

ẢNH HƯỞNG CỦA TRO BAY NHIỆT ĐIỆN DUYÊN HẢI ĐẾN CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN VÀ KHẢ NĂNG CHỐNG THẨM CỦA BÊ TÔNG

EFFECT OF FLY ASH FROM DUYEN HAI POWER STATION ON THE COMPRESSIVE STRENGTH AND WATER RESISTANCE OF CONCRETE

Nguyễn Văn Chính¹, Đặng Văn Mến²

¹Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; nvchinh@dut.udn.vn

²Công ty Cổ phần Đầu tư VCN; mendangxd@gmail.com

Tóm tắt - Tro bay loại F nhà máy nhiệt điện Duyên Hải được dùng để thay thế xi măng với các tỉ lệ khối lượng là 0%, 10%, 20% và 40%, tỉ lệ nước/chất kết dính là không đổi 0,3 và phụ gia giảm nước được sử dụng ở tỉ lệ 0,8% khối lượng chất kết dính. Cường độ chịu nén và cấp chống thấm của bê tông được xác định tại các thời điểm 28, 56 và 90 ngày. Kết quả cho thấy, cường độ chịu nén bê tông có phụ gia giảm nước sau 28 ngày tăng khi 10% và 20% tro bay được sử dụng để thay thế xi măng so với mẫu đối chứng trong khi cường độ chịu nén của bê tông 40% tro bay chỉ tăng hơn so với mẫu đối chứng sau 56 ngày. Tro bay góp phần tăng khả năng chống thấm của bê tông khi tỉ lệ thay thế xi măng từ 20% đến 40%. Trong giới hạn nghiên cứu của bài báo, tác giả đề xuất sử dụng 20% tro bay thay thế xi măng vì góp phần tăng cả cường độ chịu nén và khả năng chống thấm của bê tông sau 28 ngày tuổi.

Từ khóa - tro bay; phụ gia giảm nước; cường độ chịu nén; cấp chống thấm; độ linh động

1. Giới thiệu

Việc sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng trong sản xuất bê tông đã được biết đến những năm đầu thế kỉ 19 tro bay đã được sử dụng để thay thế xi măng trong bê tông [1]. Tuy nhiên đến giữa thế kỉ 19 thì việc thay thế xi măng bằng tro bay mới thật sự được phát triển mạnh mẽ trong đó có nhiều nghiên cứu thực hiện tại Đại học California, Berkeley [2]. Tại Mỹ, tro bay được sử dụng vào thành phần của bê tông đã phát triển mạnh mẽ trong 50 năm qua với khối lượng ước chừng khoảng gần 15 triệu tấn [3].

Ngày nay, việc sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng trong việc sản xuất bê tông đã trở nên phổ biến hơn trên toàn thế giới. Tro bay được sử dụng trong bê tông góp phần nâng cao giá trị kinh tế và môi trường bằng việc giảm thải lượng khí CO₂ [4-7]. Nhiều nghiên cứu chỉ ra rằng, sử dụng tro bay thay thế một phần xi măng cải thiện khả năng làm việc của bê tông tươi, giảm thải nhiệt trong quá trình ngưng kết bê tông, nâng cao khả năng chống ăn mòn của cốt thép trong bê tông và nâng cao độ bền của bê tông [6, 8, 9]. Trung tâm kỹ thuật khoáng sản và năng lượng Canada thực hiện việc nghiên cứu bê tông hàm lượng lớn tro bay chỉ ra rằng, bê tông hàm lượng lớn tro bay thể hiện đặc tính cơ học tốt và độ bền cao, ví dụ như độ thấm chloride thấp [10, 11]. Bê tông tro bay có khả năng chống xâm thực chloride và sulfate tốt hơn bê tông sử dụng hoàn toàn bằng xi măng Portland [12].

Các nghiên cứu trên thế giới cho thấy, tro bay được sử dụng để thay thế xi măng trong việc sản xuất bê tông với các thành phần tỉ lệ khác nhau từ 15% đến 70%. Việc chọn tỉ lệ thành phần thay thế phụ thuộc nhiều vào ứng dụng cụ thể của sản phẩm bê tông tro bay, đặc tính của tro loại tro

Abstract - Class F fly ash from Duyen Hai power station is used to replace original Portland cement (OPC) at the proportions of 0%, 10%, 20% and 40% (by weight of cementitious material) while the water and cementitious material ratio is kept constant at 0.3 and the water reducing admixture is also used at the proportion of 0.8% by weight of cementitious material. Compressive strengths and water resistance of concrete are determined at 28, 56 and 90 days. The results shows that when 10% and 20% fly ash is used to replace OPC, the compressive strength of concrete increases after 28 days compared with the control samples without fly ash while the compressive strength of 40% fly ash concrete is higher than that of the control sample after 56 days. The results also show that 20% and 40% fly ash concrete increase the water resistance compared with the control samples. Within the range of investigation, the optimum of fly ash replacement proportion is 20% as it increases both compressive strength and water resistance after 28 days.

Key words - fly ash; water reducing admixture; compressive strength; water resistance; workability

bay, giới hạn và vị trí địa lý cũng như nhiệt độ tại khu vực ứng dụng loại bê tông tro bay [13].

Hàng năm, khối lượng tro bay thải ra tại các nhà máy nhiệt điện trên cả nước vào khoảng 1,3 triệu tấn, và khối lượng là 2,3 triệu tấn/năm vào năm 2010. Trong đó, nhà máy nhiệt điện Phả Lại 2 (Hải Dương) thải ra 3.000 tấn tro xi hàng ngày với 70% là tro bay rất mịn. Kết hợp với khối lượng tro xi từ nhà máy nhiệt điện Phả Lại 1, lượng chất thải vào môi trường hàng ngày là rất lớn [14].

Khả năng chống thấm của bê tông là một trong những chỉ tiêu vật lý quan trọng. Khả năng chống thấm của bê tông phụ thuộc vào các lỗ rỗng bên trong bê tông được quyết định bởi nguồn cốt liệu, thành phần cấp phối, môi trường dưỡng hộ,... Các loại vật liệu khác nhau được nghiên cứu để thay thế xi măng nhằm tăng cường các đặc tính cơ lý của bê tông, trong đó tro bay được nghiên cứu rộng rãi trong nước cũng như ở các nước trên thế giới. Bài báo này, nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của tro bay Duyên Hải (Trà Vinh) đến khả năng chống thấm của bê tông với các tỉ lệ tro bay thay thế xi măng khác nhau đến 40%. Các thông số kỹ thuật được xem xét bao gồm độ lưu động của bê tông ướt thông qua độ sụt, cường độ chịu nén và cấp chống thấm của bê tông.

2. Chương trình thí nghiệm

2.1. Vật liệu

Nguồn vật liệu sử dụng trong nghiên cứu này là các loại vật liệu địa phương có sẵn ở trong nước. Loại cát sử dụng là cát Sông Cấm (Diên Khánh, Nha Trang) trong khi đó cốt liệu lớn là đá 1×2cm tại Hòn Thị (Nha Trang) có thành phần cỡ hạt đáp ứng yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7570-2006 [15].

Xi măng được sử dụng là loại Nghi Sơn PCB 40. Tro bay dùng cho bê tông và vữa xây cần đáp ứng chỉ tiêu chất lượng quy định theo TCVN 10302:2014 - Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng [16]. Tro bay sử dụng trong chương trình thí nghiệm này là tro bay nhà máy nhiệt điện Duyên Hải (Trà Vinh) với các thông số kỹ thuật thể hiện trong Bảng 1. Theo tiêu chuẩn TCVN 10302:2014 [16] tro bay Duyên Hải được xếp vào loại F vì có tổng hàm lượng oxit $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3 > 70\%$.

Bảng 1. Thông số kỹ thuật của tro bay Duyên Hải

Tên chỉ tiêu	Kết quả (%)	TCVN 10302:2014 (%)
Tổng hàm lượng oxit $SiO_2 + Al_2O_3 + Fe_2O_3$	82,9	≥ 45
Hàm lượng lưu huỳnh, hợp chất lưu huỳnh tính quy đổi ra SO_3	0,03	≤ 6
Hàm lượng canxi oxit tự do CaO	0,02	≤ 4
Hàm lượng mất khi nung MKN	8,3	≤ 15
Hàm lượng kiềm có hại (kiềm hòa tan)	$< 0,01$	$\leq 0,1$

Trong chương trình thí nghiệm này, tác giả sử dụng phụ gia giảm nước Vinkems Poly 72NT với các thông số kỹ thuật được trình bày ở Bảng 2 [17]. Vinkems® Poly 72NT phù hợp tiêu chuẩn TCVN 8826 - 2011 và ASTM C494/C494M, QCVN 16:2014/BXD, và được xếp vào loại G.

Bảng 2. Thông số kỹ thuật phụ gia Vinkems Poly 72NT [17]

Chỉ tiêu	Kết quả
Dạng	Chất lỏng
Màu sắc	Vàng nhạt/ hổ phách
Tỉ trọng	$1,06 \pm 0,02 \text{ kg/lít}$
Khả năng giảm nước	14 - 25%
Thời gian đông kết của bê tông	5 - 10 giờ
Khả năng tăng cường độ nén tuổi 3, 7, 28 ngày	125 - 160 %
Thời gian duy trì độ sụt	2 - 7 độ sụt sau 4 giờ

2.2. Thành phần cấp phối hỗn hợp bê tông

Bảng 3. Tỉ lệ thành phần cấp phối

Tên	XM	FA	Đá 1x2	Cát	Nước	Phụ gia	Độ sụt (cm)
M0 (0%FA)	1	0	2,7	2,2	0,3	0,008	8
M1 (10%FA)	0,9	0,1	2,7	2,2	0,3	0,008	9
M2 (20%FA)	0,8	0,2	2,7	2,2	0,3	0,008	12
M3 (40%FA)	0,6	0,4	2,7	2,2	0,3	0,008	15

Thành phần tỉ lệ cấp phối bê tông được trình bày trong Bảng 3 với hệ số tổng bột (chất kết dính) bằng 1. Có 4 loại cấp phối, trong đó M0 (0%FA) là mẫu đối chứng không sử dụng tro bay; M1 (10%FA) có sử dụng 10% tro bay thay thế khối lượng xi măng; M2 (20%FA) có sử dụng 20% tro bay thay thế khối lượng xi măng, và M3 (40%FA) có sử dụng 40% tro bay thay thế khối lượng xi măng, trong khi đó các thành phần khác không đổi.

Cốt liệu trước khi đúc mẫu được phơi khô, đảm bảo các

mề được trộn cùng một điều kiện. Với mỗi thành phần cấp phối, 9 mẫu trụ kích thước D150xH150 mm và 9 mẫu lập phương kích thước 150x150x150 mm được đúc để lần lượt thí nghiệm xác định cấp chống thấm và cường độ chịu nén của mẫu bê tông tại thời điểm 28 ngày, 56 ngày và 90 ngày. Sau khi đúc mẫu, các mẫu được bảo dưỡng trong nước đến thời điểm thí nghiệm [18].

2.3. Thí nghiệm xác định độ sụt

Độ sụt của bê tông được thí nghiệm dựa theo tiêu chuẩn TCVN TCVN 3106:1993 [19]. Độ sụt của hỗn hợp bê tông ướt được xác định ngay sau khi trộn bê tông. Số liệu đo được làm tròn đến 0,5 cm.

2.4. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của bê tông

Cường độ chịu nén của bê tông được thí nghiệm theo TCVN 3118:1993 [20]. Mẫu lập phương kích thước 150x150x150mm được đúc và dưỡng hộ trong nước trước khi được nén để xác định cường độ chịu nén. Máy nén mẫu điện tử TYE 2000 được sử dụng. Tốc độ gia tải được sử dụng từ 4 daN/cm²/s đến 6 daN/cm²/s.

2.5. Thí nghiệm xác định cấp chống thấm của bê tông

Thí nghiệm cấp chống thấm của bê tông được thực hiện theo TCVN 3116:1993 [21]. Thiết bị được sử dụng là máy thử thấm xuất xứ Trung Quốc model HS4. Thí nghiệm được thực hiện tại Phòng Las-XD 1059, Nha Trang, Khánh Hòa. Tất cả các mẫu thử chống thấm đều được thí nghiệm ở nhiệt độ bằng nhiệt độ của phòng thí nghiệm. Cấp áp lực từng cấp được áp dụng là 2daN/cm² và thời gian giữ mẫu ở một cấp áp lực tối thiểu là 16 giờ. Cấp chống thấm nước của bê tông được xác định bằng cấp áp lực nước tối đa mà ở đó bốn trong sáu viên mẫu thử chưa bị nước xuyên qua. Theo kết quả thì đó chính là cấp áp lực xác định khi có 4 trong 6 viên bị thấm qua trừ đi 2. Cấp độ chống thấm của bê tông ký hiệu bằng B2, B4, B6, B8, B10, B12,... (Hình 1).



Hình 1. Thí nghiệm xác định cấp chống thấm bê tông

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Độ sụt của các hỗn hợp bê tông

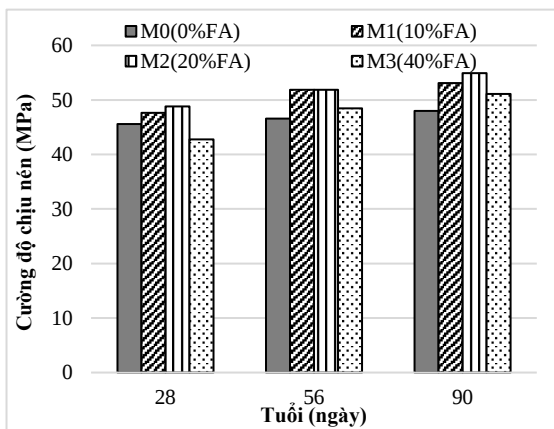
Độ sụt của các hỗn hợp bê tông ướt được đo và trình bày ở Bảng 3. Độ sụt của hỗn hợp bê tông thay đổi tỷ lệ thuận với hàm lượng tro bay thay thế xi măng trong thành phần cấp phối, thể hiện rõ nhất khi thay thế khối lượng xi măng bằng 20% và 40% tro bay. Độ sụt của hỗn hợp bê tông ướt tăng từ 8mm đến 9mm; 12mm và 15mm khi tro bay được sử dụng để thay thế xi măng tăng từ 0% đến 10%; 20% và 40%. Hỗn hợp bê tông khi có tro bay sẽ linh động hơn so với bê tông thông thường không có tro bay thay thế xi măng. Nguyên nhân của việc này có thể là do sự sai khác về hình dạng cầu của tro bay và hình dạng góc cạnh của xi măng [22].

3.2. Ảnh hưởng của tro bay đến cường độ chịu nén của bê tông có phụ gia

Cường độ chịu nén của hỗn hợp bê tông các mẫu thử và sai khác cường độ chịu nén của các mẫu bê tông có tro bay so với mẫu đối chứng không có tro bay tại 28, 56, 90 ngày được trình bày ở Bảng 4 và Hình 2.

Bảng 4. Cường độ chịu nén của hỗn hợp bê tông và sai khác cường độ so với mẫu đối chứng

Tên mẫu	Cường độ chịu nén (MPa) (Sai khác so với mẫu đối chứng (%))		
	28 ngày	56 ngày	90 ngày
M0 (0%FA)	45,6 (0)	46,6 (0)	48,0 (0)
M1 (10%FA)	47,6 (4,5)	51,9 (11,39)	53,1 (10,65)
M2 (20%FA)	48,8 (7,05)	51,9 (11,39)	54,9 (14,45)
M3 (40%FA)	42,7 (-6,21)	48,5 (4,07)	51,1 (6,45)



Hình 2. Cường độ chịu nén của các hỗn hợp bê tông

Bảng 4 và Hình 2 cho thấy, cường độ chịu nén của mẫu M1 (10% FA) ở 28, 56, 90 ngày tuổi cao hơn cường độ chịu nén của mẫu đối chứng M0 cùng thời điểm lần lượt 4,52%, 11,39%, 10,65%. Cường độ chịu nén của mẫu M2 (20% FA) ở 28, 56, 90 ngày tuổi cao hơn cường độ chịu nén của mẫu đối chứng M0 cùng thời điểm lần lượt 7,05%, 11,39%, 14,45%. Cường độ chịu nén của mẫu M3 (40% FA) so với mẫu chuẩn M0 ở thời điểm 28 ngày tuổi thấp hơn 6,21%, nhưng ở thời điểm 56, 90 ngày tuổi lại cao hơn lần lượt là 4,07%, 6,45%. Như vậy, hỗn hợp bê tông sử dụng thành phần tro bay thay thế xi măng sẽ làm tăng cường độ chịu nén. Tuy nhiên, nếu sử dụng với tỉ lệ 40% tro bay thì cường độ chịu nén ở 28 ngày tuổi sẽ phát triển chậm hơn so với mẫu đối chứng M0. Sự phát triển cường độ chịu nén theo thời gian của hỗn hợp bê tông có sử dụng tro bay sau 28 ngày nhanh hơn so với cấp phối đối chứng M0 không có tro bay. Điều này có thể do phản ứng thủy hóa giữa hợp chất Ca(OH)₂ từ phản ứng thủy hóa xi măng tiếp tục phản ứng với tro bay để tạo gel C-S-H [23].

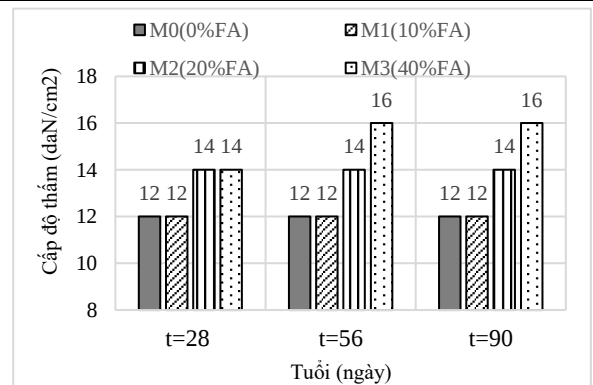
3.3. Ảnh hưởng của tro bay đến khả năng chống thấm của bê tông

Cấp chống thấm của hỗn hợp bê tông thể hiện trong Bảng 5 và Hình 3. Từ Bảng 5 và Hình 3 có thể thấy, hỗn

hợp bê tông sử dụng 10% tro bay (M1) có cấp chống thấm (B12) không tăng thêm so với mẫu đối chứng 0% tro bay (M0) ở 28, 56, 90 ngày tuổi. Hỗn hợp bê tông sử dụng 20% tro bay (M2) có cấp độ chống thấm cao hơn so với mẫu đối chứng ở 28, 56 và 90 ngày tuổi (B14 so với B12). Hỗn hợp bê tông sử dụng 40% tro bay (M3) có cấp độ chống thấm cao hơn so với mẫu đối chứng ở 28 ngày tuổi (B14 so với B12), và ở 56, 90 ngày tuổi (B16 so với B12). Từ đó có thể thấy, cấp chống thấm của hỗn hợp bê tông sử dụng 10%, 20% tro bay thay thế xi măng không thay đổi đáng kể theo thời gian đều là B12 và B14 cho mẫu bê tông có 10% và 20% tro bay thay thế xi măng tương ứng. Tuy nhiên hỗn hợp sử dụng 40% tro bay ở 56 và 90 ngày tuổi có khả năng chống thấm tốt hơn so với thời điểm 28 ngày tuổi (B16 so với B14). Nói tóm lại tro bay góp phần nâng cao khả năng chống thấm của bê tông và cấp chống thấm sẽ được tăng theo thời gian khi 40% tro bay được sử dụng để thay thế xi măng. Việc tăng cường khả năng chống thấm của bê tông có tro bay Duyên Hải có thể do các hạt tro bay mịn len lỏi lấp các lỗ rỗng trong bê tông.

Bảng 5. Cấp chống thấm các hỗn hợp bê tông

Tên mẫu	Cấp chống thấm		
	28 ngày	56 ngày	90 ngày
M0 (0%FA)	B12	B12	B12
M1 (10%FA)	B12	B12	B12
M2 (20%FA)	B14	B14	B14
M3 (40%FA)	B14	B16	B16

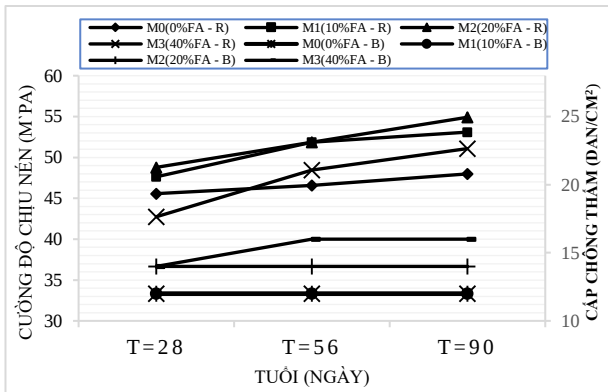


Hình 3. Cấp chống thấm của các hỗn hợp bê tông

3.4. Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và cấp chống thấm

Mối quan hệ giữa cường độ chịu nén và cấp chống thấm của hỗn hợp bê tông được thể hiện trong Hình 4. Hình 4 chỉ ra rằng hỗn hợp bê tông sử dụng 10% tro bay thay thế xi măng góp phần tăng cường độ chịu nén so với mẫu đối chứng M0 nhưng không cải thiện được khả năng chống thấm. Hỗn hợp bê tông sử dụng 20% tro bay thay thế xi măng cường độ chịu nén và khả năng chống thấm cao hơn so với mẫu đối chứng M0. Hỗn hợp bê tông sử dụng 40% tro bay thay thế xi măng khả năng chống thấm tốt hơn mẫu đối chứng M0, mẫu sử dụng 10% tro bay M1, mẫu sử dụng 20% tro bay M2 nhưng cường độ chịu nén thì thấp nhất ở thời điểm 28 ngày tuổi và chỉ cao hơn mẫu M0 ở các thời điểm 56, 90 ngày tuổi. Ngoài ra, có thể thấy tại 28 ngày tuổi, dù cường độ chịu nén của mẫu bê tông có 40% tro bay nhỏ hơn so với mẫu đối chứng, nhưng cấp chống thấm lớn

hơn so với mẫu đối chứng không có tro bay. Như vậy, có thể thấy rằng nằm trong giới hạn các tỉ lệ tro bay thay thế xi măng là 10%, 20% và 40% thì để đảm bảo vừa tăng cường độ chịu nén và khả năng chống thấm của bê tông, tỉ lệ 20% tro bay thay thế xi măng được khuyến cáo nên dùng.



Hình 4. Quan hệ giữa cường độ chịu nén và cấp chống thấm của bê tông

4. Kết luận

Dựa vào các kết quả thu được từ các thí nghiệm trên, trong giới hạn nghiên cứu của bài báo chúng tôi có một số kết luận như sau:

- Tro bay nhà máy nhiệt điện Duyên Hải được sử dụng để thay thế một phần xi măng với tỉ lệ khối lượng tương ứng là 10%, 20% và 40% góp phần làm tăng độ sụt của hỗn hợp bê tông ướt.

- Mặc dù hàm lượng lớn tro bay được sử dụng thay thế xi măng (40%), cường độ chịu nén và cấp chống thấm tăng sau 56 ngày tuổi.

- Đối với các công trình yêu cầu tăng cường độ chịu nén của bê tông thì tro bay có thể được sử dụng để thay thế xi măng ở mức 10%, 20% trong các hỗn hợp bê tông có thêm phụ gia giảm nước Vinkems Poly 72NT.

- Tro bay khi được thay thế xi măng ở tỉ lệ 20% và 40% góp phần tăng khả năng chống thấm của bê tông.

- Với các tỉ lệ tro bay được sử dụng thay thế xi măng được khảo sát thì tỉ lệ 20% là tốt nhất vì góp phần tăng cường đồng thời cường độ chịu nén và khả năng chống thấm của bê tông sau 28 ngày.

- Trong tương lai đề tài cần tiếp tục thực hiện nghiên cứu ở nhiều tỉ lệ tro bay khác nhau và với các loại tro bay từ nhiều nguồn khác nhau tại Việt Nam.

Lời cảm ơn: Nghiên cứu này được tài trợ bởi Quỹ Phát

triển Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng trong đề tài có mã số B2017-ĐN02-21

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Anon, "An Investigation of the Pozzolanic Nature of Coal Ashes," Engineering News, Vol. 71, No. 24, 1914, pages 1334 to 1335.
- [2] Davis, R.E., Carlson, R.W., Kelly, J.W. and Davis, H.E., "Properties of Cements and Concretes Containing Fly Ash," Journal of the American Concrete Institute, Vol. 33, 1937, pages 577 to 611.
- [3] ACAA, "Coal Combustion Product (CCP) Production and Use Survey," American Coal Ash Association, www.acaa-usa.org, 2006.
- [4] Davis, R.E., Carlson, R.W., Kelly, J.W. and Davis, H.E., "Properties of cements and concretes containing fly ash", Proc. Am. Concr. Inst. 33 (1937) 577e612.
- [5] Helmuth, R., "Fly Ash in Cement and Concrete", Portland Cement Association, Skokie, Ill, 1987.
- [6] Malhotra, V. M., Ramezaniapour, A. A., "Fly Ash in Concrete", second ed., CANMET, Ottawa, 1994.
- [7] Committee 232, "Use of Fly Ash in Concrete (ACI 232.2R-96)", ACI, 1996.
- [8] Mehta, P.K., "High-performance, high-volume fly ash concrete for sustainable development", in: Proceedings of the International Workshop on Sustainable Development and Concrete Technology, Beijing, China, 2004.
- [9] Corral, R., Arredondo, S., Almaral, J., Gomez, J., "Chloride corrosion of embedded reinforced steel on concrete elaborated from recycled coarse aggregates and supplementary cement materials", Rev. Ing. Constr. RIC 28 (1) (2013) 21e35
- [10] Langley, W.S., Carette, G.G., and Malhotra, V. M., "Structural concrete incorporating high volumes of ASTM class F fly ash". ACI Material Journal, 86, 1989, pp. 507- 514.
- [11] Malhotra, V. M., "Durability of concrete incorporating high-volume of low-calcium (ASTM class F) fly ash". Cement and Concrete Composites, 12(4), 1990, pp. 271-277.
- [12] Cao, H.T., Bucea, L., Meek, E., and Yozghatlian, S., "Formulation and Durability of Fly Ash Blended Cement", CSIRO Report BRE 030, 1996.
- [13] Marceau, M.L., Gajda, J., and VanGeem, M.G., "Use of Fly Ash in Concrete: Normal and High Volume Ranges", PCA R&D Serial No. 2604, Portland Cement Association, Skokie, Illinois, 2002.
- [14] Phạm, H. K., "Tro bay và ứng dụng trong xây dựng đường ô tô và sân bay trong điều kiện Việt Nam", Đại học giao thông vận tải
- [15] TCVN 7570-2006: Cốt liệu cho bê tông và vữa – Yêu cầu kỹ thuật.
- [16] TCVN 10302:2014 - Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.
- [17] <http://vinkems.com.vn/VINKEMS-POLY-72NT>
- [18] TCVN 3105:1993: Hỗn hợp bê tông nặng - Lấy mẫu, chế tạo và bảo dưỡng.
- [19] TCVN 3106:1993: Hỗn hợp bê tông nặng - Phương pháp thử độ sụt.
- [20] TCVN 3118:1993 - Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén.
- [21] TCVN 3116:1993: Bê tông - Phương pháp xác định độ chống thấm.
- [22] Arezoumandi, M., Jeffery, S.V., "Effect of fly ash replacement level on the shear strength of high volume fly ash concrete beams". Journal of Cleaner Production, 59, 2013, pp. 120-130.
- [23] <http://concretebasics.org/articles/chemical-nature-fly-ash-concrete/>

(BBT nhận bài: 14/12/2018, hoàn tất thủ tục phản biện: 20/01/2019)