

การนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์ในการทำ คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยใช้ผงหินปูน-ปูนซีเมนต์เป็นวัสดุประสาน Utilization of Paper Label Waste for Making Interlocking Concrete Paving Block by Using Limestone Powder-cement as Binder

เพชรพร ชาวกิจเจริญ^{1*} และ นรารัตน์พร นวลสุวรรณ²
Petchporn Chawakitcharoen^{1*} and Nararatchporn Nuansawan²

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้ศึกษาการนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาใช้ประโยชน์เป็นวัสดุแทนที่ในทรายบางส่วนที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนัก โดยใช้ผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์เป็นวัสดุประสานในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ตลอดจนศึกษาลักษณะทางกายภาพและสมบัติทางเคมี เช่น การกระจายขนาดผลของมวลรวม ความสามารถในการชะละลาย กำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และการดูดซึมน้ำ โดยเปลี่ยนอัตราส่วนผสมในทรายโดยใช้ของเสียประเภทฉลากกระดาษเป็นร้อยละ 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7.5, 10 และ 20 โดยน้ำหนักของทราย และแปรผันอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 และ 1 ในงานวิจัยครั้งนี้ใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนัก ใช้สัดส่วนต่อทรายต่อหินเกล็ดในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น คือ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน และ 28 วัน ผลการศึกษาพบว่า สัดส่วนวัสดุของของเสียประเภทฉลากกระดาษที่ร้อยละ 3.0 โดยน้ำหนักของทราย อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสาน

ปูพื้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อก
ประสานปูพื้นของกระทรวงอุตสาหกรรม

คำสำคัญ: ของเสียประเภทฉลากกระดาษ คอนกรีต
บล็อกประสานปูพื้น ผงหินปูน วัสดุประสาน

Abstract

This research investigated the utilization of label waste as replacement material for making interlocking concrete paving blocks instead of using sand at 3% by weight and limestone powder-cement as a binder. The physical and chemical properties such as particle size distribution of aggregate, leachability, compressive strength; density and water absorption were studied. The experiments were undertaken by varying percent of label waste at 0, 1, 1.5, 2, 2.5, 3, 3.5, 4, 4.5, 5, 7.5, 10, and 20 by weight of sand and water to binder ratios were varied from 0.5, 0.6, 0.7, 0.8, 0.9 and 1. The condition for making concrete paving block was

¹ รองศาสตราจารย์ ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

² นิสิต ภาควิชาวิศวกรรมสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

* Correspondent Author, Tel. 0-2218-6674, E-mail: petchporn.c@chula.ac.th

studied by replacing limestone powder at 10 percent by weight of cement as a binder. The ratio of binder: sand (3% by weight of label waste): gravel was 1:1.2:1.8 by weight. Samples were cured at 7 and 28 days before being tested. The resultsshowed that the appropriate sand replacement with label waste was 3.0% by weight of binder; water-binder ratio was 0.5 by weight and a curing time of 28 days. The interlocking concrete paving blocks yielded the physical properties acceptable by the standard of interlocking concrete paving block promulgated by the Ministry of Industry.

Keywords: Paper Label Waste, Interlocking Concrete Paving Block, Limestone Powder, Binder

1. บทนำ

ประเทศไทยเป็นประเทศกำลังพัฒนา ดังนั้น การขยายตัวอย่างรวดเร็วของภาคอุตสาหกรรมจึงเกิดขึ้นอย่างหลีกเลี่ยงไม่ได้ ยังส่งผลให้เกิดสิ่งปฏิกูลอันเนื่องมาจากกระบวนการผลิตขึ้นเป็นจำนวนมาก ซึ่งของเสียประเภทพลาสติกเกิดจากกระบวนการล้างขวดแก้ว และกำจัดโดยวิธีการฝังกลบบริเวณโครงการ ซึ่งมีปริมาณของเสีย 500 กิโลกรัมต่อวัน ซึ่งจากการทบทวนงานวิจัยพบว่าหมักพืชม และสารเคลือบเงาจะมีโลหะหนักเป็นส่วนประกอบ [1] จึงจำเป็นต้องมีกระบวนการกำจัดอย่างถูกต้องและมีประสิทธิภาพ การจัดการของเสียอันตรายในปัจจุบัน คือการทำให้เป็นของแข็ง (Solidification) การทำให้เสถียร (Stabilization) ก่อนส่งไปยังหลุมฝังกลบอย่างปลอดภัย (Secure landfill) แนวคิดการนำของเสียกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่จะช่วยลดปริมาณของเสียที่จะนำไปกำจัด และเป็นการควบคุมปัญหามลภาวะในระยะยาว ดังนั้นหากนำของเสียชนิดนี้มาใช้ประโยชน์แทนการจัดการรูปแบบเดิม เช่น ใช้เป็นส่วนผสมในกระบวนการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ก็เท่ากับ



รูปที่ 1 ของเสียประเภทพลาสติกกระดาษซึ่งใช้ในงานวิจัย

เป็นการลดปริมาณของเสียอย่างดีอีกวิธีหนึ่งและเป็นการเพิ่มมูลค่าโดยใช้ประโยชน์ในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น งานวิจัยนี้จึงการศึกษาความเป็นไปได้ตลอดจนแนวทางในการนำของเสียประเภทพลาสติกกระดาษ มาเป็นวัตถุดิบในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น ร่วมกับซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 ของเสียประเภทพลาสติกกระดาษดังแสดงในรูปที่ 1

2. อุปกรณ์และวิธีการ

งานวิจัยนี้ได้แบ่งการทดลองออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ดังนี้ การทดลองชุดที่ 1 เป็นการทดสอบสมบัติของของเสียประเภทพลาสติกกระดาษด้วยการวิเคราะห์น้ำชะละลายด้วยวิธีการดรินกริซึมซัน [2],[3] เพื่อหาปริมาณธาตุโลหะหนักทั้งหมดที่คาดว่าจะมีในของเสียประเภทพลาสติกกระดาษ ซึ่งจากการทบทวนวิจัยคือ โปรท ตะกั่ว แคดเมียม เซเลเนียม โคโรเนียม สารหนู นิกเกิล และทองแดง และทำการตรวจสอบสมบัติการกัดกร่อนจากการบีบคั้นน้ำที่ใช้ในการล้างของเสียประเภทพลาสติกกระดาษโดยใช้วิธีตามมาตรฐาน (U.S.EPA.9040) [4] และหาความหนาแน่นปกติ (Bulk Density) ของของเสียประเภทพลาสติกกระดาษ [5] การทดลองชุดที่ 2 เป็นการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพและเคมีพื้นฐานของวัสดุที่ใช้ในการวิจัย โดยวิเคราะห์การกระจายขนาดคละ จากเครื่องเขย่า (Sieve Analysis) ตามมาตรฐาน (ASTM

C33-93 และ ASTM C136-95a) [6],[7] โดยวัสดุที่นำมาทดลองเตรียมโดยร่อนผ่านตะแกรงเบอร์ 4 เพื่อนำมาแทนที่ในทราย พร้อมทั้งหาค่าความถ่วงจำเพาะและการดูดซึมน้ำโดยใช้วิธีมาตรฐาน (ASTM C127 - C128) [8],[9] เพื่อหาความต้องการน้ำของวัสดุ ทั้งนี้เพื่อเป็นการควบคุมอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ใช้ในการทดลอง และการทดลองชุดที่ 3 เป็นการศึกษาความเหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยแปรผันของเสียประเภทฉลากกระดาศ อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสาน สัดส่วนวัสดุผสม ระยะเวลารบม โดยใช้คอนกรีตขนาด $5 \times 5 \times 5$ ลูกบาศก์เซนติเมตร [10] แปรผันอัตราส่วนของเสียประเภทฉลากกระดาศต่อมวลรวม ที่ร้อยละ 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 ระยะเวลารบมที่ 7 และ 28 วัน กำหนดอัตราส่วนของผงหินปูนร่วมกับปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ [11] อัตราส่วนส่วนผสมของซีเมนต์ต่อทรายต่อหินเกล็ดเท่ากับ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก [12] โดยทำการทดลองซ้ำ 3 ครั้ง วัดค่าหน่วยน้ำหนักตามมาตรฐาน [13] ร้อยละการดูดซึมน้ำ (ASTM C127 - C128) [8],[9] และพิจารณากำลังรับแรงอัด (ASTM C109) [10] เป็นเกณฑ์ในการตัดสินใจ และสุดท้ายศึกษาสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นโดยพิจารณากำลังรับแรงอัด ความหนาแน่น และร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น [10],[11]

3. ผลการทดลองและอภิปรายผล

ผลการทดลองแบ่งออกเป็น 3 ชุดการทดลอง ผลการทดลองสรุปได้ดังต่อไปนี้

3.1 ผลการทดลองชุดที่ 1 การทดสอบสมบัติของของเสียประเภทฉลากกระดาศ

จากการวิเคราะห์สมบัติทางกายภาพของของเสียประเภทฉลากกระดาศพบว่าของเสียประเภทฉลากกระดาศ มีค่าความหนาแน่น 0.16 กรัมต่อลูกบาศก์

เซนติเมตร มีค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของวัสดุที่ร้อยละ 0.71 และมีปริมาณโลหะหนักในของเสียประเภทฉลากกระดาศดังแสดงในตารางที่ 1 พบว่าปริมาณโลหะหนักที่ตรวจพบมีทั้งสิ้น 4 ธาตุคือ โปรท โครเมียม นิกเกิล และทองแดง

ตารางที่ 1 โลหะหนักในของเสียประเภทฉลากกระดาศ

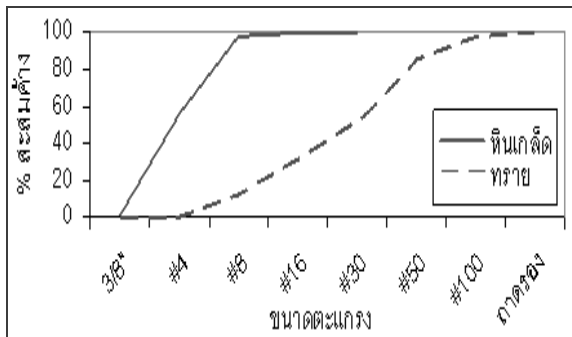
ปริมาณโลหะหนัก	มิลลิกรัม/กิโลกรัม	มาตรฐาน TTLC มิลลิกรัม/กิโลกรัม
โปรท	n.d.	20
ตะกั่ว	8.8	1,000
แคดเมียม	n.d.	100
เซเลเนียม	n.d.	100
โครเมียม	203.3	500 (+6) 2,500 (+3)
สารหนู	n.d.	500
นิกเกิล	8.6	2,000
ทองแดง	37.1	2,500

n.d = non detectable

จากผลการวิเคราะห์พบว่าความเข้มข้นของโลหะหนักน้อยกว่าค่า Total Threshold Limit Concentration (TTLC) สำหรับสมบัติการกักตัวของน้ำชะล้างในของเสียประเภทฉลากกระดาศพบว่าค่าพีเอช ในน้ำชะละลายมีค่า 10.01 จึงไม่จัดอยู่ในประเภทสารกักตุน ซึ่งจากผลการวิจัย พบว่าของเสียประเภทฉลากกระดาศ มีรหัสเฉพาะของสิ่งปฏิกูลคือ 19 08 99 ไม่เป็นของเสียอันตราย (ตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรมฉบับที่ 1 ปี พ.ศ. 2548) [14]

3.2 การทดลองชุดที่ 2 การวิเคราะห์การกระจายขนาดคละของวัสดุผสม

ในการควบคุมปริมาณวัสดุประกอบการผลิตได้จึงต้องมีการพิจารณาในเรื่องการกระจายขนาดคละ (Gradation) ของวัสดุผสม ซึ่งวัสดุผสมที่ดีมีผลให้ปริมาณซีเมนต์เฟสที่ซัลดลง ความสามารถในการทำงานได้ของคอนกรีตดีขึ้น

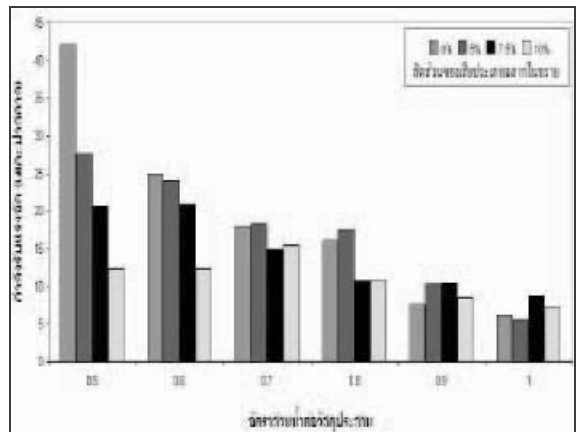


รูปที่ 2 ส่วนคละของวัสดุผสมที่ใช้ในงานวิจัย

ทำให้คอนกรีตมีเนื้อแน่นสม่ำเสมอ และมีส่วนช่วยป้องกันการแยกตัว (Segregation) ของส่วนผสมได้อีกด้วย แสดงด้วยกราฟแบบ Semi-log Scale ดังแสดงในรูปที่ 2 หินเกล็ดที่ใช้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น มีขนาดใหญ่กว่าหรือใกล้เคียง 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) [13] จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสความละเอียดของหินและทรายที่ใช้ในงานวิจัยเป็นค่าที่อยู่ในช่วงยอมรับได้ ขนาดตามกำหนดมาตรฐาน (ASTM C33-93) [6] และสามารถเป็นวัสดุผสมสำหรับในงานโครงสร้างได้ [13]

3.2.1 ผลการหาค่าความถ่วงจำเพาะ และร้อยละการดูดซึมน้ำของมวลรวม

ในงานวิจัยส่วนนี้เป็นการวิเคราะห์ค่าความถ่วงจำเพาะของมวลรวมแบบต่างๆ ซึ่งวัสดุผสมหยาบ และละเอียดที่ซักันโดยทั่วไปจะมีค่าความถ่วงจำเพาะประมาณ 2.7 และ 2.65 ตามลำดับ จากผลการทดลอง พบว่าค่าความถ่วงจำเพาะของหินเกล็ดมีค่าเฉลี่ย 2.70 ส่วนทรายมีค่าเฉลี่ย 2.59 สำหรับร้อยละของการดูดซึมน้ำมีความสำคัญในการควบคุมปริมาณน้ำในส่วนผสม [13] พบว่าค่าร้อยละของการดูดซึมน้ำของหินเกล็ดมีค่า 0.61 และร้อยละของการดูดซึมน้ำของทรายมีค่า 0.64

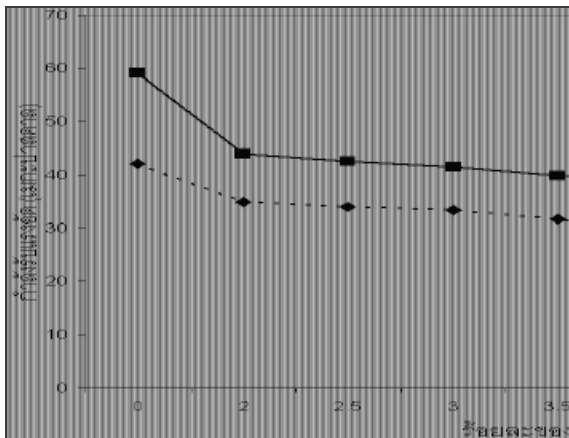


รูปที่ 3 อัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานในอัตราส่วนต่างกัน ที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 วัน

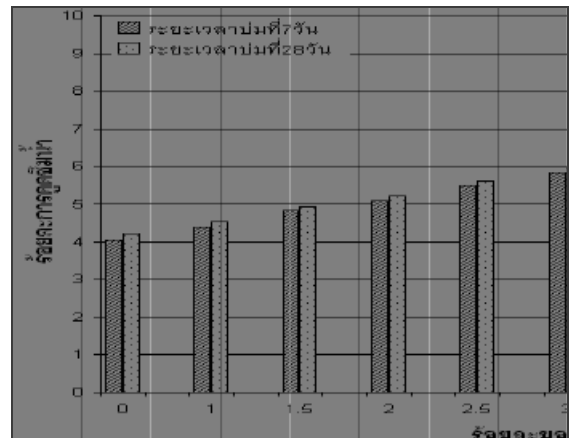
3.3 ผลการทดลองชุดที่ 3 ศึกษาความเหมาะสมในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

3.3.1 ผลการศึกษาอัตราส่วนของของเสียประเภทฉลากกระดาษที่ใช้ต่อมวลรวมละเอียด

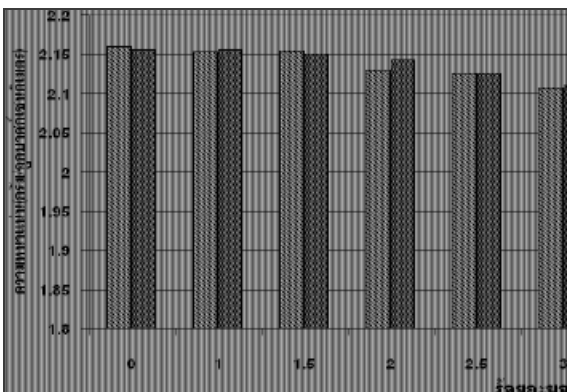
จากการทดลองพบว่า ค่ากำลังรับแรงอัดของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์มีแนวโน้มลดลง เมื่ออัตราส่วนของของเสียประเภทฉลากกระดาษที่ใช้แล้วต่อวัสดุประสานที่ค่าเพิ่มขึ้นเนื่องจากปริมาณของเสียประเภทฉลากกระดาษไม่มีกำลังต้านทานแรงอัด ในขณะที่อัตราส่วนของน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.7 ถึง 1 ไม่คงที่เนื่องจากของเสียประเภทฉลากกระดาษช่วยดูดซับน้ำ แสดงดังรูปที่ 3 และเมื่อเปรียบเทียบระยะเวลาบ่มที่อัตราส่วนผสมเดียวกัน แสดงดังรูปที่ 4 พบว่าค่ากำลังรับแรงอัดมีค่าเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาในการบ่ม เนื่องจากเกิดสารประกอบแคลเซียมซิลิเกตไฮเดรตหรือที่เรียกกันโดยทั่วไปว่า ซีเมนต์เจลซึ่งมีสมบัติเป็นวัสดุประสานทำให้เกิดปฏิกิริยาไฮเดรชันระหว่างน้ำกับซีเมนต์มากขึ้น โดยอัตราส่วนของของเสียประเภทฉลากกระดาษต่อมวลรวมที่ร้อยละ 3 โดยน้ำหนักของทรายพบว่าอัตราส่วนอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานที่ 0.5 ระยะเวลาบ่มที่ 28 วัน ทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีกำลังรับแรงอัด 41.5 เมกะปาสคาล สูงกว่าค่ามาตรฐาน



รูปที่ 4 ค่ากำลังรับแรงอัดของคอนกรีตที่แปรผันระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน



รูปที่ 6 ร้อยละการดูดซึมน้ำของก้อนคอนกรีตลูกบาศก์ที่ระยะเวลาบ่ม 7 และ 28 วัน



รูปที่ 5 ค่าความหนาแน่นของคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน

คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (40 เมกะปาสกาล) [14] จึงมีความเหมาะสมนำไปผลิตเป็นคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น

3.3.2 ผลการวิเคราะห์ค่าความหนาแน่นของคอนกรีต พบว่าค่าความหนาแน่นของก้อนคอนกรีตมีแนวโน้มลดลงเมื่อเพิ่มสัดส่วนของเสียประเภทฉลากกระดาษ ดังแสดงในรูปที่ 5 เนื่องจากของเสียประเภทฉลากกระดาษมีความยืดหยุ่น เมื่อนำมาผสมในคอนกรีตจึงเกิดการขยายตัว ทำให้คอนกรีตเกิดการยึดเกาะน้อยลง ดังนั้น ถ้าผสมของเสียประเภทฉลากกระดาษในสัดส่วน

ที่มากขึ้นจะเป็นผลให้ความหนาแน่นของคอนกรีตลดลง

3.3.3 ผลการวิเคราะห์ร้อยละการดูดซึมน้ำ

ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตที่ระยะเวลาบ่มที่ 7 และ 28 วัน พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำมีแนวโน้มเพิ่มขึ้นตามระยะเวลาบ่มแสดงดังรูปที่ 6 เนื่องจากคอนกรีตมีความต้องการน้ำ เพื่อใช้ในการเกิดปฏิกิริยาไฮเดรชัน [13] หากพิจารณาร้อยละของเสียประเภทฉลากกระดาษแทนที่ในทราย พบว่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมีแนวโน้มเพิ่มขึ้น เนื่องจากของเสียประเภทฉลากกระดาษมีการดูดซึมน้ำได้ดี จึงทำให้ร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตมีค่าสูงขึ้นตามลำดับ

3.3.4 ลักษณะสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปอัฐศีลา

จากการทดสอบลักษณะสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นหล่อเป็นรูปอัฐศีลา หนา 6 เซนติเมตรจากอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน ที่ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก และผสมของเสียประเภทฉลากกระดาษแทนที่ในทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 3 โดยใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน ได้ผลการทดสอบดังแสดงในตารางที่ 2

ตารางที่ 2 แสดงสมบัติของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น
รูปอัฐิลา

กำลังรับแรงอัด (เมกะปาสคาล)	ร้อยละ การดูดซึมน้ำ	ความหนาแน่น (กรัม/ลูกบาศก์ เซนติเมตร)
55.7	1.45	2.37

ผลการทดลองพบว่าคอนกรีตบล็อกที่ผลิตได้นั้นผ่านเกณฑ์มาตรฐานของคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรวมทั้งคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนักตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 827 ปี 2531 กำหนดค่ากำลังรับแรงอัด 40 เมกะปาสคาล [14] และเป็นไปตามประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม ฉบับที่ 2035 ปี 2543 มาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรมคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นสำหรับงานหนัก กำหนดกำลังรับแรงอัด 50 เมกะปาสคาล [15] ดังแสดงในรูปที่ 7

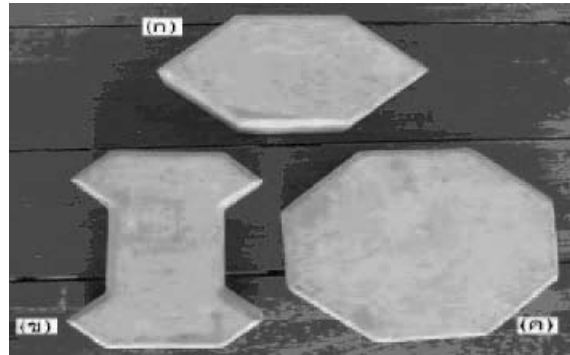
3.3.5 การประมาณค่าใช้จ่ายในการนำของเสียประเภทฉลากกระดาษมาผลิตอิฐบล็อกประสานปูพื้น

การคิดราคาค่าใช้จ่ายในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น จะต้องคำนึงถึงปริมาณสัดส่วนที่ผสมราคาวัตถุดิบดังแสดงในตารางที่ 3 [16],[17]

ตารางที่ 3 ราคาสารต่อหน่วยกิโลกรัมของวัตถุดิบ

วัตถุดิบ	ปูนซีเมนต์	หินเกล็ด	ทราย	ผงหินปูน	น้ำ
บาทต่อกิโลกรัม	2.344	0.173	0.133	2.00	0.01

ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (อัฐิลา) ที่มีส่วนผสมของของเสียประเภทฉลากกระดาษมีราคา 2.60 บาทต่อก้อน ในขณะที่ไม่มีส่วนผสมของของเสียประเภทฉลากกระดาษมีราคา 2.65 บาทต่อก้อน ขณะที่คิดราคาเชิงอุตสาหกรรมดังแสดงในตารางที่ 4 คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นจะมีราคาอยู่ที่ 4.36 บาท ดังแสดงในตารางที่ 4 ทั้งนี้ค่าไฟฟ้าราคาเฉลี่ย 3.16 บาท ต่อ กิโลวัตต์-ชั่วโมง [18]



รูปที่ 7 ผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกปูพื้น (ก) รูปสี่เหลี่ยม (ข) รูปคทา (ค) รูปอัฐิลา

ตารางที่ 4 ราคาโดยประมาณในการทำคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้น (อัฐิลา)

อุปกรณ์	กิโลวัตต์ ต่อ อุปกรณ์	ชั่วโมง	ครั้ง ต่อ ก.ก	บาท ต่อ ก้อน	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				

จากการสำรวจราคาคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นประเภทอัฐิลาตามร้านขายวัสดุก่อสร้างทั่วไปอยู่ที่ 8 ถึง 14 บาท สำหรับข้อมูลของกรมการค้าภายในกำหนดราคาไว้ที่ 10 บาท หากต้องการกำจัดของเสียประเภทฉลากกระดาษโดยวิธีฝังกลบพบว่าปริมาณของเสีย 1 ตัน จะเสียค่าใช้จ่ายในการบำบัดโดยเฉลี่ยต่อตัน 2,666.67 บาท (ข้อมูลจากบริษัทเบตเตอร์เวิลด์กรีน จำกัด) จากผลการวิเคราะห์ดังกล่าวสามารถนำไปประยุกต์ใช้ในการนำของ

เสียไปใช้ประโยชน์และสามารถเพิ่มมูลค่าสร้างรายได้ได้อีกด้วย

4. สรุป

การประยุกต์นำของเสียประเภทฉลากกระดาษมา ใช้ประโยชน์ในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นร่วมกับผงหินปูน-ปูนซีเมนต์ พบว่าค่าร้อยละการดูดซึมน้ำของคอนกรีตตัวอย่าง มีค่าเพิ่มขึ้นตามอัตราส่วนของเสียประเภทฉลากกระดาษที่เพิ่มขึ้นแต่ส่งผลให้กำลังรับแรงอัดที่มีค่าลดลงในขณะที่บางค่ามีการเพิ่มขึ้นเนื่องจากของเสียประเภทฉลากกระดาษช่วยดูดซับน้ำเมื่ออัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานมากขึ้น และระยะเวลาบ่มแปรผันโดยตรงต่อกำลังรับแรงอัด ผลการศึกษาพบว่าจากอัตราส่วนผสม ปูนซีเมนต์ : ทราย : หิน ที่ 1 : 1.2 : 1.8 โดยน้ำหนัก และผสมของเสียประเภทฉลากกระดาษแทนที่ทรายที่อัตราส่วนร้อยละ 3 โดยใช้ผงหินปูนแทนที่ปูนซีเมนต์ที่ร้อยละ 10 โดยน้ำหนักปูนซีเมนต์ อัตราส่วนน้ำต่อซีเมนต์เท่ากับ 0.5 ที่ระยะเวลาบ่ม 28 วัน พบว่าสามารถทำให้คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นมีลักษณะสมบัติทางกายภาพผ่านเกณฑ์มาตรฐานผลิตภัณฑ์คอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรับน้ำหนักของกระทรวงอุตสาหกรรม (ที่ 50 เมกะปาสคาล) โดยมีกำลังรับแรงอัดเฉลี่ยเท่ากับ 55.7 เมกะปาสคาล ค่าความหนาแน่น 2.11 กรัมต่อลูกบาศก์เซนติเมตร และร้อยละการดูดซึมน้ำเฉลี่ย 5.97 ซึ่งสามารถนำไปใช้กับงานปูพื้นรับน้ำหนักได้ ค่าใช้จ่ายเบื้องต้นในการผลิตคอนกรีตบล็อกประสานปูพื้นรูปอัตรา 1 ก่อนน้ำหนักเฉลี่ย 4.24 กิโลกรัม หนา 6 เซนติเมตรมีราคาอยู่ที่ก่อนละ 4.36 บาท

5. กิตติกรรมประกาศ

งานวิจัยนี้ได้รับทุนวิจัยจากบัณฑิตวิทยาลัย จุฬาลงกรณ์มหาวิทยาลัย

เอกสารอ้างอิง

[1] Department of Science Service, "Ink on food packaging," Activity report, Bangkok: Department

of Science Service, vol.39, 1981 (in Thai).

- [2] Department of Industrial Work, "Disposal of Solid Waste and unused Materials," Ministry of Industry Act, vol.1, 2005 (in Thai).
- [3] U.S. Environment Protection Agency, *Acid Digestion of Sediments, Sludge, Soils*. No. 68-03-3254. November, 1988 .
- [4] U.S. Environment Protection Agency, *pH Electrometric Measurement*, CD-ROM. Revision 2, January, 1995.
- [5] U. Puetpaiboon, *Analysis of water, wastewater and solid waste*, Documentation of teaching engineering, supply and sanitation, Prince of Songkla University, 2003 (in Thai).
- [6] American Society for Testing and Materials. 1996. Standard specification for concrete aggregates. C33-93. Annual book of ASTM standard. 04.02, 4: 10-16.
- [7] 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.
- [8] 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.
- [9] 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.
- [10] 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.
- [11] N. Nuansawan et.al., "Effect of lime stone powder on the flow spread, exothermic and strength development of mortar," Undergraduate Thesis Department of Civil Engineering, Faculty of Engineering, Mahidol University, 2006 (in Thai).
- [12] H. Thitinun, "Utilization of Spent Silica Alumina for making Interlocking Concrete Paving Block," Master Thesis, Environmental Engineering Department, Faculty of Engineering, Chulalongkorn University, 2003 (in Thai).
- [13] V. Chovichien, *Concrete Technology*, 9th Edition, Bangkok: Sumphan-panit Printing, 2001 (in Thai).
- [14] Department of Industrial Work, "The standard for Interlocking Concrete Paving Block," Ministry of Industry Act, no.827. 1988 (in Thai).
- [15] Department of Industrial Work, "The heavy duty standard for Interlocking Concrete Paving Block," Ministry of Industry Act, no. 2035, 2000 (in Thai).
- [16] Prices of construction materials, Material product. Bangkok. (2010, March 1). [Online]. Available: http://www.indexpr.moc.go.th/PRICE_PRESENT/tablecsi_region.html
- [17] Prices of water supply, The Metropolitan Waterworks Authority. (2010, March 2). [Online]. Available: http://www.pwa.co.th/service/tariff_rate.html
- [18] Prices of electricity, The Metropolitan Electricity Authority. (2010, March 2). [Online]. Available: <http://www.eppo.go.th/power/pw-Rate-PEA.html>