

ẢNH HƯỞNG CỦA TRO ĐÁY NHIỆT ĐIỆN ĐẾN CÁC TÍNH CHẤT CƠ LÝ CỦA XI MĂNG POÓC LẮNG HỖN HỢP

Văn Viết Thiên Ân^{a,*}, Hoàng Nhật Nguyên^b

^a*Khoa Vật liệu xây dựng, Trường Đại học Xây dựng,
55 đường Giải Phóng, quận Hai Bà Trưng, Hà Nội, Việt Nam*

^b*Công ty cổ phần xi măng FiCO Tây Ninh, Việt Nam*

Lịch sử bài viết:

Nhận ngày 23/04/2018, Sửa xong 26/05/2018, Chấp nhận đăng 30/5/2018

Tóm tắt

Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy của nhà máy nhiệt điện Nhơn Trạch đến các tính chất cơ lý của xi măng poóc lăng hỗn hợp như lượng nước tiêu chuẩn, thời gian đông kết và sự phát triển cường độ nén theo thời gian. Kết quả nghiên cứu cho thấy có thể sử dụng đến 30% tro đáy theo khối lượng để sản xuất PCB40 và 15% tro đáy theo khối lượng để sản xuất PCB50. Khi tăng hàm lượng tro đáy trong PCB thì lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết tăng lên, cường độ nén giảm. Khi tăng hàm lượng tro đáy, tốc độ phát triển cường độ nén so với mẫu đối chứng giảm xuống ở tuổi sớm nhưng lại tăng lên ở tuổi muộn. Độ nghiền mịn của tro đáy tăng lên chủ yếu đẩy nhanh tốc độ phát triển cường độ ở tuổi sớm của mẫu thí nghiệm.

Từ khoá: xi măng Póc lăng hỗn hợp; tro đáy; cường độ nén.

EFFECTS OF BOTTOM ASH FROM COAL-FIRED POWER PLANT ON PROPERTIES OF BLENDED PORTLAND CEMENT

Abstract

The present study assessed the effects of bottom ash from coal-fired power plant on properties of blended Portland cement (PCB). The results showed that PCB40 and PCB50 can be produced when bottom ash replaces Portland cement up to 30 wt.-% and 15 wt.-%, respectively. When the bottom ash content in PCB increases the standard consistency and setting times increase but compressive strength decreases. The rate of compressive strength development of cement containing bottom ash reduces at the early ages but increases at the later ages, especially at the high content of bottom ash. When the fineness of the bottom ash increases, the compressive strength of PCB is enhanced mainly at the early ages.

Keywords: blended Portland cement; bottom ash; compressive strength.

[https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12\(4\)-08](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2018-12(4)-08) © 2018 Trường Đại học Xây dựng (NUCE)

1. Giới thiệu

Khi các hạt than nghiền mịn bị đốt cháy, chúng bị hóa mềm hoặc chảy lỏng ở trạng thái lơ lửng. Tro than bay theo dòng khí nóng sau khi đi qua dây ống lò hơi được thải ra ngoài qua các thiết bị lọc bụi tĩnh điện hoặc lọc bụi túi, sản phẩm thu hồi từ các thiết bị này gọi là tro bay. Lượng tro bay thông thường chiếm 80-90% lượng tro xỉ do đốt cháy than tạo ra. Một phần tro than bị hoá mềm hoặc chảy lỏng ở nhiệt độ cao, bám vào tường lò và ống nổi hơi. Những hạt lớn hơn tích tụ và rơi xuống

*Tác giả chính. Địa chỉ e-mail: thien.an.dhxd@gmail.com (Ân, V. V. T.)

phế thải nằm ở đáy lò và thải ra ngoài [1]. Phần tro này gọi là tro đáy, chiếm 10-20% tổng lượng tro xỉ hình thành.

Đến cuối năm 2017, khoảng 40 triệu tấn tro xỉ đang tồn đọng trên cả nước và hàng năm phát sinh thêm khoảng trên 15 triệu tấn tro xỉ từ 21 nhà máy nhiệt điện chạy than đang hoạt động. Theo quy hoạch phát triển điện lực Việt Nam (Quy hoạch điện VII) của Bộ Công thương thì đến năm 2030 sẽ có khoảng 57 nhà máy. Nếu các nhà máy điện than đang đầu tư và đưa vào sử dụng như qui hoạch thì đến năm 2020 tổng lượng tro xỉ thải ra là 109 triệu tấn, đến năm 2025 và 2030 lần lượt đạt đến khối lượng 248 và 422 triệu tấn. Đây là lượng tro xỉ rất lớn cần có các giải pháp để xử lý, tiêu thụ nhằm giải quyết các vấn đề môi trường, bãi thải... Việc tái sử dụng tro xỉ nhà máy nhiệt điện cho sản xuất các sản phẩm liên quan đến xi măng, bê tông, vữa xây dựng, gạch không nung là một trong những giải pháp tiêu thụ tro xỉ với khối lượng lớn và đem lại hiệu quả kinh tế kỹ thuật cao [1-5].

Tính chất của tro bay và tro đáy phụ thuộc vào chủng loại than và công nghệ đốt. Khi đốt than non hoặc than nửa bitum thì tro bay và tro đáy sẽ chứa hàm lượng CaO cao. Dạng tro này có hoạt tính kết dính thủy lực tương tự xi măng bên cạnh hoạt tính puzzolaníc. Than antraxit hoặc than bitum cho tro than có hàm lượng CaO thấp nên tồn tại chủ yếu là hoạt tính puzzolaníc. Theo Kiattikomol và các cộng sự [6], độ mịn của tro bay ảnh hưởng rất lớn đến khả năng hoạt tính của nó, thậm chí còn cao hơn ảnh hưởng của thành phần hóa học của nó. Nhiều nghiên cứu đã cho thấy ảnh hưởng của độ mịn của tro bay đến cường độ nén của bê tông, xi măng [6-8]. Vữa sử dụng tro bay có độ nghiền mịn cao hơn sẽ cho cường độ ở tuổi sớm cao hơn so với vữa sử dụng tro bay thô hơn. Tương tự như tro bay nghiền mịn, tro đáy nghiền mịn có thể cải thiện độ đặc chắc và cường độ của vữa và bê tông. Nghiên cứu này đánh giá ảnh hưởng của tro đáy của nhà máy nhiệt điện Nhơn Trạch đến các tính chất cơ lý của xi măng Portland hỗn hợp.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu

Nguyên vật liệu sử dụng bao gồm clanke của nhà máy xi măng FiCO Tây Ninh, thạch cao tự nhiên (TCTN), tro đáy Nhà máy nhiệt điện Nhơn Trạch, cát ISO. Thành phần hóa của clanhke, thạch cao tự nhiên và tro đáy được đưa ra ở Bảng 1 đến Bảng 3. Hoạt tính cường độ của clanke ở tuổi 3 và 28 ngày tương ứng là 34,2 MPa và 58,2 MPa, đạt mức clanhke $C_{PC}50$ theo [9]. Thạch cao tự nhiên đạt chủng loại G_n90 dùng cho sản xuất xi măng theo [10].

Bảng 1. Thành phần hóa của clanhke

Thành phần hóa	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO
Hàm lượng (%)	64,40	21,03	5,48	3,49	3,80

Bảng 2. Thành phần hóa của thạch cao tự nhiên (TCTN)

Thành phần hóa	CaSO ₄ · 2 H ₂ O	SO ₃	CKT
Hàm lượng (%)	92,72	45,00	1,90

Bảng 3. Thành phần hóa của clanhke

Thành phần hóa	CaO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	MKN
Hàm lượng (%)	1,11	19,30	56,72	9,09	0,28	0,14	1,14

2.2. Chế tạo mẫu xi măng và phụ gia khoáng tro đáy nghiền mịn

Các mẫu xi măng poóc lăng (PC) được chuẩn bị bằng cách nghiền hỗn hợp clanhke và thạch cao trong máy nghiền bi thí nghiệm với khối lượng vật liệu và thời gian nghiền không đổi giữa các mẻ nghiền. Tỷ lệ thạch cao pha vào trong các mẫu xi măng PC là 4% theo khối lượng. Độ mịn Blaine của mẫu xi măng PC đạt khoảng 4000 cm²/g. Để đánh giá ảnh hưởng của độ mịn tro đáy đến tính chất của xi măng, 03 mẫu tro đáy có độ nghiền mịn khác nhau với kích thước hạt trung bình là 22,5; 17,6 và 16,8 μ m tương ứng với bề mặt riêng là 3550; 3990 và 4600 cm²/g đã được sử dụng. Các mẫu tro đáy được nghiền mịn trong máy nghiền bi thí nghiệm với khối lượng nghiền không đổi và thời gian nghiền khác nhau. Các mẫu xi măng PCB với hàm lượng tro đáy khác nhau được chuẩn bị bằng cách định lượng và trộn đều hỗn hợp PC và tro đáy với nhau.

2.3. Phương pháp thí nghiệm

Nghiên cứu đã sử dụng các tiêu chuẩn [11] và [12] để thí nghiệm đánh giá các tính chất như: độ dẻo tiêu chuẩn, thời gian đông kết, độ ổn định thể tích và cường độ nén của các mẫu xi măng. Độ mịn của xi măng và tro đáy được xác định bằng dụng cụ Blaine theo [13]. Bên cạnh đó, các phương pháp thí nghiệm hiện đại như phân tích thành phần hạt bằng phương pháp laser, phân tích nhiệt DTA-TG cũng được sử dụng trong nghiên cứu.

3. Kết quả và thảo luận

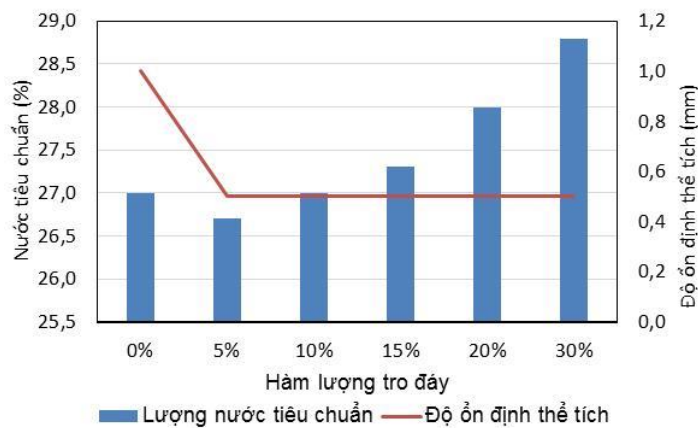
3.1. Ảnh hưởng của tro đáy đến lượng nước tiêu chuẩn, thời gian đông kết và độ ổn định thể tích

Ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia khoáng tro đáy có độ nghiền mịn 3990 cm²/g đến lượng nước tiêu chuẩn, thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của xi măng được đưa ra trên Bảng 4 và Hình 1, Hình 2. Kết quả cho thấy, khi sử dụng tro đáy thay thế xi măng theo khối lượng thì độ ổn định thể tích được cải thiện, thời gian đông kết giảm xuống so với mẫu đối chứng không sử dụng tro đáy. Đặc biệt, với hàm lượng sử dụng tro đáy thấp (5 và 10%) thì lượng nước tiêu chuẩn gần như không thay đổi trong khi thời gian đông kết giảm xuống. Nhìn chung, khi tăng hàm lượng sử dụng tro đáy thì lượng nước tiêu chuẩn của xi măng hỗn hợp tăng lên, thời gian đông kết cũng tăng lên nhưng không đáng kể trong khi độ ổn định thể tích không thay đổi.

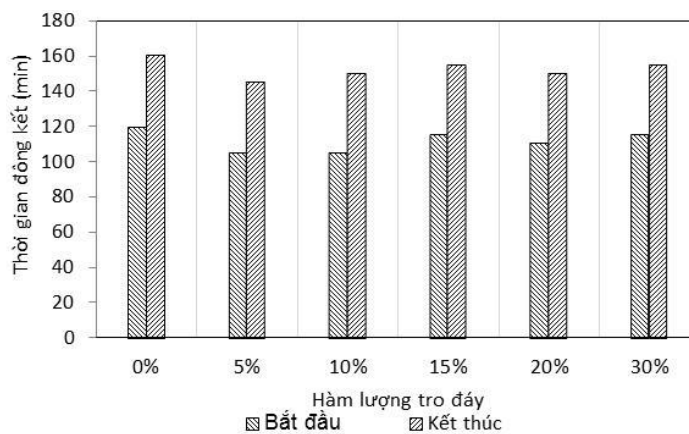
Việc sử dụng tro đáy có độ nghiền mịn tương đương với xi măng poóc lăng với hàm lượng thay thế thấp có thể đã cải thiện được cấp phối thành phần hạt cũng như tăng hiệu ứng phân tán các hạt xi măng làm giải phóng lượng nước tự do, làm tăng tính công tác, giảm lượng nước tiêu chuẩn của hồ xi măng. Tuy nhiên, khi tăng lượng dùng tro đáy lên vượt quá 15% thì các hiệu ứng này không đủ lớn so với lượng cần nước của tro đáy lớn hơn lượng cần nước của xi măng. Việc cải thiện thành phần hạt cũng như tăng hàm lượng hạt mịn cũng có thể thúc đẩy tốc độ đông kết thủy hoá của xi măng.

Bảng 4. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến lượng nước tiêu chuẩn, thời gian đông kết và độ ổn định thể tích của xi măng

Ký hiệu	Hàm lượng tro đáy, %	Lượng nước tiêu chuẩn (%)	Độ ổn định thể tích (mm)	Thời gian đông kết (min)	
				Bắt đầu	Kết thúc
TD1	0	27,0	1,0	120	160
TD2	5	26,7	0,5	105	145
TD3	10	27,0	0,5	105	150
TD4	15	27,3	0,5	115	155
TD5	20	28,0	0,5	110	150
TD6	30	28,8	0,5	115	155



Hình 1. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến lượng nước tiêu chuẩn và độ ổn định thể tích của xi măng



Hình 2. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến thời gian đông kết của xi măng

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến cường độ nén của xi măng

Ảnh hưởng của lượng dùng tro đáy có độ nghiền mịn $3990 \text{ cm}^2/\text{g}$ đến cường độ nén của xi măng được thể hiện trên Bảng 5, Bảng 6 và Hình 3, Hình 4. Kết quả cho thấy mức độ ảnh hưởng của tro đáy

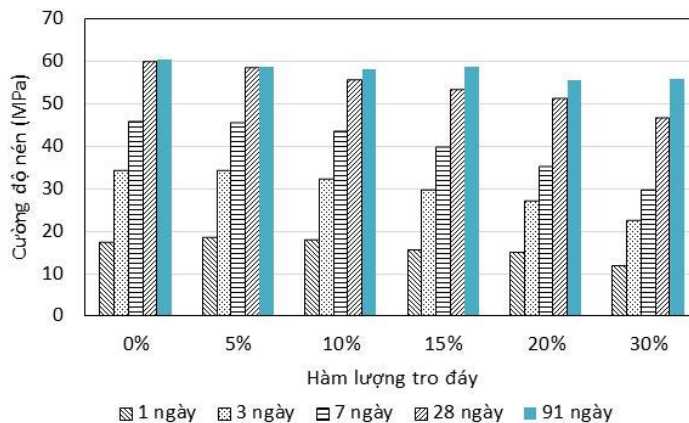
đến cường độ nén của xi măng phụ thuộc vào hàm lượng tro đáy thay thế xi măng và thời gian xác định cường độ.

Bảng 5. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến cường độ nén của xi măng

Ký hiệu	Hàm lượng tro đáy, %	Cường độ nén ở các ngày tuổi, MPa				
		1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày
TD1	0	17,5	34,2	45,7	59,8	60,5
TD2	5	18,7	34,4	45,6	58,5	58,7
TD3	10	18,1	32,2	43,4	55,6	58,2
TD4	15	15,8	29,8	39,9	53,2	58,7
TD5	20	15,1	27,2	35,2	51,1	55,5
TD6	30	12,1	22,7	29,9	46,7	55,7

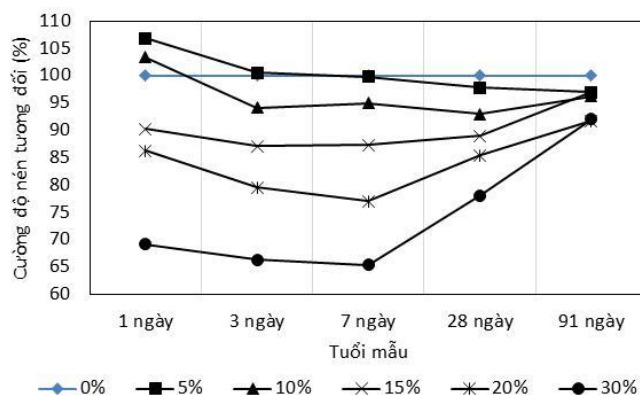
Bảng 6. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến cường độ nén của xi măng

Ký hiệu	Hàm lượng tro đáy, %	Mức độ suy giảm cường độ nén ở các ngày tuổi, %				
		1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày
TD1	0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
TD2	5	106,9	100,6	99,8	97,8	97,0
TD3	10	103,4	94,2	95,0	93,0	96,2
TD4	15	90,3	87,1	87,3	89,0	97,0
TD5	20	86,3	79,5	77,0	85,5	91,7
TD6	30	69,1	66,4	65,4	78,1	92,1



Hình 3. Ảnh hưởng của tro đáy đến cường độ nén của xi măng

Ở tuổi rất sớm (1 ngày tuổi), khi sử dụng tro đáy với hàm lượng 5% và 10% thì cường độ của đá xi măng tăng nhẹ so với mẫu đối chứng. Điều này có thể giải thích do trong những ngày đầu tiên, mức độ thủy hóa các khoáng xi măng còn hạn chế, do vậy vai trò chủ yếu của tro đáy là nhờ hiệu ứng vật



Hình 4. Mức độ ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến cường độ nén của xi măng

lý do độ mịn mang lại, hạt tro đáy đóng vai trò như chất độn mịn, làm đặc chắc cấu trúc. Ngoài ra, thành phần hạt mịn của tro đáy cũng có thể đóng vai trò như các mầm tinh thể làm thúc đẩy quá trình thủy hoá, đông kết và rắn chắc của hồ xi măng. Vì vậy, với hàm lượng tro đáy được sử dụng hợp lý ($< 10\%$) làm giảm thời gian đông kết của xi măng (Bảng 4, Hình 2) cũng như tăng cường độ của đá xi măng ở 1 ngày tuổi (Bảng 5, Bảng 6). Khi sử dụng hàm lượng tro đáy lớn hơn 15% thì cường độ mẫu xi măng ở tuổi 1 ngày chỉ đạt lần lượt là 90.3% , 86.3% và 69.1% so với mẫu đối chứng.

Nhìn chung, cường độ nén của các mẫu xi măng có chứa tro đáy đều thấp hơn cường độ nén của mẫu đối chứng ở tuổi 3 ngày trở lên. Tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro đáy càng lớn thì cường độ nén của mẫu xi măng càng giảm. Tuy nhiên, mức độ suy giảm cường độ đối với mẫu đối chứng ở các tuổi dài ngày của các mẫu có hàm lượng tro đáy thay thế trên 15% xi măng được cải thiện rõ rệt. Đặc biệt, cường độ nén ở tuổi 91 ngày của các mẫu có chứa tro đáy không khác nhau nhiều và đều gần với cường độ mẫu đối chứng. Điều này cho thấy vai trò cải thiện cường độ nén của tro đáy trong xi măng hỗn hợp xảy ra ở những tuổi dài ngày (Bảng 6, Hình 4). Hoàn toàn có thể chế tạo được xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB 40 với tỷ lệ tro đáy sử dụng lên đến 30% ở độ mịn khoảng $4000 \text{ cm}^2/\text{g}$.

3.3. Ảnh hưởng của độ nghiền mịn tro đáy đến cường độ nén của xi măng

Độ mịn của phụ gia khoáng là yếu tố rất quan trọng quyết định vai trò và ảnh hưởng của phụ gia khoáng đến tính chất của hỗn hợp hồ xi măng và đá xi măng. Về xu hướng ảnh hưởng, độ mịn của phụ gia khoáng càng cao thì các hiệu ứng về vật lý và hóa học càng rõ ràng và có tác dụng tích cực đến các tính chất của xi măng poóc lăng hỗn hợp. Tuy nhiên, mức độ nghiền mịn phụ gia khoáng lại phụ thuộc rất nhiều yếu tố, trong đó yếu tố giá thành là một trong những yếu tố quan trọng nhất.

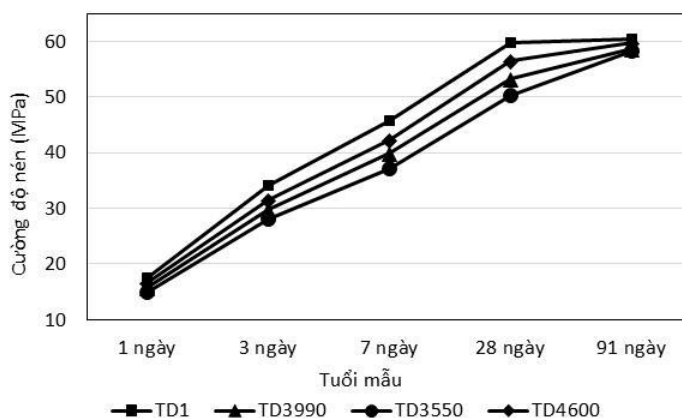
Để đánh giá ảnh hưởng của độ mịn tro đáy đến các tính chất của xi măng, 03 mẫu tro đáy có độ mịn 3550 , 3990 và $4600 \text{ cm}^2/\text{g}$ được sử dụng để thay thế 15% khối lượng xi măng. Kết quả ảnh hưởng của độ nghiền mịn của tro đáy đến cường độ nén của xi măng được thể hiện trên Bảng 7, 8 và Hình 5, 6. Kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ nén của mẫu đối chứng gần như không thay đổi sau 28 ngày tuổi trong khi cường độ nén của các mẫu có chứa 15% tro đáy vẫn tiếp tục tăng lên và tiệm cận với giá trị cường độ nén của mẫu đối chứng ở tuổi 91 ngày (Bảng 7 và Hình 5). Khi tăng độ nghiền mịn của tro đáy sẽ cải thiện cường độ nén của mẫu xi măng, đặc biệt là ở các tuổi sớm ngày. Trong khi đó, hiệu ứng cải thiện cường độ nén so với mẫu đối chứng của mẫu có chứa tro đáy có độ mịn thấp lại phát huy mạnh ở các tuổi dài ngày (Bảng 8 và Hình 6).

Bảng 7. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến cường độ nén của xi măng

Ký hiệu	Hàm lượng tro đáy, %	Cường độ nén ở các ngày tuổi, MPa				
		1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày
TD1	0	17,5	34,2	45,7	59,8	60,5
TD3990	15	15,8	29,8	39,9	53,2	58,7
TD3550	15	15,0	28,0	37,2	50,3	58,3
TD4600	15	16,7	31,6	42,3	56,6	59,8

Bảng 8. Ảnh hưởng của hàm lượng tro đáy đến cường độ nén của xi măng

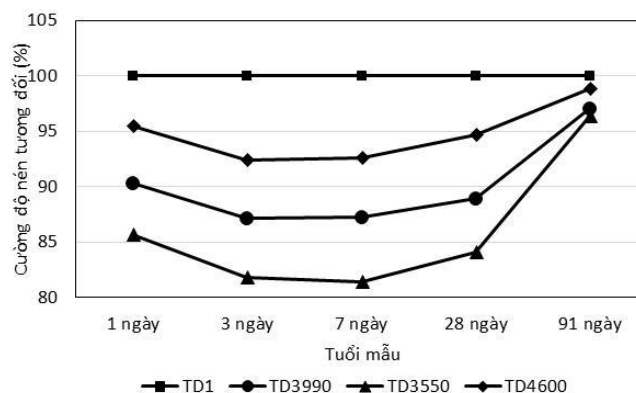
Ký hiệu	Hàm lượng tro đáy, %	Mức độ suy giảm cường độ nén ở các ngày tuổi, %				
		1 ngày	3 ngày	7 ngày	28 ngày	91 ngày
TD1	0	100,0	100,0	100,0	100,0	100,0
TD3990	15	90,3	87,1	87,3	89,0	97,0
TD3550	15	85,7	81,9	81,4	84,1	96,4
TD4600	15	95,4	92,4	92,6	94,6	98,8



Hình 5. Ảnh hưởng của độ mịn tro đáy đến cường độ nén của xi măng

3.4. Ảnh hưởng của tro đáy đến hàm lượng Ca(OH)_2 trong đá xi măng

Kết quả xác định hàm lượng Ca(OH)_2 trong đá xi măng có hoặc không có sử dụng tro đáy được thể hiện trên Bảng 9. Có thể thấy rằng hàm lượng Ca(OH)_2 trong mẫu có chứa tro đáy giảm so với mẫu đối chứng ở tất cả các ngày tuổi thí nghiệm. Tuy nhiên, khi so sánh qui đổi về hàm lượng Ca(OH)_2 so với 100% xi măng poóc lăng cho thấy hàm lượng Ca(OH)_2 đối với xi măng poóc lăng trong mẫu có chứa 15% tro đáy vẫn cao hơn so với mẫu đối chứng (Bảng 9). Điều này cho thấy tro đáy đã làm tăng mức độ thuỷ hoá của clanhke xi măng poóc lăng có thể do các hiệu ứng vật lý như hiệu ứng phân tán, mầm tinh thể... Kết hợp các hiệu ứng điện giải cũng như tăng mức độ thuỷ hoá của clanhke, tro đáy đã góp phần cải thiện vi cấu trúc và cường độ nén của mẫu xi măng. Tuy nhiên, với kết quả hàm lượng Ca(OH)_2 trong đá xi măng đến 28 ngày tuổi này vẫn chưa thể khẳng định được vai trò hoạt tính puzzolan của tro đáy trong hệ chất kết dính xi măng. Vì vậy, cần nghiên cứu chi tiết hơn khả năng



Hình 6. Mức độ ảnh hưởng của độ mịn tro đáy đến cường độ nén của xi măng

hoạt tính pozzolanic của tro đáy để có thể đánh giá chính xác vai trò của tro đáy trong xi măng poóc lăng hỗn hợp, đặc biệt trong khoảng thời gian sau 28 ngày tuổi khi cường độ nén của mẫu xi măng có chứa tro đáy tăng nhanh.

Bảng 9. Hàm lượng $\text{Ca}(\text{OH})_2$ trong đá xi măng, %

Ký hiệu	Hàm lượng tro đáy, %	3 ngày	7 ngày	28 ngày
TD1	0	14,67	17,06	17,43
TD3990	15	12,78	15,37	15,66
		15,04*	18,08*	18,42*

*Hàm lượng $\text{Ca}(\text{OH})_2$ qui đổi về 100% xi măng poóc lăng

4. Kết luận

Các kết luận có thể được rút ra từ các kết quả nghiên cứu như sau:

1. Có thể sử dụng đến 30% tro đáy có độ mịn tối thiểu 3990 cm^2/g , tương đương với độ nghiền mịn của xi măng poóc lăng để sản xuất được xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB40 hoặc sử dụng đến 15% tro đáy khi thay thế xi măng để sản xuất được xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB50. Kết quả nghiên cứu là cơ sở để nhà máy xi măng FiCO triển khai ứng dụng tro đáy nhà máy nhiệt điện Nhơn Trạch vào sản xuất các sản phẩm xi măng hỗn hợp PCB40 và PCB50.
2. Nhìn chung, khi tăng hàm lượng sử dụng tro đáy trong xi măng PCB thì lượng nước tiêu chuẩn tăng lên và thời gian đông kết cũng tăng lên nhưng không đáng kể trong khi độ ổn định thể tích không thay đổi. So với mẫu đối chứng, mẫu có chứa 5-10% tro đáy có lượng nước tiêu chuẩn không thay đổi nhiều nhưng độ ổn định thể tích được cải thiện hơn và thời gian đông kết giảm xuống.
3. Khi tăng hàm lượng tro đáy thì cường độ của xi măng so với mẫu đối chứng ở các tuổi sớm càng giảm nhưng ở tuổi muộn (91 ngày) thì mức độ suy giảm này không đáng kể. Đặc biệt đối với mẫu chứa 5-10% tro đáy thì cường độ ở tuổi 1 ngày cao hơn so với mẫu đối chứng. Khi tăng độ mịn của tro đáy thì cường độ của xi măng poóc lăng hỗn hợp tăng lên. Tuy nhiên ở các tuổi dài ngày (91 ngày) thì sự ảnh hưởng của độ mịn tro đáy đến cường độ đá xi măng là không nhiều.

4. Kết quả của sự phát triển cường độ và hàm lượng $\text{Ca}(\text{OH})_2$ của mẫu xi măng chứa tro đáy cho thấy hiệu ứng pozzolanic của tro đáy trong đá xi măng ở tuổi sớm hơn 28 ngày là chưa rõ ràng. Khi có mặt của tro đáy, mức độ thủy hóa của clanhke xi măng tăng lên rõ rệt ở các tuổi 3, 7 và 28 ngày.

Tài liệu tham khảo

- [1] Barnes, I., Sear, L. (2004). *Ash utilization from coal based power plants*. Report No Coal R274 DTI/Pub. URN 04/1915. The Department of Trade and Industry - England.
- [2] Qiao, X. C., Tyrer, M., Poon, C. S., Cheeseman, C. R. (2008). [Novel cementitious materials produced from incinerator bottom ash](#). *Resources, Conservation and Recycling*, 52(3):496–510.
- [3] Lynn, C. J., Dhir Obe, R. K., Ghataora, G. S. (2016). [Municipal incinerated bottom ash characteristics and potential for use as aggregate in concrete](#). *Construction and Building Materials*, 127:504–517.
- [4] Cheng, A. (2012). [Effect of incinerator bottom ash properties on mechanical and pore size of blended cement mortars](#). *Materials & Design*, 36:859–864.
- [5] Oruji, S., Brake, N. A., Nalluri, L., Guduru, R. K. (2017). [Strength activity and microstructure of blended ultra-fine coal bottom ash-cement mortar](#). *Construction and Building Materials*, 153:317–326.
- [6] Kiattikomol, K., Jaturapitakkul, C., Songpiriyakij, S., Chutubtim, S. (2001). [A study of ground coarse fly ashes with different finenesses from various sources as pozzolanic materials](#). *Cement and Concrete Composites*, 23(4-5):335–343.
- [7] Chindaprasirt, P., Homwuttiwong, S., Sirivivatnanon, V. (2004). [Influence of fly ash fineness on strength, drying shrinkage and sulfate resistance of blended cement mortar](#). *Cement and Concrete Research*, 34(7): 1087–1092.
- [8] Felekoğlu, B., Türkel, S., Kalyoncu, H. (2009). [Optimization of fineness to maximize the strength activity of high-calcium ground fly ash–Portland cement composites](#). *Construction and Building Materials*, 23 (5):2053–2061.
- [9] TCVN 7024:2013 (2013). *Clanhke xi măng poóc lăng*. Hà Nội.
- [10] TCVN 9807:2013 (2013). *Thạch cao dùng để sản xuất xi măng*. Hà Nội.
- [11] TCVN 6017:2015 (2015). *Xi măng - phương pháp xác định thời gian đông kết và độ ổn định thể tích*. Hà Nội.
- [12] TCVN 6016:2011 (2011). *Xi măng - phương pháp thử - xác định cường độ*. Hà Nội.
- [13] TCVN 4030:2003 (2003). *Xi măng - phương pháp xác định độ mịn*. Hà Nội.