

NGHIÊN CỨU MỘT SỐ GIẢI PHÁP NÂNG CAO CHẤT LƯỢNG BÊ TÔNG BỌT SỬ DỤNG TRONG CÁC CÔNG TRÌNH XÂY DỰNG

Phần 2: Thay thế một phần cốt liệu sử dụng bằng tro bay, tỷ lệ TB/(C+TB)

TS. Vũ Hải Nam; KS Nguyễn Đình Lợi; KS. Tạ Văn Luân; KS. Vũ Hải Quang

TT. Xi măng và Bê tông - Viện Vật liệu xây dựng

Nhân bài ngày 18/5/2015, chấp nhận đăng ngày 30/6/2015

TÓM TẮT

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay sử dụng trong chế tạo bê tông bọt đến tính chất của bê tông bọt.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay (là phần trăm giữa khối lượng tro bay với tổng khối lượng của tro bay và cốt liệu) ($TB/(C+TB)$) là 30%, 50% có tác dụng làm tăng cường độ cũng như các tính chất khác của bê tông bọt D800. Mẫu không sử dụng tro bay cho cường độ nén tuổi 28 ngày đạt 2,9 MPa. Mẫu sử dụng tro bay có hàm lượng mất khi nung thấp (MKN là 2,21%) và tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay là 30% hoặc 50% cho cường độ nén tuổi 28 ngày lần lượt là 3,6 MPa và 4,4 MPa. Mẫu tro bay có hàm lượng mất khi nung cao (MKN là 17,8%) và tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay là 30% hoặc 50% cho cường độ nén tuổi 28 ngày lần lượt là 3,3 MPa và 4,2 MPa.

Từ khóa: Bê tông bọt; tro bay; MKN

ABSTRACT

This paper presents the research on the effect of fly ash used in foamed concrete manufacture on the properties of foamed concrete.

The research result showed that with 30%, 50% aggregate replaced by fly ash (the percentage of the volume of fly ash in a total volume of fly ash and aggregates) (Fly ash/ (Sand + Fly ash)), the intensity and other properties of foamed concrete D800 increased. The compressive strength of non - fly ash formed concrete at 28 days reached 2.9 MPa. The 28 day compressive strength of foamed concrete that used fly ash with low percentage of loss on ignition (LOI is 2.21%) and the replacement percentage of aggregate by fly ash at 30% and 50% respectively reached 3.6 MPa and 4.4 MPa. The 28 day compressive strength of foamed concrete that used fly ash with high percentage of loss on ignition (LOI is 17.8%) and the replacement percentage of aggregate by fly ash at 30% and 50% respectively reached 3.3 MPa and 4.2 MPa.

Keywords: Foamed concrete, Fly ash, LOI.

1. Giới thiệu

Trong Phần 1 của bài báo, chúng tôi đã giới thiệu các kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ lệ N/X và X/C đến cường độ nén và các tính chất khác của bê tông bọt. Trong Phần 2 này, chúng tôi tiếp tục giới thiệu các kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay (là phần trăm giữa khối lượng tro bay với tổng khối lượng của tro bay và cốt liệu) ($TB/(C+TB)$) là 30%, 50% đến cường độ nén và các tính chất khác của bê tông bọt

Tro bay, một loại phế thải của các nhà máy điện đốt than, có khối lượng thải ra hàng năm ở Việt Nam là rất lớn. Nếu không có giải pháp xử lý kịp thời lượng phế

thải này, môi trường sẽ bị ô nhiễm nghiêm trọng. Mặt khác tro bay, khi sử dụng trong bê tông, lại là một phụ gia khoáng có tác dụng cải thiện rõ rệt các tính chất của bê tông, đặc biệt ở các tuổi dài ngày. Trong ác nghiên cứu khoa học và ứng dụng thực tiễn trên thế giới và ở Việt Nam tro bay thường được sử dụng để thay thế một phần xi măng Poóc lăng khi chế tạo và sản xuất các sản phẩm vật liệu xây dựng. Trong bài viết này, chúng tôi trình bày các kết quả nghiên cứu bê tông bọt khi thay thế cốt liệu bằng 2 loại tro bay (có hàm lượng mất khi nung khác nhau) của nhà máy nhiệt điện Phả Lại gồm: Loại TB1 (hàm lượng mất khi nung là 2,21%) và loại TB2 (hàm lượng mất khi nung là 17,8%)

2. Nguyên vật liệu và phương pháp sử dụng trong nghiên cứu

2.1. Nguyên vật liệu

2.1.1. Chất tạo bọt

Theo các tài liệu khoa học [1,2,3,4], chất tạo bọt có nhiều nguồn gốc khác nhau, song có thể chia thành một số loại chính như sau: loại tổng hợp, loại lưỡng tính, loại anion, và loại protein. Trong các loại này, khi được sử dụng trong bê tông bọt, chất tạo bọt gốc protein cho các tính chất của bê tông bọt tốt hơn cả.

Trong nghiên cứu này, chất tạo bọt gốc protein được sử dụng để chế tạo bê tông bọt thí nghiệm.

Một số chỉ tiêu và mức chất lượng của chất tạo bọt sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện trong bảng 1.

2.1.2. Xi măng

Nghiên cứu này đã sử dụng xi măng PCB 40 Nghi Sơn trong các thí nghiệm chế tạo bê tông bọt. Chỉ tiêu cơ lý và mức chất lượng của xi măng này được trình bày trong bảng 2, thành phần hóa của nó được trình bày trong bảng 3, thành phần hạt được trình bày trong hình 1.

Bảng 1. Tính chất của chất tạo bọt sử dụng

TT	Các chỉ tiêu chất lượng chính	Đơn vị	Kết quả	Theo C869	Phương pháp thử
1	Khối lượng thể tích bê tông bọt: + Sau khi bơm + Khối lượng thể tích sấy khô	kg/m ³	645 501	641 ± 48 487 ± 40	ASTM C 796
2	Cường độ nén	MPa	1,45	≥ 1,4	ASTM C 495
3	Cường độ ép chế	MPa	0,18	≥ 0,17	ASTM C 496
4	Độ hút nước theo thể tích	%	22,3	≤ 25	ASTM C 796
5	Tổn thất khí sau khi bơm	%	3,8	≤ 4,5	ASTM C 796

Nhận xét: Chất tạo bọt sử dụng trong nghiên cứu đáp ứng các yêu cầu trong ASTM C869, [5].

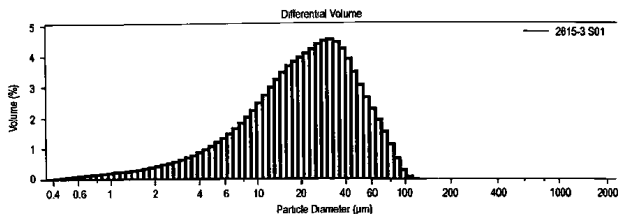
Bảng 2. Các chỉ tiêu cơ lý của xi măng PCB 40 Nghi Sơn

STT	Các chỉ tiêu	Đơn vị	Phương pháp thí nghiệm	Kết quả
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	TCVN 4030:2003	3.10
2	Độ mịn	%	TCVN 4030:2003	1.02
3	Độ dẻo tiêu chuẩn	%	TCVN 6017:1995	29.0
4	Độ ổn định thể tích	mm	TCVN 6017:1995	0.5
5	Thời gian đông kết: - Bắt đầu đông kết - Kết thúc đông kết	Phút Phút	TCVN 6017:1995	135 180
6	Cường độ nén: - 3 ngày - 28 ngày	MPa MPa	TCVN 6016:2011	30.50 50.90

Nhận xét: Tính chất cơ lý của xi măng PCB 40 Nghi Sơn thỏa mãn các yêu cầu quy định trong TCVN 6260:2011.

Bảng 3. Thành phần hóa học của xi măng PCB 40 Nghi Sơn

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả
1	MKN	%	2,86
2	SiO ₂	%	22,22
3	Fe ₂ O ₃	%	2,95
4	Al ₂ O ₃	%	4,78
5	CaO	%	61,18
6	MgO	%	3,02
7	SO ₃	%	2,12
8	K ₂ O	%	0,40
9	Na ₂ O	%	0,06



Hình 1. Thành phần hạt bằng laser của xi măng PCB 40 Nghi Sơn

2.1.3. Tro bay

Tro bay được sử dụng trong nghiên cứu là 2 loại tro bay của Nhà máy nhiệt điện Phả Lại, một loại có hàm lượng MKN < 6% (ký hiệu là TB1), một loại có hàm lượng

MKN > 15% (ký hiệu là TB2). Thành phần hóa học của tro bay sử dụng được thể hiện trong bảng 4, đánh giá chất lượng tro bay theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 được thể hiện trong bảng 5.

Bảng 4. Thành phần hoá học của tro bay

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả phân tích	
			TB1	TB2
1	MKN	%	2,21	17,80
2	SiO ₂	%	59,72	48,18
3	Fe ₂ O ₃	%	5,75	6,06
4	Al ₂ O ₃	%	24,25	20,23
5	CaO	%	1,40	1,81
6	MgO	%	1,35	1,15
7	SO ₃	%	0,04	0,09
8	K ₂ O	%	4,11	3,56
9	Na ₂ O	%	0,22	0,22
10	TiO ₂	%	0,28	0,30

Bảng 5. Đánh giá chất lượng tro bay theo TCVN 10302:2014

Chỉ tiêu	Đơn vị	TB1	TB2	TCVN 10302:2014, loại F
1. Tổng hàm lượng oxit SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃	%	89,72	74,47	≥ 70
2. Hàm lượng lưu huỳnh, hợp chất lưu huỳnh tính quy đổi ra SO ₃	%	0,04	0,09	≤ 3,0
3. Hàm lượng mất khi nung MKN	%	2,21	17,80	≤ 5 (mức d) ≤ 15 (mức b)
4. Độ ẩm	%	1,2	2,5	≤ 3,0
5. Lượng sót sàng 45μm	%	17,6	23,2	≤ 18 (mức d) ≤ 34 (mức b)
6. Lượng nước yêu cầu so với mẫu đối chứng	%	96	98	≤ 105

Nhận xét: Chất lượng của tro bay Phả Lại TB1 đạt yêu cầu của TCVN 10302:2014, TB2 không đạt yêu cầu của tiêu chuẩn này do lượng MKN cao hơn mức cho phép trong tiêu chuẩn.

2.1.4. Cốt liệu nhỏ

Cốt liệu nhỏ sử dụng trong nghiên cứu là cát vàng Sông Lô sau khi đã được sàng để loại bỏ hạt lớn hơn 2,5 mm. Tính chất cơ lý của cốt liệu nhỏ sử dụng được thể hiện trong bảng 6.

2.2. Phương pháp thí nghiệm

Các phương pháp thí nghiệm sử dụng trong nghiên cứu là:

+ Xác định cường độ nén của bê tông bọt theo TCVN 9030:2011;

+ Xác định cường độ uốn theo TCVN 6016:2011;

+ Xác định cường độ ép chế theo ASTM C496;

+ Xác định cường độ bám dính với cốt thép: Mẫu bê tông bọt được đúc trong khuôn trụ $\phi 100 \times H200\text{mm}$, sau khi đúc mẫu dùng thanh thép $\phi 10\text{mm}$ tròn trơn cắm sâu vào trong bê tông 100mm, bảo dưỡng mẫu đến tuổi thí nghiệm thì tiến hành xác định cường độ bám dính;

+ Xác định độ hút nước theo TCVN 3113:1993;

+ Xác định độ co khô theo TCVN 9030:2011;

+ Xác định mô đun đàn hồi theo ASTM C469.

Bảng 6. Thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu mịn

STT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,63	TCVN 7572-4:2006
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1390	TCVN 7572-6:2006
3	Độ xốp tự nhiên	%	47,1	TCVN 7572-6:2006
4	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0,83	TCVN 7572-8:2006
5	Mô đun độ lớn	-	2,2	TCVN 7572-2:2006
6	Hàm lượng tạp chất hữu cơ	so màu	không sẫm hơn màu chuẩn	TCVN 7572-9:2006
7	Thành phần hạt			TCVN 7572-2:2006
Kích thước lỗ sàng		Lượng sót trên sàng	Lượng sót tích lũy	Lượng sót tích lũy theo TCVN 7570:2006
5,0mm		0		
2,5mm		0	0	0-20
1,25mm		10,4	11,8	15-45
630 μm		24,6	39,7	35-70
315 μm		35,8	80,2	65-90
140 μm		15,9	98,2	90-100
< 140 μm		1,6	1,8	10

Bảng 7. Thành phần bê tông bọt cho 1m³

Ký hiệu mẫu	Xi măng, kg	Cát, kg	Nước trộn, lít	TB1, kg	TB2, kg	Tỷ lệ TB/C, %	Tỷ lệ N/CKD	Độ chảy vừa, cm	Khối lượng thể tích khô, Kg/m ³	Cường độ nén, MPa	
										7 ngày	28 ngày
M2	401	361	188		-	-	0,47	16,0	800	2,4	2,9
M7	382	241	204	103		30	0,42	15,0	775	2,7	3,6
M8	389	175	222	175	-	50	0,39	15,5	795	3,2	4,4
M9	398	251	214	-	107	30	0,42	15,5	815	2,5	3,3
M10	378	170	221	-	170	50	0,40	15,5	785	3,0	4,2

Bảng 8. Tính chất của bê tông bọt nghiên cứu

Ký hiệu mẫu	Cường độ uốn 28 ngày, MPa	Cường độ bám dính với CT tuổi 28 ngày, MPa	Mô đun đàn hồi tuổi 28 ngày, kN/mm ²	Cường độ nén nung 800°C tuổi 28 ngày, MPa	Độ hút nước tuổi 28 ngày, %	Cường độ ép chèn tuổi 28 ngày, MPa	Độ co khô tuổi 28 ngày, %
M2	1,32	0,40	2,6	0,43	22,4	0,24	0,212
M7	1,55	0,61	2,9	0,59	23,5	0,32	0,205
M8	1,80	0,85	3,4	0,45	24,6	0,47	0,202
M9	1,50	0,57	2,8	0,55	23,6	0,30	0,207
M10	1,72	0,81	3,1	0,42	25,5	0,42	0,204

3. Kết quả nghiên cứu và bàn luận

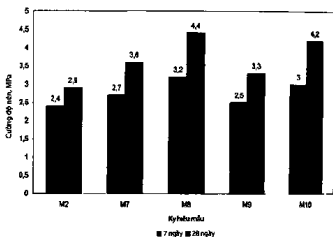
3.1. Nguyên tắc thiết kế thành phần bê tông bọt và tính chất của bê tông bọt

Trong nghiên cứu sử dụng loại bê tông bọt D800, Mẫu M2 sử dụng xi măng và cát, được thiết kế đạt cấp cường độ chịu nén B2,5 ở tuổi 28 ngày theo TCVN 9029:2011 [6]. Tất cả các cấp phối thí nghiệm đều có độ chảy của vữa dao động trong phạm vi 16 ± 1 cm. Ký hiệu, thành phần và các tính chất của bê tông bọt nghiên cứu được thể hiện trong bảng 7, bảng 8.

3.2. Ảnh hưởng của tỷ lệ TB/(C+TB) đến cường độ nén bê tông bọt

Trong nghiên cứu, chúng tôi đã sử dụng tro bay thay thế cốt liệu (TB/(C+TB)) là 30% và 50%. Tro bay được sử dụng gồm 2 loại: tro bay 1 (TB1) là loại tro bay đạt loại F (mức d) theo TCVN 10302:2014; còn tro bay 2 (TB2) là loại không đạt chỉ tiêu chất lượng theo TCVN 10302:2014 do lượng mất khi nung (MKN) lớn. Việc sử dụng TB2 trong nghiên cứu nhằm mục đích làm sáng tỏ các kết luận trong nghiên cứu trước đây [7] về việc sử dụng tro bay hàm lượng mất khi nung cao trong bê tông bọt. Do bê tông bọt thường được sử dụng làm kết cấu bao che, không có cốt thép nên có thể sử dụng tro bay có hàm lượng MKN lớn. Nếu sử dụng được tro bay MKN lớn, sẽ góp phần tăng lượng tro bay chưa xử lý nhằm tăng hiệu quả kinh tế và môi trường. Kết quả nghiên cứu cho thấy, tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay là 30%, 50% làm giảm tỷ lệ N/CKD từ 0,47 xuống còn 0,42; 0,39 (với TB1) và 0,42; 0,40 (với TB2), đồng thời làm tăng cường độ nén lên đáng kể. Trong khi mẫu chỉ sử dụng xi măng cát (M2) có cường độ nén tuổi 28 ngày đạt 2,9 MPa, mẫu có tro bay TB1 và TB/(C+TB) là 30%, 50% có cường độ nén đạt cao hơn, lần lượt là 3,6 MPa và 4,4 MPa (mẫu M7, M8).

Khi thay thế cốt liệu bằng tro bay TB2 với TB/(C+TB) là 30%, 50% (mẫu M9, M10), cường độ nén mẫu ở tuổi

**Hình 2. Sự phát triển cường độ bê tông bọt**

28 ngày lần lượt là 3,3 MPa và 4,2 MPa, cũng cao hơn đáng kể so với mẫu M2. Tuy nhiên, khi sử dụng TB2, kết quả cường độ nén của mẫu đạt thấp hơn một chút so với khi sử dụng TB1.

3.3. Ảnh hưởng của tỷ lệ TB/(C+TB) đến tính chất khác của bê tông bọt

+ Cường độ uốn:

Kết quả thí nghiệm của 5 mẫu bê tông bọt cho thấy: Mẫu sử dụng xi măng-cát (mẫu M2) có cường độ uốn thấp nhất, tiếp đến là mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay ở tỷ lệ TB/(C+TB) là 30%, và cường độ uốn cao nhất đạt được khi sử dụng tro bay ở tỷ lệ TB/(C+TB) là 50%.

Trong khi mẫu M2 có cường độ uốn tuổi 28 ngày đạt 1,32 MPa, mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1 với TB/(C+TB) là 30%, 50% có cường độ uốn đạt được lần lượt là 1,55 MPa và 1,80 MPa (mẫu M7, M8). Ngoài ra, mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB2 với TB/(C+TB) là 30%, 50% có cường độ uốn lần lượt là 1,50 MPa và 1,72 MPa. Kết quả thí nghiệm cho thấy: Việc tăng tỷ lệ thay thế cốt liệu nhỏ bằng tro bay có tác dụng làm tăng cường độ uốn của bê tông bọt.

+ Cường độ bám dính với cốt thép:

Cường độ bám dính của bê tông bọt nghiên cứu với cốt thép cũng tuân theo qui luật tương tự như đối với cường độ nén. Mẫu M2 có cường độ bám dính đạt 1,32 MPa. Mẫu M8 có cường độ bám dính đạt 1,8 MPa. Việc tăng tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay làm tăng cường độ bám dính với cốt thép, và mẫu sử dụng tro bay TB2 có cường độ bám dính với cốt thép thấp hơn so với mẫu sử dụng tro bay TB1.

+ Mô đun đàn hồi:

Kết quả nghiên cứu cho thấy: Mô đun đàn hồi của bê tông bọt dao động trong khoảng từ 2,6 kN/mm² đến 3,4 kN/mm². Mẫu xi măng-cát (mẫu M2) có mô đun đàn hồi 2,6 kN/mm²; mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1, ở tỷ lệ thay thế TB/(C+TB) là 30%, 50%, có mô đun đàn hồi lần lượt là 2,9 kN/mm² và 3,4 kN/mm² (mẫu M7, M8); mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB2, với tỷ lệ thay thế là 30%, 50%, có mô đun đàn hồi lần lượt là 2,8 kN/mm² và 3,1 kN/mm² (mẫu M9, M10). Như vậy, việc thay thế cốt liệu bằng tro bay trong cấp phối bê tông bọt làm tăng mô đun đàn hồi của bê tông bọt.

+ Độ hút nước:

Kết quả thí nghiệm cho thấy Mẫu M8, M10 có cường độ nén đạt 4,4 MPa và 4,2 MPa có độ hút nước lần lượt là 24,6% và 25,5% cao hơn so với mẫu M2 có độ hút nước 22,4% (cường độ nén 2,9 MPa). Kết quả này đang được chúng tôi nghiên cứu và làm rõ thêm.

+ Cường độ ép chèn:

Kết quả thí nghiệm của 5 mẫu chỉ ra cường độ ép chèn của bê tông bọt cũng tuân theo qui luật cường độ nén. Mẫu có cường độ nén cao cũng có cường độ ép chèn cao. Mẫu M2 có cường độ nén tuổi 28 ngày đạt 2,9 MPa và cường độ ép chèn 0,24 MPa; Mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1, với TB/(C+TB) là 30%, 50%, có cường độ ép chèn lần lượt là 0,32 MPa và 0,47 MPa; Mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB2, với TB/(C+TB) là 30%, 50%, có cường độ ép chèn lần lượt là 0,30 MPa và 0,42 MPa. Kết quả thí nghiệm cho thấy, việc tăng tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay làm tăng cường độ ép chèn của bê tông bọt.

+ Độ co khô:

Tiêu chuẩn TCVN 9029:2011 qui định độ co khô của bê tông bọt không vượt quá 0,3%. Trong các kết quả nghiên cứu này, độ co khô của bê tông bọt nằm trong khoảng từ 0,202% đến 0,212%. Mẫu có tỷ lệ N/CKD thấp cho độ co khô thấp. Mẫu M2 có tỷ lệ N/CKD 0,42 cho độ co khô tuổi 28 ngày đạt 0,212%, mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1, TB2 với tỷ lệ TB/(C+TB) = 30%,

tỷ lệ N/CKD 0,42 cho độ co khô lần lượt là 0,205% và 0,207% (theo loại tro bay sử dụng), và mẫu thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1, TB2 khi TB/(C+TB) = 50% độ co khô lần lượt là 0,202% và 0,204%. Độ co ngót khô của bê tông bọt khi thay thế cốt liệu bằng tro bay cùng tỷ lệ TB1, TB2 cho kết quả gần tương tự nhau.

4. Kết luận

Qua kết quả nghiên cứu về ảnh hưởng của tỷ lệ thay thế cốt liệu bằng tro bay đến tính chất của bê tông bọt cho phép rút ra một số kết luận sau:

+ Việc thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1, TB2 với tỷ lệ TB/(C+TB) là 30%, 50% có tác dụng làm tăng cường độ nén của bê tông bọt so với trường hợp không sử dụng tro bay.

+ Việc sử dụng tro bay TB1, TB2 với tỷ lệ TB/(C+TB) là 30%, 50% cho kết quả cường độ nén của mẫu cao hơn nếu tỷ lệ thay thế TB/(C+TB) là 50% (so với mẫu có tỷ lệ TB/(C+TB) là 30%); cường độ nén của bê tông bọt sử dụng tro bay TB1 cho kết quả cao hơn không đáng kể so với bê tông sử dụng tro bay TB2.

+ Việc thay thế cốt liệu bằng tro bay TB1, TB2 với tỷ lệ TB/(C+TB) là 30%, 50% có tác dụng cải thiện các tính chất khác của bê tông bọt, gồm: cường độ uốn, cường độ ép chèn, cường độ bám dính với cốt thép, mô đun đàn hồi, độ co khô, riêng kết quả độ hút nước tăng, điều này đang được tiếp tục nghiên cứu để giải thích.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. GS.TSKH I.U.M.BAZENOV, PGS.TSKH. Bạch Đình Thiên, TS. Trần Ngọc Tinh. Công nghệ bê tông, Nhà xuất bản xây dựng, Hà Nội 2004. Trang 319-327.
- [2]. A.M. Neville, *Properties of Concrete*, Fourth and Final Edition.
- [3]. Khaw Yong Hui, *Performance of lightweight foamed concrete using laterite as sand replacement*, Faculty of civil engineering and earth resources, University Malaysia Pahang, 2010.
- [4]. Đào Quốc Hùng và CS, *Nghiên cứu chế tạo chất tạo bọt sử dụng trong sản xuất bê tông nhẹ nhằm nâng cao hiệu quả sử dụng vật liệu không nung*, Báo cáo tổng kết, Viện Vật liệu xây dựng, Hà Nội 2102.
- [5]. ASTM C869 Standard Specification for Foaming Agents Used in Making Preformed Foam for Cellular Concrete.
- [6]. Tiêu chuẩn TCVN 9029:2011 Bê tông nhẹ - Gạch bê tông bọt, khi không chung áp - Yêu cầu kỹ thuật.
- [7]. Lê Việt Hùng và CS, *Nghiên cứu chế tạo và sử dụng tro bay hàm lượng mất khi nung (MKN) lớn hơn 5% làm phụ gia cho chế tạo bê tông và vữa xây dựng*, đề tài RD122-13. Viện Vật liệu xây dựng, Hà Nội 2014.