

การใช้เศษพลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์จากฉลากหุ้มขวดน้ำในคอนกรีตระบบอัด

Use of Polyvinylchloride Plastic Waste from Water Bottle Label in Pressed Concrete

ดารุณี แก้วพิกุล¹ แสงสุรีย์ พังแดง² อำพล วงศ์ษา¹ วันชัย สะตะ^{1*} และปริญญญา จินดาประเสริฐ^{1,3}
Darunee Kaewpikul¹ Saengsuree Pangdaeng² Ampol Wongsas¹ Vanchai Sata^{1*}
and Prinya Chindaprasirt^{1,3}

Received: November 3, 2021; Revised: December 7, 2021; Accepted: December 7, 2021

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาคุณสมบัติของคอนกรีตระบบอัดที่ใช้เศษพลาสติกจากฉลากหุ้มขวดน้ำ (พอลิไวนิล-คลอไรด์: พีวีซี) แทนที่มวลรวมจากหินปูน ศึกษาปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตระบบอัด ได้แก่ ปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกในอัตราส่วนร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยปริมาตร อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ที่ 0.30 0.35 และ 0.40 โดยน้ำหนัก และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมที่ 0.14 0.17 และ 0.20 โดยน้ำหนัก ผลการศึกษาพบว่าความหนาแน่น กำลังรับแรงอัด การนำความร้อนและความเร็วคลื่นความถี่สูงของคอนกรีตระบบอัดมีค่าลดลงเมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกมีค่าเพิ่มขึ้น โดยคอนกรีตที่มีความหนาแน่นสูงส่งผลต่อกำลังรับแรงอัดที่เพิ่มขึ้นอย่างมีนัยสำคัญ ความหนาแน่นของคอนกรีตระบบอัดที่มีส่วนผสมของเศษพลาสติกสามารถเพิ่มได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม เมื่อพิจารณากำลังรับแรงอัดตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก (มอก. 58-2533) พบว่าสามารถใช้เศษพลาสติกแทนที่หินปูนได้ถึงร้อยละ 20 เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์สูงกว่า 0.35 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมสูงกว่า 0.17 การศึกษานี้เป็นแนวทางในการใช้เศษพลาสติกในคอนกรีตบล็อกและนำไปสู่วัสดุที่เป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมต่อไป

คำสำคัญ : คอนกรีตระบบอัด; คอนกรีตบล็อก; เศษพลาสติก; พอลิไวนิลคลอไรด์

¹ ศูนย์วิจัยและพัฒนาโครงสร้างพื้นฐานอย่างยั่งยืน คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น

² คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยนครพนม

³ ภาควิชาสถาปัตย์ศิลป์ สำนักศิลปกรรม มหาวิทยาลัยศิลปากร กรุงเทพมหานคร

¹ Sustainable Infrastructure Research and Development Center, Faculty of Engineering, Khon Kaen University

² Faculty of Engineering, Nakhon Phanom University

³ Academy of Science, The Royal Society of Thailand, Bangkok

* Corresponding Author E - mail Address: vancsa@kku.ac.th

Abstract

This research aims to investigate the properties of pressed concrete with the partial replacement of limestone dust by recycled plastic waste derived from plastic bottle labels (Polyvinylchloride: PVC). Parameters affecting the mechanical property of concrete were studied, consisting of plastic replacement in percentages of 0, 10, 20, and 30 by volume, water to cement ratios (W/C) of 0.30, 0.35, and 0.40 by weight, and cement to an aggregate ratio (C/A) of 0.14, 0.17, and 0.20 by weight. The results showed that the density, compressive strength, thermal conductivity, and ultrasonic pulse velocity of pressed concrete decreased as the amount of plastic replacement increased. The high density of concrete resulted in a significant increase in compressive strength. The density of pressed concretes containing plastic waste can be increased by increasing the water to cement ratio and the cement to aggregate ratio. As considering the compressive strength according to Thai Industrial Standard for hollow non-load-bearing concrete masonry units (TIS 58-2533) found that limestone dust can be replaced by plastic waste up to 20 % when using water to cement ratio higher than 0.35 and cement to aggregate ratio higher than 0.17. This study can be a guideline for using plastic waste in concrete blocks and leading to an environmentally friendly material.

Keywords: Pressed Concrete; Concrete Block; Plastic Waste; Polyvinylchloride

บทนำ

พลาสติกมีการใช้งานและมีอัตราการผลิตต่อปีที่เกิดขึ้นสูงมากเมื่อเทียบกับการนำขยะพลาสติกกลับมาใช้ใหม่ มีการสร้างขยะพลาสติกประมาณ 6,300 เมตริกตันต่อปี นำกลับมาใช้ใหม่ประมาณร้อยละ 9 นำไปเผาประมาณร้อยละ 12 และอีกร้อยละ 79 สะสมในหลุมฝังกลบหรือหลุดออกไปสู่สภาพแวดล้อมทางธรรมชาติ [1] และพบว่าในปี พ.ศ. 2557 มีปริมาณการผลิตพลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ประมาณ 9.3 แสนตัน โดยนำกลับมาใช้ใหม่หรือรีไซเคิล (Recycle) น้อยกว่า 5,000 ตัน เมื่อเปรียบเทียบกับปริมาณการผลิต จะเห็นได้ว่ามีการนำไปรีไซเคิลต่ำกว่าร้อยละ 1 [2] จากการสำรวจของกรีนพีซ (Greenpeace) องค์การสาธารณประโยชน์นานาชาติ (NGO) พบว่าพลาสติกประเภทนี้เป็นพลาสติกในชีวิตประจำวันที่มีอันตรายต่อสิ่งแวดล้อมมากที่สุด นอกจากจะมีการนำไปรีไซเคิลน้อยแล้วยังมีขนาดเล็ก จึงทำให้สามารถหลุดออกไปสู่สิ่งแวดล้อมทางธรรมชาติได้ง่าย พลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ อีกชนิดหนึ่งที่พบเห็นได้ง่ายตามผลิตภัณฑ์ขวดน้ำดื่ม คือ ฉลากหุ้มขวดน้ำ ในกระบวนการรีไซเคิลขวดน้ำดื่ม จะถูกแยกออกเป็น 3 ส่วน คือ ขวดน้ำ (PET) ฝา (HDPE) และฉลากหุ้มขวดน้ำ (PVC) ข้อมูลจากองค์กร Sustainable Communities SA. พลาสติกฉลากหุ้มขวดน้ำหลังจากการคัดแยกไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้ จะถูกนำไปกำจัดโดยการชะล้างสารเจือปนที่เป็นพิษก่อนการฝังกลบหรือการเผาโดยจะปล่อยสารไดออกซิน

และโลหะหนักซึ่งเป็นสารที่เป็นอันตรายก่อให้เกิดมะเร็ง การนำเศษขยะพลาสติกมาใช้ใหม่ในงานวัสดุก่อสร้างหรือผลิตภัณฑ์อื่น ๆ จึงสามารถลดการทิ้งสู่ธรรมชาติได้ดี [3] - [4] มีการใช้ในรูปแบบของมวลรวมพลาสติกในส่วนผสมคอนกรีต [5] ทั้งการใช้เป็นมวลรวมเบาเพื่อลดน้ำหนักและเพิ่มความเป็นฉนวนกันความร้อน [6] ใช้เป็นมวลรวมละเอียดและมวลรวมหยาบในการแทนที่มวลรวมธรรมชาติ [7] การใช้เศษพลาสติกในส่วนผสมคอนกรีตนั้นถึงแม้จะลดความแข็งแรงของคอนกรีตแต่ทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา จึงเหมาะสมที่จะใช้ในงานคอนกรีตประเภทที่ต้องการความแข็งแรงไม่สูงมากและมีน้ำหนักเบา เช่น คอนกรีตบล็อกปูพื้น [8] และคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก เป็นต้น โดยที่สามารถใช้ระบบหล่อทั่วไปหรือการใช้ระบบอัดในการขึ้นรูป จากงานวิจัยที่ผ่านมาสามารถนำเศษพลาสติกแทนที่มวลรวมธรรมชาติในคอนกรีตระบบอัดคือ คอนกรีตบล็อกและคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นได้สูงสุดร้อยละ 20 - 30 [9] - [12] ซึ่งคอนกรีตระบบอัดนี้มีข้อดีคือการใช้ปริมาณน้ำน้อยซึ่งทำให้ต้องใช้ปูนซีเมนต์ในส่วนผสมน้อยเช่นกัน

งานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อทำการศึกษาสมบัติของคอนกรีตระบบอัดที่ใช้เศษพลาสติกจากฉลากหุ้มขวดน้ำเนื่องจากเป็นส่วนที่ไม่สามารถนำกลับมาใช้ใหม่ได้แทนที่มวลรวมจากหินปูนบางส่วน โดยศึกษาผลกระทบของปริมาณเศษพลาสติก อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม โดยคาดหวังว่าการนำเศษพลาสติกมาใช้ทดแทนมวลรวมบางส่วน สามารถใช้เป็นแนวทางในการนำไปพัฒนาเป็นคอนกรีตบล็อกที่ใช้งานได้จริงเป็นมิตรต่อสิ่งแวดล้อมและช่วยลดปริมาณเศษขยะพลาสติกที่เกิดขึ้นได้

วิธีดำเนินการวิจัย

การดำเนินการวิจัยนี้เป็นการศึกษาคอนกรีตระบบอัดที่มีเศษพลาสติกเป็นมวลรวมบางส่วน โดยมีขั้นตอนการดำเนินงานวิจัย ดังนี้

1. วัสดุที่ใช้ในงานวิจัย

ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (ความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 3.15) ใช้น้ำ Reverse Osmosis (RO) สำหรับผสมตัวอย่าง ใช้หินปูนล่วนเป็นมวลรวมในคอนกรีตระบบอัดควบคุม เศษพลาสติกที่ใช้ในงานวิจัยนี้เป็นพลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์ (Polyvinylchloride: PVC) ที่ใช้ทำเป็นฉลากหุ้มขวดน้ำ นำไปย่อยด้วยเครื่องย่อยพลาสติกให้มีขนาดเล็กกว่าตะแกรงเบอร์ 8 (2.36 มิลลิเมตร) เพื่อใช้เป็นวัสดุแทนที่หินปูนบางส่วนในคอนกรีตระบบอัด โดยแสดงคุณสมบัติของหินปูนและเศษพลาสติกหลังการย่อยในตารางที่ 1 ส่วนรูปที่ 1 แสดงมวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 1 สมบัติพื้นฐานของหินปูนและเศษพลาสติก

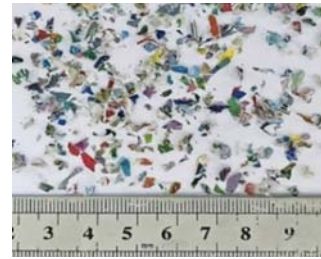
สมบัติของวัสดุ	หินปูน	เศษพลาสติก
ความถ่วงจำเพาะ	2.68	1.17
หน่วยน้ำหนักกระทุ้งแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	1842	251
โมดูลัสความละเอียด	3.52	3.73
ร้อยละการดูดซึมน้ำ	2.47	-



(ก) หินฝุ่น



(ข) เศษพลาสติกก่อนการย่อย



(ค) เศษพลาสติกหลังการย่อย

รูปที่ 1 มวลรวมที่ใช้ในงานวิจัย

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสม (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

อัตราส่วนผสม	ปูนซีเมนต์	น้ำ	หินฝุ่น	เศษพลาสติก
PL0 (Control)	307	108	1842	0
PL10	307	108	1658	26
PL20	307	108	1474	51
PL30	307	108	1290	76
WC0.30	307	93	1474	51
WC0.35 (PL20)	307	108	1474	51
WC0.40	307	123	1474	51
CA0.14	264	93	1474	51
CA0.17 (PL20)	307	108	1474	51
CA0.20	369	129	1474	51

2. อัตราส่วนผสม

อัตราส่วนผสมของคอนกรีตระบบอัดจากเศษพลาสติกแทนที่หินฝุ่นบางส่วน ใช้หินฝุ่นล้วนในสภาพอิ่มตัวผิวแห้ง (SSD) เป็นส่วนผสมควบคุม โดยแบ่งการศึกษาออกเป็น 3 ส่วน ดังตารางที่ 2 ดังนี้

ส่วนที่ 1 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นด้วยเศษพลาสติกร้อยละ 0 10 20 และ 30 โดยปริมาตรของหินฝุ่น [9] - [12] ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.35 และใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นเท่ากับ 0.17 โดยน้ำหนักของหินฝุ่น เช่น สัญลักษณ์ PL10 หมายถึง อัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นด้วยเศษพลาสติกร้อยละ 10 โดยปริมาตรของหินฝุ่น

ส่วนที่ 2 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ ได้แก่ 0.30 0.35 และ 0.40 โดยน้ำหนัก ใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นเท่ากับ 0.17 โดยน้ำหนักหินฝุ่น ใช้อัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นด้วยเศษพลาสติกเท่ากับร้อยละ 20 โดยปริมาตร เช่น สัญลักษณ์ WC0.30 หมายถึง การใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ 0.30 โดยน้ำหนัก

ส่วนที่ 3 ศึกษาการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่น 0.14 0.17 และ 0.20 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นช่วงอัตราส่วนที่เหมาะสมในการอัดขึ้นรูปคอนกรีตบล็อก [13] ใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เท่ากับ

0.35 และใช้อัตราส่วนการแทนที่หินฝุ่นด้วยเศษพลาสติกเท่ากับร้อยละ 20 โดยปริมาตร เช่น สัญลักษณ์ CA0.20 หมายถึงการใช้อัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อหินฝุ่นเท่ากับ 0.20 โดยน้ำหนักของหินฝุ่น

3. ขั้นตอนการเตรียมตัวอย่างคอนกรีตระบบอัด

การเตรียมตัวอย่างของคอนกรีตระบบอัดได้ทำตามมาตรฐาน ASTM C305 [14] โดยนำน้ำและซีเมนต์ลงในหม้อผสมและผสมด้วยความเร็วต่ำประมาณ 135 - 145 รอบต่อนาที เป็นเวลา 30 วินาที ค่อย ๆ ใส่มวลรวมขณะที่ยังคงผสมด้วยความเร็วต่ำโดยใช้เวลาในช่วงนี้อีก 30 วินาที หยุดเครื่องผสมและปรับความเร็วเป็นความเร็วปานกลางประมาณ 275 - 295 รอบต่อนาที ผสมเป็นเวลา 30 วินาที พักการผสมเป็นเวลา 90 นาที โดยช่วง 15 วินาทีแรกให้รับชุดส่วนผสมที่ดีอยู่ตามข้าง ๆ หม้อผสมออกให้หมดหลังจากนั้นคลุมหม้อผสมไว้จนครบ 90 วินาที ผสมต่ออีก 60 วินาทีด้วยความเร็วปานกลาง หลังจากผสมเสร็จนำไปเข้าเครื่องอัดก้อนตัวอย่างเป็นลูกบาศก์ขนาด 10 เซนติเมตร ดังรูปที่ 2 ใช้แรงอัดประมาณ 0.85 เมกะปาสกาล [15] ในการอัดขึ้นรูปตัวอย่าง ได้ลักษณะก้อนตัวอย่างดังแสดงในรูปที่ 3 แล้วหุ้มด้วยพลาสติกเพื่อป้องกันการระเหยของความชื้น นำตัวอย่างไปตั้งไว้ที่ห้องควบคุมอุณหภูมิ 25 องศาเซลเซียส ความชื้นสัมพัทธ์ร้อยละ 50 เป็นเวลา 24 ชั่วโมง จากนั้นนำก้อนตัวอย่างไปบ่มในน้ำจนถึงอายุทดสอบ โดยทำการทดสอบกำลังรับแรงอัดที่อายุ 7 และ 28 วัน และทดสอบสมบัติอื่น ๆ ที่อายุ 28 วัน



รูปที่ 2 เครื่องอัดขึ้นรูปตัวอย่าง



รูปที่ 3 ก้อนตัวอย่างคอนกรีตระบบอัด

4. วิธีการทดสอบ

4.1 การทดสอบความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงอากาศ

การทดสอบหาค่าความหนาแน่นของคอนกรีตระบบอัด ประยุกต์ใช้ตามมาตรฐาน ASTM C642 [16] โดยใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 10 เซนติเมตร ทำการวัดขนาดและชั่งน้ำหนักตัวอย่างเพื่อนำไปคำนวณหาค่าความหนาแน่น และทำการทดสอบอัตราการดูดซึมน้ำและปริมาณโพรง นำตัวอย่างไปแช่น้ำเป็นเวลา 24 ชั่วโมง แล้วนำมาชั่งน้ำหนักในน้ำ และในอากาศ จากนั้นนำไปอบที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 24 ชั่วโมงแล้วชั่งน้ำหนัก นำค่าที่ได้ไปคำนวณเพื่อหาอัตราการดูดซึมน้ำ จากนั้นนำตัวอย่างไปต้มในน้ำที่อุณหภูมิ 100 องศาเซลเซียส เป็นเวลา 5 ชั่วโมง แล้วจึงปิดเตา ปล่อยให้ตัวอย่างเย็นในน้ำประมาณ 12 ชั่วโมง นำตัวอย่างชั่งน้ำหนักในน้ำ และในอากาศ นำค่าที่ได้ไปคำนวณหาปริมาณโพรง

4.2 กำลังรับแรงอัด

การทดสอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีต ตามมาตรฐาน ASTM C39/C39M [17] ใช้เครื่องทดสอบกำลังรับแรงอัด โดยใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 10 เซนติเมตร ใช้ตัวอย่างทดสอบ 3 ตัวอย่างต่อ 1 ส่วนผสมเพื่อหาค่าเฉลี่ย

4.3 การทดสอบการนำความร้อน

การทดสอบการนำความร้อนของคอนกรีตตามมาตรฐาน ASTM E1225 [18] โดยใช้ตัวอย่างลูกบาศก์ขนาด 10 เซนติเมตร ทดสอบโดยการใช้เครื่อง ISOMET 2114 [19] นำหัววัดแบบสัมผัสผิวของเครื่องมือวางบนตัวอย่างที่มีผิวเรียบเสมอกัน นำตัวอย่างไปอบเป็นเวลา 24 ชั่วโมงเพื่อให้ความชื้นออกจากตัวอย่าง แล้วปล่อยให้เย็นลงในห้องควบคุมอุณหภูมิเพื่อให้ตัวอย่างมีอุณหภูมิและความชื้นในตัวอย่างที่สม่ำเสมอแล้วทำการทดสอบหาค่าการนำความร้อน 3 ค่าต่อ 1 ตัวอย่างเพื่อหาค่าเฉลี่ย

4.4 การทดสอบความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่าง

การทดสอบความเร็วของคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่าง คือ การทดสอบตามมาตรฐาน ASTM C597 [20] โดยไม่ทำลายตัวอย่าง (Nondestructive Test, NDT) ด้วยการส่งคลื่นความถี่สูง (Ultrasonic Pulse) ขนาด 50 กิโลเฮิรตซ์ผ่านตัวอย่าง แล้ววัดเวลาที่คลื่นความถี่สูงใช้ในการเคลื่อนที่จากหัวส่งสัญญาณผ่านตัวอย่างไปยังหัวรับสัญญาณทรงกระบอกที่มีขนาดเส้นผ่านศูนย์กลางของหน้าตัด 50 มิลลิเมตร นำมาคำนวณหาค่าความเร็วคลื่น ตัวอย่างที่ใช้ทดสอบเป็นตัวอย่างรูปทรงลูกบาศก์ขนาด 10 เซนติเมตร

ผลการทดลองและอภิปรายผล

1. กำลังรับแรงอัด

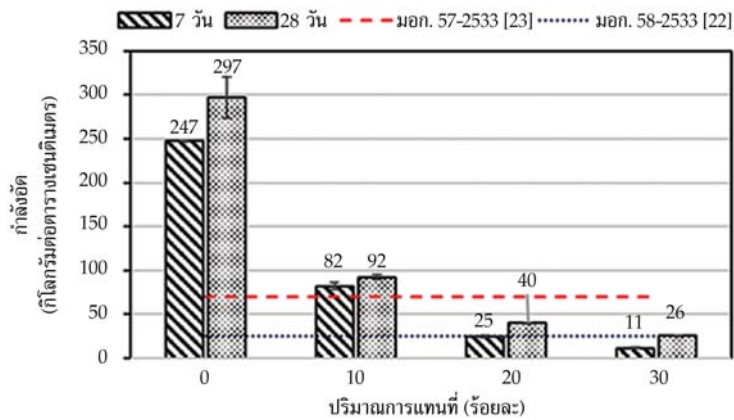
ผลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตระบบอัดที่มีเศษพลาสติกเป็นส่วนผสมแสดงดังรูปที่ 4 โดยพบว่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงตามปริมาณการแทนที่ดังแสดงในรูปที่ 4(ก) กำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของอัตราส่วนผสม PL0 PL10 PL20 และ PL30 มีค่าเท่ากับ 297 92 40 และ 26 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ เมื่อปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกเพิ่มมากขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง เนื่องจากเศษพลาสติกมีลักษณะพื้นผิวที่เรียบส่งผลให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างซีเมนต์เพสต์

และพลาสติกกลดลงและลักษณะที่ไม่ชอบน้ำของพลาสติก ซึ่งสามารถยับยั้งปฏิกิริยาไฮเดรชันของซีเมนต์ได้ โดยการจำกัดการเคลื่อนที่ของน้ำ รวมไปถึงเมื่อปริมาณการแทนที่ของพลาสติกเพิ่มมากขึ้นยังทำให้เกิดช่องว่างมากขึ้น ส่งผลให้มีปริมาณโพรงอากาศและความพรุนสูง ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตระบบอัดต่ำลง [21] เมื่อเปรียบเทียบค่ากำลังรับแรงอัดกับมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตาม มอก. 58-2533 [22] ที่กำหนดค่ากำลังรับแรงอัดไม่ต่ำกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร พบว่าส่วนผสมที่ใช้เศษพลาสติกแทนที่มวลรวมบางส่วนมีค่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน สูงกว่าค่าที่กำหนด นอกจากนี้ยังพบว่า ส่วนผสม PL10 มีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงกว่าค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตาม มอก. 57-2533 [23] ที่ไม่ต่ำกว่า 70 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตรอีกด้วย

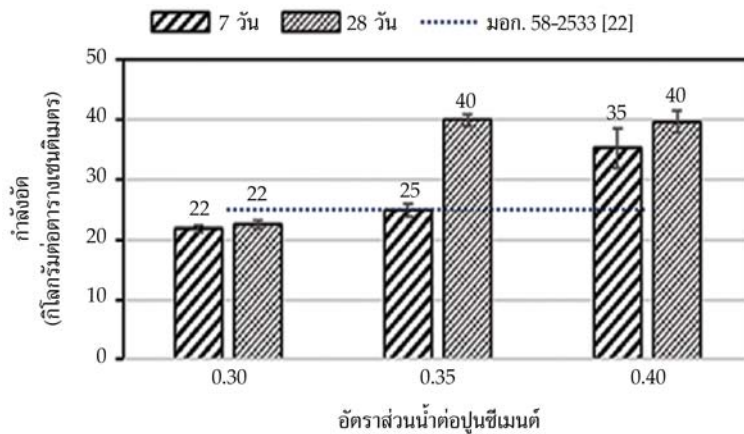
เมื่อทำการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในส่วนผสมของคอนกรีตระบบอัดต่ำแสดงในรูปที่ 4(ข) พบว่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน ของอัตราส่วนผสม WC0.30 WC0.35 และ WC0.40 เท่ากับ 22 40 และ 40 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ แสดงว่าปริมาณน้ำที่เพิ่มขึ้นส่งผลให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตระบบอัดต่ำผสมเศษพลาสติกเพิ่มขึ้น เนื่องจากปริมาณน้ำที่น้อยจะทำให้ซีเมนต์เฟสที่เคลือบผิวมวลรวมมีสภาพแห้ง ส่งผลให้ความสามารถในการยึดเกาะกันของมวลรวมลดลง เมื่อทำการอัดขึ้นรูปตัวอย่างจะทำให้ส่วนผสมต่าง ๆ หลุดร่อนได้ง่าย รวมไปถึงปริมาณน้ำที่ไม่เพียงพอต่อการทำปฏิกิริยาไฮเดรชัน ในขณะที่หากปริมาณน้ำที่ใช้มากเกินไปจะทำให้คอนกรีตเกิดการเยิ้มและไม่สามารถอัดขึ้นรูปได้ [24] นอกจากนี้การเพิ่มอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมยังสามารถเพิ่มกำลังรับแรงอัดแสดงในรูปที่ 4(ค) กำลังอัดที่อายุ 28 วัน ของคอนกรีตที่ใช้อัตราส่วนผสม CA0.14 CA0.17 และ CA0.20 มีค่าเท่ากับ 17 40 และ 58 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร ตามลำดับ การเพิ่มขึ้นของกำลังรับแรงอัดเกิดขึ้นเนื่องจากเมื่อปริมาณวัสดุเชื่อมประสานเพิ่มขึ้นจะทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันเพิ่มมากขึ้น ซึ่งทำหน้าที่ให้กำลังและยึดเหนี่ยวมวลรวมเข้าด้วยกัน ส่งผลให้การพัฒนากำลังมีแนวโน้มเพิ่มมากขึ้นตามไปด้วย [25] - [26] เมื่อพิจารณาเปรียบเทียบกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักตาม มอก. 58-2533 [22] จะพบว่าสัดส่วนผสมของคอนกรีตระบบอัดต่ำผสมเศษพลาสติกร้อยละ 20 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดผ่านตามเกณฑ์เมื่อใช้อัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมไม่น้อยกว่า 0.35 และ 0.17

2. ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงอากาศ

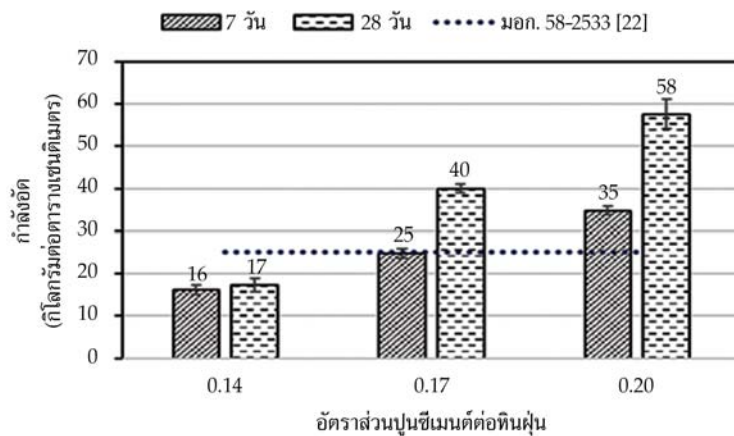
ผลการทดสอบค่าความหนาแน่น การดูดซึมน้ำ และปริมาณโพรงอากาศแสดงในตารางที่ 3 พบว่าการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกทำให้ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตลดลงตามปริมาณการแทนที่ที่เพิ่มขึ้น โดยอัตราส่วนผสม PL30 มีความหนาแน่นต่ำที่สุดเท่ากับ 1,624 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร เมื่อเทียบกับส่วนผสมควบคุมที่มีความหนาแน่นเท่ากับ 2,285 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร หรือลดลงร้อยละ 29 เป็นผลมาจากเศษพลาสติกมีค่าความหนาแน่นต่ำกว่ามวลรวมธรรมชาติ เมื่ออัตราส่วนการแทนที่เพิ่มขึ้นจึงทำให้ความหนาแน่นลดลง ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [9] ที่ใช้เศษพลาสติกประเภท PET แทนที่มวลรวมในคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ทั้งนี้เศษพลาสติกยังทำให้คอนกรีตมีช่องว่างภายในเนื้อคอนกรีตเพิ่มขึ้น โดยจะเห็นได้จากปริมาณโพรงที่เพิ่มขึ้นจากร้อยละ 12 เป็น 21 29 และ 33 เมื่อมีปริมาณเศษพลาสติกในส่วนผสมเท่ากับร้อยละ 10 20 และ 30 ตามลำดับ ปริมาณโพรงอากาศที่สูงขึ้นแสดงว่าคอนกรีตมีความพรุนมากขึ้น ยังส่งผลต่อการดูดซึมน้ำที่เพิ่มขึ้นด้วย [6]



(ก) เปลี่ยนแปลงปริมาณการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติก



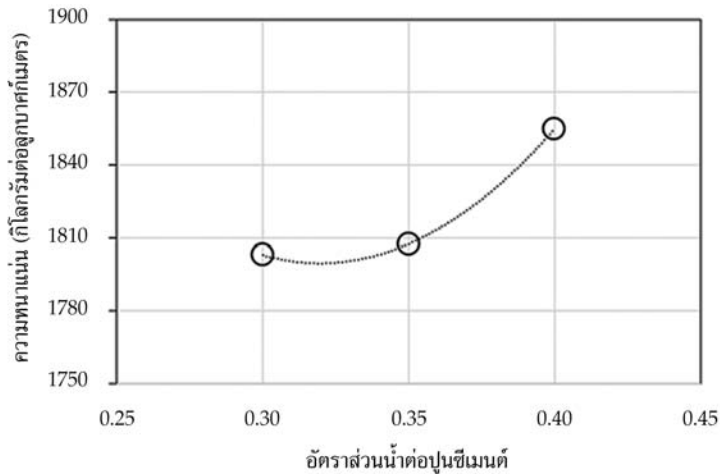
(ข) เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์



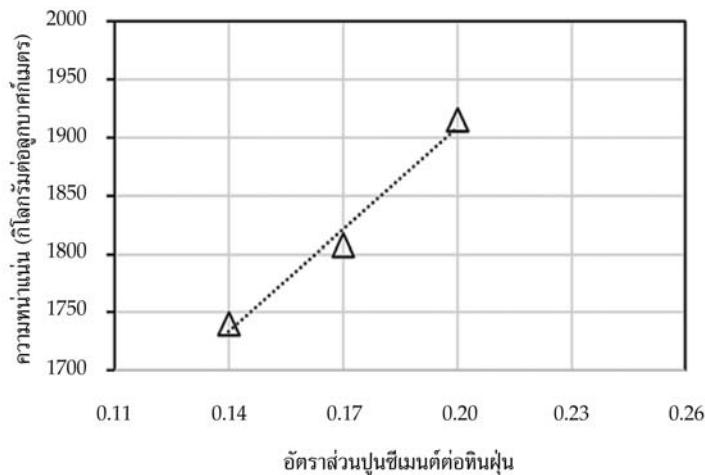
(ค) เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม

รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตระบบอัด

ต่อมวลรวมที่ไม่เกิน 0.17 เพื่อเป็นการลดต้นทุนของคอนกรีตระบบอัด โดยที่สามารถเพิ่มกำลังของคอนกรีตได้โดยการเพิ่มปริมาณน้ำในระบบ



(ก) เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์



(ข) เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม

รูปที่ 5 ความหนาแน่นคอนกรีตระบบอัดผสมเศษพลาสติก

เมื่อพิจารณาทุกสัดส่วนผสมพบว่า ปัจจัยที่ส่งผลต่อคุณสมบัติของคอนกรีตระบบอัดที่มีเศษพลาสติกในส่วนผสมคือความหนาแน่นของเนื้อคอนกรีต สอดคล้องกับงานวิจัยของ [28] ดังรูปที่ 6 โดยความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดและความหนาแน่นมีลักษณะแบบเอกซ์โพเนนเชียล ดังสมการที่ (1)

$$C = 0.0177e^{0.0042D} \quad (1)$$

เมื่อ

C คือ กำลังรับแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร)

และ

D คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

และความสัมพันธ์ของปริมาณโพรงและความหนาแน่นมีลักษณะเชิงเส้น ดังสมการที่ (2)

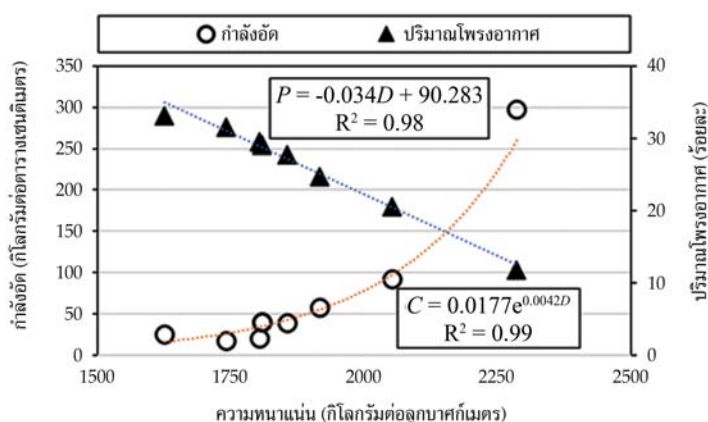
$$P = -0.034D + 90.283 \quad (2)$$

เมื่อ

P คือ ปริมาณโพรง (ร้อยละ)

และ

D คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 6 อิทธิพลของความหนาแน่นต่อกำลังรับแรงอัดและปริมาณโพรง

3. การนำความร้อนและความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่าง

ค่าการนำความร้อนและความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่างของคอนกรีตระบบอัดที่มีการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกดังแสดงในตารางที่ 3 เมื่อพิจารณาการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกพบว่า ค่าการนำความร้อนและความเร็วคลื่นลดลงเมื่ออัตราส่วนการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกเพิ่มมากขึ้น เห็นได้ชัดในส่วนผสม PL30 มีค่าการนำความร้อนและความเร็วคลื่นลดลงร้อยละ 74 และ 70 เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสมควบคุม เป็นผลมาจากมวลรวมจากเศษพลาสติกมีค่าการนำความร้อนที่ต่ำกว่าเมื่อเปรียบเทียบกับมวลรวมธรรมชาติ [29] และปริมาณโพรงอากาศที่สูงขึ้นของคอนกรีตที่มีมวลรวมจากเศษพลาสติกจะส่งผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง ซึ่งโดยทั่วไปแล้ววัสดุที่มีความหนาแน่นสูงจะนำความร้อนได้ดี [30] - [31] ส่วนผสมที่เปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์พบว่ามีการนำความร้อนที่ใกล้เคียงกันที่ 0.62 0.70 และ 0.71 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ของส่วนผสม WC0.30 WC0.35 และ WC0.40 ซึ่งสอดคล้องกับค่าความหนาแน่นที่ใกล้เคียงกันเท่ากับ 1,803 1,808 และ 1,855 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อ

มวบรวมพบว่า เมื่ออัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมเพิ่มขึ้นจะทำให้ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น โดยส่วนผสม CA0.20 มีค่าการนำความร้อนสูงที่สุดเท่ากับ 0.88 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน หรือร้อยละ 35 เมื่อเปรียบเทียบกับส่วนผสม CA0.14 ที่มีค่าการนำความร้อนเท่ากับ 0.57 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน เป็นผลมาจากปริมาณโพรงอากาศที่ลดลงของคอนกรีตระบบอัดซึ่งทำให้ค่าความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น

นอกจากนี้ค่าการนำความร้อนและความเร็วคลื่นความถี่สูงผ่านตัวอย่างเปลี่ยนแปลงตามความหนาแน่นของคอนกรีตระบบอัดที่มีการแทนที่มวลรวมด้วยเศษพลาสติกดังรูปที่ 7 พบว่าความสัมพันธ์ของการนำความร้อนและความเร็วคลื่นกับความหนาแน่นมีลักษณะเป็นความสัมพันธ์เชิงเส้นตรงเช่นเดียวกัน ซึ่งสอดคล้องกับงานวิจัยของ [32] โดยความสัมพันธ์ของความเร็วคลื่นและความหนาแน่นดังสมการที่ (3)

$$V = 4.4643D - 6256.6 \quad (3)$$

เมื่อ

V คือ ความเร็วคลื่น (เมตรต่อวินาที)

และ

D คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)

และความสัมพันธ์ของการนำความร้อนและความหนาแน่นดังสมการที่ (4)

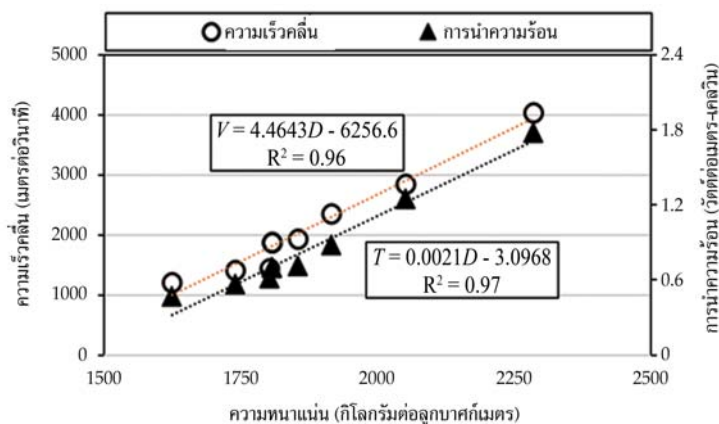
$$T = 0.0021D - 3.0968 \quad (4)$$

เมื่อ

T คือ ค่าการนำความร้อน (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน)

และ

D คือ ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)



รูปที่ 7 อิทธิพลของความหนาแน่นต่อความเร็วคลื่นและการนำความร้อน

สรุปและข้อเสนอแนะ

1. การใช้เศษพลาสติกพอลิไวนิลคลอไรด์จากจลาจลหุ้มขวดน้ำแทนที่มวลรวมบางส่วนในคอนกรีตระบบอัดเมื่อปริมาณอัตราส่วนที่เพิ่มขึ้น ส่งผลให้กำลังรับแรงอัด การนำความร้อนและความเร็วคลื่นมีค่าลดลง ในขณะที่ปริมาณโพรงอากาศและการดูดซึมน้ำสูงขึ้นสอดคล้องกับความหนาแน่นที่ลดลง
2. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ของคอนกรีตระบบอัดที่มีเศษพลาสติกเป็นส่วนผสมเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์เพิ่มขึ้นส่งผลให้ความหนาแน่น การนำความร้อนและความเร็วคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นเล็กน้อย ในขณะที่กำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มมากขึ้นอย่างเห็นได้ชัด
3. การเปลี่ยนแปลงอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมของคอนกรีตระบบอัดที่มีเศษพลาสติกเป็นส่วนผสม เมื่อเพิ่มอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวม มีผลให้กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น การนำความร้อนและความเร็วคลื่นมีค่าเพิ่มขึ้นอย่างชัดเจน
4. เมื่อพิจารณาจากกำลังรับแรงอัด พบว่าการใช้เศษพลาสติกแทนที่มวลรวมไม่เกินร้อยละ 20 โดยปริมาตร เหมาะสมในการนำไปผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก ตาม มอก. 58-2533 เนื่องจากเป็นส่วนผสมที่มีอัตราส่วนการแทนที่ด้วยเศษพลาสติกสูงที่สุดที่ให้ค่ากำลังรับแรงอัดเกินกว่าข้อกำหนด โดยสามารถปรับปรุงความแข็งแรงได้โดยการเพิ่มอัตราส่วนน้ำต่อปูนซีเมนต์ในช่วง 0.35 - 0.40 และอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อมวลรวมในช่วง 0.17 - 0.20 ได้
5. ควรมีการศึกษาใช้เศษพลาสติกประเภทพอลิไวนิลคลอไรด์จากผลิตภัณฑ์อื่น ๆ เช่น เศษถุงขนมขบเคี้ยว เศษถุงผลิตภัณฑ์สำเร็จรูปต่าง ๆ หรือเศษท่อพลาสติกในคอนกรีตระบบอัด เพื่อเปรียบเทียบผลการทดสอบ

กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนอุดหนุนจากคณะวิศวกรรมศาสตร์ ภาควิชาและบัณฑิตศึกษา มหาวิทยาลัยขอนแก่น และสำนักงานการวิจัยแห่งชาติ ภายใต้ทุนอัจฉริยภาพนักวิจัยรุ่นใหม่ (สัญญาเลขที่ N41A640107)

References

- [1] Geyer, R., Jambeck, J. R., and Law, K. L. (2017). Production, Use, and Fate of All Plastics Ever Made. **Science Advances**. Vol. 3, No. 7, pp. 25-29. DOI: 10.1126/sciadv.1700782
- [2] United States Environmental Protection Agency. (2017). **Advancing Sustainable Materials Management: Fact Sheet**. Washington: DC 20460
- [3] Saikia, N. and De Brito, J. (2012). Use of Plastic Waste as Aggregate in Cement Mortar and Concrete Preparation: A Review. **Construction and Building Materials**. Vol. 34, pp. 385-401 DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2012.02.066
- [4] Somdee, P., Nuilek, K., Hasuk, A., Bunont, C., and Wasantasenanon, P. (2014). Properties of Charcoal Briquettes Added Liquids Derived from Pyrolysis Process of Plastic Recycle. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 7, No. 2, pp. 81-92

- [5] Almeshal, I., Tayeh, B. A., Alyousef, R., Alabduljabbar, H., Mohamed, A. M., and Alaskar, A. (2020). Use of Recycled Plastic as Fine Aggregate in Cementitious Composites: A Review. **Construction and Building Materials**. Vol. 253. p. 119146
- [6] Colangelo, F., Cioffi, R., Liguori, B., and Iucolano, F. (2016). Recycled Polyolefins Waste as Aggregates for Lightweight Concrete. **Composites Part B: Engineering**. Vol. 106, pp. 234-241. DOI: 10.1016/j.compositesb.2016.09.041
- [7] Mohammed, Azad A., Mohammed, Ilham I., and Mohammed, Shuaaib A. (2019). Some Properties of Concrete with Plastic Aggregate Derived from Shredded PVC Sheets. **Construction and Building Materials**. Vol. 201, pp. 232-245. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.12.145
- [8] Agyeman, S., Obeng-Ahenkora, N. K., Assiamah, S., and Twumasi, G. (2019). Exploiting Recycled Plastic Waste as an Alternative Binder for Paving Blocks Production. **Case Studies in Construction Materials**. Vol. 11, e00246. DOI: 10.1016/j.cscm.2019.e00246
- [9] Suweero, K. and Khaput, P. (2020). Development of Interlocking Concrete Paving Block Product Mixed with Colored Polyethylene Terephthalate Plastic Bottle from Post-Consumer Waste. **Journal of Engineering, RMUTT**. Vol. 18, No. 1, pp. 81-89
- [10] Nivetha, C., Rubiya, M., Shobana, S., Viswanathan, V. R. G., and Vasanthi, R. (2016). Production of Plastic Paver Block from the Solid Waste (Quarry Dust, Flyash & PET). **ARPN Journal of Engineering and Applied Sciences**. Vol. 11, No. 2, pp. 1078-1079
- [11] Arsod, N. D., Kannao, P. V., Botare, P. L., Nehare, K. V., and Ban, P. V. (2019). A Paper on Experimental Investigation on Concrete Paver Block and Plastic Paver Block. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJERT)**. Vol. 7, Issue 3, pp. 2151-2157
- [12] Tapkire, G., Parihar, S., Patil, P., and Kumavat, H. R. (2014). Recycled Plastic Used in Concrete Paver Block. **International Journal for Research in Applied Science and Engineering Technology (IJERT)**. Vol. 3, Special Issue: 09, pp. 33-35
- [13] Seangatith, S. (2013). **Optimum Cement to Limestone Dust Ratio in the Production of Concrete Blocks or Bricks**. Thailand Concrete Association. No.20
- [14] American Society for Testing and Materials. (2015). **Standard Practice for Mechanical Mixing of Hydraulic Cement Pastes and Mortars of Plastic Consistency**. ASTM C305-15. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 4, No. 1
- [15] Posi, P., Thongjapo, P., Thamultree, N., Boontee, P., Kasemsiri, P., and Chindaprasirt, P. (2016). Pressed Lightweight Fly Ash-OPC Geopolymer Concrete Containing Recycled Lightweight Concrete Aggregate. **Construction and Building Materials**. Vol. 127, pp. 450-456. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2016.09.105
- [16] American Society for Testing and Materials. (2015). **Standard Test Method for Density, Absorption, and Voids in Hardened Concrete**. ASTM C642-15. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 4, No. 2

- [17] American Society for Testing and Materials. (2016). **Standard Test Method for Compressive Strength of Cylindrical Concrete Specimens**. ASTM C39/C39M. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 4, No. 1
- [18] American Society for Testing and Materials. (2015). **Standard Test Method for Thermal Conductivity of Solids Using the Guarded-Comparative-Longitudinal Heat Flow Technique**. ASTM E1225-15. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 14, No. 5
- [19] User's Guide. (2003). **ISOMET 2114 Thermal Properties Analyzer**. Applied Precision Measurement and Test Solution. Applied Precision Ltd. Stavitselska 1, 831 04 Bratislava SLOVAKIA.
- [20] American Society for Testing and Materials. (2016). **Standard Test Method for Pulse Velocity Through Concrete**. ASTM C597-16. Annual Book of ASTM Standards. Vol. 4, No. 2
- [21] Hossain, M. B., Bhowmik, P., and Shaad, K. M. (2016). Use of Waste Plastic Aggregation in Concrete as a Constituent Material. **Progressive Agriculture**. Vol. 27, No. 3, pp. 383-391. DOI: 10.3329/pa.v27i3.30835
- [22] Thai Industrial Standards Institute (TISI). (1990). **Standard for Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units TIS.58-2533**. Ministry of Industry, Bangkok
- [23] Thai Industrial Standards Institute (TISI). (1990). **Standard for Hollow Load-Bearing Concrete Masonry Units TIS.57-2533**. Ministry of Industry, Bangkok
- [24] Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., and Jaturapitakkul, C. (2006). Strength and Water Permeability of Concrete Containing Palm Oil Fuel Ash and Rice Husk-Bark Ash. **Construction and Building Materials**. Vol. 21, Issue 7, pp. 1492-1499. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2006.06.015
- [25] Sata, V. (2017). **Environmentally Friendly Concrete**. Khon Kaen: KKU PRINTING
- [26] To-on, P., Witchayaphong, P., and Pansuwan, J. (2016). A Study of the Properties of Bagasse Ash for the Possibility in Making Light Weight Block. **RMUTI JOURNAL Science and Technology**. Vol. 9, No. 3, pp. 1-10
- [27] Sripundon, Y., Musiket, K., Piyaphipan, S., and Tuenpusa, P. (2019). Effects of W/C Ratios on Fracture Parameters of Recycled Aggregate Concrete Notched-Beams. **Kasem Bundit Engineering Journal**. Vol. 9, No. 3, pp. 218-237
- [28] Ghernouti, Y., Rabehi, B., Safi, B., and Rabah, C. (2009). Use of Recycled Plastic Bag Waste in the Concrete. **Journal of International Scientific Publications: Materials, Methods and Technologies**. Vol. 8, pp. 480-487
- [29] Záleská, M., Pavlíková, M., Pokorný, J., Jankovský, O., Pavlík, Z., and Černý, R. (2018). Structural, Mechanical and Hygrothermal Properties of Lightweight Concrete Based on the Application of Waste Plastics. **Construction and Building Materials**. Vol. 180, pp.1-11. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2018.05.250

- [30] Ruiz-Herrero, J. L., Nieto, D. V., López-Gil, A., Arranz, A., Fernández, A., Lorenzana, A., Merino, S., De Saja, J. A., and Rodríguez-Pérez, M. A. (2016). Mechanical and Thermal Performance of Concrete and Mortar Cellular Materials Containing Plastic Waste. **Construction and Building Materials**. Vol. 104, pp. 298-310. DOI: 10.1016/j.conbuildmat.2015.12.005
- [31] Akçaözoğlu, S., Akçaözoğlu, K., and Atiş, C. D. (2013). Thermal Conductivity, Compressive Strength and Ultrasonic Wave Velocity of Cementitious Composite Containing Waste PET Lightweight Aggregate (WPLA). **Composites Part B: Engineering**. Vol. 45, Issue 1, pp. 721-726. DOI:10.1016/j.compositesb.2012.09.012
- [32] Sylisomchanh, L., Kulthawatwong, R., Wongsas, A., Sata, V., and Chindaprasirt, P. (2013). Effect of Plastic Waste as Sand Replacement on Mortar Properties. **Thailand Concrete Association**. Vol. 8, No. 1, pp. 21-27