

การนำของเสียประเภทผลึกมาใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน- ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน

Utilization of Label Waste for making Interlocking Concrete Paving Block by using Limestone

Powder-Cement as Binder

เพชรพร เชาวกิจเจริญ และนารัตช์พร นวลสุวรรณค์

Petchporn Chawakitcharoen and Nararatchporn Nuansawan

ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย กรุงเทพฯ 10330

โทร. 086-6337304 E-mail: Newky_zar@hotmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำของเสียประเภทผลึกมาใช้ประโยชน์โดยใช้ผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตลอดจนลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เช่น การกระจายขนาดผลึกของมวลรวม ความสามารถในการชะละลาย กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนวัสดุผสมที่ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักของทรายอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีสมบัติทางกายภาพโดยมีกำลังรับแรงอัด 55.7 เมกะปาสกาล ผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม โดยต้นทุนของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นที่ผลิตได้มีราคา 4.36 บาท มีน้ำหนัก 4.24 กิโลกรัม ต่อก้อนผลิตภัณฑ์

Abstract

This research investigated the utilization of label waste by using limestone powder-cement as binder. Physical and chemical characteristics were determined such as particle size distribution of aggregate, leachability, compressive strength, density and water absorption. The appropriate aggregate replacement with label waste was at 3.0% by weight of binder, water-binder ratio was at 0.5 by weight and a curing time of 28 days. The proper concrete paving block; had a compressive strength of 55.7 MPa which yielded the

physical properties acceptable by the standard of interlocking concrete paving block promulgated by the Ministry of Industry. The cost estimation of the aforementioned concrete paving block was at 4.36 baht per 4.24 kilograms of product.

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้นการขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรมจึงเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ส่งผลให้เกิดสิ่งปฏิกูลอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตขึ้นเป็นจำนวนมาก ปัญหาที่ตามมาคือปัญหามลภาวะ ซึ่งของเสียประเภทผลึกที่ทิ้งจากโรงงานอุตสาหกรรมหลายชนิดมีปริมาณโลหะหนักปนเปื้อนและบางประเภทจัดเป็นของเสียอันตราย จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การจัดการของเสียในปัจจุบัน คือการทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) การทำให้เสถียร (Stabilization) ก่อนส่งไปยังหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure landfill) เนื่องจากด้วยประเทศไทยมีการเติบโตด้านอุตสาหกรรมอย่างต่อเนื่อง ในขณะที่พื้นที่สำหรับฝังกลบมีอย่างจำกัด วิธีการกำจัดดังกล่าวจึงไม่ใช่วิธีเหมาะสมอีกต่อไป แนวคิดการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จะช่วยลดปริมาณของเสียที่จะนำไปกำจัด และเป็นการควบคุมปัญหามลภาวะในระยะยาว ดังนั้นหากนำของเสียชนิดนี้มาใช้ประโยชน์แทนการจัดการรูปแบบเดิม เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ก็เท่ากับเป็นการลดปริมาณของเสียอย่างดีอีกวิธีหนึ่งและเป็นการเพิ่มมูลค่าโดยใช้ประโยชน์ในการทำ

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น งานวิจัยนี้จึงทำการศึกษาความเป็นไปได้ตลอดจนแนวทางในการนำของเสียประเภทผลจากจากอุตสาหกรรม มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1

2. อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลองดังนี้ การทดลองชุดที่ 1 เป็นการทดสอบสมบัติของของเสียประเภทผลจากด้วยการ วิเคราะห์น้ำชะละลายด้วยวิธีกรดไนตริกเข้มข้น [12,18] เพื่อหาปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดที่คาดว่าจะมีในของเสียประเภทผลจาก [7] จากการทบทวนวิจัยคือปรอท ตะกั่ว แคดเมียม เซเลเนียม โครเมียม สารหนู นิกเกิล และทองแดง และทำการตรวจสอบสมบัติการกัดกร่อนจากการบดคั้นน้ำที่ใช้ในการล้างของเสียประเภทผลจากโดยใช้วิธีตามมาตรฐาน (U.S.EPA.9040) [19] และหาความหนาแน่นปกติ (Bulk Density) ของของเสียประเภทผลจาก [9] การทดลองชุดที่ 2 เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย โดยวิเคราะห์การกระจายขนาดคละ จากเครื่องเขย่า (Sieve analysis) ตามมาตรฐาน (ASTM C33-93 และ ASTM C136-95a) [17] โดยวัสดุที่นำมาทดลองเตรียมโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อนำมาแทนที่ในทราย พร้อมทั้ง หาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำโดยใช้วิธีมาตรฐาน (ASTM C127 - C128) [15,16] เพื่อหาความต้องการน้ำของวัสดุ ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง และการทดลองชุดที่ 3 เป็นการ ศึกษาความเหมาะสม ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยแปรผันของเสียประเภทผลจาก อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน สัดส่วนวัสดุผสม ระยะเวลาบ่ม โดยใช้ก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ขนาด 5 x 5 x 5 ลูกบาศก์เซนติเมตร [14] แปรผันอัตราส่วนของเสียประเภทผลจากต่อมวลรวม ที่ ร้อยละ 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7.5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักของทราย และแปรผันค่าอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1.0 ระยะเวลาในการบ่มที่ 7 และ 28 วัน กำหนดอัตราส่วนของผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ [1] อัตราส่วนส่วนผสมของซีเมนต์

ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก [8] โดยทำการทดลองครั้งละ 3 ซ้ำ วัดค่าน้ำหนักตามมาตรฐาน [6] ร้อยละการดูดซึมน้ำ (ASTM C127 – C128) [15], [16] และพิจารณากำลังรับแรงอัด (ASTM C109) [14] เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ และสุดท้าย ศึกษาสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น โดยพิจารณากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น [10], [11]

3. ผลการทดลองและวิจารณ์

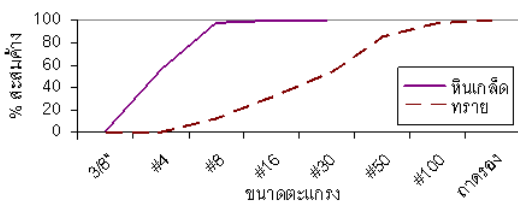
ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังต่อไปนี้
ผลการทดลองชุดที่ 1 การทดสอบสมบัติของของเสียประเภทผลจาก

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของของเสียประเภทผลจากพบว่าของเสียประเภทผลจาก มีค่าความหนาแน่น 0.16 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร มีค่าการดูดซึมน้ำของวัสดุที่ 0.71 ปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทผลจาก พบว่า ปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบมีทั้งสิ้น 4 ธาตุคือ ปรอท โครเมียม นิกเกิล และทองแดง จากผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLIC) และ Soluble Threshold Limit Concentration (STLC) สำหรับสมบัติการกัดกร่อนของน้ำชะล้างในของเสียประเภทผลจากพบว่าค่าพีเอช ในน้ำชะละลายมีค่า 10.01 จึงไม่จัดอยู่ในประเภทสารกัดกร่อน ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่า ของเสียประเภทผลจากมีรหัสเฉพาะของสิ่งปฏิกูลคือ 19 08 99 ไม่เป็นของเสียอันตราย (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 ปี พ.ศ. 2548) [10]

การทดลองชุดที่ 2 การวิเคราะห์การกระจายขนาดคละของวัสดุผสม

ในการควบคุมปริมาณวัสดุประกอบการผลิตได้จึงต้องมีการพิจารณาในเรื่องการกระจายขนาดคละ (Gradation) ของวัสดุผสม ซึ่งวัสดุผสมที่ดีมีผลให้ปริมาณซีเมนต์เพสต์ที่ใช้ลดลงความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตสดดีขึ้น ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ และมีส่วนช่วยป้องกันการ

แยกตัว (Segregation) ของส่วนผสมได้อีกด้วย แสดงด้วยกราฟแบบ Semi-log scale ดังแสดงในรูปที่ 1 หินเกล็ดที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีขนาดใหญ่กว่าหรือใกล้เคียง 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) เท่ากับ 5.55 ขณะที่ทรายมีขนาดเล็กกว่า 4.75 มิลลิเมตร (ตะแกรงมาตรฐานเบอร์ 4) โดยมีค่าโมดูลัสความละเอียด (Fineness modulus) เท่ากับ 2.77 เมื่อผสมทรายต่อหินเกล็ดในสัดส่วนทรายต่อหินเท่ากับ 0.67 โดยน้ำหนัก ซึ่งเป็นค่าที่อยู่ในช่วงที่เหมาะสม (0.55 ถึง 0.70) จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสความละเอียดของหิน และทรายที่ใช้ในงานวิจัยเป็นค่าที่อยู่ในช่วงยอมรับได้ขนาดตามกำหนดมาตรฐาน (ASTM C33-93) [2], [13] และสามารถเป็นวัสดุผสมสำหรับในงานโครงสร้างได้ [6]



รูปที่ 1 ส่วนละเอียดของวัสดุผสมที่ใช้ในงานวิจัย

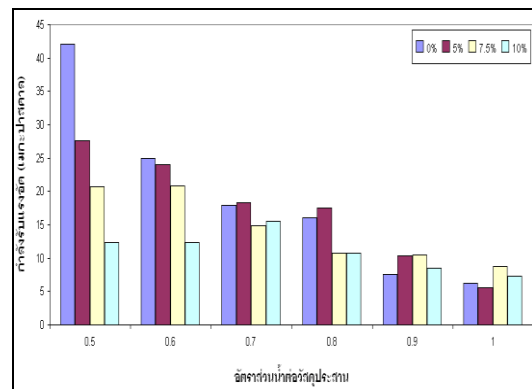
ผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะ และร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลรวม

ในงานวิจัยส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแบบต่าง ๆ ซึ่งวัสดุผสมหยาบ และละเอียดที่ใช้กันโดยทั่วไปจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 และ 2.65 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของหินเกล็ดมีค่าระหว่าง 2.67 ถึง 2.72 ส่วนทรายมีค่า 2.57 ถึง 2.61 สำหรับร้อยละของการดูดซึมน้ำมีความสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสม [6] พบว่าค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของหินเกล็ดมีค่า 0.61 และร้อยละของการดูดซึมน้ำของทรายมีค่า 0.64

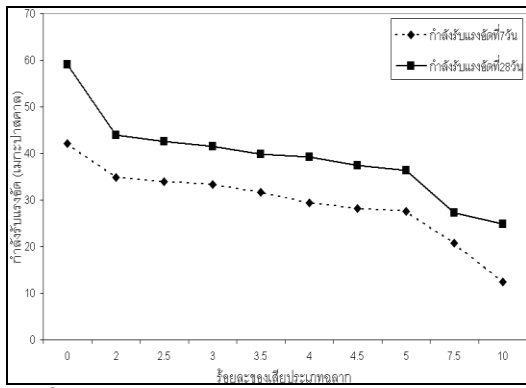
ผลการทดลองชุดที่ 3 ศึกษาความเหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

ผลการศึกษาอัตราส่วนของของเสียดรณกลากที่ใช้ต่อมวลรวมละเอียด

จากการทดลองพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์มีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนของของเสียดรณกลากที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ค่าเพิ่มขึ้น แสดงดังรูปที่ 2 เนื่องจากปริมาณของเสียดรณกลากเป็นตัวขวางกั้นการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาบ่มที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 3 พบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม เนื่องจากเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า ซีเมนต์เจล ซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสานทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์มากขึ้น โดยอัตราส่วนของของเสียดรณกลากต่อมวลรวมที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของทรายพบว่า อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีกำลังรับแรงอัด 41.5 เมกะปาสคาล สูงกว่าค่ามาตรฐานคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (40 เมกะปาสคาล) จึงมีความเหมาะสมนำไปผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น [10]

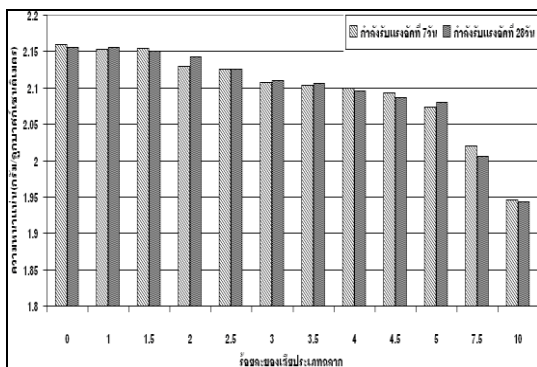


รูปที่ 2 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในอัตราส่วนที่ต่างกันที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน



รูปที่ 3 ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตที่แปรผันระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน

ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเสียดรอก ดังแสดงในรูปที่ 4 เนื่องจากของเสียดรอกมีความยืดหยุ่น เมื่อนำมาผสมในคอนกรีตจึงเกิดการขยายตัว ทำให้คอนกรีตเกิดการยืดเกาะน้อยลง ดังนั้น ถ้าผสมของเสียดรอกในสัดส่วนที่มากขึ้นจะเป็นผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง

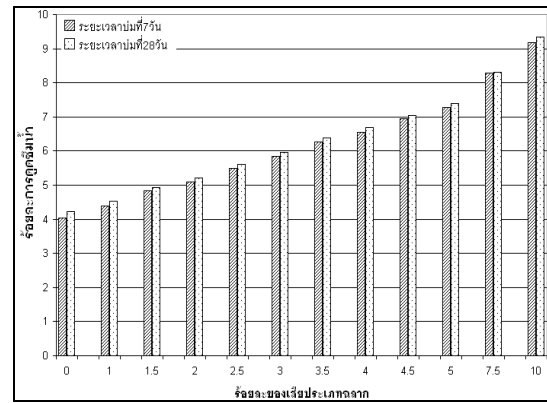


รูปที่ 4 ค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน

ผลการวิเคราะห์ร้อยละการดูดซึมน้ำ

ร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มแสดงดังรูปที่ 5 เนื่องจากก้อนคอนกรีตลูกบาศก์มีความต้องการน้ำ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาปอซโซลาน หากพิจารณาร้อยละของเสียดรอก

ผลากแทนที่ในทราย พบว่า ร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์มีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากของเสียดรอกแทนที่ค่าการดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์มีค่าสูงขึ้นตามลำดับ



รูปที่ 5 ร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน

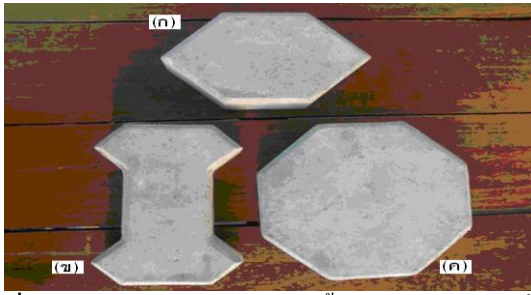
สมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูป อัฐศิลา

จากการทดสอบสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหล่อเป็นรูปอัฐศิลา หนา 6 เซนติเมตร ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 สมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูป อัฐศิลา

กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)	ร้อยละการดูดซึมน้ำ	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์เซนติเมตร)
55.7	1.45	2.37

ผลการทดลองพบว่า คอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้นั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรวมทั้งคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 827 ปี 2531 กำหนดค่ากำลังรับแรงอัด 40 เมกะปาสคาล [10] และเป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2035 ปี 2543 กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก กำหนดกำลังรับแรงอัด 50 เมกะปาสคาล [11] ตามลำดับ แสดงดังรูปที่ 6



รูปที่ 6 ผลผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกปูพื้น (ก) รูปสี่เหลี่ยมเหลี่ยม (ข) รูปคทา (ค) รูปอัฐศิลา

การประมาณค่าใช้จ่ายในการนำของเสียประเภทผลากมาผลิตอิฐบล็อกประสานปูพื้น

การคิดราคาค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปอัฐศิลา จะต้องคำนึงถึงปริมาณสัดส่วนที่ผสม ราคาวัตถุดิบ ทั้งนี้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (อัฐศิลา) ที่มีส่วนผสมของของเสียประเภทผลาก 2.60 บาทต่อก่อน ในขณะที่ราคาเชิงอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 3 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจะมีราคาอยู่ที่ 4.36 บาท ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าราคาเฉลี่ย 3.16 บาท ต่อกิโลวัตต์-ชั่วโมง [3-5]

ตารางที่ 4 ราคาโดยประมาณในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (อัฐศิลา)

อุปกรณ์	กิโลวัตต์ ต่อ อุปกรณ์	ชั่วโมง	ครั้ง ต่อ กิโลกรัม	บาท ต่อ กิโลกรัม	บาท ต่อ ก้อน
เครื่องผสม	0.75	5/60	1/4.24	0.046	0.20
ตู้อบ	1.50	3	1/1	14.04	0.43
เครื่องคัดขนาด	0.30	1	1/5	0.19	0.45
เครื่องบดวัสดุ	0.37	15/60	1/1	0.29	0.009
โต๊ะเขย่า	0.75	4/60	1/1	0.156	0.670
ราคารวม	ค่าใช้จ่ายของวัสดุ (2.60) + เครื่องผสม + ตู้อบ + เครื่องคัดขนาด + เครื่องบด + โต๊ะเขย่า = 4.36				

จากการสำรวจราคาคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นประเภทอัฐศิลาตามร้านขายวัสดุก่อสร้างทั่วไปอยู่ที่ 8 ถึง 14 บาท สำหรับข้อมูลของกรมการค้าภายในกำหนดราคาไว้ที่ 10 บาท เมื่อเปรียบเทียบราคามูลค่าผลิตภัณฑ์ที่ผลิตพบว่าราคาค่าผลิตภัณฑ์มีราคาสูงกว่า 5.64 บาท หากต้องการกำจัดของเสียประเภทผลากโดยวิธีฝังกลบพบว่าปริมาณของเสีย 1 ตัน จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยเฉลี่ยต่อตัน 2,666.67 บาท (ข้อมูลจากบริษัทเบตเตอร์เวิลด์กรีน จำกัด) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำของเสียไปใช้ประโยชน์และสามารถเพิ่มมูลค่าสร้างรายได้ได้อีกด้วย

4. สรุป

การประยุกต์นำของเสียประเภทผลากมาใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นร่วมกับผงหินปูน-ปูนซีเมนต์ พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตตัวอย่างมีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเสียประเภทผลากที่เพิ่มขึ้นแต่ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดที่มีค่าลดลง ค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าลดลงตามสัดส่วนการเพิ่มขึ้นของของเสียประเภทผลาก และระยะเวลาบ่มมีผลต่อกำลังรับแรงอัด ผลการศึกษาพบว่า จากอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน ที่ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก และผสมของเสียประเภทผลากแทนที่ทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 3 โดยใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน พบว่า สามารถทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีลักษณะสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรับน้ำหนักของกระทรวงอุตสาหกรรม (50 เมกะปาสคาล) โดยมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 55.7 เมกะปาสคาล ค่าความหนาแน่น 2.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 5.97 ซึ่งสามารถนำไปใช้กับงานปูพื้นรับน้ำหนักได้ ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปอัฐศิลา 1 ก้อน น้ำหนักเฉลี่ย 4.24 กิโลกรัม หนา 6 เซนติเมตร มีราคาอยู่ที่ ก้อนละ 4.36 บาท

5. กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย และภาควิชาวิศวกรรมโยธา มหาวิทยาลัยมหิดลที่ให้ความอนุเคราะห์อุปกรณ์ และอนุญาตให้ใช้สถานที่ในการทำการวิจัยจนกระทั่งงานวิจัยเสร็จสมบูรณ์

เอกสารอ้างอิง

[1] นรารัตน์พร นวลสุวรรณ, ธีรวัชร ไชยวานิชผล และสรกิจ จิระเกียรติ. 2549. อิทธิพลของผงหินปูนที่มีผลต่อการไหลแผ่ของมอร์ตาร์ การคายความร้อน และการพัฒนากำลังอัด. ปรินูญานี พันธ์. ภาควิชาวิศวกรรมโยธา คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล.

[2] ประณต กุลประสูต. 2541. เทคนิคงานปูน-คอนกรีต. พิมพ์ครั้งที่ 5. กรุงเทพมหานคร: สำนักพิมพ์อมรินทร์พริ้นติ้ง แอนด์พับลิชชิ่ง.

[3] ราคาวัสดุก่อสร้าง กรุงเทพมหานคร. 2553. วัสดุผลิตภัณฑ์ [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRESENT/tablecsi_region.html [1 มีนาคม 2553]

[4] ราคาค่าไฟฟ้า การไฟฟ้านครหลวง. 2553. ค่าไฟฟ้า [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html> [2 มีนาคม 2553]

[5] ราคาน้ำประปา การประปานครหลวง. 2553. ค่า น้ำประปา [ระบบออนไลน์]. แหล่งที่มา: http://www.pwa.co.th/service/tariff_rate.html [2 มีนาคม 2553]

[6] วินิต ช่อวิเชียร. 2544. คอนกรีตเทคโนโลยี. พิมพ์ครั้งที่ 9. กรุงเทพมหานคร: โรงพิมพ์สัมพันธ์พาณิชย์.

[7] วิทยาศาสตร์บริการ, กรม. 2524. หมึกพิมพ์บนภาชนะบรรจุอาหาร. รายงานกิจกรรมของกรมวิทยาศาสตร์. พิมพ์ครั้งที่ 39. กรุงเทพมหานคร: กรมวิทยาศาสตร์บริการ.

[8] หฤษฎ์ ชิตินันท์. 2546. การนำซิลิกา-อลูมินาที่ใช้แล้วไปใช้ประโยชน์เพื่อการผลิตคอนกรีตบล็อก. วิทยานิพนธ์ปริญญา

มหาบัณฑิต. ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย.

[9] อุดมผล พิษณุไพบูลย์. 2546. เทคนิคการวิเคราะห์น้ำ น้ำเสีย และขยะมูลฝอย. เอกสารประกอบการเรียนการสอนวิชา วิศวกรรม การ ป ระ ะ ปร า และ สุ ข า ภี ะ ภา ล . มหาวิทยาลัยสงขลานครินทร์.

[10] อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2531. ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม. ฉบับที่ 827. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น.

[11] อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2543. ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม. ฉบับที่ 2035. กำหนดมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก.

[12] อุตสาหกรรม, กระทรวง. 2548. ประกาศกระทรวง อุตสาหกรรม. ฉบับที่ 1. การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว.

[13] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for concrete aggregates. C33-93. Annual book of ASTM standard. 04.02, 4: 10-16

[14] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for compressive strength of hydraulic cement mortars (using 2-in or 50-mm cube specimens). C109/C109M-95. Annual book of ASTM standard. 04.01, 4: 69-73.

[15] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of coarse aggregate. C127-88. Annual book of ASTM standard. 04.02, 4: 47-68.

[16] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for density, relative density (specific gravity), and absorption of fine aggregate. C128-93. Annual book of ASTM standard. 04.02, 4: 69-73.

[17] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard test method for sieve analysis of fine and coarse aggregates. C136-95a. Annual book of ASTM standard. 04.02, 4: 78-82.

[18] U.S. Environment Protection Agency. 1988 (November). Acid Digestion of Sediments, Sludges, Soils. no. 68-03-3254.

[19] U.S. Environment Protection Agency. 1995 (January). pH Electrometric Measurement. CD-ROM. Revision 2.