



Journal of Thailand Concrete Association วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย

MECHANICAL PROPERTIES AND THERMAL CONDUCTIVITY OF INTERLOCKING BLOCKS MADE FROM SLUDGE AND WATER HYACINTH

คุณสมบัติทางกลและการนำความร้อน สำหรับการพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอน ประปาและผักตบชวา

ณัฐวุฒิ อินทบุตร¹

¹อาจารย์ สาขาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลสุวรรณภูมิ

ARTICLE INFO:

Received: Feb 28, 2018

Received Revised Form:

June 1, 2018

Accepted: June 15, 2018

ABSTRACT:

This research aimed to study of mechanical properties and thermal conductivity in production of interlocking block the sludge and water hyacinth mixing. The mixture of cement, sludge, and sand are used in various ratios. The mixing ratio of cement : sludge : sand are 10 : 70 : 20, 10 : 60 : 30, and 10 : 50 : 40 respectively. Water hyacinth are added in rate 0%, 10%, 15%, and 20% by weight each mixing. The unit weight, water absorption, porosity, compressive strength, and thermal conductivity are conducted. The result shows that the compressive strength of sludge 70% mixing is lower than standard of Thai Industrial Standard 58-1990, which is not suitable for use. However, the compressive strength of the sludge 60% and 50% mixing is in accordance with the standard. The unit weight decrease but porosity increase with the water hyacinth and sludge are increased. The thermal conductivity is between 0.19-0.24 W/m.k, which is a very low thermal conductivity of building materials with similar weight units. Therefore, sludge and water hyacinth are interested of energy saving when used as wall insulation.

KEYWORDS: Interlocking Block, Sludge, Water Hyacinth, Mechanical Properties, Thermal Conductivity

**Corresponding Author,*

Email address: nuttawut_took@hotmail.com

บทคัดย่อ:

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาสมบัติทางกลและการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวาที่มีส่วนผสมของ ปูนซีเมนต์ ดินตะกอนประปา และทราย ในอัตราส่วนผสมต่างกัน โดยในส่วนผสมใช้อัตราส่วนระหว่าง ปูนซีเมนต์ : ดินตะกอนประปา : ทราย เท่ากับ 10 : 70 : 20, 10 : 60 : 30, และ 10 : 50 : 40 ตามลำดับ โดยแต่ละอัตราส่วน จะทำการเพิ่มผักตบชวาในปริมาณร้อยละ 0, 10, 15, และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ จากนั้นทำการทดสอบหน่วยน้ำหนัก การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังอัด และการนำความร้อน จากการศึกษาพบว่า และอิฐบล็อกประสานที่อัตราส่วนดินตะกอนประปาร้อยละ 70 จะให้กำลังอัดต่ำกว่ามาตรฐานของ มอก. 58-2533 ซึ่งไม่เหมาะแก่การนำไปใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามในอัตราส่วนร้อยละ 60 และ 50 ให้ค่ากำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐาน หน่วยน้ำหนักลดลงแต่การดูดซึมน้ำและความพรุนสูงขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาและดินตะกอนประปา สมบัติการนำความร้อนมีค่าอยู่ระหว่าง 0.19-0.24 วัตต์ต่อเมตร-เคลวิน ซึ่งเป็นการนำความร้อนที่ต่ำมากของวัสดุก่อสร้างที่มีหน่วยน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน ดังนั้นดินตะกอนประปา และผักตบชวาจึงมีความน่าสนใจสำหรับการประหยัดพลังงานเมื่อนำไปใช้เป็นผนังฉนวนกันความร้อน

คำสำคัญ: อิฐบล็อกประสาน ดินตะกอนประปา ผักตบชวา คุณสมบัติทางกล การนำความร้อน

1. บทนำ

ในอดีตนั้นการสร้างบ้านเรือนนิยมนำไม้มาเป็นวัสดุก่อสร้างเพราะหาได้ง่ายและราคาไม่แพง แต่ในปัจจุบันทรัพยากรป่าไม้เหล่านี้นั้นเริ่มลดน้อยลงไปและเป็นสาเหตุหนึ่งที่ทำให้เกิดปัญหาสภาวะโลกร้อน จึงทำให้ไม้เป็นวัสดุที่หาได้ยากและมีราคาแพง การก่อสร้างอาคารบ้านเรือนในปัจจุบันจึงนิยมหันมาใช้วัสดุประเภทอิฐและคอนกรีตซึ่งมีราคาถูกกว่าและหาได้ง่ายกว่าไม่สามารถทดแทนการใช้ไม้ในการก่อสร้างได้เป็นอย่างดี

อิฐบล็อกประสานเป็นวัสดุประเภทหนึ่งที่ใช้สำหรับการก่อสร้างทำผนังและใช้เป็นฝ้าเพดาน เนื่องจากเป็นวัสดุที่ผลิตได้ง่าย โดยบล็อกประสานได้รับการออกแบบจากฝ่ายนวัตกรรมวัสดุ สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่งประเทศไทย (วว.) โดยมุ่งเน้นใช้วัตถุดิบในท้องถิ่น ได้แก่ ดินลูกรัง หินฝุ่น ทราย หรือวัสดุเหลือทิ้งต่างๆ ที่มีความเหมาะสม นำมาผสมกับปูนซีเมนต์และน้ำ ในอัตราส่วนที่เหมาะสมแล้วอัดเป็นก้อนด้วยเครื่องอัด ซึ่งเมื่อเมื่อมีความแข็งแรงเต็มที่สามารนำมาใช้ในการก่อสร้างประเภทระบบผนังทั้งรับน้ำหนัก และไม่รับน้ำหนัก รั้ว หรือวัสดุตกแต่งต่างๆ เป็นต้น [1] ทั้งนี้การใช้วัสดุที่เหลือทิ้ง และวัสดุที่เป็นมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม ดังเช่น ขานอ้อย แกลบ ฟางข้าว ดินตะกอนประปา และผักตบชวา เป็นต้น ซึ่งปัจจุบันมองเป็นเพียงว่าเป็นส่วนที่ต้องกำจัดทิ้ง สิ่งต่างๆเหล่านี้ถ้านำกลับมาใช้ให้เกิดประโยชน์นับว่าเป็นการช่วยลดมลภาวะทางธรรมชาติ ลดภาวะโลกร้อนที่อาจเกิดขึ้นได้ และยังเป็นการสนับสนุนในเรื่องการอนุรักษ์พลังงานซึ่งในปัจจุบันเป็นเรื่องที่มีการให้ความสำคัญเป็นอย่างยิ่ง

ในปัจจุบันมีการพัฒนาทางด้านเทคโนโลยีและการศึกษาวิจัยที่ก้าวหน้าและทันสมัยเพิ่มขึ้นจากอดีต ทำให้มีการศึกษาวิจัยเกี่ยวกับคุณสมบัติ แนวทางการนำไปใช้ และการพัฒนาในเชิงธุรกิจจากดินตะกอนประปา ทำให้เกิดการเพิ่มมูลค่าและคุณประโยชน์ของดินตะกอนของการประปา ทั้งนี้ที่ผ่านมามีการประสานความร่วมมือได้ดำเนินการศึกษาวิจัยเพื่อหาแนวทางการใช้ประโยชน์จากตะกอนดินที่เกิดจากกระบวนการผลิตน้ำประปานั้นพบว่า ตะกอนประปาสามารถนำมาสร้างมูลค่าเพิ่มได้ โดยสามารถนำมาผลิตบล็อกประสาน บล็อกทางเท้า และดินเพาะปลูกสำหรับเกษตรกร ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้จึงเป็นการประยุกต์พัฒนาวัสดุที่ได้จากดินตะกอนประปาต่อยอดในการสร้างมูลค่าเพิ่ม โดยการนำดินตะกอนประปาและผักตบชวามาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตอิฐบล็อกประสาน ซึ่งการนำผักตบชวามาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตอิฐบล็อกประสานนั้นจะมีส่วนช่วยในเรื่องของสมรรถนะทางความร้อนของอิฐบล็อกประสาน กล่าวคือเมื่อนำผักตบชวามาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตอิฐบล็อกประสานในอัตราส่วนที่เหมาะสมนั้นจะสามารถป้องกันความร้อนเข้าสู่อาคารได้ดีกว่าเมื่อเทียบกับอิฐบล็อกมาตรฐาน [2] ดังนั้นผักตบชวาจึงน่าสนใจในการนำมาใช้เป็นฉนวนกันความร้อน อีกทั้งผักตบชวาเป็นวัชพืชที่ร้ายแรงในแหล่งน้ำทั่วไป แพร่พันธุ์ได้อย่างรวดเร็ว ส่งผลให้เกิดมลภาวะทางสิ่งแวดล้อม เมื่อผักตบชวาเจริญเติบโตปกคลุมผิวน้ำอย่างหนาแน่นจะส่งผลให้แหล่งน้ำขาดออกซิเจน แสงแดดส่องไม่ถึง ทำให้เกิดน้ำเน่าเสีย ภาครัฐต้องเสียงบประมาณในการกำจัดผักตบชวาดังกล่าว แต่อย่างไรก็ตามผักตบชวาสามารถนำมาทำประโยชน์ได้บ้างเช่นใช้ในการผลิตปุ๋ยหมัก ผลิตเครื่องจักสาน เป็นต้น

แต่อย่างไรก็ตามการที่จะพัฒนานวัตกรรมทางด้านวัสดุ นั้นจำเป็นต้องทำการศึกษาเพื่อให้ทราบถึงคุณสมบัติต่างๆให้เป็นไปตามมาตรฐาน เพื่อให้สามารถต่อยอดนำไปใช้งานได้จริง ทั้งนี้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานชนิดไม่รับน้ำหนักจะมีการกำหนดมาตรฐานการผลิตตาม มอก.58-2533 [3] ซึ่งกำหนดคุณสมบัติพื้นฐานของกำลังอัดต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล ซึ่งในอดีตที่ผ่านมาได้มีนักวิจัยจำนวนมากศึกษาถึงวัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตอิฐบล็อกต่างๆ เพื่อปรับปรุงคุณสมบัติของอิฐบล็อกให้ดีขึ้น เช่น การศึกษาปริมาณปูนซีเมนต์ที่เหมาะสมในการผลิตอิฐบล็อก [4] ศึกษาปริมาณหินฝุ่นที่เหมาะสมในการทำให้ต้นทุนการผลิตต่ำ [5] หรือใช้เถ้าขานอ้อยเป็นวัสดุเชื่อมประสานแทนที่ปูนซีเมนต์บางส่วนและหาปริมาณที่เหมาะสม [6] [7] เป็นต้น ทำให้ทราบว่านักวิจัยศึกษาสมบัติทางกายภาพ ทางกล และความทนทานของอิฐบล็อก หรือมีการศึกษาเกี่ยวกับสมบัติทางกลและทางกายภาพ รวมถึงการนำความร้อนของคอนกรีตบล็อกที่มีผสมของหินฝุ่นและเถ้าลอย [8] แต่ยังคงขาดการศึกษาถึงความสัมพันธ์ของคุณสมบัติทางกลและการนำความร้อน สำหรับการพัฒนาอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวา

ดังนั้นในการศึกษาวิจัยนี้เป็นการศึกษาและพัฒนาดินตะกอนประปาและผักตบชวามาเป็นส่วนผสมในการทำผลิตอิฐบล็อกประสาน พร้อมทั้งศึกษาความสัมพันธ์ต่างๆทั้งในส่วนของคุณสมบัติของวัสดุ การดูดซึมน้ำ ความพรุน กำลังรับแรงอัด การนำความร้อน ซึ่งเป็นพื้นฐานของคุณสมบัติของวัสดุให้เป็นไปตามมาตรฐาน อีกทั้งเป็นการสนับสนุนนำของเหลือทิ้งทั้งสองแหล่งกลับมาใช้ประโยชน์ เพื่อสร้างมูลค่าเพิ่มให้กับวัสดุอย่างเต็มที่ เป็นแนวทางในการต่อยอดนวัตกรรมทางด้านวัสดุ และยังสามารถพัฒนาให้เกิดประโยชน์ในเชิงธุรกิจ และเชิงพาณิชย์ ต่อไป

2. วัสดุและวิธีการศึกษา

2.1 วัสดุและส่วนผสม

ในการศึกษาทดลองจะใช้วัสดุและอุปกรณ์ดังนี้

- 1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภท 1 (OPC)
- 2) ดินตะกอนประปา จากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน กรุงเทพมหานคร ที่ผ่านการบดละเอียด ร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 30 มีขนาด 0.3-0.6 มิลลิเมตร มีความถ่วงจำเพาะ 2.95 (รูปที่ 1 ก.)
- 3) ทราเยละเอียดจากธรรมชาติ อยู่ในสภาวะอิมตัวแห้ง การกระจายขนาดละเอียดเป็นไปตามมาตรฐาน ผ่านตะแกรงเบอร์ 10 ค้างตะแกรงเบอร์ 16, 18, และ 20 มีโมดูลัสความละเอียด 3.13 มีความถ่วงจำเพาะ 2.61
- 4) ผักตบชวาทธรรมชาติ ล้างทำความสะอาด หลังจากนั้นนำไปปั่นให้ละเอียดโดยใช้เครื่องปั่น และนำไปตากแดดประมาณ 3-5 วัน หรือเข้าเครื่องอบให้ผักตบชวาทแห้ง เพื่อให้ไม่มีความชื้นหลงเหลือจึงสามารถนำมาใช้ได้ (รูปที่ 1 ข.)

5) น้ำสะอาด ผสมเพิ่มเข้าไปในส่วนผสม โดยปริมาณน้ำจะเพิ่มขึ้นตามอัตราการเพิ่มขึ้นของดินตะกอนและผักตบชวาทร้อยละ 30-35, 40-45 และ 50-55 โดยน้ำหนัก ของดินตะกอนร้อยละ 50, 60 และ 70 ตามลำดับ ดังแสดงในตารางที่ 1



(ก)



(ข)

รูปที่ 1 ดินตะกอนประปาและผักตบชวาที่ใช้ในส่วนผสม

(ก) ดินตะกอนประปาบดละเอียด

(ข) ผักตบชวาที่ปั่นละเอียดและนำไปตากแดดจนแห้ง

อัตราส่วนผสมในการศึกษานี้จะแบ่งออกเป็น 2 ส่วนใหญ่ๆประกอบด้วยร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินตะกอนและทราย กับร้อยละการเพิ่มขึ้นของผักตบชวา โดยที่ร้อยละของการเปลี่ยนแปลงปริมาณดินตะกอนและทรายจะประกอบไปด้วยร้อยละ 70, 60 และ 50 ตามลำดับ ทั้งนี้ในสัดส่วน 100% ของส่วนผสมร้อยละ 70 ของดินตะกอนประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ดินตะกอน และทราย เท่ากับร้อยละ 10, 70 และ 20 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ สัดส่วน 100% ของส่วนผสมร้อยละ 60 ของดินตะกอนประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ดินตะกอน และทราย เท่ากับร้อยละ 10, 60 และ 30 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และสัดส่วน 100% ของส่วนผสมร้อยละ 50 ของดินตะกอนประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ ดินตะกอน และทราย เท่ากับร้อยละ 10, 50 และ 40 โดยน้ำหนัก ตามลำดับ และในกลุ่มของส่วนผสมทั้งหมดนี้ จะมีการผสมผักตบชวาทละเอียดเพิ่มเข้าไปอัตราร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 โดยน้ำหนัก ดังแสดงในตารางที่ 1

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมของอิฐบล็อกประสาน

ส่วนผสม	% โดยน้ำหนัก				
	ปูนซีเมนต์	ดินตะกอน	ทราย	ผักตบชวา	น้ำ
70SW-0WH	10	70	20	0	50
70SW-10WH	10	70	20	10	52
70SW-15WH	10	70	20	15	53
70SW-20WH	10	70	20	20	55
60SW-0WH	10	60	30	0	40
60SW-10WH	10	60	30	10	42
60SW-15WH	10	60	30	15	43
60SW-20WH	10	60	30	20	45
50SW-0WH	10	50	40	0	30
50SW-10WH	10	50	40	10	32
50SW-15WH	10	50	40	15	33
50SW-20WH	10	50	40	20	35

2.2 วิธีการศึกษา

ในการศึกษาจะทำการทดสอบและวิเคราะห์ผลการทดลองประกอบไปด้วย การวิเคราะห์องค์ประกอบทางเคมีและคุณสมบัติของวัสดุ การทดสอบหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C318 [9] การทดสอบการดูดซึมน้ำ และความพรุนของอิฐบล็อกตามมาตรฐาน ASTM C20 [10] ของอิฐบล็อกประสานขนาด 120 x 100 x 250 มิลลิเมตร ที่อายุการบ่มในอากาศ 28 วัน การทดสอบกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานขนาด 120 x 100 x 250 มิลลิเมตร ที่อายุการบ่มในอากาศ 28 วัน จำนวน 5 ก้อน ตามมาตรฐาน มอก. 109-2517 [11] และการทดสอบสมบัติการนำความร้อน โดยการทดสอบหาค่าการนำความร้อน (Thermal Conductivity, K) จากกรมวิทยาศาสตร์บริการ ตามมาตรฐาน ASTM C518 [12] ของตัวอย่างอิฐบล็อกขนาด 300x300x30 มิลลิเมตร ที่อายุการบ่มในอากาศ 28 วัน

3. ผลการทดสอบและวิจารณ์

3.1 องค์ประกอบทางเคมี และคุณสมบัติพื้นฐานของดินตะกอนประปา

ดินที่ใช้ในการผลิตอิฐบล็อกประสานเป็นดินตะกอนประปาที่ได้มาจากโรงงานผลิตน้ำประปาบางเขน กรุงเทพมหานคร ซึ่งเป็นดินตะกอนเหลือทิ้งที่มีปริมาณมาก โดยผลองค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนประปาสามารถวิเคราะห์โดยใช้เครื่อง X-Ray Fluorescence Spectrometer ดังแสดงในตารางที่ 2 [13] พบว่า ดินตะกอนประปามีค่า SiO_2 เป็นองค์ประกอบหลักเท่ากับ 41.03% รองลงมาได้แก่ Fe_2O_3 , MgO และ Al_2O_3 เท่ากับ 18.06%, 17.13% และ 14.57% ตามลำดับ ส่วนองค์ประกอบอื่นไม่สูงมากนัก

ตารางที่ 2 องค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนประปา

องค์ประกอบทางเคมี (%)	ดินตะกอนประปา
(SiO_2)	41.03
(Al_2O_3)	14.57
(Fe_2O_3)	18.60
(MgO)	17.13
(CaO)	0.39
(Na_2O)	ND.
(K_2O)	6.85
(SO_3)	0.59

ทั้งนี้จากการวิเคราะห์ลักษณะความเป็นปอซโซลานจากองค์ประกอบทางเคมีตามมาตรฐาน ASTM C618 กำหนดให้ผลรวมของ SiO_2 , Al_2O_3 และ Fe_2O_3 ต้องไม่น้อยกว่าร้อยละ 70 สำหรับวัสดุปอซโซลาน Class N ในขณะที่ดินตะกอนประปามีผลรวมขององค์ประกอบทั้ง 3 เท่ากับ ร้อยละ 74.2 และพบ SO_3 ร้อยละ 0.59 ซึ่ง ASTM C618 กำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 4 ซึ่งแสดงว่าดินตะกอนประปาอาจใช้เป็นวัสดุปอซโซลานได้ จากเหตุผลดังกล่าวทำให้ทราบว่าดินตะกอนประปามีแนวโน้มที่จะนำไปใช้ในการผลิตวัสดุก่อสร้าง ซึ่งที่ผ่านมาพบว่าได้มีนักวิจัยทำการศึกษาศึกษาประยุกต์ใช้ดินตะกอนประปาพัฒนาเป็นวัสดุในการก่อสร้าง โดยพัฒนาอิฐบล็อกประสานดินขาวจากกากตะกอนของกระบวนการผลิตน้ำประปา ซึ่งพบว่ากำลังรับแรงอัดอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานสามารถนำไปประยุกต์ใช้งานได้จริง [14] นอกจากนี้ได้มีการพัฒนาความสามารถในการรับแรงอัดของดินตะกอนประปาจากวัสดุซีโอไฟเบอร์มวลเบาทำให้ทราบว่าดินตะกอนประปาสามารถรับแรงอัดได้สูงถึง 10 เมกะพาสคัล [15] ยิ่งไปกว่านั้นการนำเถ้าลอยมาเป็นส่วนผสมในการปรับปรุงคุณสมบัติของดินตะกอนประปาในวัสดุซีโอไฟเบอร์ ก็ยังทำให้ดินตะกอนประปามีกำลังรับแรงอัดได้สูงถึง 20 เมกะพาสคัล เช่นกัน [13] ดังนั้นดินตะกอนประปาจึงเป็นดินที่มีคุณสมบัติที่เหมาะสมในการนำมาเป็นส่วนผสมหลักในการผลิตอิฐบล็อกประสาน เพื่อเป็นการนำของที่เหลือทิ้งกลับมาใช้ประโยชน์ต่อไป

3.2 ผลของความสามารถในการรับแรงอัด และหน่วยน้ำหนัก ของอิฐบล็อก

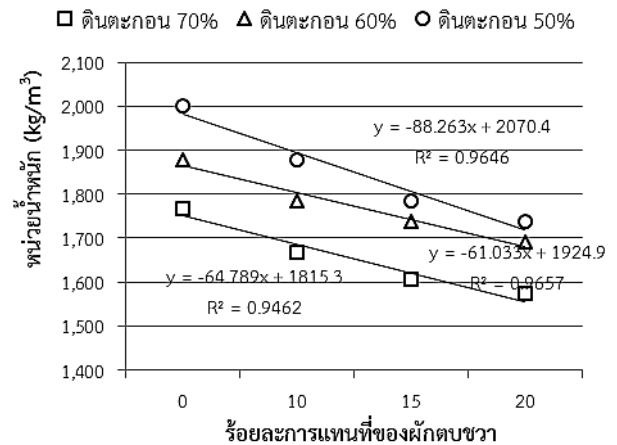
หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า จะมีค่าเพิ่มขึ้นตามการลดลงของดินตะกอน โดยที่ดินตะกอนร้อยละ 70, 60 และ 50 (ไม่มีผักตบชวา) จะมีหน่วยน้ำหนักเท่ากับ 1,768.39, 1,877.93 และ 2,000.00 kg/m^3 ตามลำดับ หรือเพิ่มขึ้นร้อยละ 6.2 และ 13.1 ตามลำดับ ทั้งนี้เพราะว่าเมื่อมีการลดลงของดินตะกอน จะทำให้มีการเพิ่มทรายในส่วนผสมมากขึ้น หน่วยน้ำหนักที่เพิ่มขึ้นดังกล่าวนี้มาจากค่าความถ่วงจำเพาะของ

ทรายมากกว่าของดินตะกอน ซึ่งความถ่วงจำเพาะของทรายและดินตะกอนประมาณค่าเท่ากับ 2.95 และ 2.61 ตามลำดับ และเมื่อวิเคราะห์การเพิ่มขึ้นของผักตบชวาในการผลิตอิฐบล็อกประสาน ดังแสดงในรูปที่ 2 พบว่าหน่วยน้ำหนักจะลดลงเป็นเชิงเส้นตามการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาในทุกๆร้อยละของดินตะกอน สาเหตุที่ทำให้อิฐบล็อกมีหน่วยน้ำหนักลดลงเนื่องจากสภาพของผักตบชวามีค่าความถ่วงจำเพาะต่ำ อีกทั้งยังส่งผลให้อิฐบล็อกประสานเกิดความพรุนและมีรูโพรงขนาดใหญ่ จึงทำให้หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกลดลงดังกล่าว

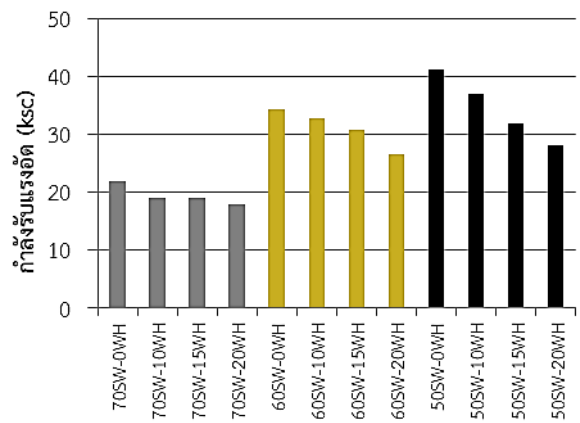
ในส่วนความสามารถในการรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวาจะพบว่ากำลังรับแรงอัดที่อายุ 28 วัน จะเพิ่มขึ้นตามการลดลงของดินตะกอนในทุกๆร้อยละของการเพิ่มขึ้นของผักตบชวา ดังแสดงในรูปที่ 3 โดยในส่วนผสมของดินตะกอนร้อยละ 70 จะมีค่ากำลังรับแรงอัดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาที่ร้อยละ 0, 10, 15 และ 20 เท่ากับ 22.0, 19.03, 19.12 และ 17.92 ksc ตามลำดับ ซึ่งกำลังรับแรงอัดดังกล่าว ต่ำกว่ามาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.58-2533 [3] ชนิดอิฐบล็อกไม่รับน้ำหนัก ทั้งนี้ความสามารถในการรับแรงอัดตามมาตรฐานของคอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนักต้องไม่ต่ำกว่า 2.5 เมกะพาสคัล หรือประมาณ 25 ksc ดังนั้นในการผสมดินตะกอนประมาณเกินไปจะทำให้อิฐบล็อกประสานไม่สามารถใช้งานได้ อีกทั้งคุณภาพไม่ได้มาตรฐานดังกล่าวด้วย และเมื่อพิจารณาการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาในดินตะกอนประปาร้อยละ 60 และ 50 พบกำลังรับแรงอัดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาเช่นกัน โดยมีค่ากำลังอัดอยู่ในช่วง 26- 41 ksc ซึ่งอยู่ในเกณฑ์มาตรฐานของอิฐบล็อกชนิดไม่รับน้ำหนัก มอก.58-2533 [3] ทั้งนี้เพราะการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาจะทำให้เกิดความพรุน และมีรูโพรงขนาดใหญ่ ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดลดลง [16]

ตารางที่ 3 องค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนประปา

สูตร	หน่วยน้ำหนัก (kg/m ³)	กำลังรับแรงอัด (ksc)
70SW-0WH	1,768.39	22.00
70SW-10WH	1,666.67	19.03
70SW-15WH	1,605.63	19.12
70SW-20WH	1,572.77	17.92
60SW-0WH	1,877.93	34.31
60SW-10WH	1,784.04	32.76
60SW-15WH	1,737.09	30.87
60SW-20WH	1,690.14	26.49
50SW-0WH	2,000.00	41.24
50SW-10WH	1,877.93	37.04
50SW-15WH	1,784.04	32.02
50SW-20WH	1,737.09	28.25

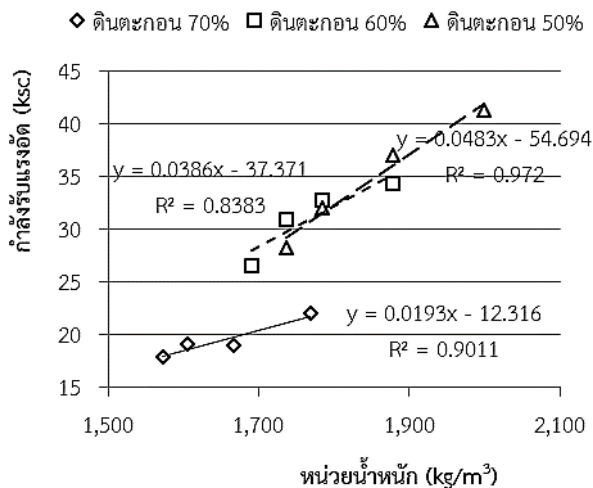


รูปที่ 2 ผลของการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาต่อหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสาน



รูปที่ 3 กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานดินตะกอนประปาและผักตบชวา

จากความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักกับกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกดังแสดงในรูปที่ 4 จะเห็นว่าเส้นกราฟของส่วนผสมของดินตะกอนร้อยละ 70 (70SW) จะอยู่ต่ำที่สุด ส่วนเส้นกราฟของ 60SW และ 50SW จะอยู่ในลักษณะเกาะกลุ่มกันด้านบน ทำให้ทราบว่าหน่วยน้ำหนักในส่วนผสม 70SW น้อยกว่าส่วนผสมชนิดอื่น ทั้งนี้เพราะส่วนผสมดังกล่าวจะมีดินตะกอนมากเกินไป และจากการตรวจสอบลักษณะพื้นผิวของอิฐบล็อกจะมีลักษณะผิวไม่เรียบเนียน มีรูโพรงขนาดใหญ่ และมีปริมาณมากส่งผลให้มีความสามารถในการรับกำลังอัดได้ต่ำกว่าส่วนผสมของกลุ่ม 60SW และ 50SW แต่อย่างไรก็ตามจากความสัมพันธ์ดังกล่าวทำให้ได้ทราบว่าแนวโน้มการเปลี่ยนแปลงระหว่างหน่วยน้ำหนักกับกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกเป็นเชิงเส้นที่มีสมการดังแสดงในรูปที่ 3 ซึ่งให้ค่าสัมประสิทธิ์ความสัมพันธ์ค่อนข้างสูง ทำให้สามารถทำนายกำลังรับแรงอัดและหน่วยน้ำหนักในกรณีที่เพิ่มปริมาณผักตบชวาในส่วนผสมต่อไป



รูปที่ 4 กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานดินตะกอนประปา และผักตบชวา

3.3 ผลของความสามารถในการดูดซึมน้ำ และความพรุนที่มีต่อคุณสมบัติของอิฐบล็อก

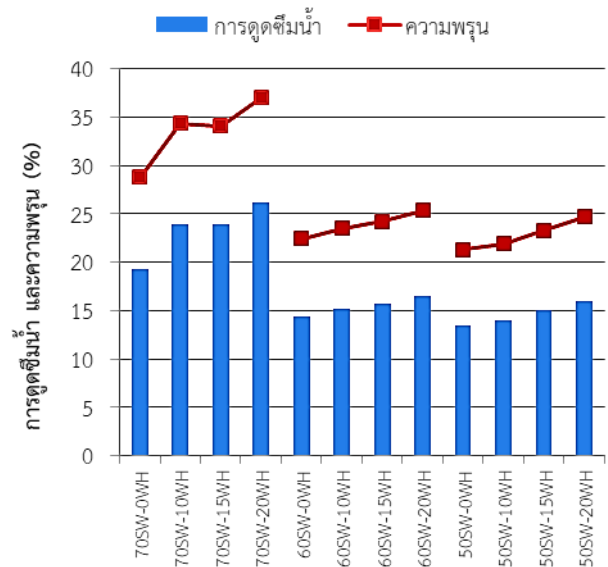
ผลของความสามารถในการดูดซึมน้ำและความพรุนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวาดังแสดงในตารางที่ 4 และรูปที่ 5 จะพบว่าในส่วนผสมกลุ่มของ 70SW จะมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและความพรุนค่อนข้างสูง ซึ่งเป็นผลมาจากส่วนผสมดังกล่าวมีดินตะกอนเป็นส่วนใหญ่ ขนาดเม็ดดินตะกอนมีขนาดใหญ่กว่าทราย ทำให้เมื่อขึ้นรูปจะเกิดรูพรอง หรือช่องว่างขนาดใหญ่ในอิฐบล็อกส่งผลให้มีความพรุนและดูดซึมน้ำสูง และยิ่งไปกว่านั้น เมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาเข้าไปยังทำให้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและความพรุนค่อนข้างสูงขึ้นไปอีก ดังนั้นเมื่อลดปริมาณดินตะกอนลงและเพิ่มปริมาณทรายขึ้นจะทำให้อิฐบล็อกมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้น ดังผลการทดสอบในหัวข้อข้างต้น ส่งผลให้มีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำและความพรุนต่ำลง เพราะการแทนที่ดินตะกอนด้วยทรายจะทำให้ทรายสามารถไปแทรกตัวอุดช่องว่างทำให้อิฐบล็อกมีความหนาแน่นเพิ่มขึ้นได้ สอดคล้องกับการศึกษาของ Rattanachu และคณะ [17] และ Ramjan และคณะ [18] ที่ใช้วัสดุที่มีความละเอียดมาใช้เป็นวัสดุเชื่อมประสานในส่วนผสมของคอนกรีต เพื่อลดผลของความพรุนและการดูดซึมน้ำ อีกทั้งยังช่วยเพิ่มความสามารถในการรับแรงอัดด้วย

และจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ กับความสามารถในการรับแรงอัด พบว่ากำลังรับแรงอัดลดลงตามการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของ Thokchom และคณะ [16] โดยแนวโน้มของความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำกับกำลังรับแรงอัดจะเป็นการลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 6 ซึ่งเมื่อมีเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำเพิ่มขึ้นจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดลดลง สอดคล้องกับการศึกษาของ Zaetang และคณะ [19]

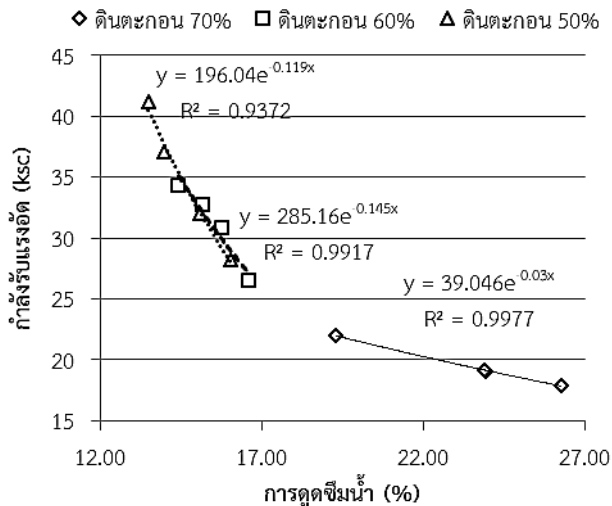
ซึ่งได้เสนอสมการความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นแบบการลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล และอีกทั้งยังใช้สมการที่ได้จากการทดลองมาทำการทำนายความสามารถในการรับแรงอัดตามการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำด้วย

ตารางที่ 4 การดูดซึมน้ำ และความพรุนของอิฐบล็อกประสาน

สูตร	การดูดซึมน้ำ(%)	ความพรุน (%)
70SW-0WH	19.30	28.82
70SW-10WH	23.93	34.36
70SW-15WH	23.87	34.10
70SW-20WH	26.25	37.00
60SW-0WH	14.41	22.42
60SW-10WH	15.17	23.48
60SW-15WH	15.73	24.24
60SW-20WH	16.57	25.38
50SW-0WH	13.47	21.31
50SW-10WH	13.98	21.94
50SW-15WH	15.06	23.30
50SW-20WH	16.02	24.68



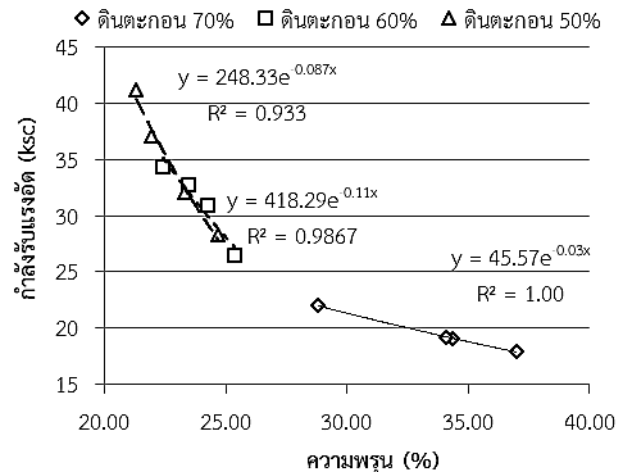
รูปที่ 5 การดูดซึมน้ำ และความพรุนของอิฐบล็อกประสานดินตะกอนประปาและผักตบชวา



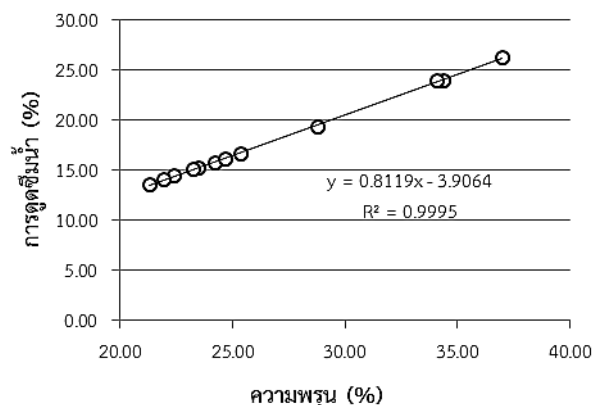
รูปที่ 6 กำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสานดินตะกอนประปา และผักตบชวา

ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อก มีแนวโน้มคล้ายกับความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำกับกำลังรับแรงอัด กล่าวคือเมื่อวัสดุมีความพรุนสูงจะทำให้ความสามารถในการรับแรงอัดต่ำลง และลดลงแบบไม่เป็นเชิงเส้น โดยสมการที่ได้จากการทดลองเป็นการลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล ดังแสดงในรูปที่ 7 สอดคล้องกับงานวิจัยของ Kroehong และคณะ [8] ที่ทำการทดสอบและวิเคราะห์ความสัมพันธ์ของเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับกำลังรับแรงอัดของคอนกรีตบล็อกผสมเถ้าลอย โดยพบว่าความสัมพันธ์ดังกล่าวเป็นฟังก์ชันการลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล เช่นเดียวกับการศึกษาของ Ryshkewitch [20] ที่ได้เสนอความสัมพันธ์เป็นแบบการลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล โดยมีค่าสัมประสิทธิ์ต่างๆเป็นไปตามการทดลองนั้นๆ อีกทั้ง Zaetang และคณะ [19] ได้เสนอความสัมพันธ์เป็นแบบการลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล โดยแต่ละสมการจะขึ้นอยู่กับสูตรหรือส่วนผสมในการทดลองนั้น และสามารถนำสมการที่ได้มาทำการทำนายกำลังรับแรงอัดตามการเพิ่มขึ้นของเปอร์เซ็นต์ความพรุนด้วย และ Gencel [21] ได้ทำการศึกษาความพรุนของอิฐดินเหนียว พบว่ากำลังของอิฐดินเหนียวลดลงเมื่ออิฐมีความพรุนเพิ่มขึ้น จากผลการศึกษาที่ผ่านมาทำให้ทราบว่าความพรุนจะมีความสัมพันธ์แบบผกผันกับกำลังอัด ซึ่งจะลดลงตามสมการเอ็กโพเนนเชียล อีกทั้งความสัมพันธ์ที่ได้จากการทดลองสามารถนำไปทำนายความสามารถในการรับแรงอัดในกรณีที่วัสดุมีการเปลี่ยนแปลงของเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ และเปอร์เซ็นต์ความพรุน ได้อีกด้วย

เมื่อวิเคราะห์ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ พบว่าความสัมพันธ์ทั้งสองจะแปรผันตรง มีความสัมพันธ์เป็นเชิงเส้นตามสมการดังแสดงในรูปที่ 8 โดยสมการดังกล่าวเป็นสมการเส้นตรงที่ให้ความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรที่สูงมากๆ กล่าวคือถ้าเปอร์เซ็นต์ความพรุนเพิ่มขึ้น จะทำให้เปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำสูงขึ้นไปด้วย สอดคล้องกับการศึกษาของ Kearsley และ Wainwright [22] ที่ศึกษาความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับการดูดซึมน้ำของคอนกรีตโพรที่มี ความพรุนและการดูดซึมน้ำค่อนข้างสูงโดยพบว่าความสัมพันธ์ทั้งสองเป็นแบบเส้นตรง ค่าความสัมพันธ์ระหว่างสองตัวแปรอยู่ประมาณ 85.9% ดังนั้นสมการเส้นตรงที่ได้จากการทดลองนี้สามารถเป็นตัวแทนในการวิเคราะห์ทำนายระหว่างตัวแปรทั้งสองได้



รูปที่ 7 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับกำลังรับแรงอัดของอิฐบล็อกประสาน



รูปที่ 8 ความสัมพันธ์ระหว่างเปอร์เซ็นต์ความพรุนกับเปอร์เซ็นต์การดูดซึมน้ำ

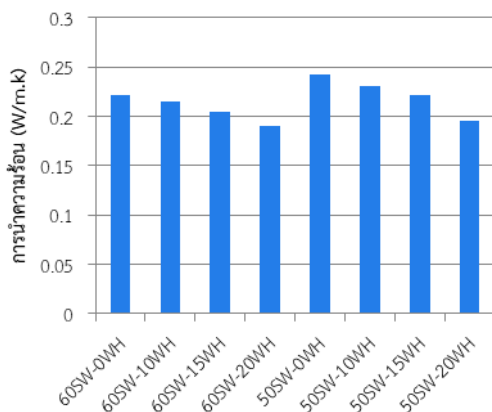
3.4 สภาพการนำความร้อน

จากผลการทดสอบคุณสมบัติคุณสมบัติทางกลในหัวข้อที่ผ่านมาพบว่าในส่วนผสมกลุ่มของ 70SW ที่มีดินตะกอนสูงถึง 70% จะมีคุณสมบัติด้อยกว่าในส่วนผสมกลุ่มอื่น กล่าวคือมีค่าการดูดซึมน้ำสูง ความพรุนสูง และกำลังรับแรงอัดต่ำกว่ามาตรฐาน อีกทั้งจากการวิเคราะห์ความสัมพันธ์คุณสมบัติข้างต้นทำให้ทราบว่าส่วนผสมกลุ่มของ 70SW จะมีคุณสมบัติที่ต่างจากกลุ่มอื่นอย่างชัดเจน ดังนั้นในการทดสอบการนำความร้อนของอิฐบล็อกจากการศึกษาครั้งนี้ จะทำการทดสอบเฉพาะในกลุ่มที่มีคุณสมบัติเป็นไปตามมาตรฐานที่เหมาะสมกับการนำไปใช้งานต่อไปได้

ผลของการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวาจะทำการทดสอบในส่วนผสมกลุ่มของ 60SW และ 50SW ทุกส่วนผสมย่อย ดังแสดงในตารางที่ 5 โดยมีค่าการนำความร้อนอยู่ในช่วง 0.19-0.24 W/m.k ซึ่งเป็นการนำความร้อนที่ต่ำมากของวัสดุก่อสร้างที่มีหน่วยน้ำหนักที่ใกล้เคียงกัน สอดคล้องกับการศึกษาที่ผ่านมาพบว่าค่าการนำความร้อนจะอยู่ในช่วง 0.25-1.00 W/m.k ในหน่วยน้ำหนัก 720-2,000 kg/m³ ของวัสดุก่อสร้างอื่นๆ เช่น อิฐบล็อกทนไฟ อิฐบล็อกผสมเถ้าลอย คอนกรีตบล็อกกลวง เป็นต้น [23]

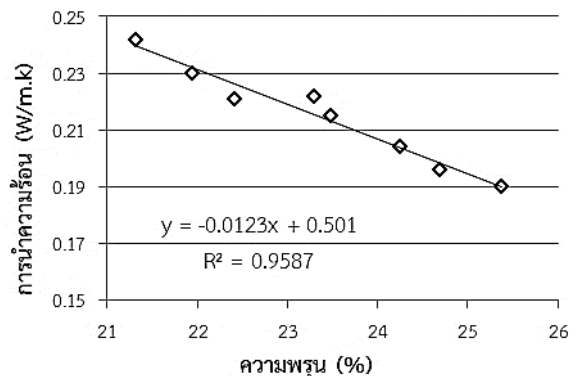
ตารางที่ 5 ค่าการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสาน

สูตร	ค่าการนำความร้อน (W/m.k)
60SW-0WH	0.221
60SW-10WH	0.215
60SW-15WH	0.204
60SW-20WH	0.19
50SW-0WH	0.242
50SW-10WH	0.23
50SW-15WH	0.222
50SW-20WH	0.196

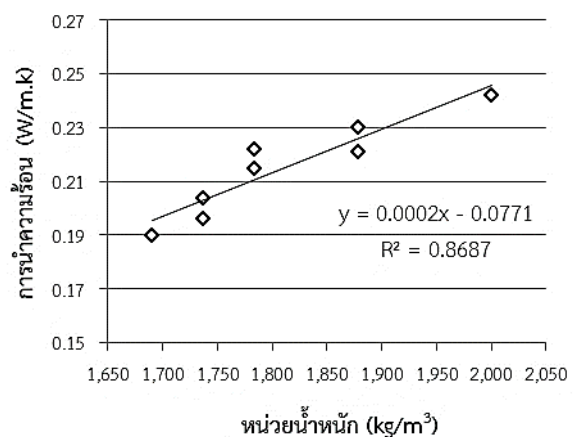


รูปที่ 9 ผลการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวา

จากผลการนำความร้อนในรูปที่ 9 พบว่าเมื่อเพิ่มปริมาณผักตบชวาในส่วนผสมมากขึ้นจะทำให้ค่าการนำความร้อนของอิฐต่ำลง ทั้งนี้เป็นผลมาจากปัจจัยหลักคือผักตบชวา ซึ่งจากการรายงานของ Ekasilp และ Boonthanomwong [2] ชี้ให้เห็นว่าผักตบชวามีค่าการนำความร้อน 0.089 w/m.k ซึ่งต่ำมากๆเหมาะแก่การนำมาใช้เป็นฉนวนในการผลิตวัสดุก่อสร้าง และอีกปัจจัยหนึ่งคือ การเพิ่มผักตบชวาจะทำให้วัสดุมีความพรุนสูงขึ้น ส่งผลให้ค่าการนำความร้อนลดลง สอดคล้องกับการลดปริมาณดินตะกอนลงในส่วนผสมกลุ่ม 50SW ส่งผลให้วัสดุมีความพรุนต่ำลง ค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 10 ซึ่งเป็นไปตามรายงานของ Torkittikul และคณะ [24] ที่พบว่าการเพิ่มขึ้นของความพรุนหรือช่องว่างในวัสดุจะทำให้ค่าการนำความร้อนลดลง และจากการศึกษาดังกล่าวนี้นักพบอีกว่าการลดลงของค่าการนำความร้อน จะเป็นการลดลงแบบเชิงเส้นตามการเพิ่มขึ้นของความพรุน ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษานี้



รูปที่ 10 ความสัมพันธ์ระหว่างความพรุนกับการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสาน



รูปที่ 11 ความสัมพันธ์ระหว่างหน่วยน้ำหนักกับการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสาน

จากรูปที่ 11 แสดงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับหน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อก พบว่าค่าการนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามการเพิ่มขึ้นของหน่วยน้ำหนัก โดยเป็นการเพิ่มขึ้นแบบเชิงเส้น สอดคล้องกับการศึกษาของ Zaetang และคณะ [19] และ Tasdemir และคณะ [25] ที่มีการเปลี่ยนแปลงความสัมพันธ์ระหว่างค่าการนำความร้อนกับหน่วยน้ำหนักของวัสดุเป็นแบบเชิงเส้นด้วยเหมือนกัน ดังนั้นสรุปได้ว่า วัสดุที่นำมาใช้เป็นส่วนผสมความพรุน และหน่วยน้ำหนัก เป็นปัจจัยสำคัญต่อการนำความร้อนของวัสดุ [8]

4. สรุป

จากการศึกษาคุณสมบัติทางกลและการนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวา สามารถสรุปผลการศึกษาดังนี้

1. ดินตะกอนประปามีองค์ประกอบทางเคมีที่มีความเหมาะสมในการที่นำมาใช้ในการผลิตเป็นวัสดุก่อสร้าง เพราะองค์ประกอบทางเคมีของดินตะกอนประปามีความสามารถจำแนกเป็นวัสดุพอโซลานประเภทหนึ่งได้

2. ความสามารถในการรับแรงอัดจะมีค่าอยู่ระหว่าง 17-40 ksc ซึ่งส่วนผสมในกลุ่มของ 70SW มีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่าเกณฑ์มาตรฐานตาม มอก. 58-2533 จึงไม่มีความเหมาะสมในการนำไปใช้งาน แต่อย่างไรก็ตามส่วนผสมในกลุ่มของ 60SW และ 50SW มีค่ากำลังอัดเป็นไปตามมาตรฐานซึ่งกำหนดไว้ไม่น้อยกว่า 2.5 MPa หรือ 25 ksc ที่อายุการบ่ม 28 วัน

3. หน่วยน้ำหนักของอิฐบล็อกประสานจะลดลงตามการเพิ่มขึ้นของผักตบชวา เนื่องจากการเพิ่มขึ้นของผักตบชวาจะทำให้อิฐบล็อกประสานนี้มีความพรุนสูงส่งผลให้หน่วยน้ำหนักต่ำ และหน่วยน้ำหนักลดลงตามปริมาณดินตะกอนที่เพิ่มขึ้น เนื่องจากความถ่วงจำเพาะของดินตะกอนต่ำกว่าทราย

4. การใช้ผักตบชวาในการผลิตอิฐบล็อกประสานส่งผลให้อิฐบล็อกประสานมีความพรุนและการดูดซึมน้ำสูง อีกทั้งการใช้ดินตะกอนปริมาณมากในกระบวนการผลิตก็ส่งผลให้อิฐบล็อกประสานมีการดูดซึมน้ำสูงด้วยเช่นกัน แต่อย่างไรก็ตามการดูดซึมน้ำเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 58-2533

5. การนำความร้อนของอิฐบล็อกประสานจากดินตะกอนประปาและผักตบชวา จะมีค่าลดลงตามการเพิ่มขึ้นของผักตบชวา และตามการเพิ่มขึ้นของดินตะกอน เพราะการเพิ่มขึ้นของวัสดุดังกล่าวส่งผลให้วัสดุมีความพรุน หน่วยน้ำหนักต่ำ และอีกทั้งผักตบชวาเองเป็นวัสดุที่มีความเป็นฉนวนอยู่แล้ว จึงทำให้อิฐบล็อกประสานที่ได้มีค่าการนำความร้อนต่ำ เหมาะแก่การนำมาพัฒนาเป็นวัสดุก่อสร้างต่อไป

ดังนั้นจากผลการศึกษาดังกล่าวเหมาะสำหรับการพัฒนาต่อยอดเป็นนวัตกรรมด้านวัสดุก่อสร้าง ซึ่งมีประโยชน์ในการ

พัฒนาเชิงพาณิชย์ และยังเป็นการพัฒนาวัสดุวิศวกรรมการก่อสร้างต่อไปในอนาคต

7. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับการสนับสนุนจากสำนักงานคณะกรรมการวิจัยแห่งชาติ (วช.) ประจำปีงบประมาณ 2561 และสำนักงานประปา บางเขน การประปานครหลวง และขอขอบคุณสถาบันวิจัยและพัฒนา คณะวิศวกรรมศาสตร์และสถาปัตยกรรมศาสตร์ และสาขาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคล ที่สนับสนุนการวิจัยและอนุเคราะห์วัสดุเครื่องมือในการวิจัย

8. เอกสารอ้างอิง

- [1] N. Chooaungsakun, S. Arungdachawat, S. Rattanachawee, P. Chaiyasit, A. Kaikaew, and K. Wanna, "Using for Water Hyacinth Ash replace some the lateritic soils for Interlocking block Production". Research Report Academic Section of Public Works. Office of Public Works and Town Planning, Pattani, 2016.
- [2] W. Ekasilp, and C. Boonthanomwong, "Thermal Insulator Performance of Water Hyacinth and Sawdust Hollow Concrete Block", Proc. National Research Conference Rangsit University, Pathumthani, 2014, pp. 179-186
- [3] Standard for Hollow Non-Load-Bearing Concrete Masonry Units, TIS 58-2533, Ministry of Industry, Thailand, 11 p, 1990.
- [4] L. Gündüz, "Use of Quartet Blends Containing Fly Ash, Scoria, Perlite Pumice and Cement to Produce Cellular Hollow Lightweight Masonry Blocks for Non-Load Bearing Walls," *Construction and Building Materials*, Vol. 22, No. 5, pp. 747-754, 2008.
- [5] S. Tongaroonsri, and A. Kunajamjarus, "Applications of Statistical Model in Proportioning of Concrete Block to Minimum Cost," *Journal of Industrial Technology*, Vol. 8, No. 1, pp. 1-11, 2012.
- [6] A. Duangchan, "Development of Bagasse Ash Concrete Block for Construction," M.S. Thesis, Dept. Civil Engineering, Kasetsart University, Thailand, 2006.
- [7] B. Chatveera, S. Jariyateeravate, and N. Makul, "Properties of Hollow Non-Load Bearing and Non-Moisture Controlling Concrete Block Containing Diatomite and Sugarcane Bagasse Ash," *KMUTT Research*

and development Journal, vol. 32 No. 1, pp. 399-408, 2009.

[8] W. Kroehong, S. Sangpaen, P. Sitkanarak, and J. Wilairat, "Mechanical Properties, Microstructure and Thermal Conductivity of Concrete Block Containing Fly Ash," *KMUTT Research and Development Journal*, V39 No. 3, pp. 407- 425, 2016.

[9] ASTM C 138-92, "Standard Test Method for Unit Weight, Yield, and Air Content (Gravimetric) of Concrete," Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2002.

[10] ASTM C 20, "Apparent Porosity, Water Absorption, Apparent Specific Gravity, and Bulk Density of Burned Refractory Brick and Shapes by Boiling Water," Annual Book of ASTM Standards, Philadelphia, 2000.

[11] TIS 109- 2517, "Sampling and Testing Concrete Masonry Units," Thai Industrial Standard Institute, Ministry of Industry, Thailand, 7 p. 1974.

[12] ASTM C-518, "Standard Test Method for Steady-State Thermal Transmission Properties by Means of The Heat Flow Meter Apparatus," Annual Book ASTM Standards, Vol. 4, pp. 153-167, 2004.

[13] W. Khokangplu, "Effect of Flyash on Compressive Strength of Sludge Geopolymer," M.S. Thesis, Dept. Civil Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand, 2013.

[14] W. Kaewsaeng, "Kaolin Interlocking Blocks from Sludge of Tap Supply Production," Proc. The 11st International KU-KPS Conference, Nakornphathom, 2013, 11 p.

[15] S. Boongrasan, "The Strength Development in Lightweight-Sludge Geopolymer," M.S. Thesis, Dept. Civil Engineering, Suranaree University of Technology, Thailand, 2013.

[16] S. Thokchom, P. Ghosh, and S. Dhosh, Effect of Water Absorption, Porosity and Sorptivity on Durability of Geopolymer mortars," *ARPJ Journal of Engineering and Applied Sciences*, vol. 4, No. 7, pp. 28-32, 2009.

[17] P. Rattanachu, W. Tangchirapat, and C. Jaturapitakkul, "Mechanical Properties of High Strength Concrete Containing Recycled Concrete Aggregate with Ground Bagasse Ash", *Thailand Concrete Association Journal*, Vol. 4, No. 2, pp. 36-48, 2016.

[18] S. Ramjan, W.Tangchirapat, and C.Jaturapitakkul, "Effect of Finenesses of Fly Ash and Rice

Husk Ash on Compressive Strength and Expansion of Mortar in Accelerated Mortar Bar Method". *Journal of Thailand Concrete Association*, Vol.5(1). pp.1-13, 2017.

[19] Y. Zaetang, A. Wongsas, V. Sata, and P. hindaprasirt, "Use of Lightweight Aggregates in Pervious Concrete," *Construction and Building Materials*, 48, pp. 585-591, 2013.

[20] R. Ryshekevitch, "Compression strength of porous sintered alumina and zirconia," *J Am Ceram Soc*, vol. 36 No. 2, 8 p, 1953.

[21] O. Gencel, "Characteristics of Fired Clay Bricks With Pumice Additive," *Energy and Building*, vol. 102, pp. 217-224, 2015.

[22] E.P. Kearsley, and P.J. Wainwright, " Porosity and Permeability of Foamed Concrete," *Cement and Concrete Research*, vol. 31, pp. 805-812, 2001.

[23] P. Chindaprasirt, P. Nuaklong, Y. Zaetang, P. Sujumnongtokul, and V. Sata, "Mechanical and Thermal Properties of Recycling Lightweight Pervious Concrete," *Arab. Journal for Science and Engineering*, vol. 40, pp. 443-450, 2015.

[24] P. Torkittikul, T. Nochaiya, W.Wongkeo, and A. Chaipanich, "Utilization of coal bottom ash to improve thermal insulation of construction material," *Journal of Material Cycles and Waste Management*, vol. 19, pp. 305-317, 2017.

[25] C. Tasdemir, O. Sengul, and M. A. Tasdemir, "A comparative study on the thermal conductivities and mechanical properties of lightweight concretes," *Energy and Buildings*, vol. 151, pp. 469-475, 2017.