การศึกษาศักยภาพการนำตะกรันของเตาอุ่นน้ำเหล็กจากกระบวนการผลิตเหล็กแผ่นรีดร้อนชนิดม้วนกลับมาใช้ประโยชน์ใหม่

Study of Recycling Potential of Ladle Furnace Slag (LFS) form Production Process of Hot Rolled Coil Steel

มิตรชัย รัตนวงศ์*, เทอดพงศ์ ศรีสุขพันธุ์
คณะสาธารณสุขศาสตร์และสิ่งแวดล้อม มหาวิทยาลัยหัวเฉียวเฉลิมพระเกียรติ
*E-mail: templeboy91@gmail.com

บทคัดย่อ

งานวิจัยนี้เป็นการวิจัยเชิงทดลองมีวัตถุประสงค์เพื่อศึกษาปริมาณตะกรันของเตาอุ่นน้ำเหล็ก Ladle furnace slag (LFS) ที่เหมาะสมมาใช้ทดแทนปูนซีเมนต์ ทราย และหินในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่สามารถรับแรงอัดได้ไม่น้อยกว่า 145 kg/cm^2 ผู้วิจัยได้ใช้ LFS แทนปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ในสัดส่วนร้อยละ 25, 50, และ 75 โดยน้ำหนักต่อปริมาตร โดยทำการทดลองซ้ำทั้งหมด 3 ครั้ง จากผลการทดลองพบว่า ในกรณีที่ใช้ LFS ทดแทนปูนซีเมนต์ จะสามารถทดแทนได้ 75 kg สำหรับการผลิตคอนกรีต 1 m^3 ซึ่งสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้เท่ากับ 168.56 kg/cm^2 (เวลาบ่มคอนกรีต 28 วัน) และสามารถลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จลงได้ร้อยละ 16.40 สำหรับกรณีที่ใช้ LFS ทดแทนทราย พบว่า ในการผลิตคอนกรีต 1 m^3 สามารถใช้ LFS แทนส่วนผสมของทรายได้ 312 Kg และ 468 Kg โดยสามารถรับกำลังอัดเฉลี่ยได้ 160.64 kg/cm^2 (เวลาบ่มคอนกรีต 21 วัน) และ 179.53 kg/cm^2 (เวลาบ่มคอนกรีต 28 วัน) จากส่วนผสมนี้ทำให้สามารถลดต้นทุนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จลงได้ร้อยละ 12.46 และ 18.69 ส่วนในกรณีที่ใช้ LFS ทดแทนหิน พบว่า ทุกส่วนผสมมีกำลังรับแรงอัดต่ำกว่า 145 kg/cm^2

คำสำคัญ: ตะกรันของเตาอุ่นน้ำเหล็ก คอนกรีตผสมเสร็จ

Abstract

The objectives of this experimental research is studying of the appropriate proportions among cement, sand, rock and ladle furnace slag (LFS) for preparation of ready mixed concrete with the compressive strength higher than 145 kg/cm^2. LFS was substituted with cement sand and rock with the properties of 25, 50 and 75 % weight by volume. The triplicate experiment was applied. According to the result, it found that in case that cement was substituted by LFS, it was found that the acceptable content of LFS was 75 Kg per 1 m^3 of the ready mixed concrete. The average strength of concrete was 168.56 kg/cm^2 (curing time of 28 days). The cost of ready mixed concrete was decreased by 16.40%. In the case where sand was substituted by LFS, the acceptable contents were 312 Kg and 468 Kg per 1 m^3 of the ready mixed concrete. The average strengths of concrete were 160.64 kg/cm^2 (curing time of 21 days) and 179.53 kg/cm^2 (curing time of 28 days) respectively. The costs of ready mixed concrete were decreased by 12.46 and 18.69 %. In case that rock was substituted by LFS, all of proportions performed strength lower than 145 kg/cm^2

Keywords: Ladle furnace slag, Ready mixed concrete

บทนำ

โรงงานผลิตเหล็กรีดร้อนเป็นโรงงานผลิตเหล็กแผ่นขนาดย่อม (Mini-mill) ประกอบด้วยการหลอมวัตถุดิบด้วยไฟฟ้า (Electric Arc Furnace) การปรุงแต่งน้ำเหล็ก (Ladle Heating Furnace) การหล่อเหล็กแผ่นอย่างบาง (Thin Slab Casting) และกระบวนการรีดร้อน (Hot Strip Mill) ต่อเนื่องผ่านแท่นรีด 6 แท่น โดยวัตถุดิบสำหรับการหลอมถูกส่งมาตามระบบลำเลียงและให้ความร้อนแบบต่อเนื่อง (Conveyor steel Process) ปัจจุบันปริมาณการผลิตของบริษัทอยู่ที่ประมาณ 19 Heat/Day และการหลอม 1 Heat ใช้วัตถุดิบประมาณ 200 ตัน จะได้น้ำเหล็กประมาณ 180 ตัน และเกิดตะกรันของเตาอุ่นน้ำเหล็ก (Ladle furnace slag, LFS) ประมาณ 10,800 ตัน/ปี [1] และปลดปล่อยก๊าซเรือนกระจกจากการขนย้าย LFS เพื่อไปฝังกลบถึง 63,236.16 $KgCO_{2eq}/y$ [3]

LFS ประกอบไปด้วย ซิลิกา อะลูมินา แมกนีเซีย แคลเซียมออกไซด์ และเหล็กออกไซด์ LFS ที่ผ่านมามีการนำ LFS ใช้ในการถมที่หรือนำไปย่อยให้มีขนาดเล็กสำหรับโรยกลบหลุมหรือบ่อของ ทางเดิน ใช้เป็นวัสดุมวลรวมในคอนกรีตสำหรับงานถนน [5] ใช้เป็นวัตถุดิบสำหรับผลิตเม็ดปูน โดยการผสมในเตาเผาปูนร่วมกับส่วนผสมอื่นๆ ในบางกรณีสามารถใช้งานแทน Portland cement ได้เนื่องจากวัสดุทั้งสองชนิดมีส่วนผสมทางเคมีค่อนข้างใกล้เคียงกัน [2] LFS ถูกจัดให้เป็นของเสียไม่อันตรายจากแหล่งกำเนิดจำเพาะประเภทหรือจำเพาะชนิด จากประกาศ กระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว หากต้องการกำจัด LFS ด้วยการนำไปฝังกลบ จะต้องเสียค่าใช้จ่ายในการฝังกลบวันละ 840 บาทต่อเที่ยวต่อคัน

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อที่จะนำ LFS ที่ไม่ใช้แล้วมาเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ ที่กำลังอัดไม่ต่ำกว่า 145 kg/cm^2 เพื่อที่จะเป็นการส่งเสริมการนำของเสียกลับมาใช้ใหม่เป็นการประหยัดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสียและเพื่อเป็นการลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จเนื่องจากเป็นทดลองเบื้องต้นงานวิจัยนี้จะใช้ LFSเป็นส่วนผสมในการผลิตคอนกรีตแทน ปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ในสัดส่วน 25, 50, 75 และ 100 เปอร์เซ็นต์ โดยปริมาตร

วัตถุประสงค์ของการศึกษา

1.เพื่อนำตะกรันของเตาอุ่นน้ำเหล็ก (Ladle furnace Slag, LFS)จากกระบวนการหล่อหลอมเหล็กมาทดลองผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เพื่อลดปัญหาการฝังกลบ

2.ศึกษาอัตราการคืนทุนจากการนำตะกรันของเตาอุ่นน้ำเหล็ก (Ladle furnace Slag, LFS) จากกระบวนการหล่อหลอมเหล็กมาผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ และเพิ่มมูลค่าให้กับกากอุตสาหกรรม

ระเบียบวิธีวิจัย

งานวิจัยในครั้งนี้เป็นงานวิจัยเชิงทดลองเพื่อพัฒนาคอนกรีตผสมเสร็จโดยใช้กาก LFS โดยมีขั้นตอนการวิจัยดังนี้

1.การทดสอบความเป็นของเสียอันตรายของ LFS

นำกากตะกรันจากเตาอุ่นน้ำเหล็กมาตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก ได้แก่ As, Cd, Cr, Pb, Hg, Ni, และ Zn แล้วนำมาเปรียบเทียบกับมาตรฐาน ประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้ว (ตารางที่ 1)

ตารางที่ 1 วิธีการตรวจวิเคราะห์โลหะหนัก

ลำดับ	พารามิเตอร์	วิธีการตรวจวิเคราะห์
1	As	Atomic Absorption, Furnace Technique
2	Cd	Atomic Absorption, Direct Aspiration
3	Cr	Colorimetric (Discrete-FIA)
4	Pb	Atomic Absorption, Furnace Technique
5	Hg	Manual Cold-Vapor Technique (CVAA)
6	Ni	Atomic Absorption, Furnace Technique
7	Zn	Atomic Absorption, Furnace Technique

2.ทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีส่วนผสมจาก LFS

การเตรียมคอนกรีตผสม LFS ได้สัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตปริมาตร 1 ลบ.ม. ประกอบด้วย ปูนซีเมนต์ น้ำ หิน ทราย และ LFS แสดงในตารางที่ 2 สำหรับคุณสมบัติของคอนกรีตผสมเสร็จได้ทดสอบค่าการยุบตัว (Slump Test) ซึ่งดำเนินการทดสอบในขณะที่ยังเป็นคอนกรีตและทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่แข็งตัวแล้ว ที่อายุของการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน ตามลำดับ

ตารางที่ 2 แสดงสัดส่วนของวัตถุดิบที่ใช้ในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จ

ตัวอย่างที่	**แทนปูน (%)**	**ปูน(กก.)**	**ทราย(กก.)**	**หิน(กก.)**	**น้ำ(กก.)**	LFS**(กก.)**
A1	100	0	624	1296	180	300
A2	75	75	624	1296	180	225
A3	50	150	624	1296	180	150
A4	25	225	624	1296	180	75
B1	100	300	0	1296	180	624
B2	75	300	156	1296	180	468
B3	50	300	312	1296	180	312
B4	25	300	468	1296	180	156
C1	100	300	624	0	180	1296
C2	75	300	624	324	180	972
C3	50	300	624	648	180	648
C4	25	300	624	972	180	324

ทำการบ่มคอนกรีตและทดสอบกำลังรับแรงอัด (Compression Test) ของคอนกรีตผสมเสร็จตามมาตรฐาน ASTM C39 และทดสอบการยุบตัว (Slump test) ตามมาตรฐาน ASTM C143 ตามลำดับ

3. ต้นทุนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่แทนที่ปูนซีเมนต์, ทราย หิน และน้ำ ด้วย LFS

ต้นทุนในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่แปรรูปจาก **LFS** ได้คำนวณจากราคาวัสดุก่อสร้างต่อหน่วยที่แสดงไว้ในตารางที่ 3

ตารางที่ 3 ต้นทุนราคาวัสดุก่อสร้างที่ใช้ในการประเมินต้นทุนของผลิตภัณฑ์

วัสดุ	ราคาต่อหน่วย	หน่วย
ทราย	0.08	บาทต่อกิโลกรัม
หิน	0.16	บาทต่อกิโลกรัม
ปูนซีเมนต์	2.7	บาทต่อกิโลกรัม
น้ำ (ราคาน้ำประปา กปภ.)	10	บาทต่อลูกบาศก์เมตร

4. การวิเคราะห์ข้อมูล

การวิเคราะห์เชิงสถิติ : ค่าเฉลี่ยเลขคณิต

ผลการวิจัย

1. ผลการทดสอบความเป็นของเสียอันตรายของ LFS

การนำLFS ไปใช้เป็นวัสดุรีไซเคิลเพื่อแปรรูปเป็นผลิตภัณฑ์ จำเป็นต้องตรวจสอบสถานภาพความเป็นของเสียอันตรายเสียก่อน หากตรวจพบว่าเป็นของเสียอันตราย จะไม่สามารถนำมารีไซเคิลได้ จากตารางที่ 3 พบว่า LFS ที่นำมาใช้งานมีคุณสมบัติเป็นกากของเสียไม่อันตรายจึงสามารถนำLFS ไปใช้ประโยชน์ต่อไปได้ ซึ่งสอดคล้องกับประกาศกระทรวงอุตสาหกรรม พ.ศ. 2548 เรื่อง การกำจัดสิ่งปฏิกูลหรือวัสดุที่ไม่ใช้แล้วแสดงในตารางที่ 4

ตารางที่ 4 ผลการตรวจวิเคราะห์กากตะกรันน้ำเหล็ก

พารามิเตอร์	หน่วย	ผลการตรวจวิเคราะห์ LFS	Soluble Threshold Limit Concentration, STLC (มิลลิกรัมต่อลิตร)
Chromium	mg/kg	0.045	5
Cadmium	mg/kg	0.006	1.0
Mercury	mg/kg	**ND	0.2
Lead	mg/kg	0.004	5
Arsenic	mg/kg	0.002	5
Nickel	mg/kg	0.013	20
Zinc	mg/kg	0.098	250

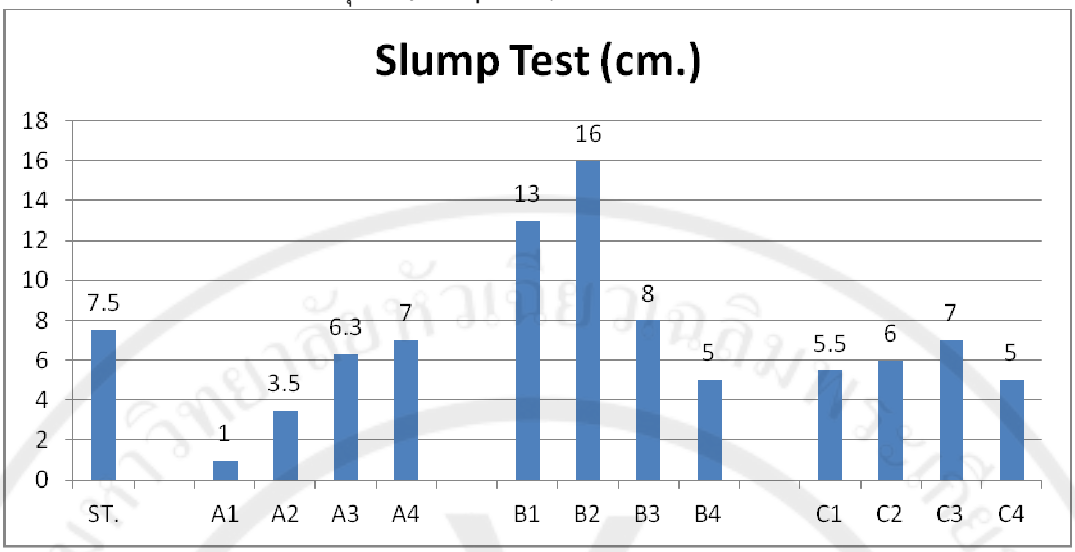
หมายเหตุ: ND = ไม่พบ (Not detected)

2. ผลการทดสอบคุณสมบัติของคอนกรีตที่มีส่วนผสมจาก LFS

2.1 ค่าการยุบตัวของคอนกรีตผสมเสร็จ

จากผลการทดสอบ พบว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของการผสม LFS ทดแทนตัวอย่าง A1 และ A2 ในอัตราส่วนร้อยละ 100 และร้อยละ 75 ตามลำดับ จะทำให้ค่าการยุบตัวของคอนกรีตลดลง แต่เมื่อดูผลการทดสอบจากการนำเอา LFS มาทดแทนตัวอย่าง B และ C (ไม่ได้ลดปริมาณปูนซีเมนต์) จะพบว่าค่าการยุบตัวจะยังเกาะกลุ่มอยู่ในค่าที่ได้มาตรฐานคือตัวอย่าง B3, B4, C1, C2, C3 และ C4 เนื่องจาก LFS มีคุณสมบัติในการดูดซึมน้ำได้ดีกว่าปูนซีเมนต์ ส่งผลให้คอนกรีตมีความข้นเพิ่มมากขึ้นซึ่งค่าที่ยอมรับได้คือ 7.5 ± 2.5 ซม. หรือ 5-10 ซม.ดังแสดงในกราฟที่ 1

กราฟที่ 1 แสดงค่าการทดสอบการยุบตัว (Slump Test)



หมายเหตุ : ST คือค่ามาตรฐาน

A1 คือแทนปูน 100%, A2 คือแทนปูน 75%, A3 คือแทนปูน 50%, A4 แทนปูน 25%

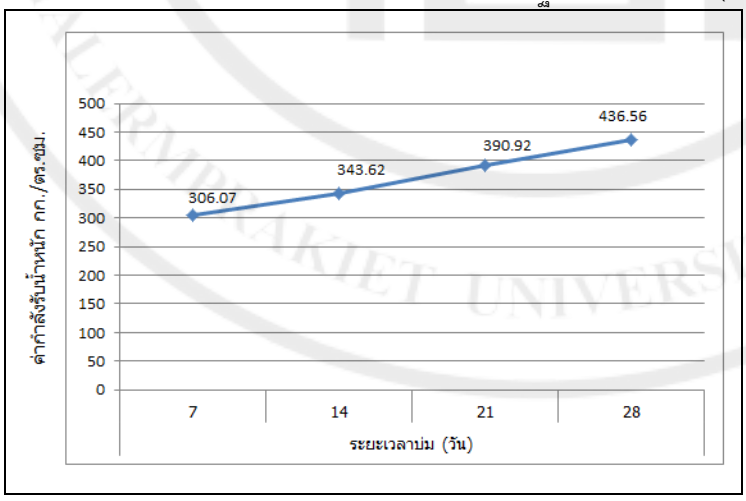
B1 คือแทนทราย 100%, B2 คือแทนทราย 75%, B3 คือแทนทราย 50%, B4 แทนทราย 25%

C1 คือแทนหิน 100%, C2 คือแทนหิน 75%, C3 คือแทนหิน 50%, C4 แทนหิน 25%

2.2 ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ (กรณีไม่มีส่วนผสมของ LFS)

ผู้วิจัยได้จัดทำคอนกรีตผสมเสร็จที่มีส่วนผสมของปูนซีเมนต์ ทราย และหิน เท่ากับ 300 Kg, 624 Kgและ 1296 Kg และได้ทดสอบความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตที่อายุการบ่ม 7, 14, 21 และ 28 วัน พบว่ากำลังรับแรงอัดเท่ากับ 306.07 Kg/cm^2, 343.62 Kg/cm^2, 390.92 Kg/cm^2 และ 436.56 Kg/cm^2 ตามลำดับ ดังแสดงในกราฟที่ 2

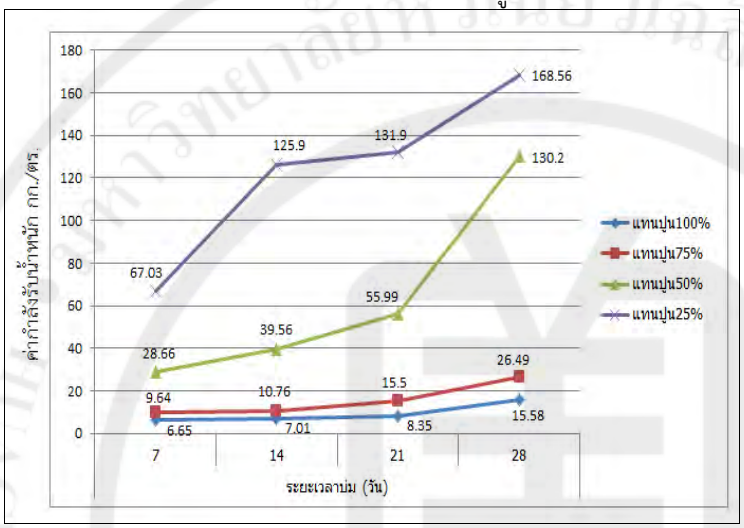
กราฟที่ 2 แสดงค่าการรับน้ำหนักส่วนผสมตามค่ามาตรฐาน ASTM C192 (ทรงลูกบาศก์)



2.3 ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ (กรณีใช้ LFS ทดแทนปูนซีเมนต์)

เมื่อดูผลการทดสอบค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตแสดงในกราฟที่ 3 หากพิจารณาในด้านของกำลังรับน้ำหนักที่ช่วงอายุการบ่มต่าง ๆ จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ LFS มากขึ้น ความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีตที่ช่วงอายุต่าง ๆ จะพัฒนาได้ช้าลง ซึ่งสรุปได้ว่า หากต้องการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณสมบัติของกำลังรับน้ำหนักตั้งแต่ 145-240 Kg/cm^2 พบว่า จะสามารถผสม LFS ทดแทนปูนซีเมนต์ต่อส่วนผสม 1 m^3 ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ที่อายุการบ่มเท่ากับ 28 วัน

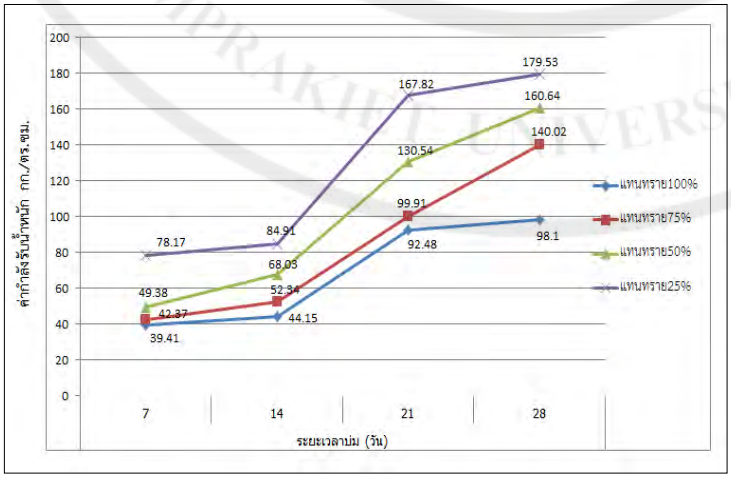
กราฟที่ 3 แสดงค่าการรับน้ำหนักส่วนผสมทดแทนปูนซีเมนต์



2.4 ความสามารถในการรับกำลังอัดของคอนกรีตผสมเสร็จ (กรณีใช้ LFS ทดแทนทราย)

เมื่อดูผลการทดสอบค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตแสดงในกราฟที่ 4 หากพิจารณาในด้านของกำลังรับน้ำหนักที่ช่วงอายุการบ่มต่าง ๆ จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ LFS มากขึ้น ความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีตที่ช่วงอายุต่าง ๆ จะพัฒนาได้ช้าลง ซึ่งสรุปได้ว่า หากต้องการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่มีคุณสมบัติของกำลังรับน้ำหนักตั้งแต่ 145-240 Kg/cm^2 พบว่า จะสามารถผสม LFS ทดแทนทรายต่อส่วนผสม 1 m^3 ได้ไม่เกินร้อยละ 25 ที่อายุการบ่มเท่ากับ 21 วัน และ 28 วัน และทดแทนทรายต่อส่วนผสม 1 m^3 ได้ไม่เกินร้อยละ 50 ที่อายุการบ่มเท่ากับ 28 วัน

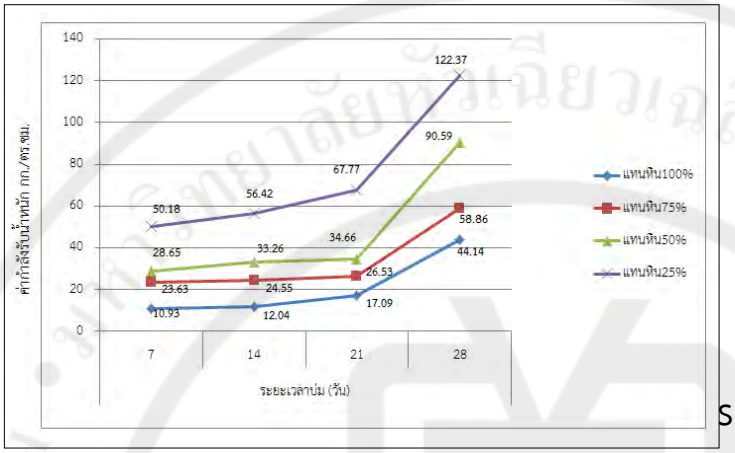
กราฟที่ 4 แสดงค่าการรับน้ำหนักส่วนผสมแทนทราย



(กรณีใช้ LFS ทดทนหิน)

เมื่อดูผลการทดสอบค่าการรับแรงอัดของคอนกรีตแสดงในกราฟที่ 5 หากพิจารณาในด้านของกำลังรับน้ำหนักที่ช่วงอายุการบ่มต่าง ๆ จะเห็นว่า เมื่อเพิ่มสัดส่วนของ LFS มากขึ้น ความสามารถในการรับน้ำหนักของคอนกรีตที่ช่วงอายุต่าง ๆ จะพัฒนาได้ช้าลง เนื่องจากค่าสูงสุดของกำลังรับน้ำหนัก มีค่าเพียง 122.37 Kg/cm^2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน จึงสรุปได้ว่าเมื่อดูจากผลการทดสอบแล้วไม่สามารถนำมาใช้งานได้

กราฟที่ 5 แสดงค่าการรับน้ำหนักส่วนผสมแทนหิน



S

ราคาต้นทุนโดยเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเสร็จต่อลูกบาศก์เมตรที่ได้จากราคาตลาดกลางแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าในกรณีที่ไม่ผสม LFS คอนกรีตเสร็จผสมมีต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 1,069.08 บาทต่อลูกบาศก์เมตร และราคาต้นทุนของคอนกรีตผสมเสร็จจะลดต่ำลงเมื่อได้ทำการเพิ่มสัดส่วนของการใช้ LFS ทดแทนปูนซีเมนต์ ในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จร้อยละ 25, 50, และ 75 ดังแสดงในตารางที่ 5

ตารางที่ 5 ราคาต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของคอนกรีตผสมเสร็จ (แทนปูนซีเมนต์)

ปริมาณLFS ที่ผสมในคอนกรีต (ร้อยละ)	**ราคาต่อหน่วย** (บาท/ลบ.ม)
0	1,069.08
25	866.58
50	664.08
75	461.08

4. ต้นทุนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่แทนที่ทรายด้วย LFS

ราคาต้นทุนโดยเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเสร็จต่อลูกบาศก์เมตรที่ได้จากราคาตลาดกลางแสดงใน ตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าในกรณีที่ไม่ผสม LFS คอนกรีตเสร็จผสมมีต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 1,069.08 บาท/ลบ.ม. และราคาต้นทุนของคอนกรีตผสมเสร็จจะลดต่ำลงเมื่อได้ทำการเพิ่มสัดส่วนของการใช้ LFS ทดแทนทราย ในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จร้อยละ 25, 50, และ 75 ดังแสดงใน ตารางที่ 6

ตารางที่ 6 ราคาต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของคอนกรีตผสมเสร็จ (ทดแทนทราย)

ปริมาณLFS ที่ผสมในคอนกรีต (ร้อยละ)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ลบ.ม.)
0	1,069.08
25	1056.60
50	1044.12
75	1031.64

5. ต้นทุนการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จที่ทดแทนหินด้วย LFS

ราคาต้นทุนโดยเฉลี่ยของคอนกรีตผสมเสร็จต่อลูกบาศก์เมตรที่ได้จากราคาตลาดกลางแสดงในตารางที่ 3 ซึ่งพบว่าในกรณีที่ไม่ผสม LFS คอนกรีตเสร็จผสมมีต้นทุนในการผลิตเท่ากับ 1,069.08 บาท/ลบ.ม. และราคาต้นทุนของคอนกรีตผสมเสร็จจะลดต่ำลงเมื่อได้ทำการเพิ่มสัดส่วนของการใช้ LFS ทดแทนหิน ในการผสมคอนกรีตผสมเสร็จร้อยละ 25, 50, และ 75 ดังแสดงใน ตารางที่ 7

ตารางที่ 7 ราคาต้นทุนเฉลี่ยต่อหน่วยของคอนกรีตผสมผสมเสร็จ (ทดแทนหิน)

ปริมาณLFS ที่ผสมในคอนกรีต (ร้อยละ)	ราคาต่อหน่วย (บาท/ลบ.ม)
0	1,069.08
25	1017.24
50	965.40
75	913.56

สรุปและผลอภิปราย

งานวิจัยนี้มีวัตถุประสงค์เพื่อหาปริมาณที่เหมาะสม ของการใช้ LFS ทดแทนปูนซีเมนต์ ทราย และหิน ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ เพื่อเป็นแนวทางในการนำของเสีย ที่เกิดขึ้นจากอุตสาหกรรมเหล็กที่ไม่มีมูลค่าไปใช้ให้เกิดประโยชน์ ลดค่าใช้จ่ายในการกำจัดของเสีย และเพื่อลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ โดยยังคงได้คอนกรีตที่มีการรับแรงอัดในระดับที่ยอมรับได้ สำหรับส่วนผสมที่เหมาะสม ของคอนกรีตที่ได้จากงานวิจัยนี้แบ่งออกเป็น 3 กรณีดังนี้

1. กรณีใช้ LFS ทดแทนปูนซีเมนต์ พบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตที่มีค่าการรับแรงอัดได้สูงสุด ถ้าใช้ LFS 75 Kg ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ 1 m^3 จะทำให้มีการรับแรงอัดได้สูงถึง 168.56 kg/cm^2 ที่อายุการบ่ม 28 วัน จากส่วนผสมนี้จะทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จลงประมาณ 202.5 บาท/ลบ.ม. คิดเป็น 16.40%

2. การใช้ LSFทดแทนทราย พบว่าส่วนผสมที่เหมาะสมสำหรับคอนกรีตที่มีค่าการรับแรงอัดได้สูงสุดถ้าใช้ LSF จำนวน 312 Kg และ 468 Kg ในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จ 1 m^3 จะทำให้มีการับแรงอัดได้สูงถึง 160.64 kg/cm^2 และ 179.53 kg/cm^2 จากส่วนผสมนี้จากส่วนผสมนี้จะทำให้สามารถลดต้นทุนในการผลิตคอนกรีตผสมเสร็จลงประมาณ 24.96 บาท/ลบ.ม. และ 37.44 บาท/ลบ.ม.คิดเป็น 12.46% และ คิดเป็น 18.69 % ตามลำดับ

3. กรณีใช้ LSF ทดแทนหิน พบว่าสำหรับส่วนผสมนี้มีค่าการรับแรงอัดที่ 44.10-122.37 kg/cm^2 เท่านั้นซึ่งค่าดังกล่าวต่ำกว่าค่าที่ต้องการคือ 145 kg/cm^2

ข้อเสนอแนะ

1. ควรมีการบ่ม LFS โดยการผึ่งแห้งในที่โล่งก่อนนำมาใช้งาน เพื่อลดความชื้นไม่น้อยกว่า 6 เดือนก่อนนำมาใช้งาน
2. ควรมีการร่อน LFS โดยใช้ตะแกรงเบอร์ 16 (ขนาดช่องว่างตะแกรง 1.19 cm.) เพื่อให้มีขนาดใกล้เคียงกับปูนซีเมนต์ผงก่อนนำมาใช้งาน
3. ในการทดลองครั้งต่อไปควรมีการทดสอบลูกปูนตัวอย่างที่มีอายุการบ่มมากกว่านี้ เช่น 60 วันหรือ 90 วัน อาจจะได้ทราบค่ากำลังอัดที่สามารถรับแรงกดได้มากกว่านี้ เมื่อตัวอย่างมีอายุการบ่มเพิ่มมากขึ้น

กิตติกรรมประกาศ

ขอขอบพระคุณบริษัท ยู เอ็ม ซี เม็ททอล จำกัด ที่ให้การสนับสนุน LFS ในการจัดทำตัวอย่างคอนกรีตผสมเสร็จและขอขอบพระคุณ ศูนย์วิเคราะห์ทดสอบวัสดุก่อสร้างและสิ่งแวดล้อม ภาควิชาวิศวกรรมโยธาและสิ่งแวดล้อม คณะวิศวกรรมศาสตร์ มหาวิทยาลัยมหิดล (ศาลายา) ที่เอื้อเฟื้อสถานที่และเครื่องมือในการทดสอบค่าแรงอัดของคอนกรีต ซึ่งทำให้ผลการทดลองและงานวิจัยในครั้งนี้สำเร็จลุล่วง ตามวัตถุประสงค์ทุกประการ

เอกสารอ้างอิง

1. บริษัท โกลบอล เอ็นไวรอนเมนทัล จำกัด.(มกราคม – มิถุนายน 2558). “รายงาน EIA of GJS”ฉบับที่ 2.
2. กรมอุตสาหกรรมพื้นฐานและการเหมืองแร่. **เทคโนโลยีการรีไซเคิลตะกรันจากเตาอาร์คไฟฟ้าและเตาอุ่นน้ำเหล็ก.** โครงการส่งเสริมการใช้เทคโนโลยีการนำวัสดุเหลือใช้และกากของเสียมาใช้ประโยชน์.2558. [ออนไลน์] แหล่งที่มา : http://www.dpim.go.th/service/download?articleid=3500&F=6536
3. องค์การบริหารก๊าซเรือนกระจก (องค์การมหาชน). แนวทางการประเมินคาร์บอนฟุตพริ้นท์ของผลิตภัณฑ์. 2552; 64-70.
4. กระทรวงอุตสาหกรรม กรมโรงงานอุตสาหกรรม. **คู่มือการพัฒนาศักยภาพการรีไซเคิลและใช้ประโยชน์วัสดุที่ไม่ใช้แล้วประเภทเถ้าลอยจากการใช้ถ่านหิน**. สำนักเทคโนโลยีน้ำและสิ่งแวดล้อมโรงงาน.พิมพ์ครั้งที่ 1, พ.ศ. 2556.
5. ปริญญา คูณมี, วัชร ส่งเสริม และ ธีรเดช วุฒิพรพันธ์. (มกราคม.-เมษายน 2557). “การใช้ตะกรันเป็นส่วนผสมในงานคอนกรีต” **วารสารวิชาการพระจอมเกล้าพระนครเหนือ**. ปีที่ 24 ฉบับที่ 1.
6. เพ็ญพิชชา คงเพิ่ม, โกศล อรรคเดช อับดุลมาติน, วีรชาติ ตั้งจิรภัทร และ ชัย จาตุรพิทักษ์กุล. (มกราคม-มิถุนายน 2559). “การพัฒนากำลังอัดของคอนกรีตแห่งประเทศไทย” **วารสารวิชาการสมาคมคอนกรีตแห่งประเทศไทย**. ปีที่ 4
ฉบับที่ 1.
7. ชีระ วงศ์บูรณะ (2541) **การนำเถ้าหนักลิกไนต์กลับมาใช้ประโยชน์โดยการผสมกับปูนซีเมนต์.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิต สาขาวิทยาศาสตร์ (เทคโนโลยีสิ่งแวดล้อม) มหาวิทยาลัยมหิดล.
8. วันชัย บูรพา (2543) **การนำเถ้าถ่านหินหยาบมาใช้ในการผลิตปูนซีเมนต์ปอร์ตแลนด์ปอซโซลาน.** วิทยานิพนธ์มหาบัณฑิตสาขาวิศวกรรมศาสตร์ (วิศวกรรมเคมี) มหาวิทยาลัยเทคโนโลยีพระจอมเกล้าธนบุรี.