บล็อกประสานมวลเบาบดเป็นมวลรวมสำหรับการผลิตบล็อกใหม่: หนทางสู่เศรษฐกิจหมุนเวียน
The Possible Use of Crushed Interlocking Lightweight Concrete Blocks as The Aggregate in Production of New Lightweight Concrete Blocks: A Way Towards Circular Economy

วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์[1,*] และ สมบัติ โพชนา[2]

[1,2] สาขาวิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยศรีปทุม กรุงเทพฯ
**Corresponding author; E-mail address: warisara.le@spu.ac.th*

บทคัดย่อ

วัสดุมวลรวม (Aggregate) เป็นวัสดุธรรมชาติที่ใช้มากที่สุดในการก่อสร้าง และความต้องการใช้เพิ่มมากขึ้นตามการขยายตัวของเมือง ทำให้เกิดปัญหาความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อม นอกจากนี้ยังมีปัญหาการจัดการขยะที่ทุกประเทศกำลังเผชิญ เพื่อลดปัญหาทั้งสองนี้จึงมีแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular Economy) ที่มุ่งเน้นการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่าและส่งผลกระทบต่อสิ่งแวดล้อมน้อยที่สุด วิธีการหนึ่งที่สามารถทำได้คือนำผลิตภัณฑ์ที่เลิกใช้แล้วกลับไปเป็นวัตถุดิบในการผลิตใหม่ งานวิจัยนี้จึงศึกษาความเป็นไปได้ของนำคอนกรีตบล็อกมวลเบา (ชนิด C10) ที่เสียหายจากกระบวนการผลิตของโรงงานที่เป็นกรณีศึกษา นำมาบดเพื่อใช้เป็นมวลรวมรีไซเคิลทดแทนทรายในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาใหม่ โดยใช้สูตรผสมที่ต่างกัน พบว่า บล็อกที่บดแล้วมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับทรายแม่น้ำทั่วไปแต่มีอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าทรายแม่น้ำ เมื่อนำไปผสมเป็นบล็อกมวลเบาใหม่ (ชนิด C12) พบว่า ทุกอัตราส่วนผสมมีค่าความต้านแรงอัดที่อายุการบ่ม 28 วัน อยู่ระหว่าง 27-39 kg/cm^2 ซึ่งสูงกว่าความต้านแรงอัดตาม มอก.2601-2556 กำหนด ส่วนค่าการดูดซึมน้ำส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์ มีเพียง 1 สูตรผสมที่ไม่ผ่านเกณฑ์ แต่ค่าความหนาแน่นเกือบทุกสูตรผสมสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน นั่นคืออยู่ในช่วง 1,166-1,423 kg/m^3 ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นบล็อกมวลเบาชนิด C12

คำสำคัญ: คอนกรีตบล็อกมวลเบารีไซเคิล, เศรษฐกิจหมุนเวียน, วัตถุดิบรีไซเคิล

Abstract

The aggregate are the natural materials most used in construction. The demand for use increases with the urbanization causing environmental sustainability problems. There is also a waste management problem that all countries are facing. To mitigate these two problems, the circular economy was introduced, which focuses on the efficient use of natural resources with minimal impact on the environment. One possible way to do this is to recycle used products as raw materials for production. Therefore, this research was to study the potential of cellular lightweight concrete blocks (CLC) type C10 damaged from the manufacturing process. They were crushed and used as recycled aggregate, replacing sand, in the production of new CLC with different mix formulas. It was found that the crushed blocks had a specific gravity similar to that of normal river sand but had a higher water absorption rate than that of river sand. The new CLC (Type C12) were found that the compressive strength of all mix formulas, at the curing age of 28 days, ranging from 27-39 kg/cm^2, which were higher than the standard, TIS.2601-2556. The percent water absorption of most mix formulas, except only one, passed the criteria. But the density values of almost all formulas were in the range of 1,166-1,423 kg/m^3, which were higher than the C12-type CLC density.

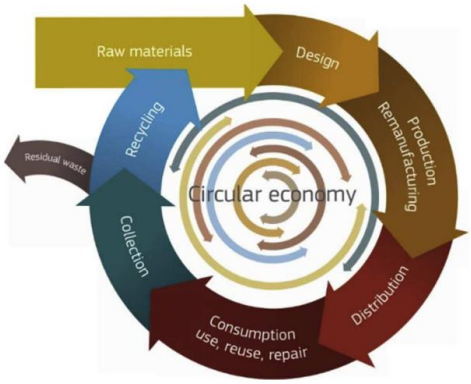
Keywords: recycled lightweight concrete block, circular economy, recycled raw materials

1. บทนำ

เป็นที่ทราบกันดีว่าทรัพยากรธรรมชาติถูกใช้เพิ่มขึ้นตามจำนวนประชากรที่เพิ่มขึ้น ซึ่งทรัพยากรธรรมชาติจำนวนมากถึงร้อยละ 32 ถูกใช้ในอุตสาหกรรมก่อสร้าง [1] วัสดุมวลรวม (Aggregate) เป็นวัสดุที่ใช้มากที่สุดในการก่อสร้างและเป็นวัตถุดิบที่มนุษย์นำมาใช้มากที่สุดเป็นอันดับสองรองจากน้ำ การใช้วัสดุเหล่านี้เพิ่มขึ้นสามเท่าในช่วงสองทศวรรษที่ผ่านมา โดยอยู่ที่ระหว่าง 40-50 พันล้านเมตริกตันต่อปี แนวโน้มนี้คาดว่าจะดำเนินต่อไปเนื่องจากความต้องการยังคงเพิ่มขึ้นเนื่องจากการขยายตัวของเมือง และแนวโน้มการพัฒนาโครงสร้างพื้นฐาน การหาแหล่งทรายและกรวดนั้นยากขึ้นเรื่อยๆ เนื่องจากปัญหาการเข้าถึง การยอมรับของสังคม และปัจจัยอื่นๆ ด้วยเหตุนี้แหล่งของทรายและกรวดจึงเปลี่ยนไปสู่สภาพแวดล้อมที่

เปราะบางมากขึ้นและจะส่งผลกระทบต่อระบบนิเวศเหล่านี้ เหตุการณ์เช่นนี้กำลังเกิดขึ้นทั่วโลก ทำให้เกิดปัญหาความยั่งยืนด้านสิ่งแวดล้อมและสังคมทั้งในระดับท้องถิ่นและระดับโลก [2] อันสืบเนื่องจากการใช้ประโยชน์จากธรรมชาติมากเกินไป

นอกจากปัญหาการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่มากเกินไปแล้ว ยังมีอีกปัญหาหนึ่งที่เป็นความท้าทายของทุกประเทศทั่วโลก นั่นคือการจัดการขยะ หากมีการพัฒนาอย่างยั่งยืนในด้านการจัดการของเสีย [3] เพื่อให้บรรลุสถานการณ์ที่ของเสียไม่ใช่ของเสียอีกต่อไป แต่เป็นวัตถุดิบ จะสามารถลดปัญหาการใช้พื้นที่ฝังกลบ ลดการใช้พลังงานในการปรับปรุงคุณภาพและกำจัดของเสีย และลดการใช้ทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้เป็นวัตถุดิบในการผลิตลงได้ [4] ซึ่งแนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน (Circular economy; CE) เป็นแนวคิดการดำเนินธุรกิจที่ปัจจุบันถูกนำมาใช้เพื่อตอบสนองต่อเป้าหมายคือการใช้ทรัพยากรธรรมชาติให้คุ้มค่าและเกิดประสิทธิภาพตามวัตถุประสงค์ของการดำเนินงานให้มากที่สุด โดยให้เกิดผลกระทบในเชิงลบต่อสิ่งแวดล้อมทั้งทางตรงและทางอ้อมให้น้อยที่สุด [5] โดยการลดทรัพยากรที่จะหนีออกจากวงกลม (ดังรูปที่ 1) ซึ่งแตกต่างจากระบบแบบเดิมที่เป็นเศรษฐกิจเส้นตรง (Linear economy) นั่นคือนำทรัพยากรมาผลิตสินค้า และเมื่อเลิกใช้แล้วจะถูกทิ้งไม่นำกลับมาใช้อีก



รูปที่ 1 กลยุทธ์เศรษฐกิจหมุนเวียน [6]

คอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า (Cellular lightweight concrete หรือ CLC) เป็นวัสดุทางเลือกที่นิยมนำมาใช้สำหรับก่อผนังทั้งภายในและภายนอกอาคารสำหรับโครงสร้างที่ไม่รับแรง [7]-[9] เนื่องจากมีคุณสมบัติคือ น้ำหนักเบา ดูดซึมน้ำได้น้อย มีความสามารถในการป้องกันความร้อน เสียง ทนไฟได้ดีกว่าคอนกรีตธรรมดา ซึ่งอุตสาหกรรมการผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าใช้เทคโนโลยีที่ประหยัด ได้ผลผลิตสูงเมื่อเทียบกับอัตราการลงทุน คืนทุนเร็ว จึงทำให้อัตราการเติบโตของอุตสาหกรรมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าในตลาดปัจจุบันค่อนข้างสูง

อย่างไรก็ตาม ในขั้นตอนผลิตคอนกรีตมวลเบาจะมีผลิตภัณฑ์ที่เสียหายจากขั้นตอนการผลิต เช่น รูปทรงไม่สมบูรณ์ แตกบิ่น หรือคุณภาพไม่ผ่านมาตรฐาน ซึ่งผลิตภัณฑ์ที่เสียหายเหล่านี้จะกลายเป็นขยะที่โรงงานต้องกำจัด ซึ่งนอกจากจะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการจ้างขนทิ้งแล้ว ยังเป็นการเพิ่มปริมาณขยะมูลฝอยที่จะต้องส่งไปยังหลุมฝังกลบ ซึ่งจากรายงานของกรมควบคุมมลพิษ [10] ระบุว่า ในปี พ.ศ.2563 ประเทศไทยมีปริมาณขยะมูลฝอยเกิดขึ้นประมาณ 27.35 ล้านตัน โดยขยะมูลฝอยจะถูกคัดแยก ณ ต้นทาง และนำกลับไปใช้ประโยชน์จำนวน 11.93 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 44 ของขยะมูลฝอยทั้งหมด สำหรับขยะมูลฝอยที่ถูกนำไปกำจัดอย่างถูกต้องมีปริมาณ 11.19 ล้านตัน หรือร้อยละ 41 และมีขยะมูลฝอยอีกประมาณ 4.23 ล้านตัน หรือคิดเป็นร้อยละ 15 ของปริมาณขยะมูลฝอยทั้งหมดที่ถูกนำไปกำจัดอย่างไม่ถูกต้อง เช่น การเทกอง การเผากลางแจ้ง รวมทั้งลักลอบทิ้งในที่ต่างๆ เมื่อพิจารณาถึงปริมาณขยะก่อสร้างจะพบว่าพื้นที่ฝังกลบของประเทศไทยมีปริมาณขยะก่อสร้างอยู่ประมาณร้อยละ 30-40 ของพื้นที่ฝังกลบ และยังมีการลักลอบทิ้งนอกพื้นที่ฝังกลบอีกเป็นจำนวนมาก เช่น ในกรุงเทพมหานครมีการประมาณการว่ามีขยะก่อสร้างถูกลักลอบทิ้งเป็นปริมาณ 300 ตันต่อวัน [11] ซึ่งสอดคล้องกับการศึกษาของสำนักยุทธศาสตร์และประเมินผล กรุงเทพมหานคร ได้ศึกษาการจัดการพบว่ามูลฝอยจากสิ่งก่อสร้างส่วนใหญ่ถูกลักลอบทิ้งด้วยตนเองในที่สาธารณะมากถึงร้อยละ 85 [12]

หากสามารถลดและนำของเสียมาใช้ประโยชน์ให้ได้มากที่สุดก่อนการกำจัดทิ้งในขั้นสุดท้ายตามแนวทางเศรษฐกิจหมุนเวียน จะเป็นการสนับสนุนการใช้ทรัพยากรอย่างมีประสิทธิภาพ (Resource Efficiency) การบริโภคอย่างยั่งยืน (Sustainable Consumption) และ การเพิ่มประสิทธิภาพการใช้ประโยชน์จากมูลฝอย [13] ซึ่งสอดคล้องกับเป้าหมายที่ 12 คือ บริโภคและผลิตอย่างมีความรับผิดชอบ ตามยุทธศาสตร์เป้าหมายการพัฒนาที่ยั่งยืน 17 ข้อ ขององค์การสหประชาชาติ (Sustainable Development Goals–SDGs) ซึ่งการพยายามใช้ซ้ำหรือนำกลับมาใช้ใหม่ของวัสดุจะมีประโยชน์หลายประการ เช่น ลดการทิ้งที่ผิดกฎหมาย ลดการใช้พื้นที่ฝังกลบ ลดการใช้พลังงานและลดการปล่อยก๊าซเรือนกระจก ลดการทำลายสิ่งแวดล้อม ประหยัดค่าใช้จ่าย [14]

การนำคอนกรีตมวลเบาที่เสียหายในขั้นตอนผลิตจนไม่สามารถขายเป็นผลิตภัณฑ์ได้ เข้าสู่กระบวนการรีไซเคิลเป็นวัสดุมวลรวม (มวลรวมรีไซเคิล หรือ recycled aggregates) แทนที่วัสดุมวลรวมธรรมชาติ (ทราย) เพื่อผลิตคอนกรีตมวลเบาใหม่ จะลดปริมาณการใช้วัตถุดิบประเภทใช้แล้วหมดจากธรรมชาติซึ่งเป็นผลดีต่อสิ่งแวดล้อม อย่างไรก็ตามจะต้องคำนึงถึงคุณสมบัติทางกายภาพของมวลรวมรีไซเคิลให้มีความเหมาะสม เพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณภาพตรงตามความต้องการ [15, 16] ดังนั้นงานวิจัยนี้จึงมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาความเป็นไปได้ของนำมวลรวมรีไซเคิลมาใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาให้มีคุณสมบัติตาม มอก.2601-2556 [17]

2. วิธีดำเนินงาน

2.1 กรณีศึกษา

กรณีศึกษาโรงงานผลิตคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่า ตั้งอยู่ในอำเภอปากเกร็ด จังหวัดนนทบุรี เป็นโรงงานที่เพิ่งก่อตั้ง และกำลังอยู่ในช่วงทดลองผลิต ผลิตภัณฑ์เป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบา ชนิด C10 ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2601-2556 ซึ่งมีคุณสมบัติดังแสดงในตารางที่

1 โดยโรงงานมีเป้าหมายในการผลิต 120,000 ก้อนต่อเดือน และคาดการณ์ว่าจะมีผลิตภัณฑ์ที่เสียหายในขั้นตอนการผลิตไม่เกินร้อยละ 2

2.2 การย่อยและคัดแยกขนาดเศษคอนกรีตบล็อกมวลเบา

นำผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาที่ไม่สามารถขายได้ มาทุบด้วยค้อนให้ขนาดเล็กลงก่อน แล้วใส่ลงในเครื่องบดน้ำแข็ง เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กสามารถนำไปใช้เป็นมวลรวมได้ (รูปที่ 2- รูปที่ 3) แล้วคัดแยกขนาดมวลรวมด้วยวิธีการวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C136 โดยมวลรวมที่จะนำมาใช้เป็นมวลรวมรีไซเคิลนั้นจะเป็นส่วนที่ลอดผ่านตะแกรง เบอร์ 4 โดยถือว่าเป็นมวลรวมละเอียด (Fine aggregates)

ตารางที่ 1 ชนิดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา และคุณลักษณะ ตามมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม มอก.2601-2556

ชนิด	คุณสมบัติทางกายภาพ		
	ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งเฉลี่ย (kg/m³)	ความต้านแรงอัดไม่น้อยกว่า (kg/cm²)	อัตราการดูดซึมน้ำไม่มากกว่า % (เศษส่วนโดยมวล)
C6	501 ถึง 600	20.4	25
C7	601 ถึง 700		
C8	701 ถึง 800		
C9	801 ถึง 900		
C10	901 ถึง 1000	25.5	23
C12	1001 ถึง 1200		
C14	1201 ถึง 1400	51	20
C16	1401 ถึง 1600		

2.3 การย่อยและคัดแยกขนาดเศษคอนกรีตบล็อกมวลเบา

นำผลิตภัณฑ์คอนกรีตมวลเบาที่ไม่สามารถขายได้ มาทุบด้วยค้อนให้ขนาดเล็กลงก่อน แล้วใส่ลงในเครื่องบดน้ำแข็ง เพื่อย่อยให้มีขนาดเล็กสามารถนำไปใช้เป็นมวลรวมได้ (รูปที่ 2- รูปที่ 3) แล้วคัดแยกขนาดมวลรวมด้วยวิธีการวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมด้วยตะแกรงร่อน (Sieve Analysis) ตามมาตรฐาน ASTM C136 โดยมวลรวมที่จะนำมาใช้เป็นมวลรวมรีไซเคิลนั้นจะเป็นส่วนที่ลอดผ่านตะแกรง เบอร์ 4 โดยถือว่าเป็นมวลรวมละเอียด (Fine aggregates)

2.4 ทดสอบคุณสมบัติของมวลรวมรีไซเคิล

2.4.1 หาค่าความถ่วงจำเพาะ และอัตราการดูดซึมน้ำ

ทดสอบหาค่าความถ่วงจำเพาะและอัตราการดูดซึมน้ำของมวลรวมรีไซเคิล (มวลรวมละเอียด) ตามมาตรฐาน ASTM C128 (Standard Test Method for Specific Gravity and Absorption of Fine Aggregate)

2.4.2 หาค่าหน่วยน้ำหนัก และช่องว่าง

หาค่าหน่วยน้ำหนัก และช่องว่างของมวลรวม ตามมาตรฐาน ASTM C29 (Standard Test Method for Bulk Density and Voids in Aggregate)

(ก) (ข)

รูปที่ 2 การทำให้คอนกรีตบล็อกมวลเบามีขนาดเล็กลง (ก) ขนาดของบล็อกมวลเบาที่ถูกทุบด้วยค้อน (ข) เครื่องบดน้ำแข็งที่ใช้ในการบดเศษบล็อกมวลเบา

รูปที่ 3 ขนาดของบล็อกมวลเบาหลังจากถูกบดด้วยเครื่องบดน้ำแข็ง

2.5 ออกแบบอัตราส่วนผสมคอนกรีตมวลเบาแบบเซลลูล่าที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลทดแทนทราย

ทดลองเพื่อหาอัตราส่วนผสมเบื้องต้นในการพัฒนาคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่ใช้มวลรวมรีไซเคิลทดแทนทราย ซึ่งจะเรียกว่า บล็อกมวลเบารีไซเคิล (recycled cellular lightweight concrete: RCLC) โดยมีเป้าหมายคือเพื่อให้ได้ผลิตภัณฑ์ที่มีคุณสมบัติตามบล็อกมวลเบาชนิด C12 โดยใช้อัตราส่วนน้ำต่อซิเมนต์ (W/C) ตั้งแต่ 0.3 ถึง 1.6 รวมเป็นอัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน 21 รูปแบบ

เมื่อผสมตามอัตราส่วนที่ออกแบบไว้เบื้องต้นแล้ว นำบล็อกมวลเบารีไซเคิลไปทดสอบคุณสมบัติต่างๆตามที่กำหนด และเลือกอัตราส่วนผสมที่ทำให้ได้บล็อกมวลเบาที่มีคุณสมบัติตามที่ต้องการมาทำการทดลองซ้ำอีกครั้งหนึ่ง ซึ่งในขั้นตอนนี้ จะเหลืออัตราส่วนผสมที่แตกต่างกัน 6 รูปแบบ ดังตารางที่ 2

2.6 ทดสอบคุณสมบัติของบล็อกมวลเบารีไซเคิล

หล่อบล็อกมวลเบารีไซเคิลในแม่แบบขนาด 10×10×10 ลูกบาศก์เซนติเมตร แล้วทดสอบคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ ความหนาแน่น และกำลังรับแรงอัด ตามมาตรฐาน BS EN 12390-3:2009

ตารางที่ 2 อัตราส่วนผสมของปูนซิเมนต์ มวลรวมรีไซเคิล และ W/C

ปูนซิเมนต์	W/C	มวลรวมรีไซเคิล
1	0.5	0.25
1	0.5	0.4
1	0.6	0.25
1	0.6	0.4
1	0.6	0.7
1	0.6	1

3. ผลการดำเนินงานและการวิเคราะห์ผล

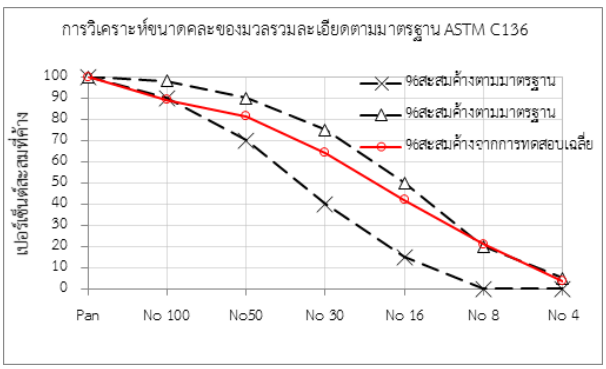
3.1 การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมรีไซเคิลด้วยตะแกรง

การวิเคราะห์หาส่วนขนาดคละของมวลรวมรีไซเคิล โดยหาค่าร้อยละผ่านตะแกรงมาตรฐาน เปรียบเทียบกับเกณฑ์มาตรฐาน ปรากฏว่าเป็นไปตามเกณฑ์ (รูปที่ 4) ดังนั้นเมื่อพิจารณาจากขนาดคละของมวลรวมรีไซเคิลจึงอยู่ในเกณฑ์ที่นำมาใช้ทดแทนทรายธรรมชาติได้ และเมื่อพิจารณาค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness Modulus, F.M.) ซึ่งก็คือ ตัวเลขดัชนีที่แสดงค่าโดยประมาณกับขนาดเฉลี่ยของอนุภาควัสดุในมวลรวม โดยที่

F.M. = (1/100) × ผลบวกของเปอร์เซ็นต์สะสมของมวลรวมที่ค้างบนตะแกรงมาตรฐาน

ดังนั้น F.M. ของมวลรวมรีไซเคิล = (1/100) × (4 + 21 + 42 + 64 + 81 + 89) = 3.01

ค่าโมดูลัสความละเอียดของทรายที่เหมาะสมสำหรับผลิตคอนกรีต ควรอยู่ในช่วง 2.30 - 3.20 [18]



รูปที่ 4 ขนาดค่าการกระจายขนาดอนุภาคของมวลรวมละเอียด (มวลรวมรีไซเคิล) ที่ได้จากการบดย่อยคอนกรีตบล็อกมวลเบา

3.2 ความถ่วงจำเพาะ (Specific gravity) และอัตราการดูดซึมน้ำ (Absorption) ของมวลรวมรีไซเคิล

ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมรีไซเคิลที่ได้จากการบดย่อยคอนกรีตมวลเบา มีค่าเฉลี่ย (Average apparent specific gravity) เท่ากับ 2.47 ± 0.10 และอัตราการดูดซึมน้ำของมวลรวมรีไซเคิลเท่ากับร้อยละ 14.90 ซึ่งเมื่อเทียบกับทรายแม่น้ำทั่วไปที่มีค่าความถ่วงจำเพาะเท่ากับ 2.65 และมีอัตราการดูดซึมน้ำร้อยละ 12.36 พบว่ามวลรวมรีไซเคิลมีความถ่วงจำเพาะใกล้เคียงกับทรายแม่น้ำทั่วไปแต่มีอัตราการดูดซึมน้ำมากกว่าทรายแม่น้ำ

3.3 ค่าหน่วยน้ำหนัก (Bulk unit weight) และช่องว่างระหว่างมวลรวมรีไซเคิล (Voids)

จากการทดสอบตาม ASTM C29 พบว่าค่าหน่วยน้ำหนักของมวลรวมรีไซเคิล เท่ากับ 797 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร และมีช่องว่างระหว่างมวลรวมรีไซเคิล ร้อยละ 55.73

3.4 คุณสมบัติของบล็อกมวลเบารีไซเคิล

3.4.1 การดูดซึมน้ำของบล็อกมวลเบารีไซเคิล

ผลการทดสอบการดูดซึมน้ำของบล็อกมวลเบารีไซเคิลที่มี w/c เท่ากับ 0.5 และ 0.6 โดยแปรค่าปริมาณสัดส่วนของปูนซิเมนต์ ต่อ มวลรวมรีไซเคิล เป็น 1:0.25, 1:0.4 , 1:0.7 และ 1:1 ได้ผลดังตารางที่ 3 คือมีอัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ยอยู่ในช่วงร้อยละ 9 ถึง ร้อยละ 33 โดย ซึ่งตามมาตรฐาน มอก. 2601-2556 กำหนดให้อัตราการดูดซึมน้ำของบล็อกมวลเบาชนิด C12 ต้องมีอัตราการดูดซึมน้ำไม่มากกว่าร้อยละ 23

ดังนั้นเมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติการดูดซึมน้ำ พบว่ามีเพียง 1 อัตราส่วนผสมเท่านั้นที่มีอัตราการดูดซึมน้ำเกินค่ามาตรฐาน นั่นคือส่วนผสมที่มี w/c=0.6 และปูนซิเมนต์ต่อมวลรวมรีไซเคิลเท่ากับ 1:0.25 (อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 33)

3.4.2 ความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของบล็อกมวลเบารีไซเคิล

ผลการทดสอบความหนาแน่นเชิงปริมาตรในสภาพแห้งของบล็อกมวลเบารีไซเคิล ได้ผลดังตารางที่ 3 โดยความหนาแน่นอยู่ระหว่าง 1,166 - 1,423 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร ซึ่งตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 กำหนดให้ความหนาแน่นของบล็อกมวลเบาชนิด C12 ต้องมีค่าอยู่ในช่วง 1,001-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร

เมื่อพิจารณาความหนาแน่นของบล็อกมวลเบารีไซเคิล พบว่า มีเพียง 1 ส่วนผสมเท่านั้น ที่มีความหนาแน่นอยู่ในช่วง 1,001-1,200 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร นั่นคือส่วนผสมที่มี w/c=0.6 และปูนซิเมนต์ต่อมวลรวมรีไซเคิลเท่ากับ 1:0.25 (ความหนาแน่น 1,166 กิโลกรัมต่อลูกบาศก์เมตร) สำหรับอัตราส่วนผสมอื่นนั้นจะให้ความหนาแน่นสูงเกินกว่ามาตรฐาน

ตารางที่ 3 อัตราการดูดซึมน้ำของบล็อกมวลเบารีไซเคิล

w/c	มวลรวม : ปูนซีเมนต์	อัตราการดูดซึมน้ำเฉลี่ย (ร้อยละ)	ความหนาแน่นเฉลี่ย (kg/m^3)
0.5	0.25	18	1,266
0.5	0.4	9	1,423
0.6	0.25	33	1,166
0.6	0.4	19	1,261
0.6	0.7	13	1,394
0.6	1	17	1,337

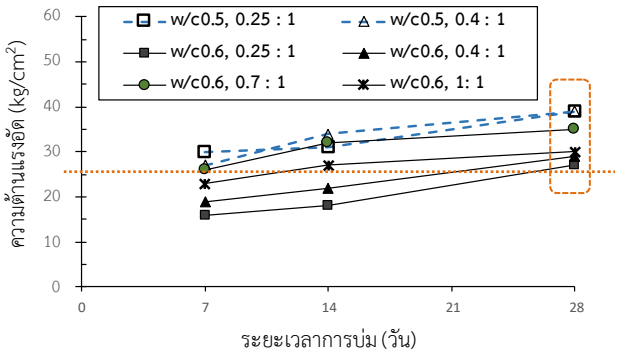
3.4.3 ความต้านแรงอัดของบล็อกมวลเบารีไซเคิล

เมื่อนำก้อนตัวอย่างบล็อกมวลเบารีไซเคิลที่อายุการบ่ม 7 วัน 14 วัน และ 28 วัน ไปทดสอบความต้านแรงอัด ได้ผลการทดสอบดังตารางที่ 4 และรูปที่ 5 โดยความต้านแรงอัดเพิ่มขึ้นตามอายุการบ่ม และอยู่ระหว่าง 16-39 kg/cm^2 ซึ่งตามมาตรฐาน มอก.2601-2556 กำหนดให้ความต้านแรงอัดของบล็อกมวลเบาชนิด C12 ต้องมีค่าไม่น้อยกว่า 25.5 kg/cm^2

เมื่อพิจารณาถึงคุณสมบัติความต้านแรงอัดของบล็อกมวลเบาที่อายุการบ่ม 28 วัน พบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีค่าการรับแรงอัดสูงกว่า 25.5 kg/cm^2 (27-39 kg/cm^2)

ตารางที่ 4 ความต้านแรงอัด (กิโลกรัมต่อตารางเซนติเมตร) ของบล็อกมวลเบารีไซเคิลที่อายุการบ่ม 7, 14 และ 28 วัน

อายุการบ่ม (วัน)	มวลรวม : ปูนซีเมนต์					
	w/c = 0.6				w/c = 0.5	
	0.25	0.4	0.7	1	0.25	0.4
7	16	19	26	23	30	27
14	18	22	32	27	31	34
28	27	29	35	30	39	39



รูปที่ 5 ความต้านแรงอัดของบล็อกมวลเบารีไซเคิลที่อัตราส่วนผสมต่างๆ

4. อภิปราย

จากการนำวัสดุเสียหายในกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาชนิด C10 มารีไซเคิล ด้วยการบดให้เป็นมวลรวมละเอียด (ขนาดคละใกล้เคียงทรายแม่น้ำ) โดยมีขนาดคละเป็นไปตามเกณฑ์มาตรฐาน ASTM C136 ค่าโมดูลัสความละเอียด เท่ากับ 3.01 ค่าความถ่วงจำเพาะเฉลี่ยเท่ากับ 2.47±0.10 อัตราการดูดซึมน้ำเท่ากับร้อยละ 14.90 ค่าหน่วยน้ำหนัก เท่ากับ 797 kg/m^3 และช่องว่างระหว่างมวลรวมรีไซเคิล ร้อยละ 55.73 ซึ่งพบว่าคุณสมบัติข้างต้น ตรงตามวัตถุประสงค์งานวิจัยนี้ คือการนำวัสดุเสียหายในกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบามารีไซเคิลเป็นคอนกรีตบล็อกมวลเบาให้มีคุณสมบัติตาม มอก.2601-2556 จากนั้นทำการออกแบบส่วนผสมให้ได้ตามมาตรฐาน โดยกำหนดให้ความหนาแน่นของบล็อกมวลเบาเป็นชนิด C12 ซึ่งมีค่าอยู่ในช่วง 1,001-1,200 kg/m^3 พบว่าทุกอัตราส่วนผสมมีความต้านแรงอัด ที่อายุการบ่ม 28 วัน มีค่า 27-39 kg/cm^2 ซึ่งสูงกว่าค่า มอก.2601-2556 ส่วนค่าการดูดซึมน้ำส่วนใหญ่ผ่านเกณฑ์มีเพียง 1 สูตรผสมที่ไม่ผ่านเกณฑ์ แต่ค่าความหนาแน่นเกือบทุกสูตรผสมเกินเกณฑ์ นั่นคืออยู่ในช่วง 1,166-1,423 kg/m^3 ซึ่งสูงกว่าความหนาแน่นบล็อกมวลเบาชนิด C12 แสดงให้เห็นชัดเจนว่า ช่องว่างระหว่างมวลรวมรีไซเคิลที่ ร้อยละ 55.73 สามารถลดปริมาณโฟมเหลว ในระบบการผลิตคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาได้ เนื่องจากคุณสมบัติพื้นฐานของคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูลาจะเปลี่ยนแปลงไปตามคาความหนาแนนหรือปริมาณฟองอากาศที่เติมเขาไป

5. สรุปและข้อเสนอแนะ

จากการศึกษานำบล็อกคอนกรีตมวลเบาที่เสียหายจากกระบวนการผลิตไม่สามารถขายได้ มาบดและคัดขนาดเพื่อใช้ทดแทนทรายเพื่อผลิตบล็อกคอนกรีตมวลเบาใหม่ โดยเลือกใช้อัตราส่วนที่แตกต่างกันรวม 6 สูตรด้วยกัน พบว่า คุณสมบัติของบล็อกมวลเบารีไซเคิล ยังมีคุณสมบัติไม่เป็นไปตามเกณฑ์ มอก.2601-2556 แต่หากมองเฉพาะคุณสมบัติแต่ละประการ พบว่า บล็อกรีไซเคิลทุกสูตรผสมมีความต้านแรงอัดที่ดี สูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน และมีการดูดซึมน้ำน้อย ยกเว้นเพียง 1 สูตรผสมที่มีอัตราการดูดซึมน้ำสูง ไม่ผ่านเกณฑ์ แต่เมื่อพิจารณาถึงความหนาแน่นของบล็อกรีไซเคิล พบว่าเกือบทุกสูตรมีความหนาแน่นสูงกว่าเกณฑ์มาตรฐาน ดังนั้นจึงควรศึกษาถึงอัตราส่วนผสมอื่นๆเพื่อให้ได้บล็อกมวลเบารีไซเคิลที่มีคุณสมบัติตาม มอก. กำหนด อย่างไรก็ตามงานวิจัยนี้ได้พบว่า เมื่อใช้มวลรวมรีไซเคิลผสมแทนทรายเพื่อผลิตบล็อกคอนกรีตมวลเบานั้น ยังคงได้ความต้านทานแรงอัดที่สูง ซึ่งเป็นคุณสมบัติที่สำคัญต่อการนำบล็อกมวลเบาไปใช้เป็นผนัง

จากโรงงานกรณีศึกษาที่มีกำลังการผลิตบล็อกมวลเบาเดือนละ 120,000 ก้อน และมีบล็อกที่ไม่ผ่านเกณฑ์มาตรฐานเป็นจำนวนร้อยละ 2 ซึ่งคิดเป็นจำนวน 2,400 ก้อนต่อเดือน หรือคิดเป็นน้ำหนักประมาณ 12 ตันต่อเดือน หากสามารถนำของเสียเหล่านี้มากลับมาเป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตภัณฑ์ใหม่ จะสามารถประหยัดระหยัดโฟมเหลว ประหยัดทรายซึ่งเป็นทรัพยากรธรรมชาติที่ใช้แล้วหมดไปได้ นอกจากนี้ยังประหยัดค่าขนทิ้งประมาณเดือนละ 10,000 บาท และไม่ต้องเปลืองพื้นที่ฝังกลบในการกำจัดขยะเหล่านี้ ซึ่งจะทำให้ธุรกิจนี้เป็นธุรกิจสีเขียวและสอดคล้องตาม โมเดลเศรษฐกิจ BCG (BCG Model) ตามยุทธศาสตร์ประเทศ

เอกสารอ้างอิง

[1] Yeheyis, M., Hewage, K., Alam, M.S., Eskicioglu, C. and Sadiq, R. (2013). An overview of construction and demolition waste management in Canada: A lifecycle analysis approach to sustainability. *Clean Technol. Environ.* Policy., 15, pp. 81–91.

[2] UN Environment Programme. *Global Sand Observatory Initiative*. (2022), Available online: https://unepgrid.ch/en/activity/sand [15 พฤษภาคม 2565]

[3] Ravindra, K., Kaur, K. and Mor, S. (2015). System analysis of municipal solid waste management in Chandigarh and minimization practices for cleaner emissions. *J. Clean. Prod*. 89, pp. 251-256.

[4] Smol, M., Kulczycka, J., Henclik, A., Gorazda, K. and Wzorek, Z. (2015). The possible use of sewage sludge ash (SSA) in the construction industry as a way towards a circular economy. *Journal of Cleaner Production*, 95, pp. 45-54.

[5] คัทธลี เจียมสมบูรณ์เลิศ และ กฤษดา เชียรวัฒนสุข (2565). กลยุทธ์การตลาดสีเขียวสำหรับอุตสาหกรรมก่อสร้างภายใต้แนวคิดเศรษฐกิจหมุนเวียน. *Journal of Arts Management*, ปีที่ 6, ฉบับที่ 1, หน้า 286-302.

[6] Commission of European Communities. *Communication* No. 398 (2014). Towards a circular economy: A zero waste programme for Europe.

[7] Panyakapo P. and Panyakapo M. (2008). Reuse of thermosetting plastic waste for lightweight concrete. *Waste management*, 28, pp. 1581-1588.

[8] สำเริง รักซ้อน (2558) *นวัตกรรมเถ้าแกลบ-เปลือกไม้ในคอนกรีตมวลเบาที่เป็นมิตรกับสิ่งแวดล้อม*. รายงานการวิจัยฉบับสมบูรณ์ มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีราชมงคลพระนคร, กรุงเทพฯ.

[9] จารุวัฒน์ ถาวรไพศาลชีวะ (2563). การศึกษาประสิทธิภาพของผนังสำเร็จรูปจากคอนกรีตมวลเบาระบบเซลลูล่า. *การประชุมวิชาการวิศวกรรมโยธาแห่งชาติ ครั้งที่ 25*, วันที่ 15-17 กรกฎาคม, จังหวัดชลบุรี.

[10] กรมควบคุมมลพิษ (2564). *สถานการณ์คุณภาพสิ่งแวดล้อมของประเทศไทย ปี 2563*, แหล่งที่มา : https://www.pcd.go.th/pcd_news/11873/ [2 พฤษภาคม 2565]

[11] วีระยุทธ์ สุขเพชร (2556). *การศึกษาการจัดการเพื่อลดเศษวัสดุในโครงการก่อสร้างอาคารพักอาศัย กรณีศึกษา โครงการ สมุท เรสซิเดนท์*. วิทยานิพนธ์วิทยาศาสตรมหาบัณฑิต, มหาวิทยาลัยศรีปทุม, กรุงเทพมหานคร.

[12] วริสรา เลิศไพฑูรย์พันธ์ และ สุรพันธ์ สันติยานนท์ (2565). ปัจจัยที่มีอิทธิพลต่อการเกิดขยะก่อสร้างในโครงการก่อสร้างอาคาร: แนวทางการวิเคราะห์เส้นทาง. *5th National and International Virtual Conference on Multidisciplinary Research*, วันที่ 25 เมษายน, ออนไลน์.

[13] กรมควบคุมมลพิษ (2560). *ยุทธศาสตร์การดำเนินงานด้านการลดและนำของเสียมาใช้ประโยชน์ (Reduce Reuse Recycle: 3R)*.

[14] กรมควบคุมมลพิษ (2563). *การศึกษาแนวทางการจัดการเศษสิ่งก่อสร้างสร้างสำหรับประเทศไทย*, แหล่งที่มา : https://www.pcd.go.th/publication/4771 [10 เมษายน 2565]

[15] Lalrinmawii E., Sahu S., Sarkar P. and Davis R. (2020). Feasible use of recycled foam concrete in cement mortar. *International Conference on Materials, Mechanics and Structures 2020 (ICMMS2020)*, July 14-15, Kerala, India.

[16] Sutandar E., Supriyadi A., Setyabudi G., Handalan C.P. and Indrayadi M. (2021). Effect of sand gradient variation on properties of CLC concrete mansory brick. *The International Journal of Engineering and Science*, 10, pp. 13-21.

[17] สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม (2556). มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกมวลเบาแบบเติมฟองอากาศ มอก. 2601 - 2556

[18] CPAC Concrete Academy. *คอนกรีตเทคโนโลยี*, แหล่งที่มา : https://www.cpacacademy.com/index.php?tpid=0063 [10 พฤษภาคม 2565]