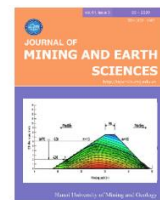




Journal of Mining and Earth Sciences

Website: <http://jmes.humg.edu.vn>



Effect of fly ash on the strength of cement paste at early age



Dung Trong Nguyen ^{1,*}, Lam Van Tang ¹, Hung Xuan Ngo ¹, Phi Van Dang ¹, Cuong Anh Ho ², Dien Kim Vu ³

¹ Faculty of Civil Engineering, Hanoi University of Mining and Geology, Vietnam

² University of Transport and Communications, Hanoi, Vietnam

³ Department of Technology of Binder and Concrete, National Research Moscow State Construction University, Russia

ARTICLE INFO

Article history:

Received 16th Oct. 2020

Revised 03rd Nov. 2020

Accepted 31st Dec. 2020

Keywords:

Cement,
Compressive strength,
Early age,
Fly ash,
Mineral additives.

ABSTRACT

In Vietnam, thermal power plants produce millions of tons of fly ash per year and cause a lot of problems for the environment. The re-use of fly ash as mineral additives in the production of building materials such as cement, concrete etc is a comprehensive solution that brings high socio-economic efficiency. However, to achieve high efficiency, the technical specifications index of fly ash needs to be studied and evaluated in detail because the content of added fly ash is very important for producing and manufacturing processes. This paper aims to study the influence of Formosa fly ash on the mechanical properties at the early age of cement paste. The mechanical properties of the samples which contain alternatively 10÷30% of fly ash was measured at the early ages (1, 3, and 7 days) by experimental methods. In addition, the microstructure analysis and differential thermal analysis methods have been used to interpret the obtained results.

Copyright © 2020 Hanoi University of Mining and Geology. All rights reserved.

*Corresponding author

E - mail: nguyentrongdung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.02



Tạp chí Khoa học Kỹ thuật Mỏ - Địa chất

Trang điện tử: <http://tapchi.humg.edu.vn>



Ảnh hưởng của phụ gia khoáng tro bay đến cường độ của đá xi măng ở tuổi sớm ngày

Nguyễn Trọng Dũng^{1,*}, Tăng Văn Lâm¹, Ngô Xuân Hùng¹, Đặng Văn Phi¹, Hồ Anh Cường², Vũ Kim Diễn³

¹ Khoa Xây dựng, Trường Đại học Mỏ-Địa chất, Hà Nội, Việt Nam

² Trường Đại học Giao thông vận tải, Hà Nội, Việt Nam

³ Bộ môn Công nghệ bê tông và chất kết dính, Trường Đại học Xây dựng Quốc gia Matxcova, Liên bang Nga

THÔNG TIN BÀI BÁO

Quá trình:

Nhận bài 16/10/2020

Sửa xong 03/11/2020

Chấp nhận đăng 31/12/2020

Từ khóa:

Cường độ kháng nén,

Phụ gia khoáng,

Tro bay,

Tuổi sớm ngày.

Xi măng.

TÓM TẮT

Tại Việt Nam, tro bay - phế phẩm, phế thải của các nhà máy nhiệt điện với hàng triệu tấn được tạo ra mỗi năm đang gây ra nhiều vấn đề nhức nhối về môi trường. Việc tái sử dụng các loại tro bay chưa tuyển làm phụ gia khoáng trong sản xuất vật liệu xây dựng như xi măng, bê tông,... là một giải pháp toàn diện mang lại hiệu quả kinh tế xã hội cao và thu hút được nhiều sự quan tâm. Tuy nhiên để đưa vào sử dụng có hiệu quả, phụ gia khoáng tro bay cần được nghiên cứu đánh giá chi tiết về các chỉ tiêu kỹ thuật, trong đó chỉ tiêu hàm lượng phụ gia tro bay trộn thêm có ý nghĩa rất quan trọng với nhà sản xuất và cả người sử dụng. Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu ảnh hưởng của tro bay nhiệt điện Formosa đến cường độ kháng nén ở tuổi sớm ngày của đá xi măng. Cường độ kháng nén của các mẫu nghiên cứu có hàm lượng tro bay thay thế từ 10÷30% so với khối lượng của xi măng Poóc lăng được đo ở các tuổi sớm (1, 3 và 7 ngày) bằng phương pháp thực nghiệm. Đồng thời các phương pháp phân tích vi cấu trúc và phân tích nhiệt vi sai hiện đại đã được sử dụng trong nghiên cứu để biện giải những kết quả thu được.

© 2020 Trường Đại học Mỏ - Địa chất. Tất cả các quyền được bảo đảm.

1. Mở đầu

Các biện pháp cải tiến tính năng của xi măng nói chung và cường độ của vữa xi măng nói riêng đã được nghiên cứu trong hơn nửa thế kỷ qua và trải dài ở tất cả các công đoạn của quá trình sản xuất cũng như sử dụng xi măng Pooc lăng. Trong

đó, việc sử dụng các phụ gia để tác động vào quá trình nghiên và/hoặc quá trình hydrat hóa cũng như đóng rắn của xi măng (Tang Van Lam và nnk., 2018 ; Tạ Ngọc Dũng và nnk., 2013; Lê Văn Quang và nnk., 2019) là một trong những giải pháp có tính khả thi cao và rất được quan tâm nghiên cứu. Phụ gia thường được sử dụng trong quá trình này là phụ gia khoáng hoạt tính, mà phổ biến như xỉ lò cao, tro bay, tro trấu, silicafume, puzzolan tự nhiên,... Các loại phụ gia này thường chứa hàm lượng SiO₂ có độ hoạt tính cao (hoạt tính puzzolanic) (Bùi Danh Đại, 2010; Tang Van Lam

* Tác giả liên hệ

E - mail: nguyentrongdung@humg.edu.vn

DOI: 10.46326/JMES.HTCS2020.02

và nnk., 2018) sẽ tham gia quá trình hydrat hóa, thúc đẩy quá trình đông rắn và tạo ra các sản phẩm giúp cải thiện cường độ đá xi măng.

Về cơ bản, có thể phân phụ gia khoáng hoạt tính thành 4 nhóm: phụ gia có hoạt tính thủy lực; phụ gia có tính puzzolanic; phụ gia vừa có tính kết dính vừa có tính puzzolanic; phụ gia có các tính chất khác (Nguyen Trong Dung, 2014). Trong đó phụ gia tro bay là đại diện cho nhóm phụ gia vừa có tính kết dính vừa có hoạt tính puzzolanic. Tro bay là phế thải và là sản phẩm được tạo ra từ quá trình đốt than của các nhà máy nhiệt điện. Các hạt bụi tro được đưa ra qua các đường ống khói sau đó được thu hồi từ phương pháp kết sương tĩnh điện hoặc bằng phương pháp lọc xoáy.

Tro bay có tính chất kết dính giới hạn nhưng khi kết hợp với vôi tôi thì có vai trò như vật liệu hoạt tính puzzolanic do ngoài hàm lượng SiO_2 và Al_2O_3 còn chứa một lượng kiềm tương đối cao. Trong quá trình thủy hóa sẽ diễn ra các phản ứng puzzolanic giữa tro bay và phụ phẩm Ca(OH)_2 để tạo ra các chất kết dính ổn định, qua đó cải thiện cường độ và độ bền của đá xi măng và bê tông. Ngoài ra do có cấu trúc dạng hạt mịn, tro bay còn giúp cải thiện vi cấu trúc của vữa xi măng nhờ hiệu ứng filler (lấp đầy), điều này có ý nghĩa rất quan trọng trong chế tạo bê tông và vữa (Vu Kim Dien và nnk., 2019). Khi đưa phụ gia khoáng mịn vào thành phần của xi măng, các phân tử của nó được hấp thụ lên bề mặt phân chia các hạt xi măng và nước để tăng sự thấm ướt đối với các hạt xi măng, kết quả là xi măng thủy hóa với nước tốt hơn (Hồ Văn Lưu, 2019).

Tuy nhiên, khi thay thế quá nhiều phụ gia tro bay trong hỗn hợp xi măng có thể dẫn tới sự suy giảm cường độ và tốc độ phát triển cường độ của bê tông, điều này có ý nghĩa đặc biệt với bê tông ở tuổi sớm ngày. Nguyên nhân này là do sự sụt giảm mạnh của hàm lượng xi măng đã ảnh hưởng đến các phản ứng thủy hóa của các khoáng trong xi

măng, các mầm tinh thể của hợp chất Hydro-Silicat-Canxi (C-S-H) sinh ra không đồng nhất trong không gian giữa các hạt cốt liệu, đồng thời sự giảm hàm lượng của khoáng Portlandite (Ca(OH)_2) trong bê tông cũng ảnh hưởng lớn đến phản ứng puzzolanic của phụ gia khoáng.

Do đó, trong bài báo này, nhóm tác giả sẽ tập trung nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia tro bay nhiệt điện Formosa đến cường độ kéo khi uốn và cường độ kháng nén ở tuổi sớm ngày của đá xi măng. Cường độ kháng nén của các mẫu nghiên cứu có hàm lượng tro bay thay thế từ 10÷30% so với khối lượng của xi măng Poóc lăng được đo ở các tuổi sớm (1, 3 và 7 ngày) bằng phương pháp thực nghiệm. Đồng thời các phương pháp phân tích vi cấu trúc và phân tích nhiệt vi sai hiện đại đã được sử dụng trong nghiên cứu để biện giải những kết quả thu được.

2. Vật liệu sử dụng và phương pháp nghiên cứu

2.1. Vật liệu sử dụng

(1). Xi măng Poóc lăng PC40 Bút Sơn (X) thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật của tiêu chuẩn TCVN 2682:2009. Thành phần hóa học và tính chất cơ lý của xi măng Poóc lăng PC 40 Bút Sơn được giới thiệu trong Bảng 1 và Bảng 2.

(2). Tro bay (FA) của nhà máy nhiệt điện Formosa thỏa mãn các yêu cầu của TCVN 10302:2014 với tỷ diện bề mặt riêng là $5820 \text{ cm}^2/\text{g}$ và khối lượng riêng là $2,35 \text{ g/cm}^3$. Đường kính của hạt tro bay nằm trong khoảng từ $2\div350 \mu\text{m}$ và trên 70% hạt tro bay có đường kính hạt nhỏ hơn $40 \mu\text{m}$. Hàm lượng tro bay trong nghiên cứu này là 0%, 10%, 20% và 30% hàm lượng xi măng Poóc lăng PC40. Thành phần hóa học và tính chất vật lý của tro bay Formosa đã được trình bày trong Bảng 1 và 3.

Bảng 1. Thành phần hóa học của tro bay Formosa và xi măng Poóc lăng sử dụng trong nghiên cứu.

Vật liệu	SiO_2	Al_2O_3	Fe_2O_3	SO_3	K_2O	Na_2O	MgO	CaO	P_2O_5	Lượng mất khi nung
Tro bay	54,2	23,3	9,8	2,5	1,4	1,1	0,6	1,2	1,4	4,5
Xi măng	36,3	4,4	5,4	3,4	1,2	0,3	2,5	60,2	-	2,2

Bảng 2. Tính chất cơ lý của xi măng Poóc lăng PC 40 Bút Sơn.

Khối lượng riêng, (g/cm^3)	Lượng sót trên sàng N0,09	Tỷ diện bề mặt, (cm^2/g)	Thời gian đông kết, (phút)		Giới hạn độ bền nén (MPa)			Độ dẻo tiêu chuẩn (%)
			Bắt đầu	Kết thúc	3 ngày	7 ngày	28 ngày	
3,08	5,5	3640	120	360	27,4	35,3	45,8	29,5

Bảng 3. Tính chất cơ lý của tro bay Formosa.

Khối lượng riêng, (g/cm ³)	Lượng nước yêu cầu, (%)	Tỷ diện bề mặt, (cm ² /g)	Độ mịn trên sàng 45 μm, (%)	SiO ₂ +Al ₂ O ₃ +Fe ₂ O ₃ , (%)	Chỉ số hoạt tính: $M_a = \frac{Al_2O_3}{SiO_2}$	Chỉ số kiềm: $M_k = \frac{CaO+MgO}{SiO_2+Al_2O_3}$	Tổng hàm lượng: (CaO+MgO)
2,35	104,1	5820	22,8	87,3	0,43	0,0232	1,8

(3). Cốt liệu nhỏ sử dụng trong bê tông là cát vàng sông Lô (C), loại hạt thô, chất lượng tốt, thỏa mãn yêu cầu của tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 (TCVN 7570:2006, 2006) được sử dụng làm cốt liệu nhỏ trong hỗn hợp bê tông và vữa xây dựng.

(4). Nước sạch (N) được sử dụng để làm nước trộn hỗn hợp bê tông và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm, thỏa mãn tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 (TCVN 4506:2012, 2012).

2.2. Phương pháp nghiên cứu

Thành phần cấp phối của các mẫu vữa xi măng, tro bay và cát được xác định theo tiêu chuẩn GOST 30744-2001 (GOST 30744-2001, 2001) và kết hợp điều chỉnh bằng thực nghiệm. Các mẫu thí nghiệm hình chữ nhật với kích thước 40x40x160 mm được chế tạo theo TCVN 6016-2011 (TCVN 6016-2011, 2011)

Trong nghiên cứu này sử dụng các phương pháp và thiết bị như sau:

(1). Sử dụng phương pháp Ron-ghen (X-ray diffraction - XRD) trên máy nhiễu xạ "XDA-D8.ADV" để xác định được thành phần khoáng của các mẫu đá xi măng và tro bay nhiệt điện.

(2). Kích thước của các hạt của tro bay Vũng Áng được xác định theo phương pháp laze bằng thiết bị COULTER LS Particle Size Analyzer 3.00.4.

(3). Sử dụng phương pháp soi vi cấu trúc bằng máy kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy - SEM) trên thiết bị "Quanta-450" (Nhật Bản) để xác định sự hình thành các khoáng và vi cấu trúc của đá xi măng - tro bay.

(4). Sử dụng phương pháp phân tích nhiệt vi sai (TG, DTA, DTG) trên thiết bị Labsys Evo S60/58988 để xác định sự mất khối lượng của các khoáng trong đá xi măng và tro bay.

(5). Chỉ số hoạt tính cường độ của tro bay được xác định theo TCVN 6882:2016 (TCVN 6882:2016, 2016).

(6). Cường độ kháng nén và kháng kéo khi uốn của mẫu thí nghiệm được xác định mẫu thí nghiệm với kích thước 40x40x160 mm theo TCVN 6016-2011 (TCVN 6016-2011, 2011).

(7). Kết quả thí nghiệm được xử lý theo TCVN 6702:2013 (TCVN 6702:2013, 2013).

3. Kết quả và phân tích

3.1. Chỉ số hoạt tính cường độ của tro bay nhiệt điện Formosa

Các mẫu hỗn hợp vữa xi măng - cát đối chứng và hỗn hợp vữa xi măng, tro bay và cát được chế tạo theo cấp phối thể hiện trong Bảng 4. Các mẫu sau khi tạo hình được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn. Chỉ số hoạt tính cường độ của tro bay nhiệt điện Formosa được xác định theo TCVN 6882:2016 (TCVN 6882:2016, 2016).

Bảng 4. Thành phần cấp phối để xác định chỉ số hoạt tính cường độ của tro bay.

Tên vật liệu	Mẫu đối chứng (không có tro bay)	Mẫu thử có tro bay
Xi măng Poóc lăng PC40, (g)	500	400
Tro bay, (g)	0	100
Cát vàng, (g)	1375	1375
Nước (ml) lượng dùng đủ để hỗn hợp vữa đạt độ xòe, (%)	110±5	110±5

Chỉ số hoạt tính cường độ của tro bay đối với xi măng được xác định theo công thức (1):

$$I(\%) = \frac{R_{PG}}{R_o} \times 100 \quad (1)$$

Trong đó: I - chỉ số hoạt tính cường độ đối với xi măng, %; R_o - giới hạn bền nén của mẫu đối chứng, MPa; R_{PG} - giới hạn bền nén của mẫu chứa 20% hàm lượng tro bay thí nghiệm, MPa.

Các mẫu sau khi tạo hình được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn. Kết quả thực nghiệm về chỉ số hoạt tính cường độ của tro bay ở tuổi 7 ngày là 80,4% và 28 ngày đạt 86,2%. Căn cứ theo tiêu chuẩn ASTM C618:15 (ASTM 618 : 15, 2015) có thể thấy chỉ số hoạt tính cường độ nén của mẫu đá xi măng, cát và 20% tro bay tại 7 ngày và 28

ngày tuổi đạt được là khá cao so với yêu cầu của tiêu chuẩn.

3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng tro bay đến cường độ của đá xi măng ở các tuổi sớm ngày

Để đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng của tro bay đến cường độ sớm ngày của đá xi măng, trong nghiên cứu này đã tiến hành các thí nghiệm xác định cường độ uốn khi nén và cường độ kháng nén của các mẫu vữa xi măng - cát và tro bay với hàm lượng tro bay khác nhau:

(i)- Cấp phối đối chứng M-1 không có tro bay, chứa 100% Poóc lăng xi măng PC40;

(ii)- Cấp phối M-2 chứa 10% tro bay và 90% Poóc lăng xi măng PC40;

(iii)- Cấp phối M-3 chứa 30% tro bay và 70% Poóc lăng xi măng PC40.

Mẫu được tạo hình và thí nghiệm theo tiêu chuẩn TCVN 6016:2011 (TCVN 6016:2011, 2011), tỷ lệ cấp phối Poóc lăng xi măng (X): Cát (C): Nước (N) = 1:3:0,5. Cường độ chịu uốn viên mẫu 40x40x160 mm và cường độ chịu nén của nửa các mẫu sau khi uốn được xác định tại các tuổi sớm ngày: 1 ngày, 3 ngày và 7 ngày. Tổng số mẫu thí nghiệm là 30 mẫu. Kết quả thí nghiệm trình bày trong Bảng 5 và 6.

Bảng 5. Cường độ chịu uốn khi kéo và cường độ chịu nén của mẫu vữa xi măng cát ở các tuổi sớm ngày theo tỷ lệ tro bay thay thế.

Tuổi mẫu (ngày)	Cường độ uốn khi kéo của mẫu thí nghiệm (MPa) theo tỷ lệ tro bay thay thế		
	0%	10%	30%
1	4,2 ± 0,6	4,2 ± 1,2	2,5 ± 0,4
3	6,9 ± 0,9	6,9 ± 0,8	4,5 ± 0,8
7	8,7 ± 1,1	8,6 ± 0,5	6,1 ± 0,8

Bảng 6. Cường độ chịu uốn khi kéo và cường độ chịu nén của mẫu vữa xi măng cát ở các tuổi sớm ngày theo tỷ lệ tro bay thay thế.

Tuổi mẫu (ngày)	Cường độ chịu nén của mẫu thí nghiệm (MPa) theo tỷ lệ tro bay thay thế		
	0%	10%	30%
1	18,5 ± 2,7	18,6 ± 3,1	10,5 ± 2,2
3	32,9 ± 4,4	32,2 ± 3,9	22,3 ± 2,9
7	42,7 ± 4,6	42,2 ± 4,2	29,2 ± 3,5

Căn cứ vào kết quả đo được trực tiếp từ thí nghiệm, có thể thấy khi tỷ lệ thay thế tro bay tăng

lên thì cường độ chịu nén và chịu uốn của các mẫu thí nghiệm có chiều hướng giảm đi so với mẫu đối chứng, không có tro bay. Với mẫu thí nghiệm có chứa 10% tro bay, cường độ nén tương đương với mẫu đối chứng không có phụ gia. Điều này đã cho thấy vai trò của tro bay trong việc cải thiện vi cấu trúc của mẫu đá xi măng ở tuổi sớm ngày. Ở đây, ảnh hưởng của tro bay được thể hiện ở hai hiệu ứng chính, gồm: thứ nhất là phản ứng Pozzolanic với thành phần Portlandite ($\text{Ca}(\text{OH})_2$) và nước để tạo thành các hợp chất C-S-H thứ sinh; thứ hai là hiệu ứng điền đầy và phân tán các hạt xi măng, do tro bay có trên 70% cỡ hạt với đường kính hạt nhỏ hơn 40 μm (bề mặt riêng lớn, năng lượng bề mặt lớn) chúng đã làm nhiệm vụ tạo các tâm kết tinh (mầm kết tinh dị thể) cho các sản phẩm hydrat hoá. Bên cạnh đó chúng có nhiệm vụ làm “cái nêm” chiếm chỗ trong các lỗ rỗng, xấp xỉ tạo ra trong quá trình hình thành cấu trúc đá xi măng.

Với mẫu thay thế 30% xi măng bằng tro bay nhiệt điện, giá trị trung bình của cường độ nén của các mẫu thí nghiệm tại tuổi 1, 3 và 7 ngày đều giảm và dao động từ 56%÷68% so với cường độ mẫu đối chứng. Nguyên nhân dẫn đến sự giảm cường độ của mẫu thí nghiệm có thể giải thích là do sự suy giảm mạnh về thành phần các khoáng có tính chất kết dính do lượng xi măng giảm đến 30% khối lượng. Để làm rõ hơn về bản chất ảnh hưởng của tro bay đến cường độ sớm ngày của đá xi măng, nhóm nghiên cứu đã tiến hành thực hiện các thí nghiệm phân tích vi cấu trúc vật liệu.

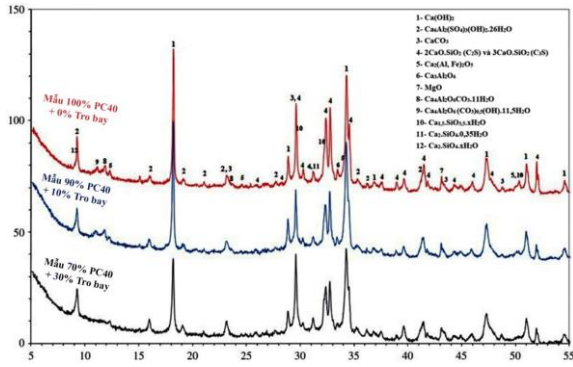
3.3. Nghiên cứu vi cấu trúc

Với mục đích biện giải kết quả thí nghiệm đã thu được về cường độ kháng uốn và cường độ kháng nén, trong nghiên cứu này sử dụng tiếp một số phương pháp khác để nghiên cứu vi cấu trúc của các mẫu thí nghiệm tại tuổi 1 ngày, các phương pháp bao gồm:

- Phương pháp Ron-ghen (X-ray diffraction - XRD).
- Phương pháp phân tích nhiệt vi sai DTA, DTG và TG.
- Phương pháp soi kính hiển vi điện tử quét (Scanning Electron Microscopy - SEM).

3.3.1. Kết quả phân tích Ron ghen

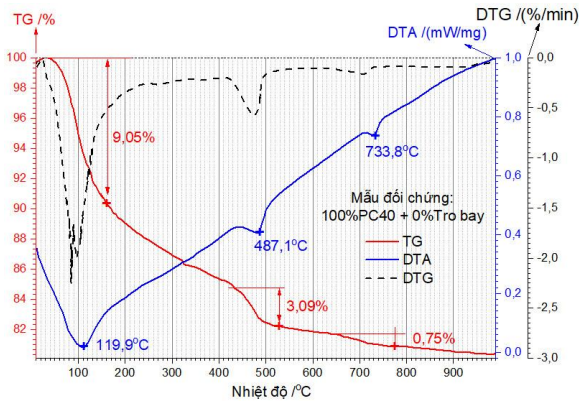
Kết quả phân tích Ronghen của các mẫu thí nghiệm ở 1 ngày tuổi (Hình 1) cho thấy hàm lượng các khoáng gốc $3\text{CaO}.\text{SiO}_2$, $2\text{CaO}.\text{SiO}_2$, $3\text{CaO}.\text{Al}_2\text{O}_3$,



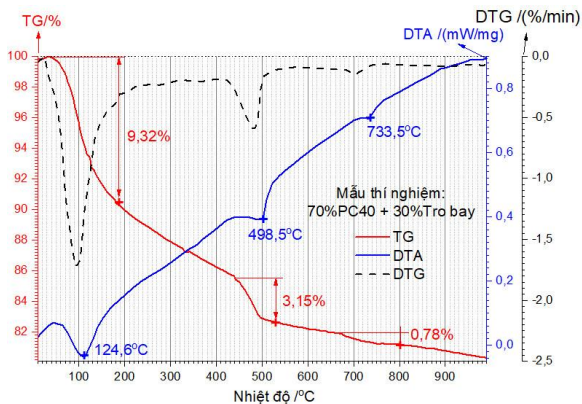
Hình 1. Kết quả phân tích Ronghen của các mẫu vữa xi măng cát và tro bay ở tuổi 1 ngày.

$4CaO.Al_2O_3.Fe_2O_3$ và $Ca(OH)_2$ trong mẫu thí nghiệm M-2 và M-3 đều nhỏ hơn so mẫu đối chứng M-1. Điều đó chứng tỏ khi có phụ gia, quá trình hydrat hóa diễn ra nhanh hơn nên hàm lượng các khoáng gốc giảm nhanh hơn. Nhận xét này cũng hoàn toàn phù hợp với kết quả phân tích nhiệt vi sai trình bày dưới đây.

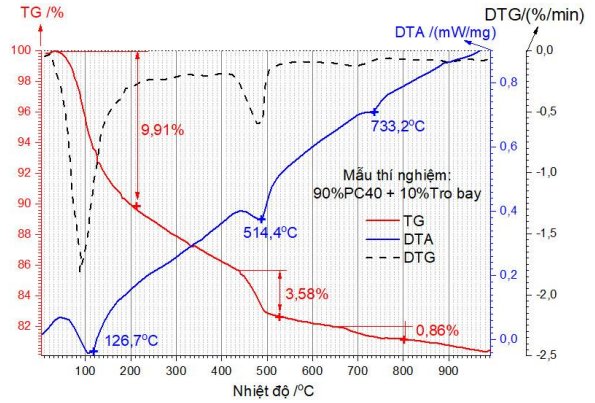
3.3.2. Kết quả phân tích nhiệt vi sai TG, DTA, DTG



(a) - Mẫu đối chứng (M-1).



(b) - Mẫu thí nghiệm (M-3).



(c) Mẫu thí nghiệm (M-2).

Hình 2. Biểu đồ phân tích nhiệt của các mẫu thí nghiệm ở 1 ngày tuổi.

Kết quả các pic nhiệt trên biểu đồ phân tích nhiệt TG, DTA và DTG thu được cho thấy các sản phẩm hydrat hóa mất nước trong khoảng nhiệt độ từ 110÷750°C (trên Hình 2 và Bảng 7). Sự phân hủy các khoáng C-S-H tại các pic nhiệt đã được xác định trên đường DTA. Đồng thời, nhờ có sự mất khối lượng tương ứng của các khoáng trên biểu đồ TG có thể đánh giá được lượng các sản phẩm hydrat hóa qua sự mất khối lượng các mẫu thí nghiệm.

Bảng 7. Kết quả phân tích nhiệt vi sai TG, DTA và DTG các mẫu thí nghiệm.

Píc nhiệt		Các mẫu thí nghiệm		
		M-1	M-3	M-2
Píc 1	Nhiệt độ phân hủy (°C)	119,9	124,6	126,7
	Mất khối lượng Δm_1 (%)	9,05	9,32	9,91
Píc 2	Nhiệt độ phân hủy (°C)	487,1	498,5	514,4
	Mất khối lượng Δm_2 (%)	3,09	3,15	3,58
Píc 3	Nhiệt độ phân hủy (°C)	733,8	733,5	733,2
	Mất khối lượng Δm_3 (%)	0,75	0,78	0,86
Tổng khối lượng của các khoáng đã phân hủy bởi nhiệt (%)		12,89	13,25	14,35

Tổng mất khối lượng của mẫu thí nghiệm M-2 là $\Delta m = 14,35\%$; mẫu thí nghiệm M-3 là $\Delta m = 13,25\%$ đều lớn hơn so với mẫu đối chứng M-1 (mất khối lượng $\Delta m = 12,89\%$).

Kết quả phân tích nhiệt cho thấy, ở các mẫu *M-2* và *M-3* hàm lượng tro bay có sự mất khối lượng lớn hơn so với mẫu đối chứng *M-1*. Nguyên nhân này được giải thích là do ở các mẫu có phụ gia quá trình hydrat hóa các khoáng gốc diễn ra nhanh hơn, đặc biệt là mẫu có chứa 10% tro bay, đã tạo ra nhiều hơn các khoáng ngậm nước (sản phẩm hydrat hóa của xi măng) như: *C-S-H* và *C-S-H* thứ sinh, Ettringite, hydrocanxi monosunfo aluminat, Portlandite... nên sự giảm khối lượng tại các pic nhiệt khi nung là lớn hơn.

3.3.3. Kết quả chụp ảnh SEM vi cấu trúc

Quan sát kết quả chụp ảnh SEM vi cấu trúc của mẫu đối chứng không phụ gia *M-1* (hình 3.a) và các mẫu *M-2*, *M-3* (Hình 3.b và 3.c) đều đã thấy xuất hiện các mầm tinh thể tại đó tập hợp các khoáng *C-S-H*, tinh thể Ettringite và Portlandite, nhưng ở các mẫu *M-2* và *M-3* thì mật độ đặc chắc hơn, các khoáng *C-S-H* sắp xếp chặt chẽ và đồng đều hơn. Điều này có thể được giải thích là do trên 70% hạt tro bay có đường kính hạt nhỏ hơn 40 μm , bao quanh các hạt xi măng, giúp các hạt xi măng trượt lên nhau qua các hạt tro bay như cơ cấu "vòng bi", làm tăng độ linh động của vữa xi măng, giảm sự kết tụ các hạt xi măng, giúp khả năng tự điền đầy tăng độ đặc chắc của khối vữa xi măng sau đóng rắn (Bùi Danh Đại, 2010; Tang Van Lam và nnk., 2018; Vu Kim Dien và nnk., 2019). Mật độ sản phẩm cao hơn, sản phẩm thủy hóa nhiều hơn - là nguyên nhân cải thiện cường độ sớm.

4. Kết luận và kiến nghị

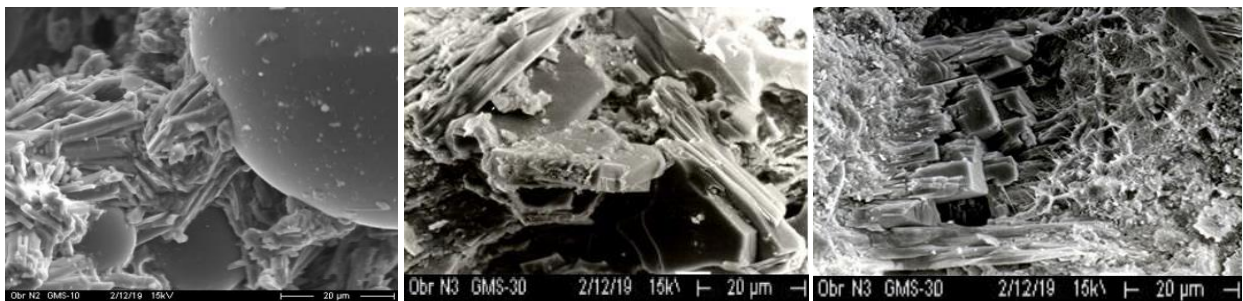
Dựa trên các kết quả phân tích ở trên, có thể rút ra một số nhận xét sau:

(1). Tro bay nhiệt điện Formosa có độ hoạt tính cao với tổng hàm lượng $\text{SiO}_2 + \text{Al}_2\text{O}_3 + \text{Fe}_2\text{O}_3$ là 87,5%, chỉ số hoạt tính đạt 0,43, chỉ số kiềm nhỏ và hàm lượng các chất có hại (các bon chưa cháy, SO_3 , các gốc kiềm tự do...) thấp, đáp ứng tốt các chỉ tiêu đánh giá theo tiêu chuẩn của Mỹ ASTM 618-19. Giá trị chỉ số hoạt tính theo cường độ nén ở tuổi 7 ngày và 28 ngày của tro bay nhiệt điện Formosa đều đạt trên 80% với hàm lượng tro bay đã sử dụng là 20%.

(2). Khi dùng hàm lượng 10% thay thế xi măng, thu được kết quả cường độ nén ở các tuổi 1, 3 và 7 ngày tương đương với mẫu đối chứng có 100% xi măng PC40 Bút Sơn. Điều này đã cho thấy ảnh hưởng của tro bay trong việc cải thiện vi cấu trúc, tăng độ đặc của mẫu đá xi măng ở tuổi sớm ngày.

(3). Khi thay thế 30% xi măng bằng tro bay, cường độ nén trung bình của các mẫu thí nghiệm tại các tuổi 1, 3 và 7 ngày đều giảm và dao động từ 56÷68% so với cường độ mẫu đối chứng, không dùng tro bay. Nguyên nhân này có thể giải thích là do sự suy giảm mạnh về thành phần các khoáng có tính chất kết dính do khối lượng xi măng giảm đến 30%.

(4). Tại tuổi 1 ngày, ở các mẫu chứa 10% và 30% tro bay có sự mất khối lượng do nhiệt lớn hơn so với mẫu đối chứng không có tro bay. Nguyên nhân này được giải thích là do ở các mẫu có phụ gia quá trình hydrat hóa các khoáng gốc diễn ra nhanh hơn, đặc biệt là mẫu có chứa 10% tro bay, đã tạo ra nhiều hơn các khoáng ngậm nước như: *C-S-H* và *C-S-H* thứ sinh, Ettringite, hydrocanxi monosunfo aluminat, Portlandite... nên sự giảm khối lượng tại các pic nhiệt khi nung là lớn hơn.



(a). Mẫu đối chứng *M-1*.

(b). Mẫu *M-2*.

(c). Mẫu *M-3*.

Hình 3. Hình ảnh SEM mẫu đá xi măng 1 ngày tuổi.

Đóng góp của các tác giả

- Lên ý tưởng và phương pháp: Nguyễn Trọng Dũng, Tăng Văn Lâm, Ngô Xuân Hùng, Hồ Anh Cương, Vũ Kim Diến;

- Thu thập tài liệu liên quan: Tăng Văn Lâm, Ngô Xuân Hùng, Đặng Văn Phi, Hồ Anh Cương;

- Chuẩn bị vật liệu và thực hiện các thí nghiệm: Nguyễn Trọng Dũng, Tăng Văn Lâm, Ngô Xuân Hùng, Đặng Văn Phi;

- Xử lý số liệu thí nghiệm và viết bản thảo gốc: Nguyễn Trọng Dũng, Tăng Văn Lâm, Ngô Xuân Hùng, Vũ Kim Diến;

- Chính sửa bản thảo: Vũ Kim Diến.

Tài liệu tham khảo

Nguyễn Trọng Dũng, (2014). Nghiên cứu ảnh hưởng của các phụ gia khoáng đến sự phát triển tính chất cơ học của hồ xi măng trong quá trình thủy hóa. *Báo cáo đề tài cấp cơ sở T14-28*, Trường Đại học Mỏ - Địa chất.

Tang Van Lam, Ngo Xuan Hung, Bulgakov B. I., Alexandrova O. V., Larsen O. A., Orekhova A. Y., (2018). Use of ash and slag waste as a supplementary cementing material. *Scientific-Theoretical Journal "Bulletin of BSTU named after V.G. Shukhov"* No.8. https://doi.org/10.12737/article_5b6d58455b5832.12667511 (Tiếng Nga).

Tạ Ngọc Dũng, Nguyễn Văn Hoàn, Trần Tử Hùng, Nguyễn Thị Hoàn, (2013). Phụ gia siêu mịn cải thiện cường độ sớm của đá xi măng. *Hội nghị Khoa học kỷ niệm 50 năm Viện KHCN Xây dựng*, Tr. 95-99.

Lê Văn Quang, Nguyễn Chí Dũng, (2019). Xu hướng ứng dụng tro, xỉ nhiệt điện trong sản xuất vật liệu xây dựng. *Báo cáo phân tích xu hướng công nghệ thuộc dự án cấp Nhà nước "Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ sử dụng tro bay thay thế sét trong sản xuất clanhke xi măng"*. 03/2019. TP.HCM. 63 tr.

Bùi Danh Đại, (2010). Phụ gia khoáng hoạt tính cao cho bê tông chất lượng cao. *Trường Đại học Xây Dựng - Hà Nội*. 70 tr.

Tang Van Lam, Nguyen Trong Chuc, Ngo Xuan Hung, Dang Van Phi, Bulgakov Boris Igorevich, Bazhenova S. I., (2018). Effect of natural

pozzolan on strength and temperature distribution of heavyweight concrete at early ages'. *MATEC Web of Conferences 193*, 03024 (2018), <https://doi.org/10.1051/mateconf/201819303024>.

Vu Kim Dien, Tang Van Lam, Bazhenova S.I., Nguyen Duyen Phong, (2019). The possibility of using blast-furnace slag in the production of concrete and mortars in Vietnam. *Bulletin of BSTU im. V. G. Shukhova*. No.11.

Lam Van Tang, Boris Bulgakov, Sofia Bazhenova, Olga Aleksandrova, Anh Ngoc Pham, Tho Dinh Vu, (2018). Effect of Rice Husk Ash and Fly Ash on the workability of concrete mixture in the High-Rise Construction. *E3S Web of Conferences* 33, 02029, <https://doi.org/10.1051/e3sconf/20183302029>

Hồ Văn Lưu, (2019). Nghiên cứu ảnh hưởng tỷ lệ nước trên xi măng và tro bay đến co ngót hóa học của vữa bê tông sớm tuổi. Luận văn thạc sĩ kỹ thuật xây dựng công trình dân dụng và công nghiệp. *Đại học bách khoa Đà Nẵng*. 85 Tr.

Lê Văn Quang, Mai Ngọc Tâm, Phạm Đức Nhuận, Nguyễn Ngọc Nam, (2020). Nghiên cứu, sử dụng tro bay nhiệt điện chế tạo vật liệu và giải pháp thi công lớp phủ chống phát tán ô nhiễm và cứng hóa cho các bãi chứa chất thải rắn công nghiệp. *Chuyên đề nghiên cứu thuộc dự án cấp Nhà nước "Nghiên cứu hoàn thiện công nghệ sử dụng tro bay thay thế sét trong sản xuất clanhke xi măng"*. 08/2020. TP. HCM. 50 tr.

TCVN 2682:2009, (2009). Xi măng pooc lăng - Yêu cầu kỹ thuật. 6 tr.

GOST 31108-2016, (2016). Common cements. Specifications. 21 Pp. (Tiếng Nga).

ASTM C618-15, (2015). Standard Specification for Coal Fly Ash and Raw or Calcined Natural Pozzolan for Use in Concrete. 5 Pp.

TCVN 10302:2014, (2014). Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.

GOST 25818-2017, (2017). Thermal plant fly-ashes for concretes. Specifications. (Tiếng Nga).

TCVN 7570:2006, (2006). Cốt liệu cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật. 6 tr.

TCVN 4506:2012, (2012). Nước cho bê tông và vữa - yêu cầu kỹ thuật. 7 tr.

GOST 30744-2001, (2001). Methods of testing with using polyfraction standard sand. 33 Pp (Tiếng Nga).

TCVN 6882:2016, (2016). Phụ gia khoáng cho xi

măng. 10 tr.

TCVN 6016-2011, (2011). Xi măng - phương pháp thử để xác định cường độ. 37 tr.

TCVN 6702:2013, (2013). Xử lý kết quả thử nghiệm để xác định sự phù hợp với yêu cầu kỹ thuật. 24 tr.