

สมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก Polyethylene Terephthalate (PET) เป็นส่วนประกอบ Properties of Concrete Block Containing Polyethylene Terephthalate (PET) Plastic Bottles

ภัทรภณ บุรณากาญจน์*

สาขาวิชาสถาปัตยกรรม คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์และการผังเมือง มหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์
ศูนย์รังสิต ตำบลคลองหนึ่ง อำเภอคลองหลวง จังหวัดปทุมธานี 12120

Patthapon Buranakarn*

Department of Architecture, Faculty of Architecture and Planning, Thammasat University,
Rangsit Centre, Khlong Nueng, Khlong Luang, Pathum Thani 12120

Received: June 24, 2019; Accepted: July 25, 2019

บทคัดย่อ

ปัจจุบันประเทศไทยมีขยะขวดพลาสติกเป็นจำนวนมาก ยากต่อการย่อยสลายและต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากกว่าขยะชนิดอื่น งานวิจัยนี้จึงต้องการลดขยะขวดพลาสติกด้วยการนำขวดพลาสติก PET มาจัดเรียงภายในคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นการประยุกต์ใช้กับผนังภายนอกในงานสถาปัตยกรรม งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปัจจัยที่มีผลต่อความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ กำลังรับแรงอัด โมดูลัสยืดหยุ่น และการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ โดยผลิตภัณฑ์ประกอบด้วยขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 ที่มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม และขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 ที่มีขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 10 กรัม โดยคอนกรีตบล็อกมีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร และคอนกรีตบล็อกมีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร เพื่อทดสอบและเปรียบเทียบสมบัติที่เกี่ยวข้องกับการประยุกต์ใช้งานในอาคารกับคอนกรีตบล็อกควบคุม เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกควบคุมพบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมีผลทำให้กำลังรับแรงอัดลดลง คอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่าความหนาแน่นแห้งมากกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ โดยคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET มีค่าการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที และ 24 ชั่วโมง เพิ่มขึ้น ค่าโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด และคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นต่ำที่สุด ผลของค่าการนำความร้อนพบว่าขวดพลาสติก PET มีผลต่อค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET ในแต่ละรูปแบบ โดยสมบัติของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET

อยู่ในช่วงที่สามารถใช้ในงานก่อสร้างผนังภายนอกได้ตามมาตรฐาน มอก. 1501-2541 จากผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด เป็นคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการก่อผนังภายนอกของอาคารเมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกประเภทอื่น เนื่องจากมีความหนาแน่นแห้ง กำลังรับแรงอัด โมดูลัสยืดหยุ่นที่มีค่าสูง และการดูดซึมน้ำ การนำความร้อนที่มีค่าต่ำที่สุด ผลการวิจัยนี้สามารถนำมาเป็นแนวทางในการประยุกต์ใช้ขวดพลาสติก PET ในการก่อสร้างผนังภายนอกของอาคารในงานสถาปัตยกรรม

คำสำคัญ : คอนกรีตบล็อก; ขวดพลาสติก PET (polyethylene terephthalate); ความหนาแน่นแห้ง; กำลังรับแรงอัด; โมดูลัสยืดหยุ่น; การดูดซึมน้ำ; การนำความร้อน

Abstract

Nowadays, there are so many waste plastic bottles in Thailand. This type of waste is difficult to dispose and takes many more years for degradation than other wastes. This research focused on the reduction of plastic bottle waste by an alternative use of PET plastic bottles in concrete blocks for exterior walls in architectural applications. This research aimed to study the factor effecting the dry density, water absorption, compressive strength and thermal conductivity of concrete block containing PET plastic bottles. The products used PET plastic bottles (Type 1) with dimensions: 5 cm diameter, 19.5 cm length, 0.3 mm thickness, 9.6 gram weight with volume of 322 mm³, and PET plastic bottles (Type 2) with dimensions: 5 cm diameter, 18.5 cm length, 0.3 mm thickness, 10 gram weight with volume of 335 mm³ in the dimensions of concrete block: 20 cm width, 30 cm length and 7 cm thickness. Test results when compared to the control concrete block showed that the compressive strength of concrete block containing PET plastic bottles was decreased. Dry density of concrete block containing PET plastic bottles was decreased, while water absorption at 30 minutes and 24 hours of concrete block containing PET plastic bottles was increased. The elasticity of modulus of concrete block containing Type 1 PET plastic bottles was the highest and the modulus of elasticity of concrete block containing Type 2 PET plastic bottles was the lowest. The PET plastic bottles affected the thermal conductivity of concrete blocks depending on the arrangement of PET bottles, in which their performances conformed to the TIS 1501-2541 standard for construction in architectural applications. By comparing the test results of properties with the other concrete block containing PET plastic bottles, the concrete block containing Type 1 PET plastic bottles with three bottle arrangement is the most proper concrete block for exterior wall applications with high dry density and compressive strength, low absorption and thermal conductivity. The results of this research can be used as a guideline for using PET plastic bottles in exterior wall construction for architectural works.

Keywords: concrete block; PET plastic bottle (polyethylene terephthalate); dry density; compressive strength; modulus of elasticity; water absorption; thermal conductivity

1. คำนำ

ปัจจุบันภายในประเทศไทยมีขยะขวดพลาสติกเป็นจำนวนมาก ทำให้ยากต่อการย่อยสลาย และต้องใช้เวลาในการย่อยสลายมากกว่าขยะชนิดอื่น เนื่องจากขยะมูลฝอยในประเทศไทยจะมีปริมาณเพิ่มมากขึ้นตามจำนวนของประชากร ทำให้เกิดปัญหาที่เกิดจากขยะมูลฝอยที่ส่งผลกระทบต่อสุขภาพของมนุษย์ และก่อให้เกิดปัญหาต่อสภาพแวดล้อม โดยปริมาณขยะพลาสติกแบบ non-recycle มีปริมาณร้อยละ 21.10 ซึ่งมากกว่าขยะชนิดอื่นในปริมาณขยะฝังกลบทั้งหมดร้อยละ 37.85 และปริมาณพลาสติกแบบ non-recycle มีปริมาณร้อยละ 20.60 ซึ่งมีปริมาณเป็นอันดับที่ 2 รองจากปริมาณเศษอาหาร แสดงให้เห็นว่าปริมาณขยะพลาสติกมีปริมาณที่มีจำนวนมากและยากต่อการย่อยสลาย เมื่อเปรียบเทียบกับขยะชนิดอื่น (กลุ่มงานวิจัย กองจัดการขยะ ของเสียอันตราย และปฏิภูลสำนักสิ่งแวดล้อม, 2557)

การวิจัยนี้จึงต้องการลดขยะขวดพลาสติก โดยนำขวดพลาสติก PET มาจัดเรียงภายในคอนกรีตบล็อก ซึ่งจะช่วยให้เพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตบล็อก ได้แก่ ความเบาของคอนกรีตบล็อก และการต้านทานความร้อนของคอนกรีตบล็อก ซึ่งเป็นการใช้ขยะขวดพลาสติกที่ยากต่อการย่อยสลายให้เกิดประโยชน์สูงสุด

1.1 วัตถุประสงค์

1.1.1 ศึกษาสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก และสมบัติทางกายภาพของขวดพลาสติก PET (polyethylene terephthalate) ที่ใช้สำหรับผนังภายนอกอาคาร

1.1.2 ศึกษาสมบัติทางกายภาพชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 และสมบัติเชิงกลชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ - อบไอน้ำ ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

1.1.3 เสนอแนวทางสำหรับการปรับปรุงประสิทธิภาพของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ และการประยุกต์ใช้ขวดพลาสติก PET ภายในคอนกรีตบล็อก เพื่อใช้ในผนังภายนอกอาคารสำหรับงานสถาปัตยกรรม

1.2 ขอบเขตการวิจัย

รูปแบบของขวดพลาสติก PET 2 แบบ ได้แก่ (1) ขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม และ (2) ขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 10 กรัม

การจัดเรียงขวดพลาสติก PET ที่ต่างกัน ได้แก่ (1) คอนกรีตบล็อกควบคุม จำนวน 3 ก้อน (2) คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน (3) PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน (4) PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เรียงสลับ คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน (5) PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน และ

(6) PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 10 กรัม จำนวน 3 ก้อน

ขนาดของคอนกรีตบล็อก 2 แบบ ได้แก่

(1) แบบหล่อขนาดของคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร ที่ใช้ทั่วไปในกระบวนการก่อสร้างผนังอาคาร และ (2) แบบหล่อขนาดของคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร ที่ใช้ทั่วไปในกระบวนการก่อสร้างผนังอาคาร

1.3 ประโยชน์ที่คาดว่าจะได้รับ

การจัดเรียงขวดพลาสติก PET ที่มีขนาดลักษณะ และจำนวนที่แตกต่างสำหรับการผลิตคอนกรีตบล็อก ผลการวิจัยจะนำไปเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกควบคุมให้เหมาะสมกับการใช้งานของผนังภายนอกในงานสถาปัตยกรรม ดังนี้ (1) เป็นแนวทางในการลดปริมาณขยะขวดพลาสติกรูปแบบหนึ่ง (2) ลดปริมาณการใช้ของส่วนผสมในคอนกรีตบล็อก และ (3) เกิดองค์ความรู้ใหม่จากการนำขวดพลาสติก PET เหลือใช้มาเป็นส่วนประกอบของคอนกรีตบล็อก เพื่อเพิ่มประสิทธิภาพของคอนกรีตบล็อก เช่น ความต้านทานความร้อน ความหนาแน่นแห้ง การดูดซึมน้ำ และน้ำหนักที่ลดลงของคอนกรีตบล็อก

2. วรรณกรรมและงานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

2.1 กรรมวิธีการผลิตคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

2.1.1 ระบบไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (non-autoclaved system) โดยแบ่งตามกระบวนการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ (1) ประเภทที่ 1 ใช้วัสดุธรรมชาติที่มีน้ำหนักเบา

เป็นส่วนผสมเพิ่มของคอนกรีต เช่น ขี้เลื่อย ขี้เถ้า ขานอ้อย และเม็ดโฟม ซึ่งจะทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักที่เบาและเพิ่มกำลังรับแรงอัดให้คอนกรีต และ (2) ประเภทที่ 2 ใช้สารเคมี (circular light-weight concrete) เพื่อเพิ่มฟองอากาศให้แก่คอนกรีตและทำให้คอนกรีตมีน้ำหนักเบา

2.2.2 ระบบผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง (autoclaved system) โดยแบ่งตามกระบวนการผลิตเป็น 2 ประเภท คือ (1) ประเภทที่ 1 ใช้ปูนขาว เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิตทำให้ควบคุมคุณภาพของคอนกรีตยากและมีการดูดซึมน้ำมากกว่า และ (2) ประเภทที่ 2 ใช้ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 เป็นวัตถุดิบหลักในการผลิต เป็นระบบที่จะทำให้คอนกรีตมีคุณภาพได้มาตรฐาน และทำให้เกิดการตกผลึก (calcium silicate) ในคอนกรีต ซึ่งทำให้คอนกรีตมีความแข็งแรงกว่าการผลิตคอนกรีตมวลเบาในประเภทที่ 1 (NUCIFER.COM, 2557)

ผู้วิจัยผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยวิธีการไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง เนื่องจากผู้วิจัยไม่สามารถหาเครื่องอบไอน้ำในการผลิตคอนกรีตบล็อก จึงทำให้ผู้วิจัยผลิตคอนกรีตบล็อกด้วยวิธีการไม่ผ่านกระบวนการอบไอน้ำภายใต้ความดันสูง

2.2 การศึกษาส่วนผสมของคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

2.2.1 ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 (Ordinary Portland Cement) ปูนซีเมนต์ประเภทนี้ใช้ทั่วไปในงานคอนกรีตประมาณร้อยละ 90 ของปูนซีเมนต์ทุกประเภท สำหรับใช้ในการทำคอนกรีตหรือผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมที่ไม่ต้องการคุณภาพพิเศษ และใช้ในการก่อสร้างตามปกติทั่วไป ได้แก่ เสา คาน ฐานรากของอาคาร ถนน เป็นต้น ปูนซีเมนต์ชนิดนี้ให้กำลังสูงในระยะเวลาที่รวดเร็วและให้ความร้อนปานกลาง

2.2.2 มวลรวมละเอียด (fine aggregate) มีขนาดเม็ดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร แต่มีขนาดใหญ่กว่า 0.074 มิลลิเมตร เช่น ทรายแม่น้ำ ทรายบก หรือทรายเหมืองที่ผ่านการทำความสะอาด

2.3 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

ประกอบด้วย (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2555 ปริมาณ 9,160 กรัม (2) ทรายละเอียดตามมาตรฐาน มอก. 1776-2542 ปริมาณ 10,500 กรัม และ (3) น้ำสะอาด ปริมาณ 4,580 กรัม

2.4 งานวิจัยที่เกี่ยวข้อง

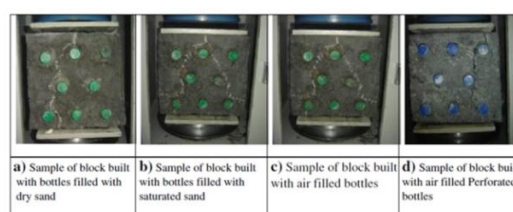
งานวิจัยที่ศึกษานั้นเป็นการศึกษาการจัดเรียงขวดพลาสติกภายในผนังดินสำหรับบ้านดินเพื่อทดสอบผนังดินที่มีขวดพลาสติกเป็นส่วนประกอบว่ามีผลต่อสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการนำความร้อน ดังนี้

รูปที่ 1 การจัดเรียงขวดพลาสติกภายในผนังดินเพื่อรักษาอุณหภูมิภายในบ้าน เนื่องจากประเทศที่อยู่ในบริเวณตะวันออกกลาง จะมีความแตกต่างอุณหภูมิระหว่างกลางวันและกลางคืนมาก ทำให้ต้องมีผนังดินที่มีความหนา สำหรับการป้องกันอุณหภูมิที่แตกต่างกันระหว่างภายนอกและภายในของบ้าน (Mansour and Ali, 2015) โดยผู้วิจัยได้ออกแบบห้องขนาดกว้าง 2.5 เมตร ยาว 2.5 เมตร สูง 3 เมตร ผนังหนา 30 เซนติเมตร หลังคาคอนกรีตหนา 15 เซนติเมตร หน้าต่างกระจกขนาดกว้าง 1 เมตร ยาว 1 เมตร และประตู กว้าง 1

เมตร สูง 2.2 เมตร ด้านผนังทิศเหนือ



รูปที่ 1 การจัดเรียงขวดพลาสติกภายในผนังดินสำหรับบ้านดิน



รูปที่ 2 การจัดเรียงขวดพลาสติกภายในผนังดินแต่ละประเภท

รูปที่ 2 พบว่ามีการหล่อคอนกรีตขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร สูง 30 เซนติเมตร ใส่ขวดพลาสติก 1,500 มิลลิลิตร ขนาดกว้าง 9 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร เพื่อศึกษาความต้านทานอุณหภูมิ ความจุ และกำลังรับแรงอัด โดยมีลักษณะขวดพลาสติกทั้งหมด 4 แบบ ได้แก่ (1) ขวดพลาสติกที่บรรจุทรายแห้ง (2) ขวดพลาสติกที่บรรจุทรายเปียก (3) ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายใน และ (4) ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในและเจาะขวดพลาสติกให้เกิดรูพรุน

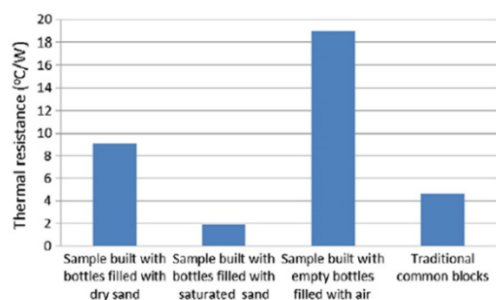
ตารางที่ 1 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัด และปริมาตรต่อน้ำหนักของคอนกรีต

ประเภทคอนกรีต	กำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตันต่อตารางเมตร)	ปริมาตรต่อน้ำหนัก (กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)
ขวดพลาสติกที่มีทรายแห้งอยู่ภายใน	623.00	17.67
ขวดพลาสติกที่มีทรายเปียกอยู่ภายใน	609.00	19.59
ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายใน	670.00	11.02

ตารางที่ 1 พบว่าขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุด ขวดพลาสติกที่บรรจุทรายแห้งมีกำลังรับแรงอัดปานกลาง และขวดพลาสติกที่บรรจุทรายเปียกมีกำลังรับแรงอัดน้อยที่สุด เนื่องจากอากาศภายในขวดพลาสติก ทำให้เกิดแรงตึงผิวของขวดพลาสติก ดังนั้นจึงทำให้ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุด (Mansour and Ali, 2015)

ตารางที่ 2 การเปรียบเทียบกำลังรับแรงอัดและปริมาตรต่อน้ำหนักของขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในที่มีรูพรุนและไม่มีรูพรุน

ประเภทคอนกรีต	กำลังรับแรงอัด (กิโลนิวตันต่อตารางเมตร)	ปริมาตรต่อน้ำหนัก (กิโลนิวตันต่อลูกบาศก์เมตร)
ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายใน	670.00	11.02
ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในและมีรูพรุน	560.00	11.02

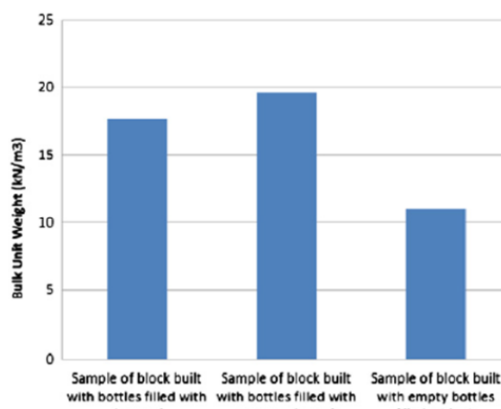


รูปที่ 3 กราฟเปรียบเทียบค่าความต้านทานอุณหภูมิตั้ง 4 แบบ

ตารางที่ 2 ขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในจะมีกำลังรับแรงอัดมากที่สุด และขวด

พลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในและเจาะขวดพลาสติกให้เกิดรูพรุนจะมีกำลังรับแรงอัดน้อยที่สุด เนื่องจากขวดพลาสติกที่มีรูพรุนทำให้สูญเสียความแข็งแรงของขวดพลาสติก และขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในและมีรูพรุนมีกำลังรับแรงอัดลดลง (Mansour and Ali, 2015)

รูปที่ 3 กราฟการต้านทานความร้อนพบว่าขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในจะสามารถต้านทานอุณหภูมิได้ดีที่สุดเมื่อเปรียบเทียบกับขวดพลาสติกประเภทอื่น เนื่องจากอากาศภายในขวดพลาสติกสามารถต้านทานอุณหภูมิจากภายนอก (Mansour and Ali, 2015)



รูปที่ 4 กราฟเปรียบเทียบความจุต่อน้ำหนักทั้ง 3 แบบ

รูปที่ 4 กราฟแสดงว่าขวดพลาสติกที่มีอากาศอยู่ภายในจะมีความจุโดยน้ำหนักน้อยสุดเมื่อเปรียบเทียบกับขวดพลาสติกประเภทอื่น เนื่องจากขวดพลาสติกมีอากาศภายในไม่มีทรายแห้งและทรายเปียกอยู่ภายในขวดพลาสติก (Mansour and Ali, 2015)

3. วิธีการศึกษา

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงปริมาณที่เป็นการศึกษาเชิงทดลองและเปรียบเทียบกับการศึกษา

ข้อมูลเบื้องต้นจากเอกสาร บทความ งานวิจัย หนังสือ และข้อมูลจากสื่ออินเทอร์เน็ตที่มีความเกี่ยวข้อง เพื่อทดลองและพัฒนาสมบัติของคอนกรีตบล็อกให้ดีขึ้น สำหรับก่อผนังภายนอกอาคารเพื่อลดภาระการรับน้ำหนักของโครงสร้างหลัก และศึกษาวิธีการจัดเรียงขวดพลาสติก PET ที่เหมาะสมภายในคอนกรีตบล็อก เพื่อให้เกิดความแข็งแรง ความเบา และความต้านทานความร้อนของคอนกรีตบล็อกสำหรับใช้ในงานก่อสร้างในอนาคต

3.1 การกำหนดตัวแปร

3.1.1 ตัวแปรต้นที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้

รูปแบบของขวดพลาสติก PET 2 แบบ ได้แก่ (1) ขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม และ (2) ขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 10 กรัม

การจัดเรียงขวดพลาสติก PET ที่ต่างกัน ได้แก่ (1) คอนกรีตบล็อกควบคุม จำนวน 3 ก้อน (2) คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน (3) PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน (4) PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เรียงสลับ คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3

มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน (5) PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม จำนวน 3 ก้อน และ (6) PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด คือ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 10 กรัม จำนวน 3 ก้อน

3.1.2 ตัวแปรตาม (ของคอนกรีตบล็อก) ที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้ (1) ความหนาแน่นแห้ง (2) ค่ากำลังรับแรงอัด (3) ค่าโมดูลัสยืดหยุ่น (4) ค่าการดูดซึมน้ำ และ (5) ค่าการนำความร้อน

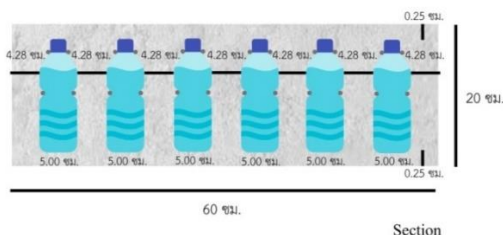
3.1.3 ตัวแปรควบคุมที่ใช้ในการศึกษามีดังนี้ (1) อัตราส่วนผสม ได้แก่ ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ประเภทที่ 1 ปริมาณ 9,160 กรัม ทรายละเอียดปริมาณ 10,500 กรัม และน้ำสะอาด 4,580 กรัม (2) ขนาดของคอนกรีตบล็อก กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร (3) ขนาดของคอนกรีตบล็อก กว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร (4) ขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 9.6 กรัม (5) ขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร น้ำหนัก 10 กรัม และ (6) ถอดแบบหล่อที่ 15 วัน

3.2 วิธีการจัดเรียงขวดพลาสติก PET ภายในคอนกรีตบล็อก

โดยมีคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ 5 รูปแบบ เพื่อศึกษาสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการนำความร้อน

ร้อน ดังนี้

3.2.1 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ภายในคอนกรีตบล็อก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร



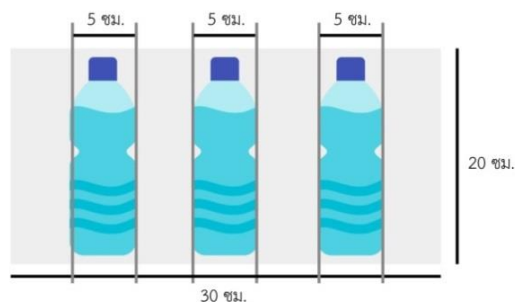
รูปที่ 5 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด

รูปที่ 5 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร ภายในคอนกรีตบล็อก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร เป็นจำนวนขวดพลาสติก PET ที่เหมาะสมที่สุดในการจัดเรียงภายในคอนกรีตบล็อกขนาดดังกล่าว ซึ่งเป็นการลดปริมาณส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก และเพิ่มปริมาณอากาศภายในขวดพลาสติก PET ให้เป็นฉนวนกันความร้อนได้มากที่สุด

3.2.2 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร

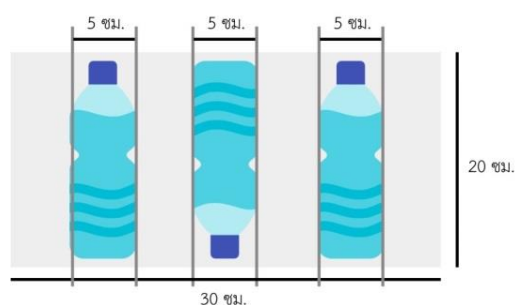
รูปที่ 6 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร เพื่อให้ตั้งฉากกับ

กำลังรับแรงอัด และทำให้เกิดความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อก



รูปที่ 6 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด

3.2.3 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวดจำนวน 3 ขวด เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร

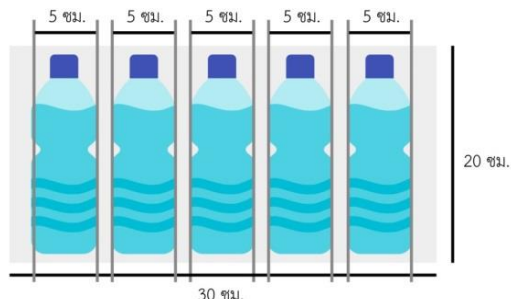


รูปที่ 7 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด

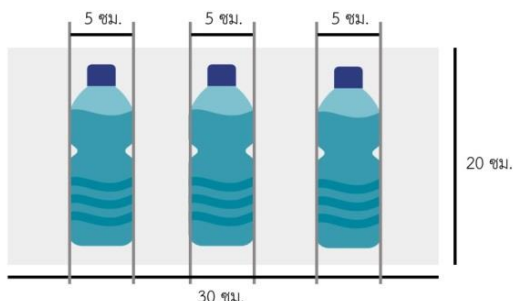
รูปที่ 7 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร เพื่อทดสอบการจัดเรียงขวดแบบเรียงสลับขวดว่าจะมีผลทำให้สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และ

สมบัติการนำความร้อนเป็นอย่างไร เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขนาดแบบพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เป็นแนวตั้ง

3.2.4 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด เป็นแนวตั้ง ภายในคอนกรีตบล็อก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร



รูปที่ 8 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด



รูปที่ 9 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด

รูปที่ 8 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร เป็นจำนวนขวดพลาสติก PET ที่สูงสุดในการจัดเรียงภายในคอนกรีตบล็อก

3.2.5 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร

รูปที่ 9 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 18.5 เซนติเมตร ปริมาตร 335 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร เป็นแนวตั้งภายในคอนกรีตบล็อก ขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร เพื่อทดสอบสมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการนำความร้อนในการเปรียบเทียบกับ การจัดเรียงขวดพลาสติก PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เป็นแนวตั้ง

3.3 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

คอนกรีตมวลเบามีการผสมของปูนขาว เพื่อเพิ่มฟองอากาศ ทำให้เพิ่มประสิทธิภาพให้แก่คอนกรีตมวลเบา เช่น การลดน้ำหนักของคอนกรีตมวลเบา เพิ่มประสิทธิภาพความต้านทานความร้อน การที่ผู้วิจัยไม่มีส่วนผสมของปูนขาวในคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากปูนขาวไม่ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกเพิ่มขึ้น เพราะปูนขาวมีประสิทธิภาพในการเพิ่มฟองอากาศให้แก่คอนกรีตบล็อก เช่น การลดน้ำหนักของคอนกรีตบล็อก เพิ่มประสิทธิภาพความต้านทานความร้อน ผู้วิจัยได้เปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบกับคอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

ตารางที่ 3 เป็นการทดสอบส่วนผสมของคอนกรีตบล็อก โดยไม่มีการผสมปูนขาว เพื่อทดสอบ สมบัติทางกายภาพ สมบัติเชิงกล และสมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ จำนวน 6 ขวด ขนาดกว้าง 5 เซนติเมตร ยาว 19.5 เซนติเมตร

ปริมาตร 322 มิลลิลิตร ความหนา 0.3 มิลลิเมตร
ภายในคอนกรีตบล็อกขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร
ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร

ตารางที่ 4 คอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 กำลังรับแรงอัดต่ำสุด คือ 2.0 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร และความหนาแน่น 310-400 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งผลการทดสอบหากมีกำลังรับแรงอัดสูงและความหนาแน่นสูงจะทำให้ระดับคุณภาพคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบสูงขึ้น (สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541)

3.4 สมการการทดสอบตามมาตรฐาน

มอก. 1505-2541

3.4.1 สมการความหนาแน่นแห้ง

$$D = M \div V$$

โดยที่ D = ความหนาแน่นแห้งของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร); M = น้ำหนักอบแห้งของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (กิโลกรัม); V = ปริมาตรของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (ลูกบาศก์เมตร)

สมการความหนาแน่นแห้ง การทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ถ้ามีค่าความหนาแน่นแห้งมาก จะทำ

ตารางที่ 3 สัดส่วนผสมคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร 1 ก้อน

ส่วนประกอบ	อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์ (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) = 0.50		
	ร้อยละ	น้ำหนัก (กิโลกรัม)	น้ำหนัก (กรัม)
ส่วนประกอบทั้งหมด	100.00	24.24	24,240
ซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1	37.79	9.16	9,160
ทราย	43.32	10.50	10,500
น้ำ	18.89	4.58	4,580

ตารางที่ 4 คอนกรีตมวลเบาตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541

ระดับ	กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)		รูปแบบ	ความหนาแน่น (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)
	เฉลี่ย	ต่ำสุด		
2	2.500	2.000	0.400	310-400
			0.500	410-500
4	5.000	4.000	0.600	510-600
			0.700	610-700
			0.800	710-800
6	7.500	6.000	0.700	610-700
			0.800	710-800
8	10.000	8.000	0.800	710-800
			0.900	810-900
			1.000	910-1000

ให้ประสิทธิภาพความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบสูงขึ้น

3.4.2 สมการการดูดซึมน้ำของอิฐ

เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำของอิฐ (%)

$$= [(w_w - w_s) \div w_s] \times 100$$

โดยที่ w_w = น้ำหนักของอิฐหลังการแช่น้ำ (กรัม);

w_s = น้ำหนักของอิฐที่อบแห้ง (กรัม)

สมการการดูดซึมน้ำการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ถ้ามีค่าการดูดซึมน้ำที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมากขึ้น

3.4.3 สมการกำลังรับแรงอัด

$$P = F \div A$$

โดยที่ P = ความต้านทานแรงอัดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (นิวตัน/ตารางมิลลิเมตร); F = น้ำหนักกดสูงสุดที่ชิ้นตัวอย่างทดสอบรับได้ (นิวตัน); A = พื้นที่หน้าตัดที่รับน้ำหนักกดของชิ้นตัวอย่างทดสอบ (ตารางมิลลิเมตร)

สมการกำลังรับแรงอัดการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ถ้ามีค่ากำลังรับแรงอัดที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพในการรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมากขึ้น

3.4.4 สมการโมดูลัสยืดหยุ่น

$$E = (F \div A) \div (\Delta L \div L)$$

โดยที่ E = โมดูลัสของยัง ($\times 10^6$ นิวตันต่อตารางเมตร)

$$\sigma = F \div A$$

โดยที่ σ = ความเค้นตามยาว; F = แรง (นิวตัน); A = พื้นที่หน้าตัดรับแรง (ตารางเมตร)

$$\epsilon = \Delta L \div L$$

โดยที่ ϵ = ความเครียดตามยาว; ΔL = ส่วนที่ยืดออกของวัสดุ (เมตร); L = ความยาวปกติของวัสดุ (เมตร)

สมการโมดูลัสยืดหยุ่น การทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ถ้ามีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นที่สูงจะทำให้ประสิทธิภาพความแข็งแรงของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมากขึ้น

3.4.5 สมการการนำความร้อนดังนี้

$$q = kA(t_1 - t_2) \div L$$

โดยที่ q = การถ่ายเทความร้อน (วัตต์); L = ความหนา (เมตร); A = พื้นที่ (ตารางเมตร); t_1 = อุณหภูมิผิวด้านหนึ่ง อุณหภูมิสูง (องศาเซลเซียส); t_2 = อุณหภูมิผิวด้านหนึ่ง อุณหภูมิต่ำ (องศาเซลเซียส); k = ค่าการนำความร้อนของวัสดุ (วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน)

สมการการนำความร้อน การทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ถ้ามีค่าการนำความร้อนที่ต่ำจะทำให้ประสิทธิภาพการต้านทานความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมากขึ้น

4. ผลการศึกษา

4.1 สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

4.1.1 ค่าความหนาแน่นแห้ง และการดูดซึมน้ำ

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นแห้ง และการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 โดยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร หาความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักเมื่ออบที่อุณหภูมิ 110 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และหาการดูดซึมน้ำที่เวลา 30 นาที และ 24 ชั่วโมงตามลำดับ

ตารางที่ 5 ลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ จำนวนเฉลี่ย 3 ก้อน

ลักษณะทางกายภาพ	คอนกรีตบล็อก	คอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบแบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด
น้ำหนัก (กิโลกรัม)	21.85	21.93
ขนาด (เซนติเมตร)	กว้าง 15 ยาว 60 หนา 10	กว้าง 20 ยาว 60 หนา 10
ความหนาแน่นแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	2205.56	1687.50
การดูดซึมน้ำ เวลา 30 นาที (เปอร์เซ็นต์)	9.97	11.11
การดูดซึมน้ำ เวลา 24 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)	13.96	14.57

ตารางที่ 5 คอนกรีตบล็อกควบคุมมีน้ำหนักน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ประมาณ 0.08 กิโลกรัม ขนาดความกว้างของคอนกรีตบล็อกควบคุมลดลง เนื่องจากไม่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แสดงให้เห็นว่าขวดพลาสติก PET สามารถทดแทนปริมาณของคอนกรีตของคอนกรีตบล็อกควบคุมด้านกว้างประมาณ 5 เซนติเมตร หรือปริมาตร 0.003 ลูกบาศก์เมตร ในขณะที่ขนาดความยาวและความหนามีขนาดเท่ากัน ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่ามากกว่าคอนกรีตบล็อก

ที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ประมาณ 518.06 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที และ 24 ชม. ของคอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่าน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด ร้อยละ 1.14 และ 0.61 ตามลำดับ ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นแห้งและการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบตามมาตรฐาน มอก. 1505-2541 โดยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร หาความหนาแน่นโดยการชั่งน้ำหนักเมื่ออบที่อุณหภูมิ 110 องศา เป็นเวลา 24 ชั่วโมง และการดูดซึมน้ำที่เวลา 30 นาที และ 24 ชั่วโมง ทั้ง 5 รูปแบบ ตามลำดับ

ตารางที่ 6 คอนกรีตบล็อกควบคุมมีน้ำหนักมากกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากไม่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบและแสดงให้เห็นว่าขวดพลาสติก PET สามารถทดแทนปริมาณของคอนกรีตในคอนกรีตบล็อก ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่ามากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ และอัตราการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที และ 24 ชั่วโมง ของคอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่าน้อยสุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด มีค่าน้อยสุดเนื่องจากมีปริมาตรของขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกรูปแบบอื่น และการดูดซึมน้ำที่ 30 นาที และ 24 ชั่วโมง ของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด มีค่ามากที่สุด

ตารางที่ 6 ลักษณะทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบทั้ง 4 รูปแบบ จำนวนเฉลี่ย 3 ก้อน

ชนิดของคอนกรีตบล็อก	ความหนาแน่นแห้ง (กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร)	การดูดซึมน้ำที่ 30 นาที (เปอร์เซ็นต์)	การดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง (เปอร์เซ็นต์)
คอนกรีตบล็อกควบคุม	1,746.03	10.00	12.96
PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด	1,265.87	13.48	18.18
PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เรียงสลับ	1,285.71	14.81	17.59
PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด	1,027.78	17.00	21.24
PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด	1,214.29	16.34	19.28

ตารางที่ 7 ลักษณะเชิงกลของคอนกรีตบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

ลักษณะเชิงกล	คอนกรีตบล็อกควบคุม	คอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบแบบที่ 1 จำนวน 6 ขวด
กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางเมตร)	3.37	2.52
โมดูลัสยืดหยุ่น ($\times 10^6$ นิวตันต่อตารางเมตร)	10327.97	18891.51

4.2 สมบัติเชิงกลของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

4.2.1 ค่ากำลังรับแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่น

ผลการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัด และโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบตามมาตรฐาน

มอก. 1505-2541 โดยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 60 เซนติเมตร หนา 10 เซนติเมตร

ตารางที่ 7 กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่ามากกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบประมาณ 0.85 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร เนื่องจากการมีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกลดลง และโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกควบคุมน้อยกว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบประมาณ 8563.54×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร

ผลการศึกษาค่ากำลังรับแรงอัดและโมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบตามมาตรฐานมอก. 1505-2541 โดยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขนาดกว้าง 20 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร

ตารางที่ 8 คอนกรีตบล็อกควบคุมมีค่ากำลังรับแรงอัดมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากขวดพลาสติก PET มีผลทำให้กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกลดลง คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบ

ที่ 1 จำนวน 3 ขวด มีค่าโมดูลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกรูปแบบอื่น

ตารางที่ 8 ลักษณะเชิงกลของคอนกรีตบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบทั้ง 4 รูปแบบ

ชนิดของคอนกรีตบล็อก	กำลังรับแรงอัด (นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร)	โมดูลัสยืดหยุ่น ($\times 10^6$ นิวตันต่อตารางเมตร)
คอนกรีตบล็อกควบคุม	5.317	8,356.86
PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด	2.540	15,499.52
PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เรียงสลับ	2.913	8997.66
PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด	2.507	5,181.68
PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด	2.887	9,677.70

4.3 สมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

ผลการศึกษาค่าการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบ heat flow meter ตามมาตรฐาน ASTM C518 (กรองทิพย์, 2560) โดยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร เนื่องจากเครื่องทดสอบการนำความร้อนมีขนาดขนาดกว้าง 30 เซนติเมตร ยาว 30 เซนติเมตร หนา 7 เซนติเมตร และใช้หลักการของการถ่ายเทความร้อน คือ พลังงานความร้อนจะเคลื่อนที่จากบริเวณที่มีอุณหภูมิสูงไปบริเวณที่มีอุณหภูมิต่ำกว่า

ตารางที่ 9 การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกควบคุมและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบทั้ง 4 รูปแบบ

ชนิดของคอนกรีตบล็อก	ค่าการนำความร้อน (W/m.K)
คอนกรีตบล็อกควบคุม	0.372
PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด	0.298
PET แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด เรียงสลับ	0.279
PET แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด	0.420
PET แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด	0.456

ตารางที่ 9 คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด มีค่าการนำความร้อนมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบรูปแบบอื่น เนื่องจากขวดพลาสติก PET มีผลทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง เนื่องจากอากาศภายในขวดพลาสติก PET สามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่วัสดุคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด มีค่าการนำความร้อนน้อยที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกรูปแบบอื่น

5. ข้อสรุปจากการวิจัย

5.1 สมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อก

การศึกษสมบัติทางกายภาพของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบดังนี้

ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบ มีความหนาแน่นแห้งลดลง เพราะการมีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบจะทำให้น้ำหนักคอนกรีตบล็อกลดลง เนื่องจากมีอากาศอยู่ภายในขวดพลาสติก PET พบว่าความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกควบคุมจะมีความหนาแน่นแห้งมากที่สุด และคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด จะมีความหนาแน่นแห้งน้อยที่สุด ความหนาแน่นแห้งของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ มีค่าประมาณ 1198.41 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบจะเพิ่มขึ้นตามลักษณะของขวดพลาสติก PET เนื่องจากผิวสัมผัสของขวดพลาสติก PET และคอนกรีตมีพื้นที่ทำให้น้ำเข้าไปอยู่ระหว่างช่องว่างของขวดพลาสติก PET และคอนกรีต พบว่าคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด และคอนกรีตบล็อกควบคุมมีการดูดซึมน้ำน้อยที่สุด การดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด ที่ 30 นาที มีค่าประมาณร้อยละ 16.55 และการดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง มีค่าประมาณร้อยละ 20.30 การทดสอบสมบัติทางกายภาพคอนกรีตบล็อกควบคุมจะมีความหนาแน่นแห้งมากที่สุด และคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2 จำนวน 3 ขวด มีการดูดซึมน้ำมากที่สุด

5.2 สมบัติเชิงกลของคอนกรีตบล็อก

การศึกษาสมบัติเชิงกลของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบ สามารถวิเคราะห์และสรุปผลการทดสอบดังนี้

กำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบจะลดลง เนื่องจากขวดพลาสติก PET ทำให้ลดส่วนผสมของคอนกรีต และทำให้คอนกรีตมีกำลังรับแรงอัดลดลง โดยคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 5 ขวด จะมีกำลังรับแรงอัดต่ำที่สุด เนื่องจากมีปริมาณขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมากที่สุด เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบในแต่ละรูปแบบ และคอนกรีตบล็อกควบคุม คอนกรีตบล็อกควบคุมจะมีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด เนื่องจากไม่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมีค่าประมาณ 2.71 นิวตันต่อตารางมิลลิเมตร โดยมีค่าอยู่ในระดับที่ 2 ของมาตรฐาน มอก. 1505-2541 แบบชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ ซึ่งเหมาะแก่การทำผนังภายในและภายนอกของอาคาร เนื่องจากผนังไม่ได้ออกแบบสำหรับการรับน้ำหนักของโครงสร้าง โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด มีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบคอนกรีตบล็อกรูปแบบอื่น โมดูลัสยืดหยุ่นของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ มีค่าประมาณ 1965.32×10^6 นิวตันต่อตารางเมตร

การทดสอบสมบัติเชิงกลกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกควบคุมจะมีกำลังรับแรงอัดสูงที่สุด และโมดูลัสยืดหยุ่นคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 จำนวน 3 ขวด จะมีโมดูลัสยืดหยุ่นสูงที่สุด

5.3 สมบัติการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อก

การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 2

จำนวน 3 ขวด มีค่าการนำความร้อนสูงที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบรูปแบบอื่น เนื่องจากขวดพลาสติก PET มีผลทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง เนื่องจากอากาศภายในขวดพลาสติก PET สามารถเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่วัสดุคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด มีค่าการนำความร้อนต่ำที่สุด เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกรูปแบบอื่นซึ่งไม่ตรงตามทฤษฎีที่ว่า การมีอากาศภายในขวดพลาสติกมาก จะทำให้อัตราการนำความร้อนได้มาก อาจเกิดจากความผิดพลาดของการทดสอบการนำความร้อน (Mansour and Ali, 2015) การนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมีค่าประมาณ 0.363 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน

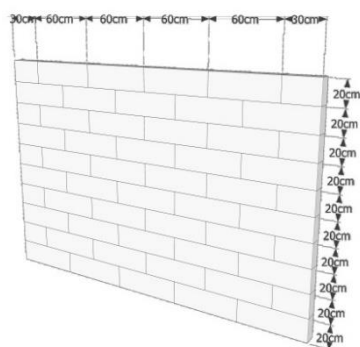
5.4 การประยุกต์ใช้งานคอนกรีตบล็อกในงานสถาปัตยกรรม

การเลือกใช้วัสดุสำหรับก่อผนังภายนอกจะต้องคำนึงถึงการใช้งานของอาคาร ลักษณะอาคาร ราคาค่าก่อสร้าง วิธีการก่อผนังภายนอก และประสิทธิภาพของอาคาร โดยงานวิจัยนี้ได้นำเสนอสมบัติคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เพื่อเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่อาคารดังนี้

5.4.1 การก่อผนังภายนอกด้วยคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ การนำคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมาก่อผนัง จะต้องก่อผนังด้วยวิธีการสลับ และฉาบปูน ซึ่งจะเป็นการเพิ่มความแข็งแรง และเป็นฉนวนป้องกันความร้อนให้แก่อาคาร

5.4.2 การประยุกต์ใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ สำหรับการก่อผนังภายนอกของอาคาร เนื่องจากคอนกรีต

บล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ มีค่าการนำความร้อนต่ำ ซึ่งจะเป็นการลดอุณหภูมิภายในอาคาร รูปแบบของอาคารที่เหมาะสมสำหรับการใช้งาน คือ บ้านพักตากอากาศหรือรีสอร์ท เพราะจะทำให้สามารถคงอุณหภูมิในการใช้เครื่องปรับอากาศ (Mansour and Ali, 2015) การใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เหมาะสำหรับการก่อผนังภายนอกอาคาร เพราะการมีอากาศภายในขวดพลาสติก PET จะทำให้เป็นฉนวนกันความร้อนให้แก่อาคาร และจำนวนอิฐที่ใช้ต่อตารางเมตรในการก่อผนังอาคารต่ำกว่า ผลการทดสอบคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ แบบที่ 1 เรียงแบบสลับขวด จำนวน 3 ขวด เป็นคอนกรีตบล็อกที่เหมาะสมที่สุดสำหรับการก่อผนังภายนอกของอาคาร เมื่อเปรียบเทียบกับคอนกรีตบล็อกรูปแบบอื่น เนื่องจากมีความหนาแน่นสูง การดูดซึมน้ำที่ 30 นาที การดูดซึมน้ำที่ 24 ชั่วโมง กำลังรับแรงอัด โมดูลัสยืดหยุ่นที่มีค่าสูง และการนำความร้อนที่มีค่าต่ำที่สุด ความสูงของกำแพงสามารถที่จะก่อตามความต้องการของผู้ใช้งานอาคาร แต่ความสูงทุก 1.5-2.5 เมตร จะมีเหล็กเส้นตามแนวนอนเพื่อเพิ่มความแข็งแรงภายในผนัง



รูปที่ 10 วิธีการก่อผนังคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

6. ข้อเสนอแนะ

6.1 ข้อจำกัดในงานวิจัย

6.1.1 การจัดเรียงขวดพลาสติก PET จะต้องมีการขึงด้วยเส้นเอ็น เนื่องจากขวดพลาสติก PET มีน้ำหนักเบาและเคลื่อนได้ ซึ่งส่งผลกระทบต่อคุณภาพของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

6.1.2 การทดสอบโมดูลัสยืดหยุ่นต้องติดสเตรนเกจไม่ให้สายไฟเกิดการโค้งงอ โดยการใช้เทปติดสายไฟให้ราบกับผิววัสดุ มิฉะนั้นอาจสร้างความเสียหายให้แก่สเตรนเกจ

6.2 ข้อเสนอแนะในงานวิจัย

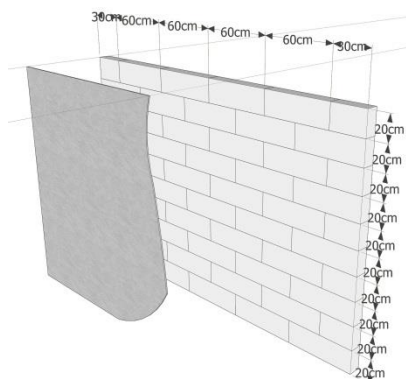
6.2.1 ผู้วิจัยใช้คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ เนื่องจากขวดพลาสติก PET เป็นขวดพลาสติกที่ใช้แพร่หลายในการบรรจุเพื่อการบริโภคเมื่อเปรียบเทียบกับการใช้พลาสติกประเภทอื่น หากในอนาคตมีการใช้พลาสติกประเภทอื่นแพร่หลาย จะนำมาศึกษาเปรียบเทียบต่อไป เพื่อให้ทราบถึงสมบัติของพลาสติกประเภทอื่นที่มีผลต่อคอนกรีตบล็อก

6.2.2 สัดส่วนผสมของคอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ ไม่มีการผสมสารผสมเพิ่ม จึงทำให้คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ มีน้ำหนักมาก และมีกำลังรับแรงอัดลดลง หากมีการปรับเปลี่ยนส่วนผสมจะทำให้คอนกรีตบล็อกที่มีขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบมีประสิทธิภาพสูงขึ้น

7. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณทุนสนับสนุนการวิจัยจากกองทุนวิจัยมหาวิทยาลัยธรรมศาสตร์ ภายใต้ “ทุนวิจัยทั่วไป” ตามสัญญาเลขที่ ทน 9/2561

8. รายการอ้างอิง



รูปที่ 11 วิธีการฉาบผนังคอนกรีตบล็อกและคอนกรีตบล็อกที่มีการใช้ขวดพลาสติก PET เป็นส่วนประกอบ

กลุ่มงานวิจัย กองจัดการขยะ ของเสียอันตราย และ ปฏิภูมisanักสิ่งแวดล้อม, 2557, รายงานสถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อม กรุงเทพมหานคร 2556-2557, โรงพิมพ์ชุมนุมสหกรณ์การเกษตรแห่งประเทศไทย จำกัด, กรุงเทพฯ. สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, 2541, มอก. 1505-2541 ชิ้นส่วนคอนกรีตมวลเบาแบบมีฟองอากาศ-อบไอน้ำ, กระทรวงอุตสาหกรรม, กรุงเทพฯ. กรองทิพย์ เต็มเกาะ, 2560, การทดสอบสภาพการนำความร้อนของฉนวนกันความร้อนคอมโพสิต, ว.กรรมวิทยาศาสตร์บริการ 60(190): 9-11.

Mansour, A.M.H. and Ali, S.A., 2015, Reusing waste plastic bottles as an alternative sustainable building material, Energy Sustain. Develop. 24: 79-85.

NUCIFER.COM, อิฐมวลเบา : ข้อดีข้อเสียของวิธีการผลิตอิฐมวลเบาแบบ ACC และ CLC, แหล่งที่มา : http://www.nucifer.com/2014/12/05/อิฐมวลเบา_aac_clc, 5 ธันวาคม 2557.