	0.20	0.40	44.561	11.376	6.982
3/8"-20	0.20	0.40	37.476	8.193	6.330
3/8"-30	0.20	0.40	24.866	4.284	6.267
3/8"-40	0.20	0.40	18.285	2.142	6.889
3/8"-50	0.20	0.40	12.637	1.586	6.937
3/4"-0	0.20	0.40	52.745	11.624	7.447

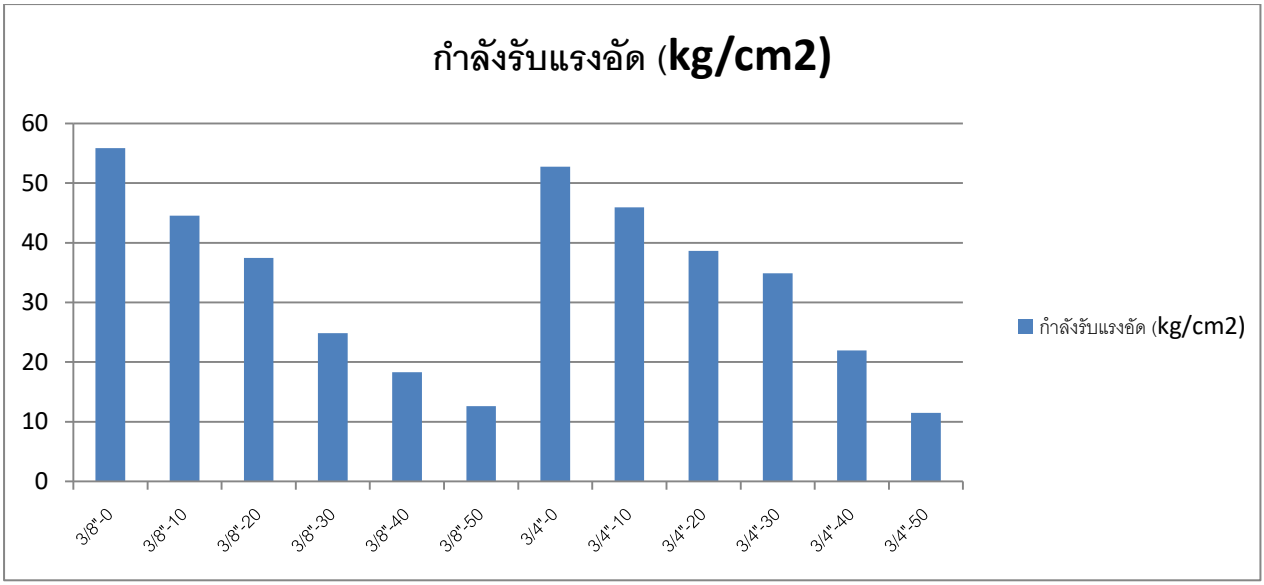
3/4"-10	0.20	0.40	45.958	8.055	7.797
3/4"-20	0.20	0.40	38.632	6.946	8.651
3/4"-30	0.20	0.40	34.875	4.877	7.976
3/4"-40	0.20	0.40	21.926	2.526	7.248
3/4"-50	0.20	0.40	11.482	1.119	6.475

จากภาพที่ 4.1 และ 4.2แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบขนาดเล็กมีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ต่ำ และมีปริมาณเพสต์มากจะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุด และคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบที่แทนที่ด้วยยางรถยนต์ในเปอร์ที่สูงขึ้นและที่มีขนาดใหญ่มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์มากและมีปริมาณเพสต์น้อยจะมีค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำที่สุด โดยกราฟภาพที่ 4.1 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด3 /8 " และ 3 /4 " ได้ค่ากำลังรับแรงอัดตั้งแต่ 5.98กิโลกรมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 29.689กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กราฟภาพที่ 4.2 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.20แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3 / 8 " และ 3 / 4 " ได้ค่ากำลังรับแรงอัดตั้งแต่ 11.482 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 55.87 กิโลกรัมต่อตาราง

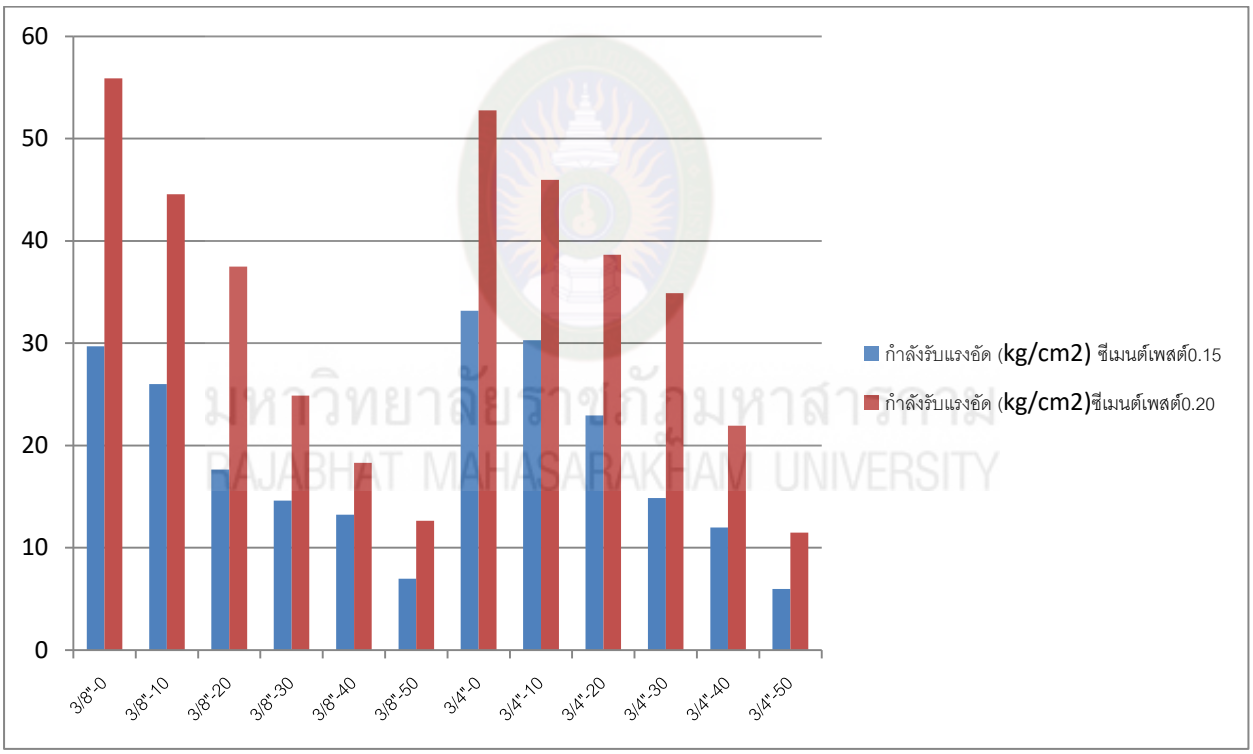


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.40 ที่ใช้ปริมาณเพสต์เท่ากับ 0.15



ภาพที่ 4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.40 ที่ใช้ปริมาณเพสต์เท่ากับ 0.20



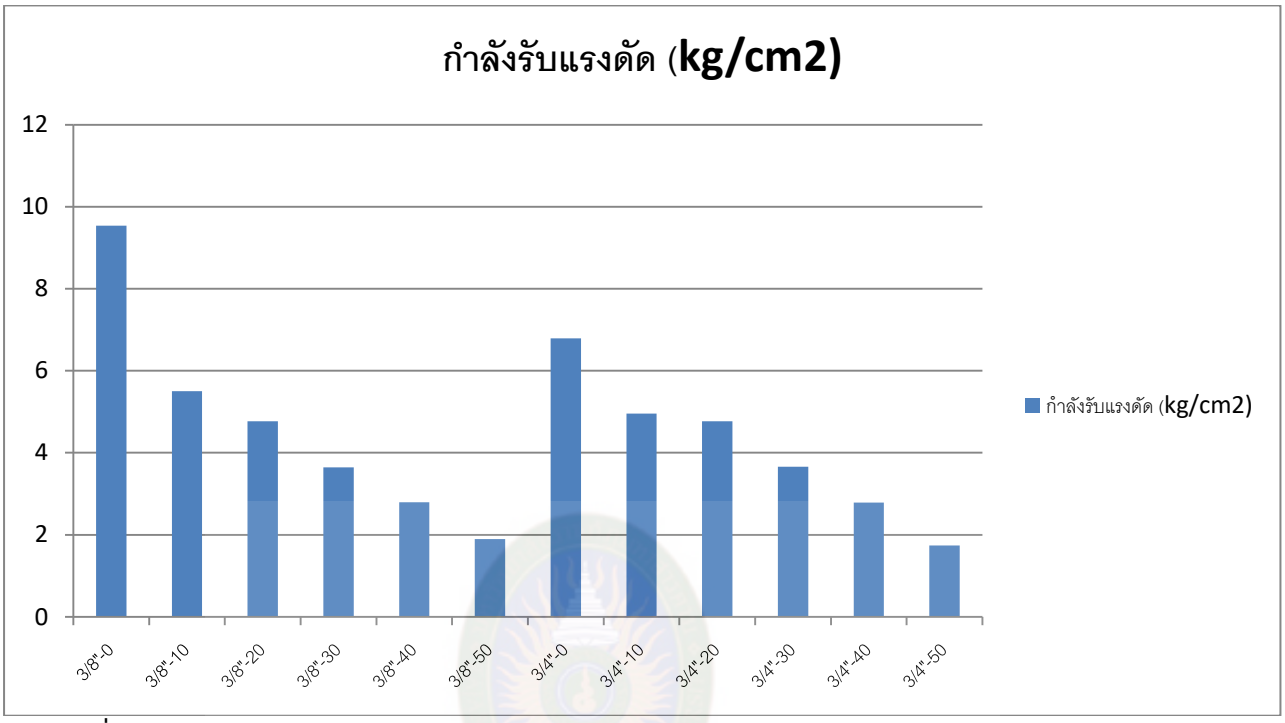
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ 0.15 และ 0.20 มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40

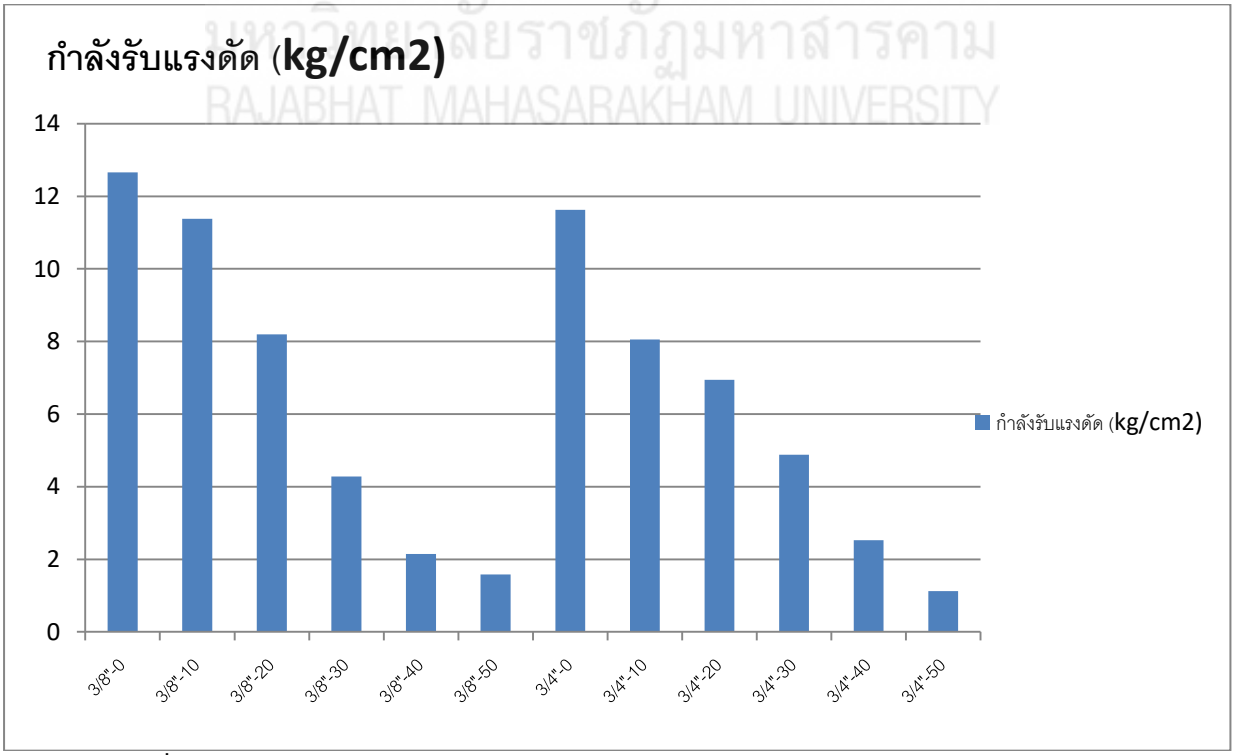
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีต

กำลังคอนกรีตถือว่าเป็นคุณสมบัติที่สำคัญที่สุดของคอนกรีต ทั้งนี้เพราะกำลังของคอนกรีตเป็นคุณสมบัติที่นำไปใช้โดยตรง เข้าใจง่าย และทดทดได้ง่ายเช่นกัน แม้ว่าในบางกรณีคุณสมบัติอย่างอื่น เช่น ความคงทนต่อการกัดกร่อนหรือความทึบน้ำ อาจมีความสำคัญกว่ากำลังอัดของคอนกรีตโดยเฉพาะในสภาพแวดล้อมที่มีการกัดกร่อนต่อคอนกรีตรุนแรง แต่ในทางปฏิบัติพบว่าคอนกรีตที่รับกำลังได้ดีจะมี

คุณสมบัติด้านอื่นดีด้วย ดังนั้นการศึกษาถึงกำลังของคอนกรีตจึงเป็นสิ่งสำคัญและจำเป็นอย่างยิ่งในเรื่องของคอนกรีตเทคโนโลยี จากผลการทดลองกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตในงานวิจัยนี้ดังแสดงในภาพที่ 4.4 -4.6

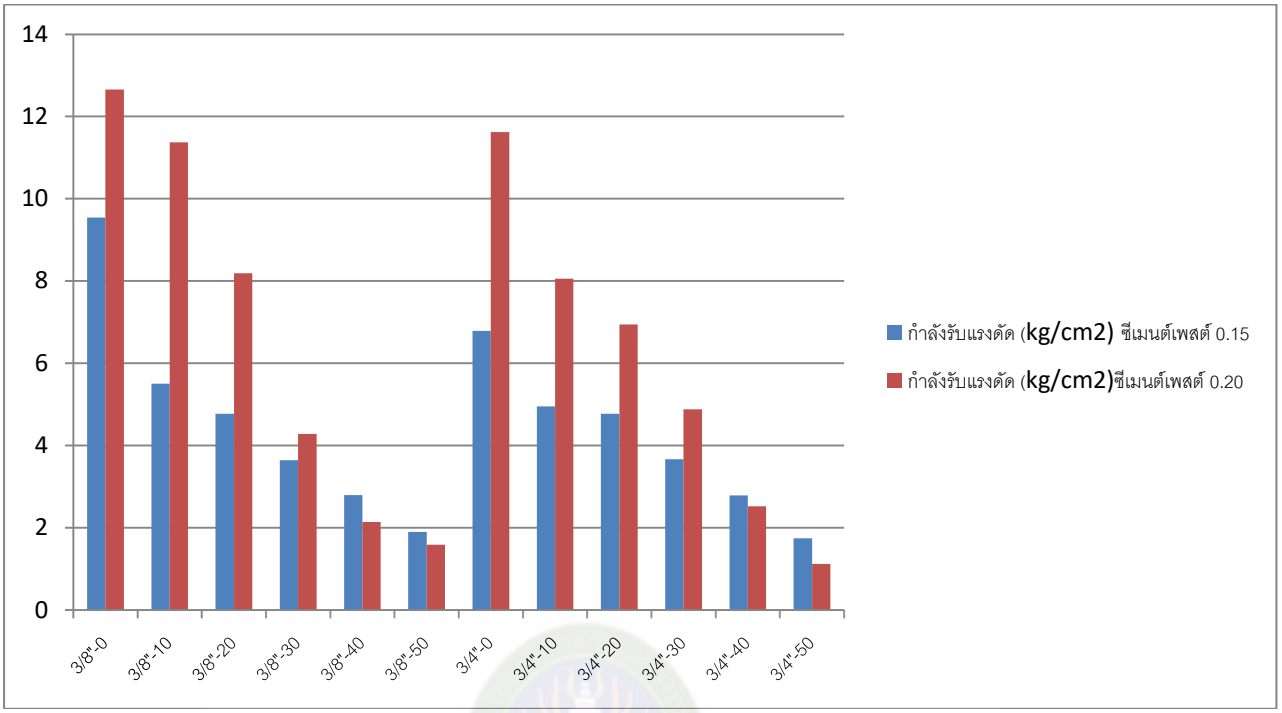


ภาพที่ 4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.15 ของมวลรวมขนาด 3/4 ” และ 3/8”



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.20 ของมวลรวมขนาด 3/4"



ภาพที่ 4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ 0.15 และ 0.20 มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40

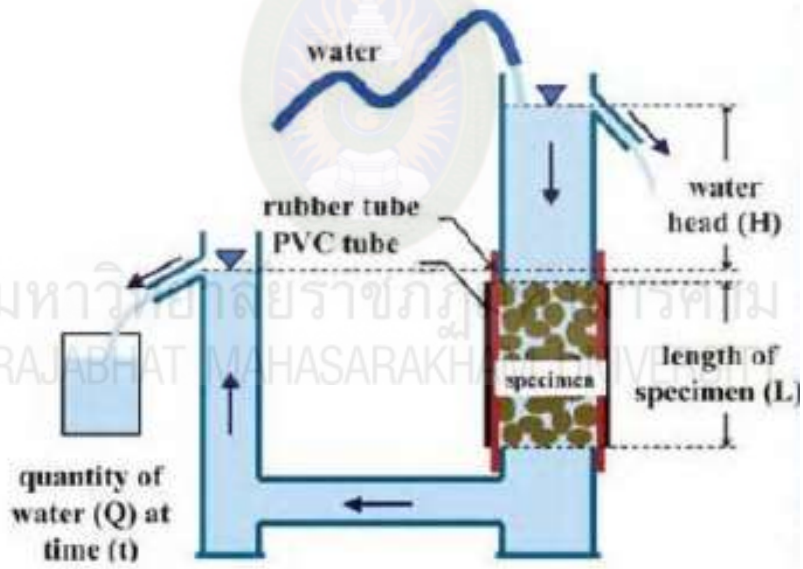
จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.40 แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3 /8 " และ 3/ 4 " และกราฟแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ของมวลรวมหยาบขนาด 3 /8 " และ 3 /4 " พบว่าปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่เพิ่มขึ้นจะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่จุดเชื่อมต่อระหว่างมวลรวมหยาบหนาขึ้นและทำให้ขนาดของโพรงหรือช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตพรุนลดลงส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนเพิ่มมากขึ้น

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรังแรงอัดกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 และ 0.20 แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3 /8 " และ 3 /4 " พบว่าค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เป็นสัดส่วนแปรผกผันกับค่าของกำลังดัดและปริมาณซีเมนต์เพสต์แปรผันตรงต่อกำลังรับแรงดัด ดังแสดงในภาพที่ 4.5 และ 4.6 แต่อย่างไรก็ตามจากผลการทดลองมีการเหวี่ยงขึ้นลงของค่ากำลังดัด มีสาเหตุเกิดจากหลายปัจจัย เช่น ลักษณะความต่อเนื่องของโพรงภายในเนื้อคอนกรีต ลักษณะพื้นผิวของมวลรวม และกระบวนการในการผสมคอนกรีต เป็นต้น ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนเมื่อเทียบกับคอนกรีตที่มีมวลรวมละเอียดจะให้กำลังที่น้อยกว่าคอนกรีตพรุนที่อายุ 7 วัน จากภาพที่ 4.6 และ 4.7 แสดงค่ากำลังรับแรงดัดมีลักษณะเช่นเดียวกับกำลังอัด นั่นคือกำลังดัดแปรผันตรงกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ผสมในคอนกรีตพรุน โดยกราฟที่ 4.7จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.4แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3 /8 " และ 3 /4 " ได้ค่ากำลังรับแรงดัดตั้งแต่ 1.119 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 12.661 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กราฟที่ 4.7 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์

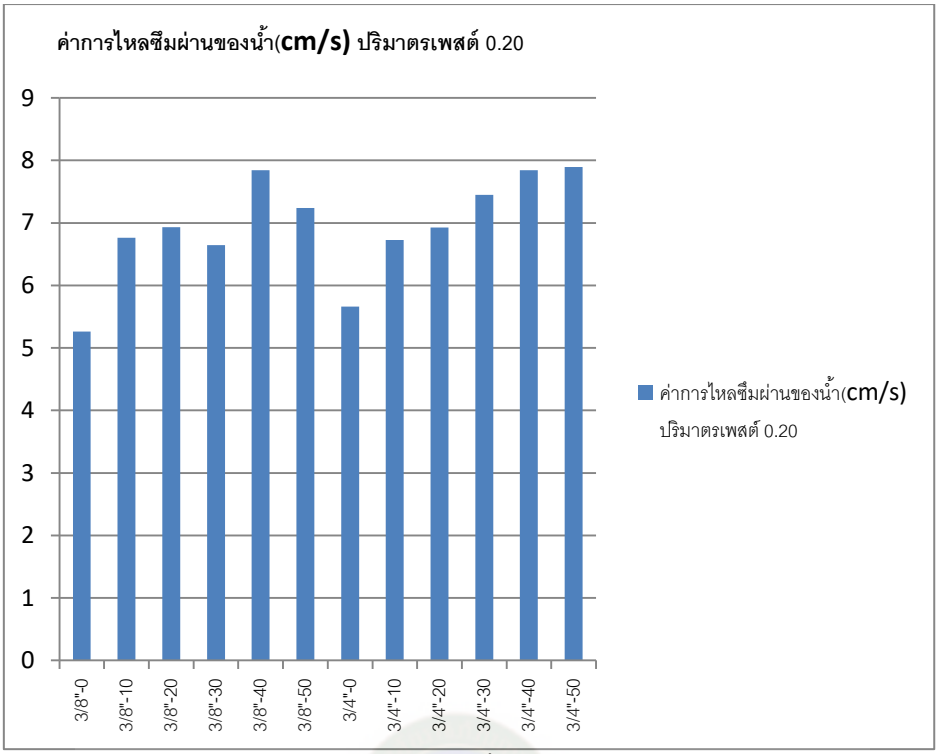
เท่ากับ 0.4 แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3 /8 " และ 3 /4 " ได้ค่ากำลังรับแรงดัดตั้งแต่ 1.119 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 12.661 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร

4.4 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุน

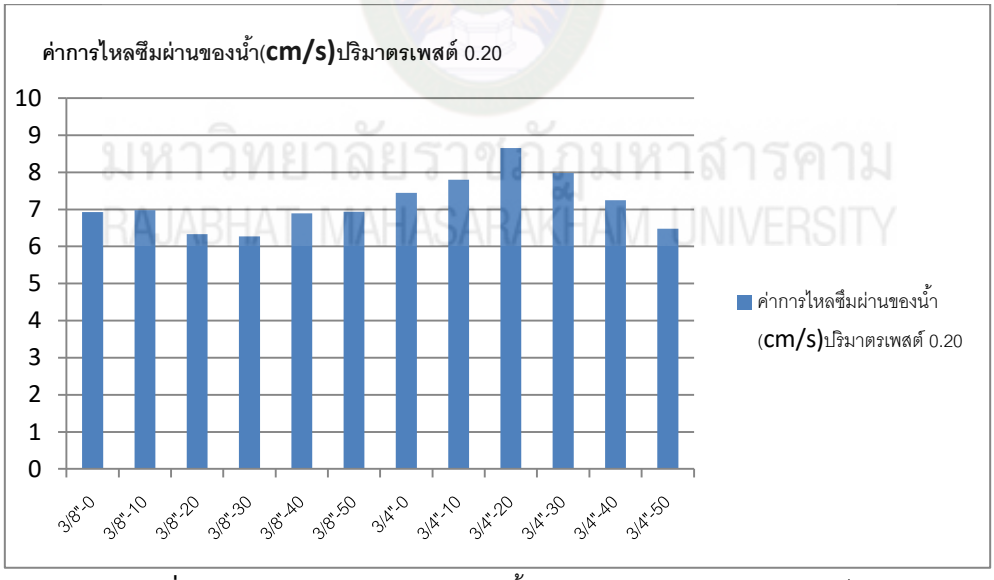
ในการทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำโดยใช้วิธี Constant Head Method จากภาพที่ 4.8 และ 4.9 แสดงให้เห็นว่าคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบขนาดเล็กให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่มีค่าต่ำที่สุด และคอนกรีตพรุนที่มีส่วนผสมของมวลรวมหยาบขนาดใหญ่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่มีค่ามากที่สุด โดยกราฟที่ 4.8 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับขนาดของมวลรวมหยาบ ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 แยกค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่าง 5.262 เซนติเมตรต่อวินาทีถึง 8.651 เซนติเมตรต่อวินาทีกราฟที่ 4.8 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับขนาดของมวลรวมหยาบ ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 ค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่าง 5.262 เซนติเมตรต่อวินาทีถึง 7.894 เซนติเมตรต่อวินาทีกราฟที่ 4.9 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับขนาดของมวลรวมหยาบ ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.20 แยกค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้ค่าสัมประสิทธิ์ระหว่าง 6.267 เซนติเมตรต่อวินาทีถึง 8.561 เซนติเมตรต่อวินาที



ภาพที่ 4.7 เครื่องมือทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต

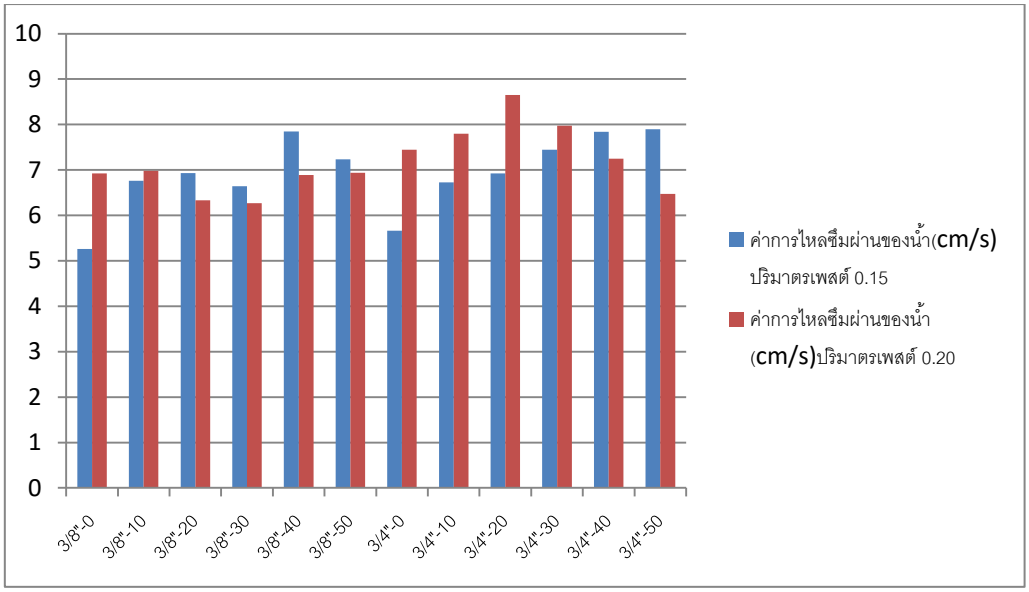


ภาพที่ 4.8 ความสัมพันธ์การซึมผ่านของน้ำระหว่างขนาดของหินและเปอร์เซ็นต์การแทนที่ยางรถยนต์กับปริมาตรซีเมนต์ 0.15



มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

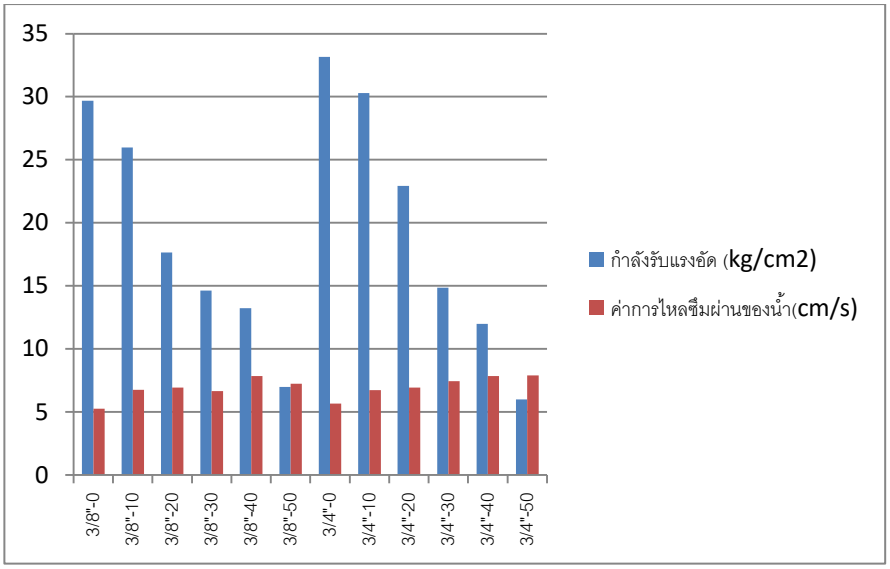
ภาพที่ 4.9 ความสัมพันธ์การซึมผ่านของน้ำระหว่างขนาดของหินและเปอร์เซ็นต์การแทนที่ยางรถยนต์กับปริมาตรซีเมนต์ 0.20



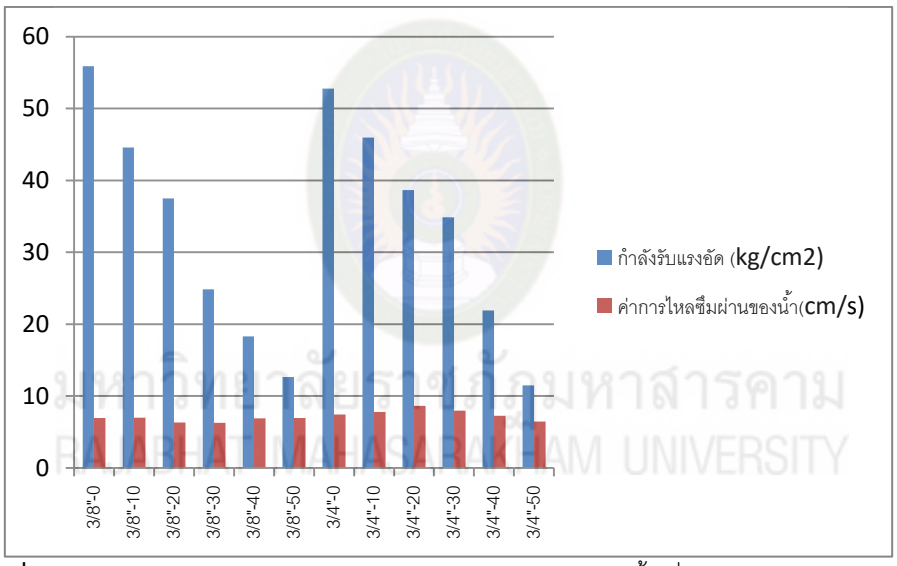
ภาพที่ 4.10 ความสัมพันธ์การซึมผ่านของน้ำระหว่างขนาดของหินและเปอร์เซ็นต์การแทนที่ยางรถยนต์กับปริมาตรซีเมนต์ 0.15 และ 0.20

จากความค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับขนาดของมวลรวมหยาบพบว่าขนาดของมวลรวมหยาบมีผลต่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ เนื่องจากมวลรวมหยาบที่มีขนาดเล็กจะเรียงตัวในลักษณะอยู่ชิดการทำให้ช่องว่างหรือโพรงที่เกิดขึ้นมีขนาดเล็กและไม่ต่อเนื่องกัน จึงส่งผลให้การซึมผ่านของน้ำได้ช้า แต่มวลรวมขนาดใหญ่จะเรียงตัวในลักษณะห่างกันทำให้ช่องว่างหรือโพรงที่เกินขึ้นมีขนาดใหญ่และมีความต่อเนื่องกัน จึงส่งผลให้การซึมผ่านของน้ำได้เร็วนั้นเองจากภาพที่ 4.8 4.9 และ 4.10 แสดงค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำมีการลดลงเมื่อค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้น โดยกราฟที่ 4.8 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านชองน้ำกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3/ 8 " และ 3/ 4 " ได้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำตั้งแต่ 55.262 เซนติเมตรต่อวินาทีถึง 7.894 เซนติเมตรต่อวินาทีกราฟที่ 4.9 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านชองน้ำกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.20 แยกตามขนาดของมวลรวมหยาบตั้งแต่ขนาด 3 /8 " และ 3 /4 " ได้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำตั้งแต่ 6.267 เซนติเมตรต่อวินาทีถึง 8.615 เซนติเมตรต่อวินาที

จากกราฟความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์พบว่าเมื่อมีการเพิ่มขึ้นของค่าอัตราน้ำต่อปูนซีเมนต์จะทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ผสมลงในคอนกรีตพรุนมีค่าความข้นเหลวที่เพิ่มขึ้น จึงทำให้ซีเมนต์เพสต์ที่ไปเคลือบผิวของมวลรวมหยาบมีการไหลของซีเมนต์เพสต์ไปอุดตันช่องว่างหรือโพลงภายในเนื้อคอนกรีต ส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำนั้น ลดลงจากรูปภาพ 4.8,4.9 และ 4.31 .แสดงค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนจะลดลงเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น โดยกราฟที่ 4.10 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ 0.15และ 0.20



ภาพที่ 4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับการซึมผ่านของน้ำที่ปริมาตรซีเมนต์เพสต์0.15

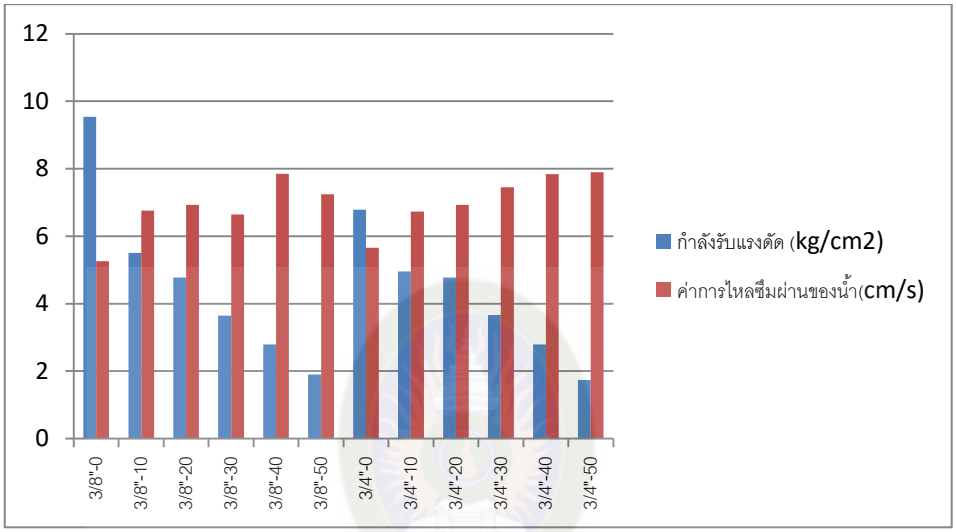


มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาพที่ 4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับการซึมผ่านของน้ำ ที่ปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.20

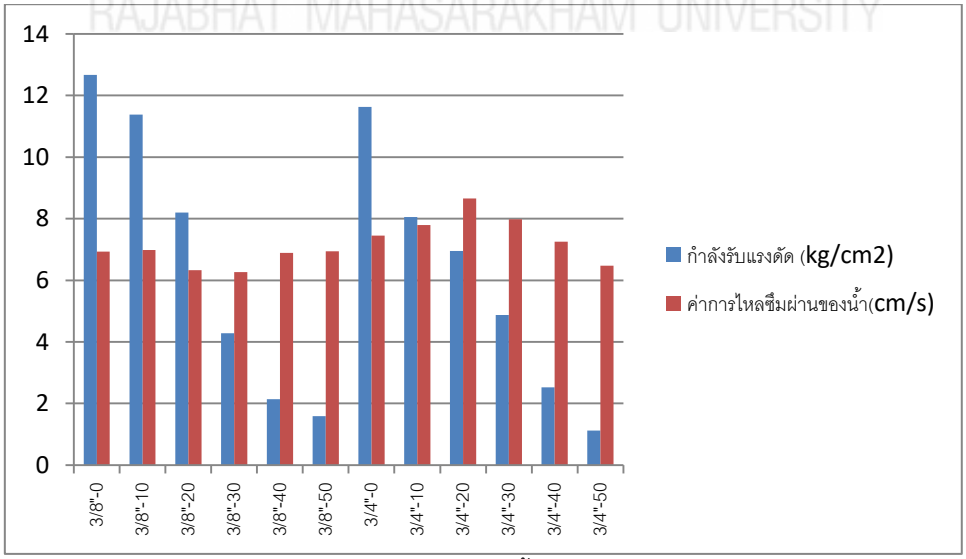
จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำใน ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 และ 0.20 แยกตามค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40 พบว่าเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงอัดจะลดลงและเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำลดลงค่ากำลังรับแรงอัดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีเมนต์เพสต์หรืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ทำให้โพรงหรือช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลง อาจจะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงและมีความต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องดังที่อธิบายมาก่อนหน้านี้แต่ถึงอย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำสูงที่สุดก็ไม่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่ต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่ต่ำที่สุดก็ไม่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงที่สุดเนื่องค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของโพรงหรือช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตพรุน ลักษณะพื้นผิวของมวลรวม เป็นต้นจากรูปภาพ 4.11 4.12 และ 4.13 .แสดงค่ากำลังรับแรงดัดของคอนกรีตพรุนจะลดลงเมื่อค่า

สัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้น โดยกราฟที่ 4.11 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์0.15 แยกตามค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้ค่าสัมประสิทธ์การซึมผ่านของน้ำตั้งแต่ 5.262 เซนติเมตรต่อวินาทีที่กำลังรับแรงดัด 9.454 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 7.894 เซนติเมตรต่อวินาทีที่กำลังรับแรงอัด 1.742 กิโลกรัมต่อตารางเมตร กราฟที่ 4.12 จะแสดงค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงอัดกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ ที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ 0.20 แยกตามค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ได้ค่าสัมประสิทธ์การซึมผ่านของน้ำตั้งแต่ 6.267 เซนติเมตรต่อวินาทีที่กำลังรับแรงอัด 4.284 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ถึง 8.651 เซนติเมตรต่อวินาทีที่กำลังรับแรงดัด 6.946 กิโลกรัมต่อตารางเมตร



ภาพที่ 4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการซึมผ่านน้ำปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.15 ของมวลรวม

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY



ภาพที่ 4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการซึมผ่านน้ำปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.20 ของมวลรวม3/4”และ 3/8”

จากความสัมพันธ์ระหว่างค่ากำลังรับแรงดัดกับค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำในที่ใช้ปริมาณซีเมนต์เพสต์เท่ากับ 0.15 และ 0.20 แยกตามค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0 0.40 พบว่าค่าความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์ค่าการซึมผ่านของน้ำกับกำลังรับแรงดัดเป็นไปในลักษณะเดียวกันกับกราฟความสัมพันธ์ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำกับกำลังรับแรงอัด นั่นคือเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำเพิ่มขึ้นค่ากำลังรับแรงดัดจะลดลงและเมื่อค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำลดลงค่ากำลังรับแรงดัดจะเพิ่มขึ้น ซึ่งที่เป็นเช่นนี้เนื่องจากการเปลี่ยนแปลงปริมาณซีเมนต์เพสต์หรืออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ทำให้โพรงหรือช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตมีการเปลี่ยนแปลง อาจจะมีการเพิ่มขึ้นหรือลดลงและมีความต่อเนื่องหรือไม่ต่อเนื่องภายในเนื้อคอนกรีต แต่ถึงอย่างไรก็ตามตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำสูงที่สุดก็ไม่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงดัดที่ต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่ต่ำที่สุดก็ไม่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงดัดที่สูงที่สุดด้วย เนื่องค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย เช่น ลักษณะของโพรงหรือช่องว่างที่อยู่ภายในเนื้อคอนกรีตพรุนลักษณะพื้นผิวของมวลรวม เป็นต้น

จากภาพ 4.1 4.2 4.4 และ 4.5 แสดงความสัมพันธ์ระหว่งกำลังรับแรงอัดและแรงดัดและแสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำกับปริมาณซีเมนต์เพสต์ ที่มวลรวมหยาบแทนที่ด้วยยางรถยนต์ที่จำนวนการแทนที่ที่เปอร์ต่างๆกันจะเห็นว่าที่การแทนที่ยางรถยนต์ที่มากขึ้นจะทำให้แนวโน้มของการลดลงของกำลังรับแรงอัดและแรงดัดเนื่องจากยางรถยนต์เป็นวัสดุยืดหยุ่นจึงไม่มีความแข็งแกร่งทำให้กำลังของคอนกรีตลดลงแต่ในการแทนที่ยางรถยนต์ที่20 เปอร์เซ็นต์ของมวลรวมหยาบยังให้ค่ากำลังที่อายุ 7 วันที่ 38.623 กิโลกรัมต่อตารางเซ็นต์เมตร ที่พอจะนำไปใช้งานที่ไม่ต้องกำลังคอนกรีตสูงมากนักและให้ค่าอัตราการซึมผ่านของน้ำที่สูง 8.651 เซนติเมตรต่อวินาที่

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บทที่ 5
สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ

สรุปผลการทดสอบ

จากการทดสอบพบว่า อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมหยาบที่แทนที่ด้วยยางรถยนต์เก่านั้นมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดยิ่งปริมาตรของซีเมนต์เพสต์มากจะให้กำลังอัดที่มากขึ้นตามและกำลังรับแรงจะมีค่าแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์การแทนที่มวลรวมหยาบด้วยยางรถยนต์เก่าและ ค่าการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบ ในการศึกษานี้อัตราส่วนผสมที่ใช้ มวลรวมหยาบขนาดเบอร์ 3/8 นิ้ว และ 3/4 นิ้วที่ปริมาณซีเมนต์เพสต์ 0.2 ลูกบาศก์เมตร จะมีค่ากำลังรับแรงอัด 90.853 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ 2.383 เซนติเมตรต่อวินาที

จากการทดสอบ พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนขึ้นอยู่กับขนาดของหินและปริมาตรเพสต์ ซึ่งเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติในปริมาณที่เท่ากัน คอนกรีตพรุนจะมีกำลังรับแรงอัดที่น้อยกว่าคอนกรีตปกติซึ่งเป็นผลจากช่องว่างในคอนกรีตพรุน อีกทั้งค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุนขึ้นอยู่กับขนาดของหินที่ใช้ซึ่งค่ากำลังรับแรงอัดที่เกิดจากขนาดของหินจะแปรผกผันกับค่าการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนอย่างเช่นหินที่ค้างบนตะแกรงเบอร์ 3/8 นิ้วที่มีกำลังอัดสูงที่สุดแต่มีค่าการซึมผ่านของน้ำน้อยที่สุดเพราะถ้ายิ่งหินขนาดเล็กคอนกรีตพรุนจะได้ค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าเนื่องจากหินขนาดเล็กนั้นสามารถเข้าไปแทรกแซงช่องว่างได้ดีกว่าหินขนาดใหญ่แต่การแทรกแซงเข้าไปนั้นทำให้ค่าการซึมผ่านของน้ำลดลงน้ำจะมีระยะทางในการไหลที่ไกลมากขึ้นความพรุนก็จะน้อยลงเช่นเดียวกันกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตพรุน ค่ากำลังรับแรงอัดและดัดของคอนกรีตพรุนที่น้อยกว่าคอนกรีตปกตินอกจากเกิดจากขนาดหินและปริมาตรเพสต์ยังเกิดจากปัจจัยอีกหลายประการได้เช่น ในการผสมเมื่อถึงขั้นตอนการกระทุ้งคอนกรีตนั้นผู้ทำการทดลองอาจจะใส่แรงกระทุ้งไม่เท่ากัน ความแน่นของคอนกรีตก็จะไม่เท่ากัน และคอนกรีตพรุนซึ่งไม่มีมวลรวมละเอียดปนอยู่ ทำให้การกระทุ้งให้แน่นนั้นเป็นไปได้ยากกว่าปกติค่าการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนอยู่ในช่วง 5.262 – 8.651 เซนติเมตรต่อวินาทีเมื่อเทียบกับคอนกรีตปกติที่มีค่าอยู่ในช่วงประมาณ 2 x 10 - 12 ถึง 5 x 10 - 12 cm/s ในช่วง W/C Ratio เท่า ๆ กัน (ที่มา: Concrete Technology CPAC&T pipolene Sungkomonline) และดินจะมีค่าน้อยกว่ามากโดยดินเหนียวมีค่าในช่วง 10-6-10-9 เซนติเมตรต่อวินาทีทรายละเอียดมีค่าในช่วง 10-3 - 10-5 เซนติเมตรต่อวินาทีทรายหยาบมีค่าในช่วง 1 - 10-3 เซนติเมตรต่อวินาทีกรวด มีค่าในช่วง 1-102 เซนติเมตรต่อวินาที (ที่มา: สำราญยอดอุปภัมถ์. ปฐพีกลศาสตร์เบื้องต้น. 2543. หน้า 122) จากกราฟความสัมพันธ์ของกำลังรับแรง จะได้ว่าขนาดของมวลรวมหยาบแปรผกผันกับกำลังรับแรงของคอนกรีตพรุน ผลการทดสอบค่ากำลังรับแรงอัดที่มากที่สุดเท่ากับ 55.877กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงดัดที่มากที่สุดเท่ากับ 12.661 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้จากมวลรวมหยาบขนาดเล็กและกำลังรับแรงอัดที่น้อยที่สุดเท่ากับ 5.980กิโลกรับต่อตารางเซนติเมตร กำลังรับแรงดัดน้อยที่สุดเท่ากับ 1.119กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ได้จากมวลรวมหยาบขนาดใหญ่ เนื่องจากมวลรวมขนาดใหญ่มีพื้นที่ผิวสัมผัสกับซีเมนต์เพสต์น้อยกว่ามวลรวมขนาดเล็ก ทำให้ค่ากำลังรับแรงมีแนวโน้มลดลงเมื่อขนาดของมวลรวมหยาบมีขนาดโตขึ้น ดังนั้นปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ผสมจะมีส่วนสำคัญต่อค่ากำลังรับแรงของคอนกรีตพรุนโดยตรง เนื่องจากพื้นที่ผิวสัมผัสของมวลรวมหยาบมีค่าไม่เท่ากัน ทำให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ไปเคลือบมวลรวมหยาบแต่ละขนาดหรือรูปร่างมีค่าไม่เท่ากัน จากกราฟความสัมพันธ์ยังพบว่าค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำไม่ได้ขึ้นอยู่กับขนาดมวลรวมหยาบเพียงอย่างเดียว แต่ยังมีปัจจัยอื่น ๆ อีกเช่น ลักษณะพื้นผิวของมวลรวมหยาบ ความต่อเนื่องของโพรง และปริมาณซีเมนต์เพสต์เป็นต้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏพระนคร
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

จากผลการทดสอบยังบอกได้อีกว่าตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำสูงที่สุดก็ไม่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัดหรือกำลังรับแรงดัดที่ต่ำที่สุด และตัวอย่างที่ให้ค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำที่ต่ำที่สุดก็ไม่ได้ให้ค่ากำลังรับแรงอัดหรือกำลังรับแรงดัดที่สูงที่สุดด้วยเนื่องค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำนั้นขึ้นอยู่กับหลายปัจจัย คอนกรีตพรุนอาจนำไปประยุกต์ใช้เป็นอิฐบล็อคหรือตัวหนอนทำทางเท้าเพื่อให้เกิดประโยชน์ในทางที่หลากหลายมากยิ่งขึ้น

ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้

1 น้ำไปผลิตเป็นแผ่นบล็อกคอนกรีตสำหรับปูทางเท้าเพื่อให้น้ำซึมผ่านได้ง่ายลดการท่วมขังของน้ำได้

2 ใช้สำหรับเป็นคอนกรีตเทลานจอดรถ ลานหน้าบ้าน หรือทางเท้า เพื่อลดน้ำท่วมขังบริเวณดังกล่าวได้

3 หน่วยงานราชการ หรือ องค์การปกครองส่วนท้องถิ่น สามารถนำไปออกข้อกำหนดในการก่อสร้างทางเท้า หรือ ลานบริเวณ สนามกีฬา เพื่อลดการท่วมขังของน้ำได้

ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป

ควรจะทำการศึกษาการใช้วัสดุหยาบในการผสมหลายๆขนาดและการอัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ในอัตราส่วนที่ต่างกันและปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่แตกต่างกันเพื่อจะได้เห็นความเหมาะสมในการนำไปใช้งานก่อสร้างที่หลากหลายได้มากขึ้น

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรม
บรรณานุกรมภาษาไทย

กิติวัฒน์ ธชีพันธ์ และคณะ. (2557).“การตระหนักรู้ถึงนวัตกรรมรถยนต์ที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อมของผู้บริโภคจังหวัดนครปฐม.”วารสารวิชาการ Veridian E-Journal Silpakorn University, มนุษยศาสตร์ สังคมศาสตร์ 7, 1 (มกราคม-เมษายน): 91-99.

เฉลิมพล ไชยแก้ว, ปิติ สุคนธสุขกุล และ สุพรชัย อุทัยนฤมล. (2546). การศึกษาการใช้ผงกากยางรถยนต์เก่าในคอนกรีตบล็อกปูผิวทางแบบอ่อน. เข้าถึงเมื่อ 5 มิถุนายน 2559. เข้าถึงได้จาก http://kmcenter.rid.go.th/kcresearch/article_out/article_003%20OUT_T.pdf.

ชาญชัย เงาะปก. (2550). การศึกษาคุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตพรุนที่ผสมเถ้าลอย วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา บัณฑิตวิทยาลัย มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

ชลดล พึ่งธรรมจิตต์. (2549). “ผลกระทบของการแทนที่เถ้าลอยในซีเมนต์ที่มีต่อคุณสมบัติของคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ.” วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

ชัชวาล ศรีสุภร. (2547). การศึกษาคุณสมบัติการซึมผ่านของน้ำในปูนฉาบเถ้าลอย.วิทยานิพนธ์ปริญญาวิศวกรรมศาสตร์มหาบัณฑิต คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น ACI 522R-10, (2010).

ดนุพล ตันโยภาส และ อภิชาตพ่วงพี. 2550. คอนกรีตมวลรวมกะลาปาล์มน้ำมันผสมหินฝุ่นแกรนิต.หน้า 175-180. *ใน*: รายงานการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 12 (NCCE12),พิษณุโลก.

ธรรมนูญ โสมะพันธ์ อัมรินทร์ รามไชย และ ยาโกบ หีมมะหมัด. 2552. การศึกษาเบื้องต้นในการทำคอนกรีตพรุนเพื่อการระบายน้ำปริญญานิพนธ์วิศวกรรมศาสตรบัณฑิต. คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยราชมงคลศรีวิชัย, หน้า 61.

นิตย์รดี ดอเล๊าะ. (2552).“วัสดุมวลเบาที่ใช้ในงานอุตสาหกรรมก่อสร้าง.” Princess Naradhiwas University Journal 1, 3 (กันยายน–ธันวาคม): 48-62.

บวร อิศรางกูร ณ อยุธยา, ปรีดา จันทวงษ์ และ โยธิน อึ่งกูล.(2554). “การศึกษาคุณสมบัติทางกลของคอนกรีตมวลเบาอบไอน้ำผสมเส้นใยไมโครไฟเบอร์.”วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ 21, 2 (พฤษภาคม-สิงหาคม): 266-271.

บุรฉัตร ฉัตรวีร และ วินัย หอมศรีประเสริฐ. (2554). “พฤติกรรมของซีเมนต์เพสต์ผสมวัสดุปอซโซลานในการประยุกต์ใช้กับพลังงานไมโครเวฟ.” วารสารวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยพระจอมเกล้าธนบุรี 34,3 (กรกฎาคม–กันยายน): 299-315.

ปิติศาสนต์ กร้ำมาตร. (2553). “คุณสมบัติเบื้องต้นของคอนกรีตผสมเถ้าลอยและผงหินปูน.” รายงานวิจัยฉบับสมบูรณ์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีธัญญบุรี.

ปริญญา จินดาประเสริฐ; และ ยุวดีแซ่ตั้ง. (2553). เทคโนโลยีคอนกรีตพรุน. วารสารราชบัณฑิตยสถาน.ปีที่ 39, ฉบับที่2 (เม.ย.-มิ.ย. 2553), หน้า 59-82.

ปริญญา จินดาประเสริฐ และ วันชัย สะตะ. (2557). วัสดุผสมปูนซีเมนต์และจีโอโพลิเมอร์. ขอนแก่น: ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

พันธุดา พุฒิไพโรจน์. (2553). “การศึกษาเปรียบเทียบการใช้พลังงานในการปรับอากาศระหว่างผนังคอนกรีตมวลเบาชั้นเดียวและสองชั้น.” วารสาร Veridian EJournal, Silpakorn University 3, 1(กรกฎาคม): 36-47.

ยุวดี หิรัญ พีรพงษ์ ศิวินา และ สุรชาติ ราโชติ. 2550.การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตสำหรับผลิตบล็อกปูผิวทางระบายน้ำได้. การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่3. จังหวัดชลบุรี.

ยุวดี หิรัญ ธวัชชัย ตันชัยสวัสดิ์ พลยุกต์ มูลรังสี วิชัย บำรุงนาม และ อัญชลี เพียสุระ 2552. บล็อกปูถนนคอนกรีตพรุน. หน้า13-18. *ใน*: การประชุมวิชาการคอนกรีตประจำปีครั้งที่4. จังหวัดอุบลราชธานี.

วีรชาติตั้งจิรภัทร; และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (2556). คู่มือการทดสอบคุณสมบัติของปูนซีเมนต์มวลรวมและคอนกรีต. กรุงเทพฯ: ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.

วันชัย สะตะ. (2556). การใช้วัสดุเป็นมวลรวมหยาบในคอนกรีตพรุน. ภาควิชาวิศวกรรมโยธาคณะวิศวกรรมศาสตร์มหาวิทยาลัยขอนแก่น หน้า 13-18.

อุบลลักษณ์ รัตนศักดิ์. (2014). “ศักยภาพของเถ้าในการเป็นสารปอซโซลาน.” วารสารคอนกรีต, no. 23 (ธันวาคม): 1-9.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ

Sata, V., Wongsa, A., &Chindaprasirt, P. 2013. Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregate. Construction and Building Materials, 42(2013), 33-39

Mannan, M. A. and C. Ganapathy. 2001. Mix design for oil palm shell concrete**.** Cement and Concrete Research 31: 1323-1325.

Yang, Z., W. Ma, W. Shen and M. Zhou. 2008. Theaggregate gradation for porous concrete pervious road base material, Journal of Wuhan University of Technology-Material Science Education 23: 391-394.

American Concrete Institute (ACI). 2006. PerviousConcrete (522R-06). Farmington Hills,Michigan

ASTM C62-13a, 2013. **Standard Specification for Building Brick (Solid Masonry Units Made From Clay or Shale)**, ASTM Book of Standards Vol. 04.05.

ASTM C326-09, 2014.**Standard Test Method for Drying and Firing Shrinkages of Ceramic Whiteware Clays,** ASTM Book of Standards Vol. 15.02.

ASTM C373-14a, 2014. **Standard Test Method for Water Absorption, Bulk Density, Apparent Porosity, and Apparent Specific Gravity of Fired Whiteware Products, Ceramic Tiles, and Glass Tiles**, ASTM Book of Standards Vol. 15.02.

ASTM C773-88, 2011.**Standard Test Method for Compressive (Crushing) Strength of Fired Whiteware Materials**, ASTM Book of Standards Vol. 15.02.

ASTM C177-97 **Standard test method for steady-state heat flux measurements and thermal transmission properties by means of the guarded**.

Report on pervious concrete, American Concrete Institute. ASTM C29/C29M-97a, (2001), Standard Test Method for Unit Weigth and Voids in Aggregate, American Society for Testing and Materials.

ASTM C33/C33M-11, (2011), Standard Specification for Concrete Aggregetes, American Society for Testing and Materials.

ASTM C39-10, (2010), Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens, American Society for Testing and Materials.

ASTM C78, (2010), Standard Test Method for Flexural Strength of Concrete, American Society for Testing and Materials

ASTM C127-07, (2007), Standard Test Method for Density, Relative Density (Specific Gracity) and Absorption of Coarse Aggregate, American Society for Testing and Materials.

ASTM C131-96, (2001), Standard Test Method for Resistance to Degradation of Small-Size Coarse Aggregate by Abrasion and Impact in the Los Ageles Machine, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM C131-06, (2006) , Standard Test Method for Sievi Analysis of Fine and Coarse

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Aggregate, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM 143, (2010), Standard Test Method for Slump of Hydraulic-Cement Concrete, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM C150/C150M, (2011), Standard Specification for Portland Cement, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM C535-96, (2001) , Standard Test Method for Resistance to Degradation of Large-Size Coarse Aggregate by Adrasion and Impact in the Los Angeles Machine, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM C702-98, (2001) , Standard Practice for Reducing Samples of Aggregates to Testing Size, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM D075-95, (2001) , Standard Practice for Sampling Aggegate, Ameriican Society for Testing and Materials.

ASTM D243-68, (2006), Standard Test Method for Permeability of Granular Soils, Ameriican Society for Testing and Materials.

Chindaprasirt, P., Hatanaka, s., Mishima, N., Yuasa, Y., and Chareerat, T.,(2009). Effects of binder strength and aggregate size on the compressive strength and voi ratio of porous concrete. Matallurgy and Materials. 16(6), 714-719

Ludirdja D, Berger RL, Young JF. (1989). Simple method for measuring water permeability of concrete. ACI Materials Journal.

Benthia N, Mindess S. (1989). Water permeability of cement paste.EI-Dieb AS, Hootoo RD. (1994). A high pressure triaxial cell with improved measurement sensitivity for saturated water permeability of high performance concrete.

Li Z, Chau CK. (2000). New water permeability test scheme for concrete. ACI Materials Journal.

RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ก-1 ผลการทดสอบหาโมดูลัสความละเอียดของหิน

ตะแกรง	ขนาดช่องเปิด (มม.)	น้ำหนักตะแกรง (กก.)	น้ำหนักตะแกรง+น้ำหนักหิน (กก.)	น้ำหนักค้าง(กก.)	ร้อยละค้าง (กก.)	ร้อยละค้างผสม(%)	ร้อยละผ่านผสม (%)
1 นิ้ว	25.4	5.315	5.315	0.000	0.000	0.000	100.00
3/4 นิ้ว	19.1	5.858	5.780	0.195	10.900	10.900	89.100
1/2 นิ้ว	12.7	5.983	8.590	2.607	60.140	71.040	28.960
3/8 นิ้ว	9.53	5.780	6.295	0.515	13.300	84.340	15.660
เบอร์ 4	4.75	5.735	7.305	1.570	15.200	99.540	0.460
Pan	-	5.040	-	-	-	-	-
		น้ำหนักมวลรวมหยาบ = 5 กก.				**รวม = 265.820**	
โมดูลัสความละเอียดเท่ากับ 265.82/100 = 26582							

โมดูลัสความละเอียด = ผลรวมของร้อยละค้างสะสม/100

= 265.82/100

= 2.65

ตารางที่ ก-2 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหิน

A : น้ำหนักของหินหลังจากการอบแห้ง ชั่งในอากาศ (ก.)	=	2,978
B : น้ำหนักของหินในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งในอากาศ (ก.)	=	3,000
C : น้ำหนักของหินในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง ชั่งในน้ำ (ก.)	=	1,875
ความถ่วงจำเพาะรวม (Bulk Specific Gravity) = A / (B – C)	=	2.65
ความถ่วงจำเพาะรวม – อิ่มตัวผิวแห้ง (Bulk Specific Gravity, SSD) = B / (B – C)	=	2.67
ความถ่วงจำเพาะปรากฏ (Apparent Specific Gravity) = A / (A – C)	=	2.70
ร้อยละการดูดน้ำของหิน (Absorption) = [(B – A)} ×100	=	0.74

ตารางที่ ก-3 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8"

ตัวอย่าง	ขนาดของหิน	น้ำหนัก Mold (kg)	น้ำหนักหิน+ Mold (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	ปริมาตรของ Mold (m^3)	Unit Weight (Kg/m^3)	Percent Void (%)	Average (%)
1	3/8"	3.72	13.19	9.47	0.00507	1,865.629	30.604	
2	3/8"	8.30	27.88	19.58	0.01127	1,737.072	35.386	33.916
3	3/8"	15.76	54.04	38.28	0.02216	1,727.069	35.758	

มหาวิทยาลัยมหาสารคาม MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ก-4 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/4"

ตัวอย่าง	ขนาดของหิน	น้ำหนัก Mold (kg)	น้ำหนักหิน+ Mold (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	ปริมาตรของ Mold (m^3)	Unit Weight (Kg/m^3)	Percent Void (%)	Average (%)
1	3/4”	3.72	13.80	10.08	0.00507	1,951.909	27.394	
2	3/4"	8.30	28.35	20.05	0.01127	1,766.355	34.296	31.770
3	3/4"	15.76	55.84	40.08	0.02216	1,784.595	33.618	

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าการยุบตัว

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ข-1 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์ 0.15และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40

ขนาดหิน และ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	น้ำหนัก TR(kg)
3/8"-0	0.15	0.40	209.071	83.628	1,784.26	0
3/8"-10	0.15	0.40	209.071	83.628	1,605.84	178.426
3/8"-20	0.15	0.40	209.071	83.628	1,427.41	356.852
3/8"-30	0.15	0.40	209.071	83.628	1,248.41	535.278
3/8"-40	0.15	0.40	209.071	83.628	1,070.56	713.704
3/8"-50	0.15	0.40	209.071	83.628	892.13	892.13
3/4"-0	0.15	0.40	209.071	83.628	1,842.208	0
3/4"-10	0.15	0.40	209.071	83.628	1,657.99	184.221
3/4"-20	0.15	0.40	209.071	83.628	1,473.77	368.442
3/4"-30	0.15	0.40	209.071	83.628	1,289.55	552.663
3/4"-40	0.15	0.40	209.071	83.628	1,105.33	736.884
3/4"-50	0.15	0.40	209.071	83.628	921.1	921.105

ตารางที่ ข-2 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์0.20และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40

ขนาดหิน และ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	น้ำหนักซีเมนต์ (kg)	น้ำหนักน้ำ (kg)	น้ำหนักหิน (kg)	น้ำหนัก TR(kg)
3/8"-0	0.20	0.40	278.761	111.504	1,829.158	0
3/8"-10	0.20	0.40	278.761	111.504	1646.242	182.916
3/8"-20	0.20	0.40	278.761	111.504	1463.326	365.832
3/8"-30	0.20	0.40	278.761	111.504	1280.411	548.747
3/8"-40	0.20	0.40	278.761	111.504	1097.495	731.663
3/8"-50	0.20	0.40	278.761	111.504	914.579	914.579
3/4"-0	0.20	0.40	278.761	111.504	1,842.208	0
3/4"-10	0.20	0.40	278.761	111.504	1,657.99	184.221
3/4"-20	0.20	0.40	278.761	111.504	1,473.77	368.442
3/4"-30	0.20	0.40	278.761	111.504	1,289.55	552.663
3/4"-40	0.20	0.40	278.761	111.504	1,105.33	736.884
3/4"-50	0.20	0.40	278.761	111.504	921.1	921.105

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ภาคผนวก ค ผลการทดสอบกำลังรับแรงและการไหลซึมผ่านของน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ตารางที่ ค-1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงดัดและการไหลซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนของปริมาตรเพสต์ 0.15

ขนาดหินและ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	กำลังรับแรงดัด (kg/cm^2)	ค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ(cm/s)
3/8"-0	0.15	0.40	29.689	9.541	5.262
3/8"-10	0.15	0.40	25.985	5.505	6.761
3/8"-20	0.15	0.40	17.632	4.771	6.931
3/8"-30	0.15	0.40	14.622	3.641	6.642
3/8"-40	0.15	0.40	13.233	2.794	7.844
3/8"-50	0.15	0.40	6.985	1.896	7.237
3/4"-0	0.15	0.40	33.150	6.789	5.659
3/4"-10	0.15	0.40	30.283	4.954	6.726
3/4"-20	0.15	0.40	22.930	4.771	6.927
3/4"-30	0.15	0.40	14.853	3.664	7.446
3/4"-40	0.15	0.40	11.983	2.789	7.842
3/4"-50	0.15	0.40	5.980	1.742	7.894

ตารางที่ ค-2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงดัดและการไหลซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนของปริมาตรเพสต์ 0.20

ขนาดหินและ%TR	ปริมาตรเพสต์ (m^3)	W/C Ratio	กำลังรับแรงอัด (kg/cm^2)	กำลังรับแรงดัด (kg/cm^2)	ค่าการไหลซึมผ่านของน้ำ(cm/s)
3/8"-0	0.20	0.40	55.877	12.661	6.926
3/8"-10	0.20	0.40	44.561	11.376	6.982
3/8"-20	0.20	0.40	37.476	8.193	6.330
3/8"-30	0.20	0.40	24.866	4.284	6.267
3/8"-40	0.20	0.40	18.285	2.142	6.889
3/8"-50	0.20	0.40	12.637	1.586	6.937
3/4"-0	0.20	0.40	52.745	11.624	7.447
3/4"-10	0.20	0.40	45.958	8.055	7.797
3/4"-20	0.20	0.40	38.632	6.946	8.651
3/4"-30	0.20	0.40	34.875	4.877	7.976
3/4"-40	0.20	0.40	21.926	2.526	7.248
3/4"-50	0.20	0.40	11.482	1.119	6.475

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อ นายภคพล ช่างยันต์

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 13 หลัก(3-4404-0019-1017)

3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

4. ตำแหน่งทางบริหาร รองคณบดีฝ่ายกิจการนักศึกษาและพัฒนาทรัพยากรมนุษย์ คณะวิศวกรรมศาสตร์

5. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การผลิต) คณะวิศวกรรมศาสตร์

6. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษาที่สำเร็จการศึกษา	ปีที่จบการศึกษา
ปริญญาโท	วศ.ม. กำลังศึกษา	วิศวกรรมโยธา	มหาวิทยาลัยราชมงคลรัตนโกสินทร์	2561
ปริญญาตรี	วศ.บ.	วิศวกรรมยา	มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลวิทยาเขตเทเวทย์	2536

-

7. สถานที่ติดต่อได้ปัจจุบัน สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การจัดการงานช่างและผังเมือง) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

8. โทรศัพท์ 097-1088-731

9. E-mail Phakapol_rmu@hotmail.com

10. ประสบการทำงาน

2540 - ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การจัดการงานช่างและผังเมือง)

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

11. งานวิจัยและบทความวิชาการ

งานวิจัย

เพ็ญชาย เวียงใต้,ภคพล ช่างยันต์ และคณะ .การใช้ฟางข้าวในอิฐบล็อกประสาน.สำนักงานวิจัยแห่งชาติ.2558

1.3.2 บทความทางวิชาการ

-

ประวัติผู้วิจัย

1. ชื่อนางสาวศิริวรรณ**สกุล** อาจบำรุง

2. หมายเลขบัตรประจำตัวประชาชน 13 หลัก(3-4609-00010-47-0)

3. ตำแหน่งทางวิชาการ อาจารย์

4. ตำแหน่งทางบริหาร -

5. สังกัด สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การผลิต) คณะวิศวกรรมศาสตร์

6. ประวัติการศึกษา

ระดับการศึกษา	คุณวุฒิ	สาขาวิชา	ชื่อสถาบันการศึกษาที่สำเร็จการศึกษา	ปีที่จบการศึกษา
ปริญญาโท	ศศ.ม.	บริหารอุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยขอนแก่น	2551
ปริญญาตรี	วท.บ.	การจัดการอุตสาหกรรม	มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม	2548

-

7. สถานที่ติดต่อได้ปัจจุบัน สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การผลิต) คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม

8. โทรศัพท์ 0935432315

9. E-mail siriwan90235@gmail.com

10. ประสบการทำงาน

2551 - ปัจจุบัน อาจารย์ประจำสาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรม (การผลิต)

11. งานวิจัยและบทความวิชาการ

งานวิจัย

ศิริวรรณ อาจบำรุง. (2552). *การบริหารความปลอดภัยในโรงงานอุตสาหกรรม กรณีศึกษา จังหวัดมหาสารคาม*. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. (ทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม).

ศิริวรรณ อาจบำรุง. (2557). *เครื่องตัดหญ้าแบบประหยัดพลังงานและลดมลภาวะ*. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. (ทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม).

ศิริวรรณ อาจบำรุง. (2558). *ความพึงพอใจของชุมชนที่มีต่อโรงงานน้ำตาลวังขนาย จำกัด จังหวัดมหาสารคาม*. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. (ทุนจากสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม).

1.3.2 บทความทางวิชาการ

ศิริวรรณ อาจบำรุง (2557). เครื่องตัดหญ้าแบบประหยัดพลังงานและลดมลาวะ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม. **การประชุมวิชาการระดับชาตินานาชาติ ครั้งที่ 1 มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม,** 6(2) : 39–47.วันที่ 17-18 สิงหาคม 2558.

ศิริวรรณ อาจบำรุง (2559). ความพึงพอใจของชุมชนที่มีต่อโรงงานน้ำตาลวังขนาย จำกัด จังหวัดมหาสารคาม. มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม,วารสารคณะวิศวกรรมศาสาตร์ ฉบับที่ 1: 60-63.

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

หัวข้อวิจัย การใช้ยางรถยนต์เก่าในการผลิตคอนกรีตพรุนสำหรับลดปริมาณน้ำนอง
ผู้ดำเนินการวิจัย ภคพล ช่างยันต์
ศิริวรรณ อาจบำรุง
หน่วยงาน สาขาวิชาเทคโนโลยีอุตสาหกรรมการผลิต คณะวิศวกรรมศาสตร์
มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
ปี พ.ศ. 2562

บทคัดย่อ

ในปัจจุบันพบปัญหาน้ำท่วมขังพื้นคอนกรีตเนื่องจากการระบายน้ำไม่ทันเป็นปัญหามักเกิดขึ้นบ่อย และส่งผลกระทบต่อการดำเนินชีวิตประจำวัน ก่อให้เกิดอันตรายต่อผู้สัญจรไปมา นอกจากนี้ยังทำให้เกิดสภาพแวดล้อมที่ไม่เหมาะสมเป็นแหล่งเพาะพันธุ์ของพาหะนำโรคต่างๆ และยังไม่สะดวกต่อการ เดินทางหรือการคมนาคมได้อีกด้วย ปัจจุบันการออกแบบระบบระบายน้ำเพื่อป้องกันน้ำท่วมขังเริ่มเข้ามา มีบทบาทในการจัดการปัญหาต่างๆที่จะตามมา ซึ่งคอนกรีตพรุน เป็นคอนกรีตพิเศษที่สามารถแก้ปัญหา เหล่านี้ได้ งานวิจัยฉบับนี้ มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาอัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมหยาบแทนที่ด้วยยางรถยนต์เก่า และศึกษาหาค่าความแปรผันของกำลังรับแรงและค่าการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตที่มีขนาดของมวลรวมหยาบที่ต่างกันเพื่อความเหมาะสมในการใช้งานด้านต่างๆ เพื่อแก้ปัญหาดังกล่าว

จากการทดสอบพบว่า อัตราส่วนผสมของซีเมนต์เพสต์กับมวลรวมหยาบที่แทนที่ด้วยยางรถยนต์เก่านั้นมีผลต่อค่ากำลังรับแรงอัดยิ่งปริมาตรของซีเมนต์เพสต์มากจะให้กำลังอัดที่มากขึ้นตามและกำลังรับแรงจะมีค่าแปรผกผันกับเปอร์เซ็นต์การแทนที่มวลรวมหยาบด้วยยางรถยนต์เก่าและ ค่าการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีตพรุนขึ้นอยู่กับขนาดของมวลรวมหยาบ ในการศึกษานี้อัตราส่วนผสมที่ใช้ มวลรวมหยาบขนาดเบอร์ 3/8 นิ้ว และ 3/4 นิ้วที่ปริมาณซีเมนต์เพสต์ 0.2 ลูกบาศก์เมตร จะมีค่ากำลังรับแรงอัด 90.853 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร และค่าสัมประสิทธิ์การซึมผ่านของน้ำ 2.383 เซนติเมตรต่อวินาที

คำสำคัญ : คอนกรีตพรุน / ยางรถยนต์ / ค่ากำลังรับแรงอัดและค่าสัมประสิทธิ์การไหลซึมผ่านของน้ำ

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

Research Title Recycling Scrapped Tire into the Porous Concrete Prevents Water Overflow
Researcher Mr. PHAKAPOL CHANGYANT
Miss.SIRIWAN ARTBUMRUNG
Organization Manufacturing Technology Program
in Faculty of Engineering
Rajabhat Maha Sarakham University
Year 2019

Abstract

Nowadays, there is always the flood problem in the concrete area because it is hard for water to pass through the surface. The transportation system and pedestrians immediately start suffering from flooding. In addition, the stagnant water in the concrete surface can be a serious public health hazard to surrounding communities and harmful to environment.

Recently, the efficient innovation of drainage systems have became a role of managing the stagnant water problem. Porous concrete is one of the effective innovation which can help solving the problem. This engineering project aimed at studying the ratio of cement paste to a coarse aggregate of recycled shredded tire, finding the variance of compressive strength, and analyzing water permeability through the porous concrete. In this regard the different amount of shredded tire in the mixture can give the different feature of permeable pavement that suitable for each objective.

The results showed that the ratio of cement paste to a coarse aggregate of shredded tire related to the compressive strength. The more cement paste the higher strength it has while the compressive strength is inversely to the percentage of coarse aggregate of shredded tire. The permeability of porous concrete depends on the amount of shredded tire aggregate. In the study pointed out the ratio of the mixture as coarse aggregate size 3/8 inches and size 3/4 inches with the cement paste 0.2 m^3 have ability of compressive strength at 90.853 kg/cm^2 and the water permeability coefficient at 2.38 cm/s

Keywords : Porous concrete / Recycled tire or Shredded tire / Water Permeability Coefficient

กิตติกรรมประกาศ

ผู้วิจัยขอขอบพระคุณสถาบันวิจัยแห่งชาติ ที่สนับสนุนงบประมาณจนทำให้งานวิจัยสำเร็จ ขอขอบพระคุณ อาจารย์และเจ้าหน้าที่ สาขาเทคโนโลยีการจัดการงานช่างและผังเมือง คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่นและห้องปฏิบัติการคอนกรีตคณะวิศวกรรมศาสตร์ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างมูลฐานอย่างยั่งยืน มหาวิทยาลัยขอนแก่นที่ให้ความช่วยเหลือในการจัดหาอุปกรณ์และเครื่องมือในการทดสอบ รวมถึงการอำนวยความสะดวกในด้านสถานที่ทำการทดสอบ ตลอดระยะเวลาในการวิจัยครั้งนี้

สุดท้ายนี้ผู้วิจัยสำนึกในคุณค่าของตำราของคณาจารย์และท่านผู้รู้ทุกท่านที่ได้นำมากล่าวอ้างในการเขียนวิจัยฉบับนี้ และขอกราบขอบพระคุณผู้ที่ช่วยในการทำวิจัยที่ไม่ได้กล่าวถึงในครั้งนี้ ผู้วิจัยจะยังน้อมรำลึกตลอดไป

คณะผู้วิจัย
2562

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ

หน้า

บทคัดย่อภาษาไทย ..... ก
บทคัดย่อภาษาอังกฤษ ..... ข
กิตติกรรมประกาศ ..... ค
สารบัญ ..... ง
สารบัญตาราง ..... ฉ
สารบัญภาพ ..... ช

บทที่ 1 บทนำ..... 1
ความเป็นมาและความสำคัญ..... 1
วัตถุประสงค์ของการวิจัย..... 2
ขอบเขตของการวิจัย 2
ผลที่คาดว่าจะได้รับ..... 5

บทที่ 2 แนวคิด ทฤษฎี เอกสารและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.1 ทฤษฎีที่เกี่ยวข้อง..... 6
2.2 งานวิจัยที่เกี่ยงข้อง..... 8

บทที่ 3 วิธีดำเนินการวิจัย..... 10
3.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ 11
3.2 การออกแบบส่วนผสม..... 11
3.3 ทดสอบสมบัติทางกายภาพและสมบัติเชิงกลคอนกรีตพรุน 12
3.4 การทดสอบค่าการยุบตัวและกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 13

บทที่ 4 ผลการวิจัย..... 16
4.1 คุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการทดสอบ..... 16
4.1.1 ความถ่วงจำเพาะหิน..... 16
4.1.2 การหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวม..... 16
4.1.3 การทดสอบการไหลแผ่..... 17
4.2 การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต 18
4.3 การทดสอบกำลังรับแรงดัดของคอนกรีตพรุน..... 20
4.4 การทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต..... 23

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญ (ต่อ)

หน้า

บทที่ 5 สรุปผลการวิจัย อภิปรายผล และข้อเสนอแนะ..... 29
สรุปผลการวิจัย 29
ข้อเสนอแนะในการนำผลการวิจัยไปใช้..... 30
ข้อเสนอแนะในการทำวิจัยครั้งต่อไป..... 30

บรรณานุกรม..... 31
บรรณานุกรมภาษาไทย//..... 31
บรรณานุกรมภาษาต่างประเทศ//..... 33

ภาคผนวก..... 36
ภาคผนวก ก ผลการทดสอบคุณสมบัติพื้นฐานของวัสดุ..... 37
ภาคผนวก ข ผลการทดสอบค่าการยุบตัว..... 39
ภาคผนวก ค ผลการทดสอบกำลังรับแรงและการไหลซึมผ่านของน้ำ..... 41

ประวัติผู้วิจัย..... 45

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญตาราง

ตารางที่ หน้า
2.1 การใช้ประโยชน์จากยางธรรมชาติของไทย 7
3.1 ตัวอย่างหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8" 11
3.2 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุน 12
4.1 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8" 16
4.2 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/4”..... 16
4.3 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์ 0.15และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40 17
4.4 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์0.20และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40 17
4.5 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด แรงดัดและการไหลซึมผ่านของน้ำ
ของคอนกรีตพรุนของปริมาตรเพสต์ 0.15 18
4.6 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัด แรงดัดและการไหลซึมผ่านของน้ำ
ของคอนกรีตพรุนของปริมาตรเพสต์ 0.20 20
ก-1 ผลการทดสอบหาโมดูลัสความละเอียดของหิน 37
ก-2 ผลการทดสอบหาความถ่วงจำเพาะของหิน 37
ก-3 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/8"..... 37
ก-4 หน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวมของหินขนาด 3/4"..... 38
ข-1 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์ 0.15และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40..... 40
ข-2 สัดส่วนผสมคอนกรีตพรุนที่ปริมาตรเพสต์0.20และ W/C Ratio เท่ากับ 0.40..... 40
ค-1 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงดัดและการไหลซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนของปริมาตร
เพสต์ 0.15 42
ค-2 ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดแรงดัดและการไหลซึมผ่านน้ำของคอนกรีตพรุนของปริมาตร
เพสต์ 0.20..... 42

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY

สารบัญภาพ

ภาพที่ หน้า
3.1 เครื่องมือทดสอบการหาหน่วยน้ำหนักและช่องว่างมวลรวม..... 14
3.2 เครื่องมือทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต 14
4.1 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์
ที่ใช้ปริมาณเพสต์เท่ากับ 0.15 19
4.2 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ 0.40
ที่ใช้ปริมาณเพสต์เท่ากับ 0.20 20
4.3 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ 0.15 และ 0.20
มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40 20
4.4 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.15
ของมวลรวมขนาด 3/4 ” และ 3/8” 21
4.5 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.20 ของมวลรวมขนาด 3/4" 21
4.6 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับปริมาตรซีเมนต์เพสต์ที่ 0.15 และ 0.20
มีค่าอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.40 22
4.7 เครื่องมือทดสอบการซึมผ่านของน้ำในคอนกรีต 23
4.8 ความสัมพันธ์การซึมผ่านของน้ำระหว่างขนาดของหินและเปอร์เซ็นต์การแทนที่ยางรถยนต์
กับปริมาตรซีเมนต์ 0.15 24
4.9 ความสัมพันธ์การซึมผ่านของน้ำระหว่างขนาดของหินและเปอร์เซ็นต์การแทนที่ยางรถยนต์
กับปริมาตรซีเมนต์ 0.20 24
4.10 ความสัมพันธ์การซึมผ่านของน้ำระหว่างขนาดของหินและเปอร์เซ็นต์การแทนที่ยางรถยนต์
กับปริมาตรซีเมนต์ 0.15 และ 0.20 25
4.11 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับการซึมผ่านของน้ำที่ปริมาตรซีเมนต์เพสต์0.15 26
4.12 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงอัดกับการซึมผ่านของน้ำ ที่ปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.20 26
4.13 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการซึมผ่านน้ำปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.15
ของมวลรวม 27
4.14 ความสัมพันธ์ระหว่างกำลังรับแรงดัดกับการซึมผ่านน้ำปริมาตรซีเมนต์เพสต์ 0.20
ของมวลรวม3/4”และ 3/8” 27

มหาวิทยาลัยราชภัฏมหาสารคาม
RAJABHAT MAHASARAKHAM UNIVERSITY