

การพัฒนาบล็อกประสานน้ำหนักเบาจากเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง

Development of Lightweight Interlocking Blocks from Paper Pulp Waste

วชิระ แสงรัศมี

Vachira Sangrutsamee

คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี

Faculty of Architecture, Rajmangla University of Technology Thanyaburi

E-mail: vung2000@hotmail.com, vachira_s@mail.rmutt.ac.th

บทคัดย่อ

การพัฒนาบล็อกประสานน้ำหนักเบาชนิดใหม่ที่มีค่าการนำความร้อนต่ำเพื่อใช้ในการก่อสร้าง และการตกแต่งภายนอกอาคารเป็นวัตถุประสงค์หลักในการศึกษานี้ งานวิจัยนี้แบ่งอัตราส่วนผสมของวัสดุออกเป็นสองกลุ่ม คือ กลุ่มแรกเป็นการปรับปรุงส่วนผสมเดิมโดยการเพิ่มเยื่อกระดาษเหลือทิ้งในปูนซีเมนต์ ดินลูกรัง กลุ่มที่สองเป็นการพัฒนาอัตราส่วนผสมและวัตถุดิบใหม่เป็นส่วนผสม คือ ปูนซีเมนต์ ทราย ผงสี และเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง เพื่อทำการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งในอัตราส่วนต่าง ๆ เพื่อลดความหนาแน่นของวัสดุ และลดค่าการนำความร้อน โดยคุณสมบัติทางกายภาพ ทางกล และการนำความร้อนของบล็อกประสานถูกทดสอบหลังจากการบ่มที่ 28 วัน

จากผลการวิเคราะห์หาปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนในเยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานกระดาษลูกฟูกต่ำกว่าข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือน การเพิ่มส่วนผสมของเยื่อกระดาษเหลือทิ้งช่วยลดน้ำหนักและลดความหนาแน่นของวัสดุได้ดี อัตราส่วนที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกใหม่คือ 1:5:0.02:0.3 (ปูนซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) ซึ่งมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเท่ากับ 1.0424 วัตต์/เมตรเคลวิน น้ำหนักเท่ากับ 4.37 กิโลกรัมต่อหน่วย ความหนาแน่นเท่ากับ 1482.2 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และค่าการรับแรงอัดเท่ากับ 68.6 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร บล็อกชนิดใหม่นี้มีค่าการนำความร้อนลดลงร้อยละ 34 น้ำหนักลดลงร้อยละ 22.5 และมีสีแดงที่เข้มกว่า เมื่อนำมาเปรียบเทียบกับบล็อกประสานดินลูกรังผสมซีเมนต์ในท้องตลาด

ดังนั้น การผลิตบล็อกประสานชนิดใหม่ที่ใช้ประโยชน์จากเยื่อกระดาษเหลือทิ้งในโรงงานผลิตกระดาษนี้จะช่วยเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้ง ช่วยเพิ่มประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อน การบริหารจัดการของเสียจากโรงงานและยังช่วยรักษาสิ่งแวดล้อมอีกด้วย

Abstract

The development of a new lightweight interlocking block for building and architectural materials with low thermal conductivity, using paper pulp waste, is the main purpose of this study. Many different mix proportions were studied by incorporating paper pulp waste into the mixtures. For the first one, Portland cement, red lateritic soil and paper pulp waste were used. The second consisted of Portland cement, iron oxide color, sand and paper pulp waste. The feasibility of using paper pulp waste from the Kraft paper manufacturing industry was studied. The physical, mechanical, and thermal properties of the block samples were determined after 28 days of curing.

It was found that heavy metal contaminants in paper pulp waste were lower than the green label requirement for panels in the building, decorating and furniture industries. It was concluded that the use of paper pulp waste as an admixture could reduce the thermal conductivity and density of the block. The optimum mixture ratio of Portland cement, sand, iron oxide color, and paper pulp waste was 1:5:0.02:0.3.

The sample block yielded a thermal conductivity of 1.0424 W/m K, weight of 4.37 kg, bulk density of 1482.2 kg/m³, and compressive strength of 68.6 kg/cm². When compared to commercial soil-cement blocks, the block achieved a 34% lower thermal conductivity and 22.5% lower weight, and provided a very vivid color.

Finally, the new lightweight interlocking block mixed with paper pulp waste from the Kraft paper manufacturing industry can produce added value, reduce thermal conductivity, support waste management, and help save the environment.

คำสำคัญ (Keywords)

บล็อกก่อสร้างมวลเบา (Lightweight Block), ตะกอนเยื่อกระดาษ (Wastepaper Sludge), รีไซเคิลของเสีย (Recycling Waste), วัสดุก่อสร้างทางเลือก (Alternate Building Material)

1. บทนำ

วัสดุก่อสร้างในประเทศไทย เช่น อิฐมอญ บล็อกคอนกรีต และบล็อกดินผสมซีเมนต์ ต่างมีค่าการนำความร้อนสูงและมีน้ำหนักมาก เมื่อพิจารณาตามเกณฑ์มาตรฐานวัสดุสมัยใหม่ที่ใส่ใจด้านการอนุรักษ์พลังงานและสิ่งแวดล้อม

บล็อกประสานเป็นวัสดุก่อสร้างและตกแต่งสวนที่กำลังได้รับความนิยมเพิ่มมากขึ้น โดยเฉพาะในการประดับตกแต่งสวนทั้งแบบชั่วคราว และแบบถาวร บล็อกประสานผลิตจากส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ดินลูกรังและน้ำ บล็อกประสานยังคงมีคุณสมบัติบางอย่างที่ต้องปรับปรุง เช่น ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่มีค่าสูงถึง 1.4823 วัตต์ต่อเมตร เคลวิน มีน้ำหนักสูงถึง 5.6 กิโลกรัมต่อก้อน และมีผิวสีน้ำตาลเพียงสีเดียวที่ได้จากส่วนผสมของดินลูกรัง จึงทำให้มีผู้วิจัยพยายามพัฒนาวัสดุทดแทนวัสดุเดิมโดยใช้วัสดุเหลือใช้ทั้งทางอุตสาหกรรมและทางการเกษตรกรรมเป็นวัสดุมวลรวม น้ำหนักเบาและมีค่าการนำความร้อนต่ำ เช่น สมิตร์ และปริญญา (2549) ได้ศึกษาการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากวัสดุเหลือใช้จากอุตสาหกรรม 3 ประเภท ได้แก่ แก้วลอย กากแคลเซียมคาร์ไบด์ และตะกอนเหล็ก โดยมีการใช้ปริมาณปูนซีเมนต์ที่น้อย แก้วลอย และกากแคลเซียมคาร์ไบด์ ปูนซีเมนต์ใช้เป็นวัสดุประสานในอัตราส่วนการแทนที่ร้อยละ 50 70 และ 100 ของปริมาตรช่องว่างของมวลรวมโดยมีอัตราส่วนปูนซีเมนต์ต่อแก้วลอยต่อกากแคลเซียมคาร์ไบด์ 2 อัตราส่วน คือ 10-70-20 และ 5-60-35 พบว่า ความหนาแน่นของวัสดุมีค่าอยู่ในช่วงระหว่าง 1192.52 ถึง 1757.70 กก./ม³ ส่วนกำลังอัดของบล็อกจะมีค่ามากกว่า 25 กก./ซม² ซึ่งเป็นไปตามเกณฑ์ของ มอก. 58-2530 ในทุกอัตราส่วนผสมเมื่อตัวอย่างมีอายุมากกว่า 28 วัน การดูดกลืนน้ำของบล็อกมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 13.86 ถึง 20.62 ในทุกอัตราส่วนผสม นอกจากนี้ ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตที่ได้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำมาก คือมีค่าอยู่ระหว่าง 0.133 ถึง 0.190 วัตต์ต่อเมตรต่อองศาเซลเซียส และยังไม่พบสารชะละลายที่มากไปกว่าเกณฑ์มาตรฐานตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 6-2540 อีกด้วย

Kanchanason และคณะ (2001) ได้ศึกษาชนิดของวัสดุที่มีองค์ประกอบเซลลูโลสผลิตวัสดุผสมซีเมนต์

โดยทดสอบค่าการนำความร้อนของวัสดุ พบว่า การเพิ่มเซลลูโลสจะส่งผลให้ค่าการนำความร้อนของวัสดุต่ำลง และน้ำหนักของซีเมนต์เพสต์จะต่ำลงด้วย ต่อมา Khadari, Suttisonk, Pratinthong & Hirunlabh (2001) ได้ทำการศึกษาการใช้เส้นใยมะพร้าวและเส้นใยทุเรียนเป็นส่วนผสมในทรายและซีเมนต์ เพื่อผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ ผลการศึกษาพบว่าการใช้เส้นใยจากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรมาใช้เป็นส่วนผสมในวัสดุก่อสร้างจะช่วยลดค่าการนำความร้อนและลดน้ำหนัก (ความหนาแน่น) ของวัสดุลงได้ และหลังจากนั้น Khadari, Watsanasathaporn & Hirunlabh (2005) ยังได้ใช้เส้นใยมะพร้าวผสมกับดินลูกรัง และซีเมนต์ ผลิตเป็นบล็อกประสานเพื่อพัฒนาคุณสมบัติของบล็อกให้มีประสิทธิภาพในการป้องกันความร้อนที่ดีขึ้น ผลการศึกษา พบว่า การเพิ่มเส้นใยมะพร้าวในส่วนผสมจะช่วยให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำลง และมีความหนาแน่นของวัสดุลดลงด้วย แต่สีผิวของวัสดุที่เปลี่ยนแปลงไปยังคงไม่ได้รับการพิจารณา

นอกจากการใช้ประโยชน์จากวัสดุเหลือใช้ทางการเกษตรแล้วยังมีวัสดุเหลือทิ้งทางด้านอุตสาหกรรมอีกจำนวนมากที่ต้องการนำไปใช้ประโยชน์เพื่อลดค่าใช้จ่ายในการบริหารจัดการและเพิ่มมูลค่า เมื่อเราพิจารณาโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูกที่มีวัสดุเหลือทิ้งที่เป็นกากตะกอนเยื่อกระดาษที่มีปริมาณมากถึง 1 ตันต่อวันที่ต้องนำไปฝังกลบและเผาทำลาย จึงเกิดแนวคิดในการนำกากตะกอนเยื่อกระดาษเหลือนี้มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุก่อสร้าง ซึ่งกากตะกอนเยื่อกระดาษเหลือทิ้งเหล่านี้มีขนาดเส้นใยที่เล็กมากหรือที่เรียกกันว่า “เยื่อเยื่อ” มีองค์ประกอบของเซลลูโลสและลิกนินเป็นส่วนใหญ่ เยื่อนี้มีความหนาแน่นต่ำและมีคุณสมบัติเป็นฉนวนกันความร้อนได้ดี หากนำมาใช้เป็นส่วนผสมเพื่อผลิตเป็นวัสดุก่อสร้างมวลเบาได้ก็น่าจะเป็นการลดภาระค่าใช้จ่ายในการกำจัด ลดปัญหาด้านสิ่งแวดล้อม และเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งอีกด้วย

วัตถุประสงค์ของการศึกษานี้เป็นการพัฒนาวัสดุก่อสร้างโดยใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษเป็นส่วนผสมเพื่อผลิตวัสดุก่อสร้างมวลเบาที่มีค่าการนำความร้อนต่ำ โดยทำการค้นหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมในการผลิตบล็อกประสานชนิดใหม่ โดยทำการทดสอบคุณสมบัติการรับแรงอัด การดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2. วัตถุดิบและวิธีการทดสอบ

2.1 วัตถุดิบและอัตราส่วนผสม

- ปูนซีเมนต์ประเภท I ผลิตได้ตามมาตรฐาน มอก. 15 เล่ม 1-2553 (ASTM C 150-89)
- ดินลูกรังในจังหวัดอุทัยธานี ร้อนผ่านตะแกรง 2.38 มิลลิเมตร
- ทราายแม่น้ำ ร้อนผ่านตะแกรง 2.38 มิลลิเมตร
- ผงสีแดง (red iron oxide pigment) เบอร์ KSM 5131
- น้ำประปา
- กากตะกอนเยื่อกระดาษจากโรงงานผลิต กระดาษลูกฟูก ก่อนนำมาใช้เป็นวัสดุผสม จะต้องนำปรับค่า PH 6 แล้วนำกากตะกอน ใส่ตะแกรงตากแดดพอร่มแล้วตรวจสอบ ความชื้น

2.2 การผลิตชิ้นทดสอบ

ในการศึกษานี้เป็นการศึกษาอัตราส่วนผสมในการผลิตบล็อกประสานที่แตกต่างกันจำนวน 8 อัตราส่วน ดังแสดงในตารางที่ 1 โดยใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งในส่วนผสมของวัตถุดิบเดิม (C1-C4) ที่ใช้ผลิตบล็อกประสาน และใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งในส่วนผสมของวัตถุดิบใหม่ (N1-N4) โดยมีขั้นตอนการผลิตชิ้นทดสอบ ดังนี้

ขั้นการเตรียมชิ้นทดสอบเริ่มจากการชั่งน้ำหนัก วัตถุดิบต่าง ๆ ตามอัตราส่วนที่ต้องการในตารางที่ 1 นำ กากตะกอนเยื่อกระดาษที่เตรียมไว้มาผสมกับส่วนผสม ทั้งหมดคลุกเคล้าให้เข้ากันด้วยสว่านไฟฟ้าที่มีใบพัด โลหะประมาณ 3 นาที แล้วใส่น้ำตามอัตราส่วนที่กำหนด ผสมด้วยสว่านไฟฟ้าที่มีใบพัดโลหะอีกประมาณ 3 นาที เมื่อส่วนผสมเข้ากันได้ดีแล้ว จึงนำไปเทลงในแบบแม่พิมพ์ กดอัดและปาดผิวให้เรียบทิ้งไว้ 3 ชั่วโมง จึงถอดแบบแม่พิมพ์ออก นำไปบ่มในที่ร่ม เมื่อครบ 28 วันจึงนำไปทดสอบ นำผลมาเปรียบเทียบกับอัตราส่วนที่เหมาะสมโดยคำนึงถึงมาตรฐานการรับแรงอัดเป็นเกณฑ์เบื้องต้น

นำอัตราส่วนผสมที่เหมาะสมมาผลิตบล็อก ประสานขนาด 12.5x25x10 เซนติเมตร อย่างละ 5 ก้อน โดยวิธีการหล่อขึ้นรูป 2 แบบ คือ แบบไม่ใช้เครื่องอัด และแบบใช้เครื่องอัดบล็อกมือ CINVA-Ram (แรงกด ประมาณ 1.0 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร) บ่มบล็อก

ตารางที่ 1 อัตราส่วนผสมที่ใช้ในการผลิตชิ้นทดสอบ

สัญลักษณ์ของวัสดุทดสอบกลุ่มหนึ่ง	อัตราส่วนผสม (โดยน้ำหนัก)	
	ปูนซีเมนต์:ดินลูกรัง:เยื่อกระดาษ	
C1	1 : 5 : 0.0	
	อัตราส่วนอ้างอิง	
C2	1 : 5 : 0.3	
C3	1 : 5 : 0.6	
C4	1 : 5 : 0.9	
สัญลักษณ์ของวัสดุทดสอบกลุ่มสอง	ปูนซีเมนต์:ทราาย:ผงสี:เยื่อกระดาษ	
N1	1 : 5 : 0.02 : 0.0	
N2	1 : 5 : 0.02 : 0.3	
N3	1 : 5 : 0.02 : 0.6	
N4	1 : 5 : 0.02 : 0.9	

อัตราส่วนของน้ำเท่ากับ 1 เท่าของน้ำหนักซีเมนต์

ต้นแบบในที่ร่ม เมื่อครบ 28 วันจึงนำไปทดสอบการรับแรงอัด ความหนาแน่น การดูดซึมน้ำและการสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

2.3 วิธีทดสอบ

การทดสอบชิ้นทดสอบจำนวนอย่างละ 3 ชิ้น ทดสอบในแต่ละอัตราส่วนผสมที่กำหนด บ่มในห้องเป็นเวลา 28 วัน ก่อนทดสอบค่าการรับแรงอัดตามมาตรฐาน ASTM C140-96b ทดสอบความหนาแน่นของวัสดุ น้ำหนัก และค่าการดูดซึมน้ำ ปฏิบัติตาม ASTM C-134-94 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนทดสอบตามมาตรฐาน JIS R2618

บล็อกประสานต้นแบบทดสอบตามเกณฑ์ มอก. 57-2530 จำนวนอย่างละ 5 ก้อน

3. ผลการศึกษาและอภิปรายผล

3.1 ผลการวิเคราะห์สารปนเปื้อนในเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง

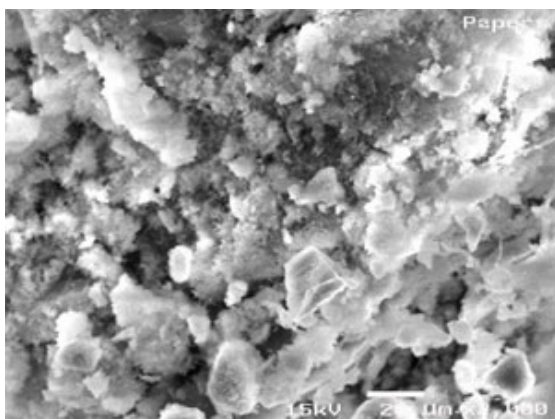
การศึกษาหาปริมาณสารโลหะหนักปนเปื้อนได้ ทำการทดสอบเพียง 5 ชนิด ตามสิ่งที่คาดว่าจะได้จะมีในปริมาณสูง โดยใช้วิธี Atomic Absorption Spectroscopy ผลการทดสอบพบว่ามีโลหะหนัก โครเมียม (IV) ในปริมาณ 9.639 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม แคลเดียมใน

ปริมาณ 0.125 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม พรอทในปริมาณ 0.655 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ตะกั่วในปริมาณ 5.585 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม และสารหนูในปริมาณ 1.497 มิลลิกรัมต่อกิโลกรัม ซึ่งถือว่าปริมาณสารโลหะหนักปนเปื้อนทั้งหมดต่ำกว่าเกณฑ์ควบคุมการใช้สารเคมีในผลิตภัณฑ์ตามข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่งและอุตสาหกรรมเครื่องเรือน (TGL-41-R1-11)

3.2 ความหนาแน่นของดินลูกรังและดินทราย

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของดินลูกรังพบว่า มีค่าเท่ากับ 125 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ความหนาแน่นของดินทรายเท่ากับ 137 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร ค่าความหนาแน่นของดินลูกรังต่ำกว่าดินทรายประมาณร้อยละ 9 ซึ่งสามารถอธิบายได้ว่าลักษณะของดินทรายมีการจับตัวเป็นก้อนอัดแน่นกว่าดินลูกรัง เนื่องจากดินทรายมีค่าความหนาแน่นจำเพาะที่สูงกว่าดินลูกรัง

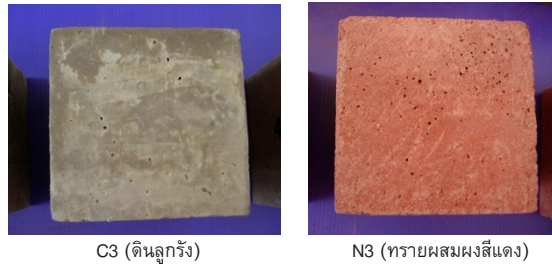
เมื่อนำชั้นทดสอบมาทำการส่องดูโครงสร้างภายในวัสดุผสมเยื่อกระดาษเหลือทิ้ง พบว่า มีช่องว่างอากาศขนาดเล็กจำนวนมาก ซึ่งน่าจะเกิดขึ้นจากการเรียงตัวของเส้นใยในทิศทางที่ไม่แน่นอนจึงทำให้เกิดโพรงเล็ก ๆ จำนวนมาก ดังรูปที่ 1 ซึ่งส่งผลให้ชั้นทดสอบที่มีเยื่อกระดาษเหลือทิ้งผสมอยู่มีค่าความหนาแน่นที่ต่ำลง ซึ่งสอดคล้องกับรายงานการวิจัยของ Khedari et al., (2001)



รูปที่ 1 ภาพขยายของโครงสร้างภายในชั้นทดสอบโดยการส่องกล้อง (SEM, 2000x)

3.3 ผลการศึกษาลักษณะสีผิวชั้นทดสอบ

การนำวัตถุดินทรายผสมผงสีแดง (Red iron oxide) ร้อยละ 2 ของน้ำหนักซีเมนต์ พบว่า ลักษณะของเนื้อวัสดุจะมีสีแดงที่เด่นชัดกว่า วัสดุผสมดินลูกรังเดิม ดังรูปที่ 2



รูปที่ 2 ลักษณะของพื้นผิวและสีของชั้นทดสอบ

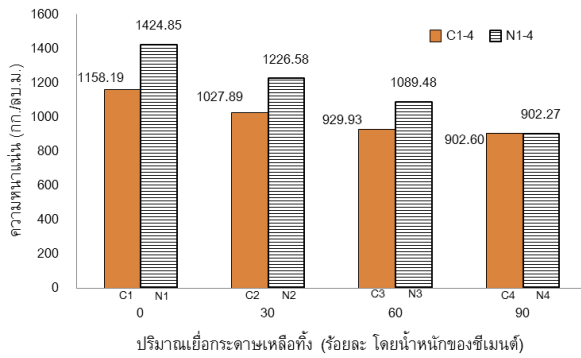
จากการทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของชั้นทดสอบ สามารถนำมาแสดงผลได้ดังตารางที่ 2

ตารางที่ 2 ผลการทดสอบคุณสมบัติของชั้นทดสอบทั้งหมด

สัญลักษณ์ชั้นทดสอบ	ค่าความหนาแน่น (กก./ม. ³)	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตรเคลวิน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ซม. ²)
C1	1158.19	0.912	63.71
C2	1027.89	0.726	31.40
C3	929.93	0.537	24.46
C3	902.60	0.346	21.17
N1	1424.85	0.955	70.83
N2	1226.58	0.833	36.82
N3	1089.48	0.584	24.59
N4	902.27	0.363	22.24

3.4 อิทธิพลของปริมาณเยื่อกระดาษที่มีผลต่อความหนาแน่นและการรับแรงอัด

ผลการศึกษาค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบดังแสดงในรูปที่ 3 แสดงให้เห็นว่า เมื่อปริมาณเยื่อกระดาษในวัสดุผสมเพิ่มมากขึ้นจากร้อยละ 0 30 60 และ 90 ตามลำดับ



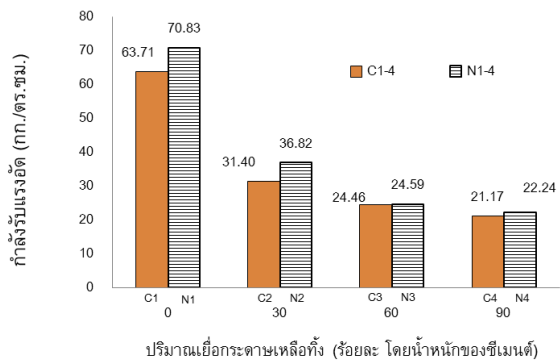
รูปที่ 3 ปริมาณเถ้าที่เพิ่มซึ่งมีผลต่อความหนาแน่นของชั้นทดสอบ

ผลการทดสอบกลุ่มวัสดุผสมลูกรัง (C1-C4) โดยอ้างอิงชั้นทดสอบที่ C1 พบว่า เมื่อเพิ่มปริมาณส่วนผสมของเถ้าจะเพิ่มความหนาแน่นของชั้นทดสอบต่ำลงร้อยละ 11.3 (C2) 19.7 (C3) และ 22.1 (C4) ตามลำดับ ชั้นทดสอบที่ C4 มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด

ผลการทดสอบกลุ่มวัสดุผสมทราย (N1-N4) โดยอ้างอิงชั้นทดสอบที่ N1 พบว่า เมื่อเพิ่มส่วนผสมของเถ้าจะเพิ่มความหนาแน่นของชั้นทดสอบต่ำลงร้อยละ 13.9 (N2) 23.5 (N3) และ 36.7 (N4) ตามลำดับ ชั้นทดสอบที่ N4 มีค่าความหนาแน่นต่ำสุด

สามารถอธิบายได้ว่าอิทธิพลของปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น ทำให้ความหนาแน่นของชั้นทดสอบต่ำลง เนื่องจากเถ้าเป็นวัสดุที่มีน้ำหนักเบาและมีความหนาแน่นต่ำ

ผลการเปรียบเทียบค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบ พบว่า วัสดุผสมดินลูกรังชั้นทดสอบที่ C1 มีค่าความหนาแน่นต่ำกว่าวัสดุผสมดินทราย ชั้นทดสอบ N1 ประมาณร้อยละ 18.7 เนื่องจากดินลูกรังมีค่าความหนาแน่นจำเพาะต่ำกว่า จึงส่งผลให้มีค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบที่ต่ำ

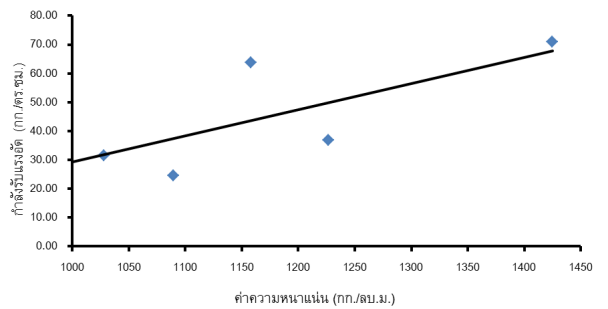


รูปที่ 4 ปริมาณเถ้าที่เพิ่มซึ่งมีผลต่อกำลังรับแรงอัดของชั้นทดสอบ

ผลการทดสอบกำลังรับแรงอัดของชั้นทดสอบพบว่า การเพิ่มปริมาณเถ้าจะส่งผลให้ค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบต่ำลง เนื่องจากคุณสมบัติของเถ้าที่สามารถรับแรงอัดและแรงดึงได้ต่ำ เมื่อปริมาณเถ้าเพิ่มมากขึ้นจะทำให้การต้านทานกำลังรับแรงอัดต่ำลง

เมื่อพิจารณาค่าความหนาแน่นของวัสดุและกำลังรับแรงอัดของชั้นทดสอบดังรูปที่ 5 พบว่า เมื่อค่าความหนาแน่นต่ำลงจะส่งผลให้กำลังรับแรงอัดต่ำลงด้วย เมื่อนำข้อกำหนดกำลังรับแรงอัดของบล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนักตาม มอก.58-2530 ที่กำหนดให้กำลังรับแรงอัดต้องไม่ต่ำกว่า 25 กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร มาเปรียบเทียบ พบว่า ทั้งกลุ่มวัสดุผสมดินลูกรังชั้นทดสอบที่ C1 และ C2 และกลุ่มวัสดุผสมดินทราย ผงสี ชั้นทดสอบที่ N1 และ N2 ผ่านเกณฑ์ที่กำหนดไว้

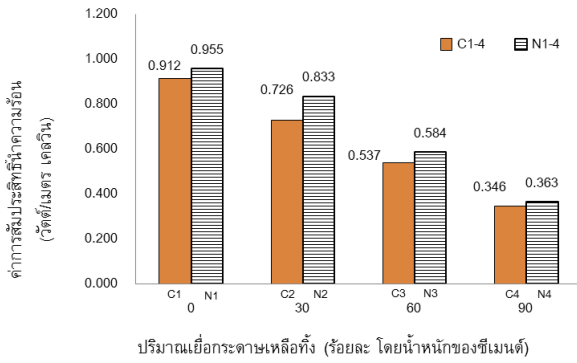
เมื่อนำความสัมพันธ์ของกำลังรับแรงอัดที่ผ่านเกณฑ์และมีค่าความหนาแน่นต่ำมาพิจารณาหาอัตราส่วนผสมที่เหมาะสม พบว่า อัตราส่วนผสมของปริมาณเถ้าที่ร้อยละ 30 ของน้ำหนักซีเมนต์เหมาะสมที่จะนำมาผลิตเป็นบล็อกประสานต้นแบบเพื่อทดสอบต่อไป



รูปที่ 5 ค่าความหนาแน่นและกำลังรับแรงอัดของชั้นทดสอบ

3.5 อิทธิพลของปริมาณเถ้าที่มีผลต่อความหนาแน่นและค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของชั้นทดสอบต่ำลงเมื่อปริมาณเถ้าที่เพิ่มขึ้น ดังแสดงในรูปที่ 6 เนื่องจากเถ้ามีคุณสมบัติการเป็นฉนวนป้องกันความร้อนที่ดี เมื่อเพิ่มปริมาณเถ้าในส่วนผสมจะทำให้สัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำลง



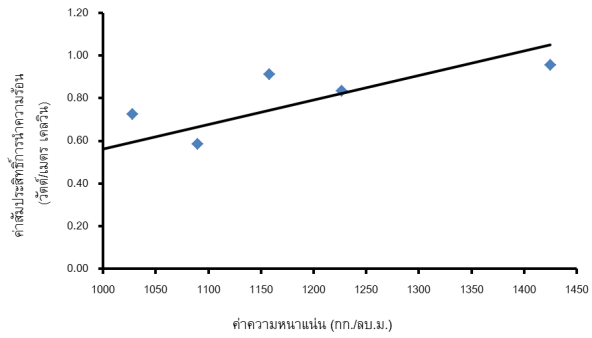
รูปที่ 6 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและปริมาณเยื่อกระดาษของชั้นทดสอบ

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของกลุ่มวัสดุผสมดินลูกรัง (C1-C4) มีค่าต่ำกว่ากลุ่มวัสดุผสมดินทราย (N1-N4) ขณะที่ปริมาณเยื่อกระดาษเท่ากัน เนื่องจากวัสดุผสมดินลูกรังมีความหนาแน่นที่ต่ำและมีโพรงอากาศขนาดเล็กจำนวนมากจึงส่งผลให้มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำกว่าวัสดุผสมดินทราย

ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนกับค่าความหนาแน่นของชั้นทดสอบมาพิจารณา ดังรูปที่ 7 พบว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้นตามค่าความหนาแน่นของวัสดุ เนื่องจากผลของการเพิ่มเยื่อกระดาษที่เป็นฉนวนกันความร้อนและมีน้ำหนักเบาส่งผลให้ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความหนาแน่นของชั้นทดสอบลดลง จึงสามารถสรุปได้ว่า ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแปรผกผันตามค่าความหนาแน่นของวัสดุ (Khadari et al., 2001, pp. 65-70)

3.6 ผลการเปรียบเทียบบล็อกก่อสร้างต้นแบบกับวัสดุก่อสร้างในท้องตลาด

เมื่อนำอัตราส่วนที่คัดเลือก N2 คือ อัตราส่วน (ปูนซีเมนต์:ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) 1:5:0.02:0.3 มาผลิตบล็อกประสานทั้งแบบไม่ใช้เครื่องอัดและแบบใช้เครื่องอัดแบบมือโยก (Cinva-Ram) ด้วยแรงอัด



รูปที่ 7 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนและความหนาแน่นของชั้นทดสอบ

ประมาณ 1.0 เมกะนิวตันต่อตารางเมตร ผลิตบล็อกประสานขนาด 12.5x25x10 เซนติเมตร แล้วนำมาทดสอบสมบัติทางกายภาพ ทางกล และสัมประสิทธิ์การนำความร้อน จำนวนอย่างละ 5 ชั้นทดสอบเปรียบเทียบกับวัสดุก่อ สร้างที่จำหน่ายในท้องตลาด ดังแสดงในตารางที่ 3 พบว่า บล็อกประสานที่ใช้เครื่องอัดแบบมือโยกจะมีกำลังแรงอัดเพิ่มขึ้นสองเท่า มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพิ่มขึ้นร้อยละ 12 และค่าความหนาแน่นเพิ่มขึ้นร้อยละ 14.8

เมื่อเปรียบเทียบบล็อกประสานต้นแบบชนิดใหม่กับบล็อกประสานทั่วไปในท้องตลาด พบว่า บล็อกชนิดใหม่มีข้อดี คือ มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนต่ำ มีน้ำหนักเบา และมีสีผิวที่เข้ม นอกจากนั้นยังสามารถเพิ่มสีผิววัสดุได้หลากหลายจากการเติมผงสี ดังแสดงในรูปที่ 8



รูปที่ 8 ลักษณะบล็อกประสานเดิมเปรียบเทียบกับบล็อกประสานจากวัสดุใหม่

ตารางที่ 3 สมบัติของวัสดุก่อสร้างต้นแบบและวัสดุก่อสร้างในท้องตลาด

ชนิดของวัสดุ	รายการ	น้ำหนักต่อหน่วย (กิโลกรัม)	ความหนาแน่น (กก./ลบ.ม.)	สัมประสิทธิ์การนำความร้อน (วัตต์/เมตร เคลวิน)	กำลังรับแรงอัด (กก./ตร.ซม.)
บล็อกประสาน ที่จำหน่ายในท้องตลาด	ทั่วไป	5.63	1913.40	1.481	79.79
บล็อกประสาน อัดโดยเครื่องอัดมือโยก	N2	4.37	1482.20	1.042	68.60
บล็อกประสาน ไม่ใช้เครื่องอัด	N2	3.72	1262.68	0.917	33.68

แม้ว่ากำลังรับแรงอัดของบล็อกประสานชนิดใหม่
นี้มีค่าต่ำกว่าบล็อกประสานทั่วไปในท้องตลาด แต่กำลัง
รับแรงอัดของบล็อกประสานทั้งหมดผ่านเกณฑ์ มอก.
58-2530 บล็อกคอนกรีตชนิดไม่รับน้ำหนัก และผ่าน
เกณฑ์ มพข. 602/ 2547 บล็อกประสานชนิดไม่รับ
น้ำหนัก

4. สรุปผลการศึกษา

จากการศึกษาความเป็นไปได้ในการใช้เยื่อ
กระดาษเหลือทิ้งจากโรงงานผลิตกระดาษลูกฟูก เพื่อนำ
มาใช้เป็นส่วนผสมในการผลิตวัสดุก่อสร้างและตกแต่ง
สามารถสรุปได้ว่า

- เยื่อกระดาษเหลือทิ้งสามารถนำมาใช้เป็น
วัสดุเติมในการผลิตวัสดุก่อสร้างได้ ช่วยทำให้มีค่าความ
หนาแน่นและน้ำหนักต่ำลง ส่งผลให้มีประสิทธิภาพใน
การป้องกันความร้อนได้มากขึ้น

- การใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งเป็นส่วนผสมเพิ่ม
ในกลุ่มวัสดุผสมปูนซีเมนต์และดินลูกรัง มีค่าความหนา
แน่นและกำลังรับแรงอัดต่ำกว่า กลุ่มวัสดุผสมปูนซีเมนต์
ทราย และผงสี

- ลักษณะสีผิวที่ได้จากกลุ่มวัสดุผสมดินลูกรัง
มีสีผิวน้ำตาลอมเทา ส่วนกลุ่มวัสดุผสมปูนซีเมนต์
ทราย ผงสี และเยื่อกระดาษมีสีแดงที่สดกว่า ดังนั้น การ
ใช้ผงสีเป็นส่วนผสมจะทำให้ได้จำนวนสีที่หลากหลายน
มากขึ้น กว่าการใช้สีน้ำตาลจากดินลูกรัง

- อัตราส่วนที่เหมาะสมในการนำไปใช้ในผลิต
บล็อกประสานต้นแบบ คือ อัตราส่วน (ซีเมนต์:ดิน
ทราย:ผงสี:เยื่อกระดาษ) 1:5:0.02:0.3 โดยใช้เครื่อง
อัดมือโยก (CINVA-RAM) ด้วยแรงอัดประมาณ 1.0
เมกะนิวตันต่อตารางเมตร มีค่าความหนาแน่นเท่ากับ

1482.20 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ค่าสัมประสิทธิ์
การนำความร้อนเท่ากับ 1.0424 วัตต์/เมตร เคลวิน
และมีกำลังรับแรงอัดเท่ากับ 68.60 กิโลกรัม/ตาราง
เซนติเมตร

- เมื่อเปรียบเทียบคุณสมบัติบล็อกประสาน
ทั่วไปจากดินลูกรังผสมซีเมนต์กับบล็อกประสานชนิด
ใหม่ที่ใช้เครื่องอัดมือโยก พบว่า บล็อกประสานต้นแบบ
มีค่าความหนาแน่นลดลงร้อยละ 22.5 และมีค่าการ
นำความร้อนต่ำลงร้อยละ 34

ดังนั้น การใช้เยื่อกระดาษเหลือทิ้งจากโรงงาน
ผลิตกระดาษลูกฟูกเป็นวัสดุผสมในการผลิตวัสดุ
ก่อสร้างและตกแต่งเป็นอีกหนึ่งทางเลือกที่น่าสนใจใน
การจัดการเพื่อเพิ่มมูลค่าของวัสดุเหลือทิ้งและช่วยลด
มลภาวะด้านสิ่งแวดล้อม

กิตติกรรมประกาศ

สถาบันวิจัยวิทยาศาสตร์และเทคโนโลยีแห่ง
ประเทศไทย และสถาบันวิจัยและพัฒนา มหาวิทยาลัย
เทคโนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนด้านงบประมาณ
คณะสถาปัตยกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทค-
โนโลยีราชมงคลธัญบุรี ที่สนับสนุนและอำนวยความสะดวก

คณะครุศาสตร์และเทคโนโลยีอุตสาหกรรม และ
คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชม-
งคลธัญบุรี ที่ให้ความอนุเคราะห์ด้านเครื่องมือทดสอบ

ขอขอบพระคุณ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. ปัญญา
ศรีจันทร์ ผู้ช่วยศาสตราจารย์ ดร. นุชชญา พูลทอง
และดร.นันทน์ ถาวรังกูร คณะพลังงานสิ่งแวดล้อมและ
เทคโนโลยีวัสดุ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้า
ธนบุรี ที่ให้คำแนะนำ

References

- วุฒินัย กกก้าแหง และวิทยา วุฒิจำนงค์. (2550). *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 12 เรื่อง การประยุกต์ใช้ขยะในการผลิตบล็อกประสาน*. พิษณุโลก: สมาคมวิศวกรรมสถานแห่งประเทศไทย ในพระบรมราชูปถัมภ์ ภาควิชาโยธา มหาวิทยาลัยนเรศวร.
- สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย. (2554). *ข้อกำหนดฉลากเขียวสำหรับแผ่นอัดสำหรับงานอาคาร ตกแต่ง และอุตสาหกรรมเครื่องเรือน*. กรุงเทพฯ: สำนักงานเลขานุการโครงการฉลากเขียว สถาบันสิ่งแวดล้อมไทย และสำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม.
- สมิตร ส่งพิริยะกิจ และปริญญา จินดาประเสริฐ. (2549). *เอกสารประกอบการประชุมวิชาการเทคโนโลยี และนวัตกรรมสำหรับการพัฒนาอย่างยั่งยืน เรื่อง การผลิตอิฐมวลเบาจากวัสดุรีไซเคิล* (น. 586-589). ขอนแก่น: คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยขอนแก่น.
- สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม. (2530). *คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก มอก. 58-2530*. กรุงเทพฯ: สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม กระทรวงอุตสาหกรรม.
- Dasgupta, S., & Das, K. S. (2002). Paper pulp waste— a new source of raw material for the synthesis of a porous ceramic composite. *Bulletin of Materials Science*, 25(5), 381-385.
- Folorunso, O. P., & Anyata, B. U. (2007). Potential Use of Waste Paper/Sludge as a Ceiling Board Material. *Research Journal of Applied Sciences*, 2(5), 584-586.
- Khedari, J., Suttisonk, B., Pratinthong, N., & Hirunlabh, J. (2001). New lightweight composite construction materials with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 23(1), 65-70.
- Khedari, J., Watsanasathaporn, P., & Hirunlabh, J. (2005). Development of fibre-based soil-cement block with low thermal conductivity. *Cement and Concrete Composites*, 27(1), 111-116.
- Kima, S., Kimb, H. J., & Parkc, J. C. (2009). Application of recycled paper sludge and biomass materials in manufacture of green composite pallet. *Resources, Conservation and Recycling*, 53(12), 674-679.
- Lertsutthiwong, P., Khunthon, S., Siralermukul, K., Noomun, K., & Chandkrachang, S. (2008). New insulating particleboards prepared from mixture of solid wastes from tissue paper manufacturing and corn peel. *Bioresource Technology*, 99(11), 4841-4845.
- Soroushian, P., Shah, Z., & Won, J. P. (1995). Optimization of Wastepaper Fiber-Cement Composites. *Materials Journal*, 92(1), 88-92.