

# การผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาจากกากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็ก

ไชยยันต์ ชัยจักร<sup>1</sup> สมิตร ส่งพิริยะกิจ<sup>2</sup> และ ดร. กุลพัฒน์ วัฒนกุล<sup>2</sup>

<sup>1</sup>บัณฑิตปริญญาตรี, <sup>2</sup>อาจารย์ โครงการภาควิชาเทคโนโลยีโยธา วิทยาลัยเทคโนโลยีอุตสาหกรรม สถาบันเทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ

**บทคัดย่อ :** บทความนี้แสดงถึงความเป็นไปได้ในการผลิตคอนกรีตบล็อกมวลเบาโดยใช้ตะกรันจากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็กเป็นมวลรวมหยาบเพื่อทดแทนการใช้หิน โดยมีส่วนผสมของปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินเป็นวัสดุประสาน ในการทดลองวัสดุประสานจะประกอบด้วยปูนซีเมนต์และเถ้าถ่านหินในอัตราส่วน 60:40 และ 40:60 และมีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 นอกจากนี้ยังกำหนดให้วัสดุประสานมีปริมาตรร้อยละ 40, 55 และ 70 ของช่องว่างมวลรวม การทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตบล็อกมวลเบาเป็นไปตาม มอก. 58-2530 ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่า การใช้วัสดุประสานที่มีอัตราส่วนระหว่างปูนซีเมนต์ต่อเถ้าถ่านหิน 40:60 แทนที่ช่องว่างระหว่างมวลรวมในอัตราร้อยละ 70 สามารถให้ค่ากำลังอัดได้เท่ากับ 44.80 และ 68.73 กก/ ซม<sup>2</sup> ที่อายุ 3 และ 28 วัน ตามลำดับ และมีค่าโมดูลัสการแตกหักเท่ากับ 10.71 กก/ ซม<sup>2</sup> ที่อายุ 28 วัน นอกจากนี้ยังมีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำเพียง 0.089 วัตต์/ เมตร/ องศาเซลเซียส โดยมีความหนาแน่นเท่ากับ 1380 กก/ ลบ.ม.

**ABSTRACT:** This paper is to show the feasibility of using a by-product from steel recycled manufacture to produce lightweight concrete block. Slag from the steel recycled process was used to replace coarse aggregate while the combination of fly ash and cement was employed as a binder. The binder was composed of cement and fly ash in the ratio of 60: 40 and 40: 60 with the binder to water ratio of 0.45. The ratios of binder to void in the mix were varied as 40, 55, and 70%. The major tests were in according to TIS. 58-2530. The results revealed that the use of cement/fly ash at the ratio of 40: 60 with the binder to void ratio of 70 was able to exhibit compressive strength of 40.80 and 68.73 ksc at 3 and 28 days, respectively. It also provided the modulus of rupture of 10.71 ksc at 28 days. Moreover, the coefficient of conductivity of lightweight concrete block was as low as 0.089 watt / meter/ °C with the density of 1380 kg/ m<sup>3</sup>.

**คำหลัก:** คอนกรีตมวลเบา; ตะกรัน; กำลังอัด; โมดูลัสการแตกหัก; สัมประสิทธิ์การนำความร้อน

## 1. บทนำ

ในปัจจุบันความนิยมในการใช้ผนังคอนกรีตมวลเบาในอุตสาหกรรมก่อสร้างมีมาก เนื่องจากแนวคิดด้านการอนุรักษ์พลังงานมีการคำนึงถึงมากขึ้น ผนังมวลเบาในการก่อสร้างบ้านพักอาศัยอาจทำให้เกิดการประหยัดพลังงานไฟฟ้าได้ เนื่องจากคุณสมบัติที่ดีกว่าในด้านการนำความร้อน

อย่างไรก็ตาม เทคโนโลยีที่ใช้ผลิตคอนกรีตมวลเบาในประเทศไทยนั้นล้วนเป็นเทคโนโลยีที่นำเข้าทั้งสิ้น ซึ่งสิ่งที่ตามมาคือการนำเข้าสารเคมีที่ใช้ในการผลิตเช่นผงอลูมิเนียมเป็นต้น เหตุนี้จึงทำให้คอนกรีตมวลเบา มีราคาแพงและเป็นข้อจำกัดในการส่งเสริมให้มีการใช้อย่างแพร่หลาย

อุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็กจากเศษเหล็ก หรือการหลอมเหล็กเพื่อการขึ้นรูป จำเป็นจะต้องมีการเติมตัวเร่งปฏิกิริยาเพื่อลดอุณหภูมิในการหลอมเหล็ก เช่น การใช้ปูนขาว ภายหลังจากการหลอมเหล็กเสร็จสิ้นแล้ว ขบวนการผลิตจะเหลือวัสดุเหลือใช้ (By-Product) อยู่จำนวนหนึ่งซึ่งมีลักษณะที่จำแนกได้เป็น 3 ประเภท ตามแต่กระบวนการจัดการของเสีย ประเภทแรก ตะกรันจะถูกย่อยให้เย็นตัวลงโดยปกติ (Air Cooled Slag) และมีลักษณะเป็นก้อนแข็ง ประเภทที่สอง ตะกรันจะถูกปล่อยให้เย็นตัวอย่างรวดเร็วโดยใช้น้ำฉีดที่ความดันสูงจนตะกรันที่ได้แตกตัว และมีขนาดเล็กประมาณ 3 มม. (Granulated Slag) ประเภทสุดท้าย ตะกรันจะถูกทำให้เย็นลงด้วยน้ำโดยการเทลงบ่อน้ำหรือฉีดก็ได้ จากการเย็นตัวแบบนี้ตะกรันจะขยายตัวคล้ายฟองน้ำ แข็งเบา มีความพรุนสูง (Expanded Slag) ตามข้อมูลของสำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน พบว่ามีของเสียเหล่านี้ประมาณ 1.54 ล้านตันต่อปี [1] ในทางปฏิบัติวัสดุเหลือใช้เหล่านี้จะเป็นขยะที่ต้องนำไปฝังกลบต่อไป งานวิจัยนี้เสนอแนวทางในการใช้ตะกรันประเภทที่มีความพรุนสูงจากอุตสาหกรรมการหลอมเหล็กมาเป็นวัสดุในการผลิตคอนกรีตมวลเบาซึ่งควรจะทำให้ต้นทุนของการผลิตคอนกรีตมวลเบาต่ำลง และจะช่วยลดปัญหาในการจัดการสิ่งแวดล้อมด้วย

## 2. วัสดุที่ใช้และวิธีการทดสอบ

### 2.1 วัสดุที่ใช้ในการทดสอบ

- (1) ปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ ถ.พ. เท่ากับ 3.15
- (2) ใ้ถ่านหิน จากอำเภอแม่เมาะ ลำปาง ถ.พ. เท่ากับ 2.02

### (3) น้ำประปา

- (4) กากตะกรันรีไซเคิลเหล็กย่อยจนมีขนาดเล็กกว่า  $\frac{1}{2}$  นิ้ว

### 2.2 องค์ประกอบทางเคมีของปูนซีเมนต์ ใ้ถ่านหิน และตะกรัน

จากตารางที่ 1 แสดงให้เห็นว่าใ้ถ่านหินที่ใช้ในการทดลองนี้เป็นใ้ถ่านหิน Class F ส่วนตะกรันก็มีองค์ประกอบทางเคมีที่อยู่ในจำพวกวัสดุประสานเช่นกัน คือมีองค์ประกอบของ CaO, SiO<sub>2</sub> เป็นหลัก อย่างไรก็ตาม งานวิจัยของศราวูดีและคณะ [2] ได้แสดงให้เห็นว่าการใช้ตะกรันจากเตาหลอมเหล็กผสมคอนกรีตให้กำลังอัดต่ำกว่าคอนกรีตปกติมาก ซึ่งแตกต่างจากงานวิจัยในต่างประเทศ ทั้งนี้อาจเป็นเพราะวิธีการหลอมเหล็กในประเทศไทยแตกต่างจากวิธีในต่างประเทศ ทำให้คุณภาพของตะกรันแตกต่างออกไป และเมื่อเนื้อดิน [3] พยายามบดตะกรันในประเทศให้มีความละเอียดมากขึ้น กำลังอัดของมอร์ต้าร์ก็มากขึ้น แต่ค่าใช้จ่ายจากการบดก็มากขึ้นตามไปด้วย

ตารางที่ 1 องค์ประกอบทางเคมีของวัสดุประสาน และตะกรัน

Chemical	Cement	Fly Ash	Slag
Composition (%)			
SiO <sub>2</sub>	22.1	55.2	49.5
Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	5.8	18.6	11.9
Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub>	3.3	10.3	3.7
CaO	63.9	8.6	24.3
MgO	1.4	3.5	1.5
K <sub>2</sub> O	0.4	2.4	0.8
Na <sub>2</sub> O	0.06	0.1	1.0
SO <sub>3</sub>	2.6	1.1	-
LOI	1.1	0.5	0.4

นอกจากนี้จากรายงานของเนื้อดิน [3] ยังแสดงให้เห็นว่าการชะละลายของตะกรันเตาหลอมเหล็กมีค่าต่ำและปลดปล่อยเงินไม่ถือว่าตะกรันเป็นวัสดุอันตราย

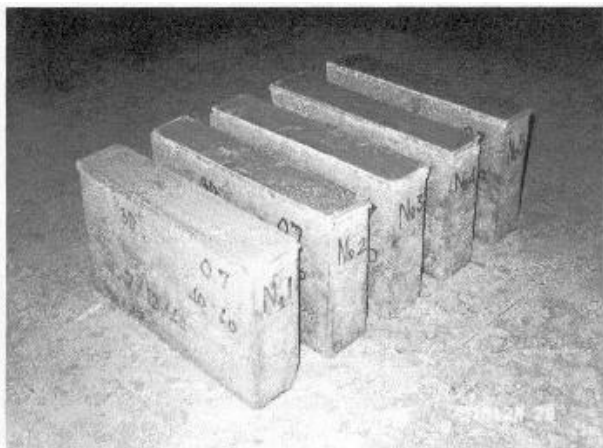
### 2.3 อัตราส่วนผสม

วัสดุประสานที่ใช้ในการทดลองเป็นส่วนผสมของปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ประเภทที่ 1 และใ้ถ่านหินแม่เมาะในอัตราส่วน 60 : 40 และ 40 : 60 มีอัตราส่วนน้ำต่อวัสดุประสานเท่ากับ 0.45 และมีอัตราส่วนระหว่างวัสดุประสานต่อช่องว่างระหว่างมวลรวมเท่ากับร้อยละ 40, 55 และ 70 โดยใช้สัญลักษณ์ xxCyy แสดงอัตราส่วนผสมของตัวอย่าง เช่น 70C40 จะหมายถึงตัว

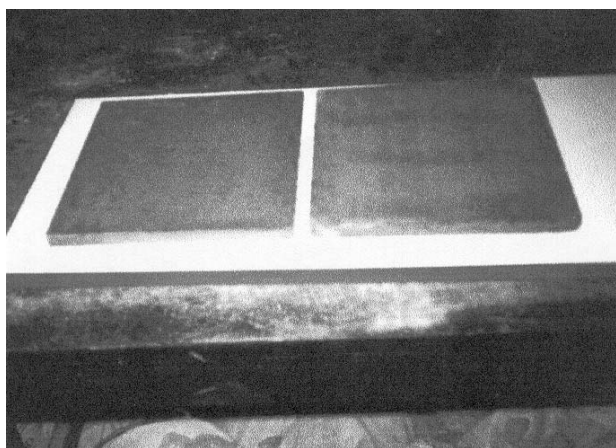
อย่างที่มีปริมาณปูนซีเมนต์ร้อยละ 40 เล้าถ่านหินร้อยละ 60 ของวัสดุประสาน และใช้แทนที่ช่องว่างมวลรวมร้อยละ 70 เป็นต้น

### 2.4 การทดสอบ

ในการทดสอบกำลังอัด ความหนาแน่น และการดูดกลืนน้ำของบล็อกคอนกรีตมวลเบาจะเป็นไปตามมาตรฐาน มอก. 58-2530 [4] คอนกรีตบล็อกไม่รับน้ำหนัก โดยกำลังอัดของคอนกรีตจะทดสอบที่อายุ 3 และ 28 วัน ทดสอบโมดูลัสการแตกหัก (Modulus of Rupture) โดยวิธี 2 จุด เมื่อตัวอย่างมีอายุ 28 วัน และส่งตัวอย่างทดสอบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่กรมวิทยาศาสตร์และบริการ รูปที่ 1 แสดงตัวอย่างของบล็อกคอนกรีตมวลเบาขนาด 19 x 39 x 7 ซม. วิธีการหาค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนแสดงในรูปที่ 2



รูปที่ 1 ตัวอย่างบล็อกคอนกรีตมวลเบา



รูปที่ 2 การทดสอบสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

## 3. ผลการทดสอบ

### 3.1 ความหนาแน่นของคอนกรีตมวลเบา

จากตารางที่ 2 พบว่าหน่วยน้ำหนักของคอนกรีตผสมตะกรันเหล็ก มีค่าอยู่ระหว่าง 1065 ถึง 1430 กก/ม<sup>3</sup> ซึ่งอยู่ในช่วงปกติของคอนกรีตมวลเบาที่มีหน่วยน้ำหนักตั้งแต่ 400 จนถึง 1840 กก/ม<sup>3</sup> [5] อย่างไรก็ตามเมื่อเปรียบเทียบกับหน่วยน้ำหนักของอิฐมวลเบาในระบบ Aerated Concrete ที่มีจำหน่ายในประเทศซึ่งมีค่าประมาณ 600 กก/ม<sup>3</sup> จะพบว่าคอนกรีตผสมตะกรันเหล็กมีน้ำหนักมากกว่าถึง 2 เท่า แต่ก็ยังน้อยกว่าผนังก่ออิฐซึ่งมีค่าประมาณ 1800 กก/ม<sup>3</sup>

นอกจากนี้จากตารางที่ 2 ไม่พบว่าความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมีการเปลี่ยนแปลงมากนักเมื่ออายุของคอนกรีตมากขึ้นจาก 3 เป็น 28 วัน ความหนาแน่นของคอนกรีตจะขึ้นอยู่กับความพรุนของคอนกรีต คอนกรีตที่มีอัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างมากจะมีความหนาแน่นมากขึ้นตามลำดับ เช่นตัวอย่าง 40C60 มีสัดส่วนช่องว่างร้อยละ 40 มีความหนาแน่นที่อายุ 28 วันเท่ากับ 1065 กก/ม<sup>3</sup> จะมีความหนาแน่นเพิ่มมากขึ้นเป็น 1425 กก/ม<sup>3</sup> เมื่อสัดส่วนช่องว่างเพิ่มขึ้นเป็นร้อยละ 70 เช่นตัวอย่าง 70C60

ตารางที่ 2 ความหนาแน่นของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

Mix ID.	Density at 3 days (kg/m <sup>3</sup> )	Density at 28 days (kg/m <sup>3</sup> )	Percent Changed (%)
70C40	1377	1380	-0.22%
70C60	1393	1425	-2.30%
55C40	1306	1301	0.38%
55C60	1334	1430	-7.20%
40C40	1092	1077	1.37%
40C60	1124	1065	5.25%

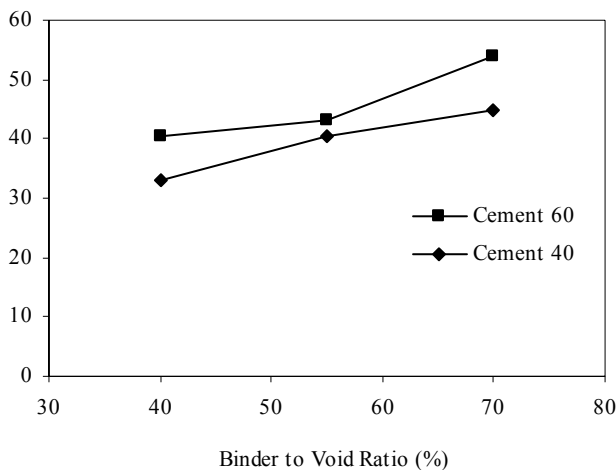
### 3.2 กำลังอัด

การทดสอบกำลังอัดของบล็อกคอนกรีตมวลเบาเป็นไปตาม มอก. 58-2530 โดยใช้ตัวอย่างจำนวน 5 ตัวอย่าง ผลการทดสอบพบว่าบล็อกคอนกรีตมวลเบาทุกอัตราส่วนผสมสามารถผ่านมาตรฐานบล็อกคอนกรีตไม่รับน้ำหนักทั้งสิ้นตั้งแต่อายุ 3 วัน โดยที่ตัวอย่าง 40C40 ให้กำลังอัดน้อยที่สุดที่ 33.20 กก/ซม<sup>2</sup> และตัวอย่าง 70C60 ให้กำลังอัดมากที่สุดที่ 53.81 กก/ซม<sup>2</sup> นอกจากนี้ที่อายุ 28 วัน ตัวอย่าง 70C60 ยังให้กำลังอัดมากที่สุดถึง 81.40 กก/ซม<sup>2</sup> ดังแสดงในตารางที่ 3

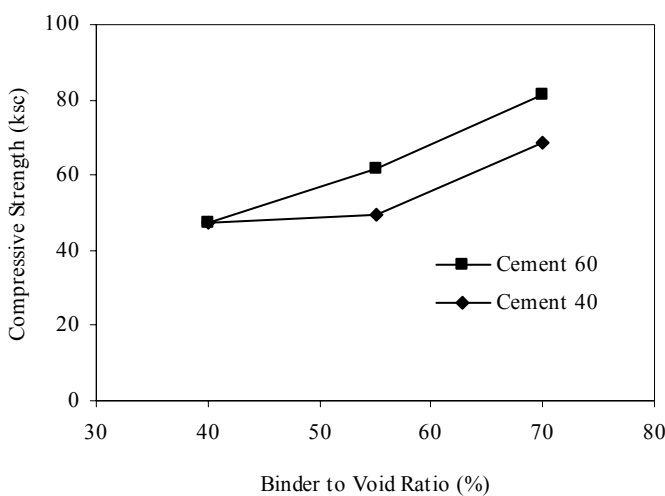
เมื่อสังเกตจากรูปที่ 3 และ 4 พบว่ากำลังอัดของบล็อกจะเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างที่มากขึ้น และเมื่อปริมาณปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานมากขึ้นกำลังอัดก็จะเพิ่มมากขึ้นได้เช่นกัน

ตารางที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

Mix ID.	Compressive Strength	
	at 3 days (ksc)	at 28 days (ksc)
70C40	44.80	68.73
70C60	53.81	81.40
55C40	40.43	49.48
55C60	43.22	61.62
40C40	33.20	47.36
40C60	40.47	47.26



รูปที่ 3 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาเมื่ออัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างต่างกันที่อายุ 3 วัน



รูปที่ 4 กำลังอัดของคอนกรีตบล็อกมวลเบาเมื่ออัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างต่างกันที่อายุ 28 วัน

อย่างไรก็ตามที่อายุ 28 วันเมื่ออัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างร้อยละ 40 พบว่าตัวอย่าง 40C60 ไม่ได้ให้กำลังอัดมากกว่าตัวอย่าง 40C40 เช่นเดียวกับอัตราส่วนอื่นๆ เมื่อเปรียบเทียบการวิจัยนี้กับงานวิจัยอื่น [6] ซึ่งเป็นคอนกรีตมวลเบาระบบ Aerated Concrete พบว่ามีกำลังอัดอยู่ในช่วงระหว่าง 53-103.6 กก/ ซม<sup>2</sup> ที่อายุ 28 วัน ตารางที่ 3 แสดงให้เห็นว่ากำลังอัดของคอนกรีตมวลเบาจากตะกอนเหล็กก็อยู่ในช่วงดังกล่าวด้วยเช่นกัน

### 3.3 โมดูลัสการแตกหัก

ค่าโมดูลัสการแตกหักนี้ ถึงแม้จะไม่ได้เป็นสิ่งที่มีผล 58-2530 กำหนดไว้ แต่สำหรับในงานคอนกรีตมวลเบาที่ต้องการใช้ความได้เปรียบทางด้านน้ำหนักในการหล่อบล็อกให้มีขนาดที่ใหญ่มากขึ้น จึงเป็นสิ่งที่จำเป็นที่ต้องตรวจสอบ ในการทดสอบจะใช้ตัวอย่างขนาด 15 x 15 x 75 ซม. และให้น้ำหนักกระทำแบบสองจุด

ตารางที่ 4 โมดูลัสการแตกหักของคอนกรีตมวลเบา

Mix ID.	Modulus of Rupture at 28 days (ksc)	
	Modulus of Rupture at 28 days (ksc)	Percent to Compressive Strength (%)
70C40	10.71	15.6
70C60	11.02	15.4
55C40	9.58	19.2
55C60	9.80	15.5
40C40	6.72	13.1
40C60	6.88	14.6

ตารางที่ 4 แสดงให้เห็นว่าค่าโมดูลัสการแตกหักมีค่าเพิ่มมากขึ้นตามอัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างที่เพิ่มมากขึ้นเช่นเดียวกันค่ากำลังอัด

นอกจากนี้จะเห็นได้ว่าค่าโมดูลัสการแตกหักไม่ได้แปรผันตามปริมาณปูนซีเมนต์ที่เพิ่มขึ้นมากนัก ทั้งนี้เพราะว่าปริมาณวัสดุประสานมีจำนวนน้อยมาก และไม่เพียงพอต่อการเคลือบผิวของมวลรวมจึงทำให้แรงยึดเหนี่ยวระหว่างมวลรวมมีน้อยมาก ถึงแม้ว่าจะมีปูนซีเมนต์ในสัดส่วนที่มากเป็นวัสดุประสานก็ตาม ค่าโมดูลัสการแตกหักยังมีค่าคิดเป็นร้อยละต่อกำลังอัดในช่วงระหว่าง ร้อยละ 13.1-19.2

### 3.4 การดูดกลืนน้ำ

การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบาที่มีค่าอยู่ในช่วงระหว่างร้อยละ 4.83 ถึง ร้อยละ 8.52 ตามตารางที่ 5 ซึ่งถือว่าไม่

เกินมาตรฐาน มอก. 58-2530 ซึ่งกำหนดไว้ไม่เกินร้อยละ 35 และถือว่ามีความน้อยเมื่อเปรียบเทียบกับงานวิจัยของ Sukontasukkul [6] ที่ศึกษาผลกระทบของการใช้เถ้าถ่านหินร่วมกับการใช้ผงลูมินัมและสารก่อฟองอากาศ ในการทำคอนกรีตมวลเบาพบว่าการดูดกลืนน้ำมีค่าอยู่ระหว่างร้อยละ 9.33 ถึง 13.62

ตารางที่ 5 การดูดกลืนน้ำของคอนกรีตบล็อกมวลเบา

Mix ID.	Absorption at 28 days (%)
70C40	4.83
70C60	4.89
55C40	6.92
55C60	6.12
40C40	8.52
40C60	8.33

### 3.5 ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน

ในการทดลองนี้ตัวอย่าง 70C40 ได้ถูกเลือกเพื่อนำไปทดสอบการนำความร้อนเพียง 1 ชนิด จำนวน 2 ตัวอย่าง เพื่อประหยัดค่าทดสอบ โดยตัวอย่างนี้มีค่าความหนาแน่นมากที่สุด ซึ่งควรจะให้ค่าการนำความร้อนที่สูงที่สุด ผลการทดสอบแสดงให้เห็นว่าตัวอย่าง 70C40 มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนเพียง 0.089 วัตต์/ เมตร/ องศาเซลเซียส ข้อมูลในตารางที่ 6 แสดงการเปรียบเทียบค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้างชนิดต่างๆ ซึ่งแสดงให้เห็นว่าคอนกรีตมวลเบา มีค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อนที่ต่ำมาก

ตารางที่ 6 สัมประสิทธิ์การนำความร้อนของวัสดุก่อสร้าง

วัสดุ	ค่าสัมประสิทธิ์การนำความร้อน (W/ m <sup>2</sup> °C)
อิฐมอญ	1.154
คอนกรีตบล็อก	0.220
คอนกรีต	1.442
คอนกรีตเบา (ความหนาแน่น 690 กก/ ม <sup>3</sup> )	0.303
แผ่นซีเมนต์แอสเบสทอส	0.198
70C60 จากการทดลองนี้	0.089

### 3.6 ต้นทุนการผลิต

ตารางที่ 7 แสดงให้เห็นว่าราคาวัสดุต่อก้อนในแต่ละอัตราส่วนโดยมีฐานการคิดจากค่าปูนซีเมนต์กิโลกรัมละ 1.50 บาท และเถ้าถ่านหินกิโลกรัมละ 0.30 บาท ไม่รวมค่าตะกรัน และค่าขนส่งตะกรัน

ตารางที่ 7 ตารางแสดงราคาวัสดุต่อก้อน

Mix ID.	อัตราส่วน	ราคาต่อก้อน	ราคาต่อตารางเมตร
	C : FA	(บาท)	(บาท)
70C40	40 : 60	5.30	66.25
70C60	60 : 40	7.90	98.75
55C40	40 : 60	4.17	52.12
55C60	60 : 40	6.09	76.12
40C40	40 : 60	4.18	52.25
40C60	60 : 40	4.43	55.37

## 4. สรุปผลการทดลอง

จากผลการทดลองสามารถสรุปได้ดังนี้

1. ตะกรันจากการหลอมเหล็กสามารถนำมาใช้เป็นมวลรวมในการผลิตคอนกรีตมวลเบาได้โดยมีความหนาแน่นในช่วงระหว่าง 1065 ถึง 1430 กก/ ม<sup>3</sup> โดยมีกำลังอัดไม่น้อยกว่า 47.26 กก/ ซม<sup>2</sup> ที่อายุ 28 วัน
2. ปริมาณปูนซีเมนต์ในวัสดุประสานที่มากขึ้นจะมีผลทำให้กำลังอัดของคอนกรีตมวลเบา มีค่ามากขึ้น แต่เมื่ออัตราส่วนวัสดุประสานต่อช่องว่างมีค่าน้อยลงถึงร้อยละ 40 ผลกระทบของปริมาณปูนซีเมนต์จะมีน้อยมาก
3. ราคาต่อตารางเมตรของบล็อกคอนกรีตมวลเบาจากกากอุตสาหกรรมรีไซเคิลเหล็กอยู่ในช่วงระหว่าง 52.12 ถึง 98.75 บาท

## 5. เอกสารอ้างอิง

- [1] ส่วนบริหารจัดการของเสีย, สำนักเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อมโรงงาน, การกำจัดกากของเสียอันตรายจากโรงงานอุตสาหกรรม, กรมโรงงานอุตสาหกรรม, 14 หน้า, 2540
- [2] สรวุฒิ บุญบงก์, บุรฉัตร ฉัตรวิระ, และสมนึก ตั้งเดิมศิริกุล คุณสมบัติของคอนกรีตผสมตะกรันเตาถลุงที่มีความละเอียดต่ำ, เอกสารประกอบการประชุมวิศวกรรมโยธาแห่งชาติครั้งที่ 5, พัทยา, เล่มที่ 1, หน้า MAT147-152, 2542
- [3] นฤตล อภัยจิตต์, การนำตะกรันเตาหลอมเหล็กมาใช้เป็นวัสดุทดแทนปูนซีเมนต์ในบล็อกรูปถนน, วิทยานิพนธ์สาขาวิชาเทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม, มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี, 109 หน้า, 2544
- [4] มอก. 58-2530, สำนักงานมาตรฐานผลิตภัณฑ์อุตสาหกรรม, กระทรวงอุตสาหกรรม, 2530
- [5] Neville, A.M., *Properties of Concrete*, 3<sup>rd</sup> Edition, Pitman Publishing Limited: 568 pp., 1981

[6] Sukontasukkul, P., Effect of Fly Ash on Preformed Foam and Aluminum Powder Cellular Concrete, *Proceedings of the Eighth National Convention on Civil Engineering*, Khon Kaen, Vol 3, pp. MAT173-177, 2002.

ต้องการข้อมูลเพิ่มเติม ติดต่อ สมิตร์ ส่งพิริยะกิจ, สถาบัน

เทคโนโลยีพระจอมเกล้าพระนครเหนือ, โทร. 0-2585-8540-9

ต่อ 6515, หรือ [ssy@kmitnb.ac.th](mailto:ssy@kmitnb.ac.th)

### กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบคุณ นายชยา เข้มเกษสุคนธ์ นายนราวิทย์ เสวตสมบูรณ์

ที่ให้ความช่วยเหลือในการเก็บตัวอย่าง