CHẤT KẾT DÍNH CHỊU NHIỆT SỬ DỤNG TRO BAY

HEAT – RESISTANT BINDER USING FLY ASH

Đỗ Thị Phượng[1], Lê Văn Trí[2], Vũ Minh Đức[3], Nguyễn Nhân Hòa[3]

[1]Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; dtphuong@dut.udn.vn
[2]Trường Đại học Xây dựng Miền Trung
[3]Trường Đại học Xây dựng

Tóm tắt - Hằng năm, tại các nhà máy nhiệt điện ở Việt Nam, lượng tro xỉ thải ra là khoảng 15 triệu tấn. Giải quyết lượng phế thải này là bài toán cho ngành vật liệu xây dựng. Bài báo thể hiện kết quả sử dụng phế thải tro bay (FA) và xi măng (XM) Portland (OPC) chế tạo chất kết dính (CKD) chịu nhiệt. Chín tỷ lệ về hàm lượng phụ gia/xi măng được nghiên cứu dưới ảnh hưởng của nhiệt độ cao 100, 200, 400, 600, 800 và 1.000°C. Các tính chất cơ học và vật lý như cường độ nén, khối lượng thể tích, độ co ngót được xác định sau khi làm nguội mẫu ở ngoài không khí. Phân tích vi cấu trúc bằng các phương pháp phân tích nhiệt vi sai (TGA), phân tích Rơn-ghen (XRD), kính hiển vi điện tử quét (SEM) cũng được giới thiệu trong bài báo này. Dựa vào phương pháp quy hoạch thực nghiệm, tìm được thành phần tối ưu chế tạo chất kết dính chịu nhiệt. Chất kết dính với hàm lượng tro bay chiếm 25,014% và 40,033% so với khối lượng xi măng có thể làm việc ở nhiệt độ 800°C và 1.000°C.

Từ khóa - chất kết dính chịu nhiệt; tro bay; phế thải; nhiệt độ cao; vi cấu trúc

Abstract - About 15 million tons of coal ash are generated by thermal power plants in Vietnam each year. Solving the amount of this discarded stuff is a problem for building material industry. This paper presents a research on the use of ordinary Portland cement (OPC) and discarded stuff in industry as fly ash (FA) to make heat-resistant binder. Nine different composite mixtures with varying amounts of FA are exposed to high temperatures of 100, 200, 400, 600, 800 and 1,000°C. Physical and mechanical properties including compressive strength, density, shrinkage are determined after air cooling. Micro-structure is investigated by thermos-gravimetric analysis (TGA), X–ray diffraction (XRD) and scanning electron microscopy (SEM) tests. Based on factorial experimental design, we have determined the optimal composition of heat – resistant binder. The OPC is partially replaced by 25,014%, and 40,033% of FA can be used as heat–resistant binder at high temperatures 800°C and 1,000°C.

Key words - heat – resistant binder; fly ash; discarded stuff; high temperature; microstructure

1. Đặt vấn đề

Trong các công trình chịu nhiệt thường dùng các loại vật liệu chịu lửa đơn chiếc, khó thay đổi hình dáng. Trong khi bê tông thông thường dùng OPC bị suy giảm các tính chất dưới ảnh hưởng của nhiệt độ cao, nghiên cứu từ những năm 1950 [5, 6]. Bê tông chịu nhiệt có thể khắc phục cả hai nhược điểm trên, nó được chế tạo cốt liệu chịu nhiệt và chất kết dính chịu nhiệt.

Bê tông chịu nhiệt có thể sử dụng nhiều loại chất kết dính khác nhau, tùy thuộc vào yêu cầu mức độ chịu nhiệt. Khi sử dụng chất kết dính từ OPC, sự suy giảm cường độ của đá xi măng dưới nhiệt độ cao do mất nước liên kết đồng thời do sự thủy hóa lần 2 của CaO (do phản ứng phân hủy $Ca(OH)_2$ tạo ra CaO tự do) bằng hơi nước trong không khí [7, 8]. Vì vậy, để chế tạo chất kết dính chịu nhiệt, G. M. Ruxuk đã kiến nghị cần đưa vào trong OPC các phụ gia khoáng [1, 7]. Y. U. But đã nghiên cứu sử dụng cát quắc và điatômít nghiền mịn để liên kết CaO khi giữ mẫu trong điều kiện tiêu chuẩn và sau khi chưng áp. Tuy nhiên, khi đốt nóng SiO_2 có sự biến đổi thù hình, không ổn định thể tích. K. D. Nekrasov và các cộng sự nghiên cứu sử dụng phụ gia sa mốt, sa mốt và tan chế tạo bê tông nhẹ chịu nhiệt có thể làm việc ở 1.200°C [9]. Một số nghiên cứu chỉ ra rằng, có thể sử dụng phụ gia tro bay, xỉ lò cao, silica fume để chế tạo bê tông cường độ cao, có thể chịu nhiệt ở cấp 800°C [10, 11, 12]. G. D. Salmanov nghiên cứu sử dụng phụ gia nghiền mịn crômit, tăng độ chịu lửa và nhiệt độ biến dạng dưới tải trọng của đá xi măng. Theo [13], gia phế thải crôm, phế thải bột nano cao aluminum có thể chế tạo bê tông chịu nhiệt lên đến 1.300 – 1.400°C. Ngoài OPC, người ta còn nghiên cứu sử dụng các chất kết dính cho bê tông chịu nhiệt như xi măng alumin, xi măng cao alumin, thủy tinh lỏng [3, 9, 13], tuy nhiên giá thành cao.

Ở Việt Nam, các công trình công nghiệp ở nước ta hàng năm hầu như vẫn phải nhập khẩu bê tông chịu nhiệt để sử dụng. Nghiên cứu chế tạo bê tông chịu nhiệt từ nguồn nguyên liệu trong nước, đặc biệt là sử dụng các phế liệu, phế thải mang tính cấp thiết [2]. Bài báo thể hiện kết quả nghiên cứu sử dụng phế thải FA từ các nhà máy nhiệt điện và xi măng OPC để chế tạo chất kết dính chịu nhiệt có thể làm việc ở 800 - 1.000°C.

Theo báo cáo của Bộ Xây dựng, các nhà máy nhiệt điện thải ra khoảng 15 triệu tấn tro xỉ mỗi năm. Dự báo đến năm 2030, có thể lên tới 30 triệu tấn tro xỉ, trong đó FA khoảng gần 8 triệu tấn. Tuy nhiên, việc tái sử dụng tro xỉ chỉ chiếm khoảng 30% và hàng triệu tấn tro xỉ không còn chỗ chứa. Xử lý tro xỉ đang là vấn đề nhức nhối hiện nay. FA đã được sử dụng trong xây dựng đường, làm bê tông, gạch không nung, ... nhưng việc sử dụng FA chưa tuyển trong chế tạo chất kết dính chịu nhiệt hoàn toàn là điều mới mẻ. Việc sử dụng phế thải của ngành nhiệt điện chế tạo chất kết dính chịu nhiệt mang lại hiệu quả thiết thực như hạ giá thành sản phẩm, nâng cao hiệu quả kinh tế, đồng thời giải quyết được vấn đề môi trường mà vẫn đảm bảo các tính chất kỹ thuật.

2. Vật liệu và phương pháp

Xi măng PC40 Bút Sơn được sử dụng trong nghiên cứu có cường độ nén 28 ngày 46,5 MPa xác định theo TCVN 6016:2011, các tính chất xác định theo TCVN 4030:2003, TCVN 6017:1995 thỏa mãn yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682:2009.

Tro bay sử dụng trong nghiên cứu là FA chưa tuyển của Nhà máy Nhiệt điện Ninh Bình. Tổng hàm lượng Al_2O_3 + SiO_2 + Fe_2O_3 = 82,38 %, lượng mất khi nung (MKN) = 4,12%. Tro có khối lượng thể tích là 852 kg/m^3

và lượng sót sàng 0,09 mm đạt 5,3%.

Nước sử dụng phù hợp TCVN 4506-2012.

Với hàm lượng FA được thay thế trong xi măng là 0; 15; 20; 25; 30; 35; 40; 45; 50%, nhóm tác giả xác định lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của hỗn hợp chất kết dính theo TCVN 6017:1995. Sau đó, các mẫu chất kết dính được chế tạo kích thước 2x2x2 cm theo phương pháp nhanh. Các mẫu sau khi chế tạo được bảo dưỡng ở nhiệt độ tiêu chuẩn t = 27±2°C, độ ẩm W > 90%. Sau 28 ngày, mẫu được đưa ra sấy khô và đưa vào lò nung ở các cấp nhiệt 100, 200, 400, 600, 800 và 1.000°C với tốc độ nâng và hạ nhiệt không quá 5°C/ph, hằng nhiệt trong 3 – 4h. Sau khi gia nhiệt, mẫu được làm nguội đến nhiệt độ phòng và xác định các tính chất như khối lượng thể tích, độ co ngót và cường độ nén. Để tìm hàm lượng tối ưu của FA - phụ gia khoáng nghiền mịn (PG) được đưa vào thay thế xi măng, nhóm tác giả tiến hành xây dựng mô hình quy hoạch thực nghiệm với hàm mục tiêu là cường độ nén, nhân tố ảnh hưởng là hàm lượng PG (%, tính theo khối lượng so với XM). Phân tích vi cấu trúc, nhóm tác giả sử dụng các phương pháp phân tích TGA, XRD và SEM.

3. Kết quả và bàn luận

3.1. Nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết

Chế tạo hỗn hợp chất kết dính tương ứng với từng hàm lượng PG (%, tính theo khối lượng so với XM). Lượng nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của hỗn hợp CKD thể hiện trong Bảng 1:

Bảng 1. *Nước tiêu chuẩn và thời gian đông kết của CKD*

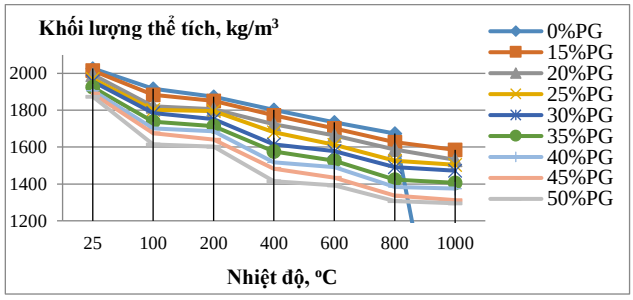
STT	PG (%)	Nước tiêu chuẩn (%)	Thời gian đông kết (ph)	
			Bắt đầu	Kết thúc
1	0	28,5	125	180
2	15	28,75	130	185
3	20	29	135	195
4	25	29,25	140	200
5	30	29,5	145	205
6	35	29,75	150	210
7	40	30,0	155	215
8	45	30,25	160	220
9	50	30,5	165	230

Khi tăng hàm lượng PG thì lượng nước tiêu chuẩn, thời gian bắt đầu và kết thúc đông kết tăng dần. Nguyên nhân của hiện tượng này là do PG nằm ở dạng bột mịn phân bố đều trong hỗn hợp CKD, tỷ lệ diện tích bề mặt tăng lên nên lượng cần nước lớn và thời gian đông kết kéo dài. Mặt khác, do PG mịn đưa vào trong hỗn hợp làm giảm lượng hồ XM, dẫn tới số lượng tinh thể của các sản phẩm thủy hóa ít đi, làm cho sự phát triển của mạng lưới tinh thể của hỗn hợp CKD diễn ra chậm hơn [2].

3.2. Khối lượng thể tích

Ảnh hưởng của hàm lượng PG đến khối lượng thể tích của đá CKD được thể hiện trong Hình 1.

Ở cùng cấp nhiệt độ thì giá trị khối lượng thể tích của CKD giảm dần khi tăng hàm lượng PG (Hình 1) vì khối lượng thể tích của PG nhỏ hơn XM.

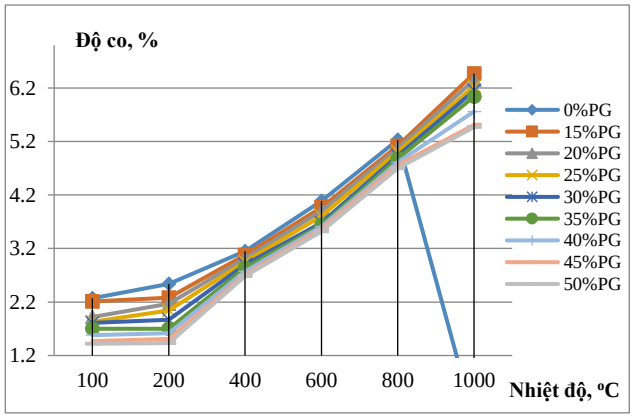


Hình 1. *Khối lượng thể tích của đá CKD ở các cấp nhiệt độ*

Càng tăng nhiệt thì giá trị khối lượng thể tích giảm dần. Từ 25 - 100°C có sự thoát nước từ các mao quản và các lỗ rỗng, khối lượng thể tích giảm mạnh. Từ 100 - 200°C, sự suy giảm khối lượng thể tích lại giảm. Tăng nhiệt độ trên 200°C thì lượng nước hấp phụ tách ra, đồng thời mất lượng MKN, lượng nước hóa học bay hơi làm khối lượng giảm mạnh. Đến 800 - 1.000°C, có sự tương tác giữa CaO tự do và các khoáng thủy hóa của XM với PG khoáng nghiền mịn, tạo ra các khoáng mới, sự suy giảm khối lượng thể tích giảm dần. Mẫu có 0% PG bị phá hủy cấu trúc ở trên 800°C.

3.3. Độ co

Ảnh hưởng của hàm lượng PG đến độ co của đá CKD được thể hiện trong Hình 2.



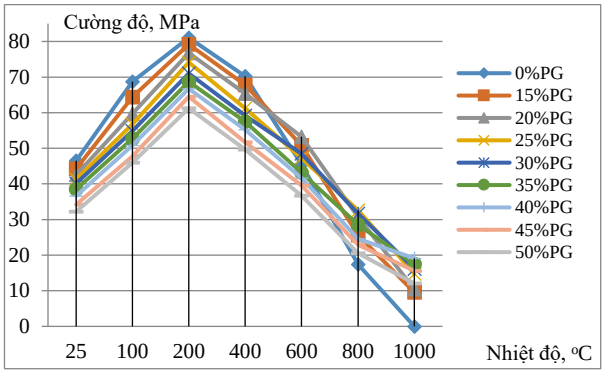
Hình 2. *Độ co của đá CKD ở các cấp nhiệt độ*

Ở cùng cấp nhiệt độ thì độ co của CKD giảm dần khi tăng hàm lượng PG (Hình 2) do PG đưa vào thay thế một phần XM, giảm co ngót của đá CKD.

Càng tăng nhiệt thì giá trị độ co tăng. Bắt đầu từ 100 - 200°C, các mẫu co nhẹ. Lúc này các PG đưa vào phát huy vai trò chống co ngót. Tăng nhiệt trên 200°C, tốc độ co ngót tăng mạnh, thể hiện ở "độ dốc" của đồ thị. Lúc này dưới tác dụng của nhiệt, lượng nước trong các lỗ rỗng thoát ra, sức căng bề mặt trong mao quản sẽ tăng dần và nén phần rắn các thành các mao quản. Và độ co tiếp tục tăng cho đến khi các phần tử có xu hướng tiếp xúc được với nhau. Đến 800 - 1.000°C, phản ứng rắn xảy ra làm đá CKD co ngót lớn. Cấu trúc đá CKD trở nên đặc chắc hơn và hình thành cấu trúc của vật liệu gốm. Mẫu chứa lượng PG càng lớn thì mức độ tăng độ co có xu hướng giảm.

3.4. Cường độ

Ảnh hưởng của hàm lượng PG đến cường độ của đá CKD được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3. *Cường độ của đá CKD ở các cấp nhiệt độ*

Khi tăng hàm lượng PG thì cường độ ở nhiệt độ thường giảm dần. Vì chúng chỉ có vai trò là phụ gia trơ, có tác dụng điền đầy dẫn tới giảm hoạt tính của XM.

Khi đốt nóng đến 200°C thì cường độ của đá CKD tăng dần. Sở dĩ là do xảy ra sự mất nước tự do làm đá CKD co lại làm tăng độ chặt, đồng thời nước tự do tách ra còn có tác dụng tiếp tục thuỷ hoá phần xi măng chưa được thủy hoá làm tăng cường độ, quá trình này được gọi là quá trình "tự chưng hấp".

Tăng nhiệt trên 200°C, cường độ của đá CKD bắt đầu giảm do sự mất nước liên kết hoá học của hyđrôxit canxi và các sản phẩm thuỷ hoá của xi măng.

Ở trên 400°C, mẫu có 0% PG có cường độ suy giảm mạnh nhất. Đến 800°C, mẫu hoàn toàn mất khả năng chịu lực. Đá CKD có PG, do có tác dụng chống lại sự co ngót, làm giảm nội ứng suất trong đá chất kết dính khiến cho cường độ giảm chậm hơn.

Từ 600 - 800°C, sự suy giảm cường độ giảm dần. Đây là khoảng nhiệt độ thể hiện khá rõ sự ảnh hưởng của các tỷ lệ phụ gia đưa vào. Tại 600°C, các mẫu 20%, 15% và 30% PG cho cường độ đá CKD cao nhất.

Từ 800 - 1.000°C, cường độ của đá CKD tiếp tục giảm và đạt giá trị thấp nhất ở 1.000°C. Ở khoảng nhiệt độ này, phản ứng pha rắn xảy ra giữa CaO tự do và các thành phần khoáng của xi măng với các cấu tử của PG tạo ra các khoáng mới có cường độ và độ bền nhiệt. Lúc này, hàm lượng phụ gia càng lớn thì phản ứng xảy ra càng triệt để, dẫn tới có cường độ cao hơn. Ở 800°C, các mẫu 25%, 30% và 20% PG cho cường độ đá CKD cao nhất, cường độ còn lại đạt 57,39%, 57,77% và 51,53% so với cường độ ở nhiệt độ thường. Ở 1.000°C, các mẫu 40%, 35% 30% PG cho cường độ đá CKD cao nhất, cường độ còn lại đạt 37,59%, 33,08% và 29,42% so với cường độ ở nhiệt độ thường.

3.5. Quy hoạch thực nghiệm

Nhóm tác giả lập mô hình quy hoạch thực nghiệm với hàm mục tiêu là cường độ nén ở cấp nhiệt độ 800°C và 1.000°C, mã hóa biến % PG (so với khối lượng XM) là X (Bảng 2) và xây dựng ma trận quy hoạch thực nghiệm (Bảng 3) để tìm ra % PG tối ưu chế tạo CKD chịu nhiệt.

Bảng 2*. Bảng mã hóa quy hoạch thực nghiệm*

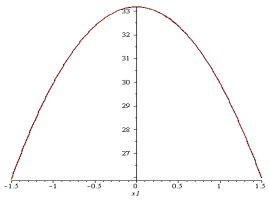
Nhiệt độ (°C)	Mã hóa	Điểm quy hoạch					δ
		-1,189	-1	0	1	+1,189	
800	X	19	20	25	30	31	5
1.000	X	34	35	40	45	46	5

Bảng 3. *Bảng ma trận quy hoạch thực nghiệm cường độ đá CKD tại 800°C và 1.000°C*

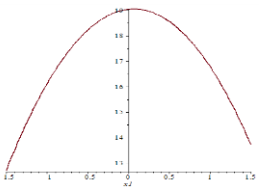
X	X^2	Cường độ nén - R_n (MPa)			
		R_{n1}	R_{n2}	R_{n3}	R_n^{tb}
1	1	30,47 / 16,47	31,03 / 16,21	30,37 / 15,86	30,62 / 16,18
-1	1	30,43 / 16,92	29,06 / 15,23	29,15 / 16,50	29,55 / 16,22
+1,189	1,414	29,34 / 14,81	28,81 / 15,07	28,63 / 14,63	28,93 / 14,84
-1,189	1,414	27,45 / 16,43	28,78 / 16,74	28,07 / 15,62	28,10 / 16,26
0	0	32,53 / 20,17	34,32 / 19,06	32,08 / 19,28	32,98 / 19,50
0	0	34,04 / 19,38	31,85 / 19,65	32,61 / 18,80	32,83 / 19,28
0	0	33,17 / 18,15	33,65 / 19,63	33,14 / 18,76	33,32 / 18,85

Ghi chú: *Tử số là các giá trị cường độ nén của tổ mẫu ở 800°C, mẫu số các giá trị cường độ nén của tổ mẫu ở 1.000°C.*

Sau khi giải bài toán quy hoạch thực nghiệm, ta có được hàm hồi quy cường độ nén của CKD ở 800°C như sau: $\hat{Y}_{Rn} = 19{,}037 + 0{,}341X - 2{,}590X^2$ (1). Hàm hồi quy cường độ nén của CKD chịu nhiệt ở 1.000°C như sau: $\hat{Y}_{Rn} = 33{,}702 + 0{,}172X - 3{,}224X^2$ (2).



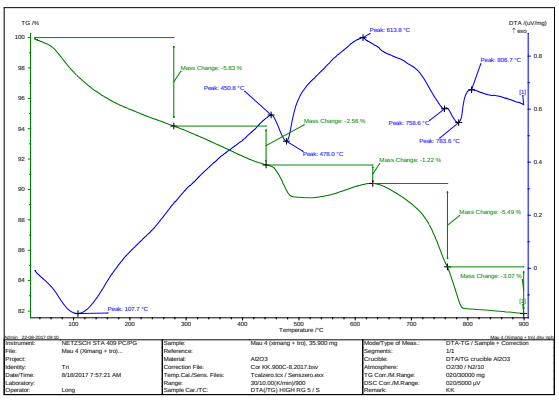
Hình 4. *Đồ thị biểu diễn cường độ đá CKD ở 800°C*



Hình 5. *Đồ thị biểu diễn cường độ đá CKD ở 1.000°C*

Qua đồ thị biểu diễn cũng như phương trình hồi quy, ở cấp 800°C, cường độ của đá CKD lớn nhất là 33,17 MPa khi X = 0,0027 hay PG = 25,014% (so với khối lượng XM); ở cấp 1000°C, cường độ của đá CKD lớn nhất là 19,048 MPa khi X = 0,0066 hay PG = 40,033%.

3.6. Phân tích vi cấu trúc

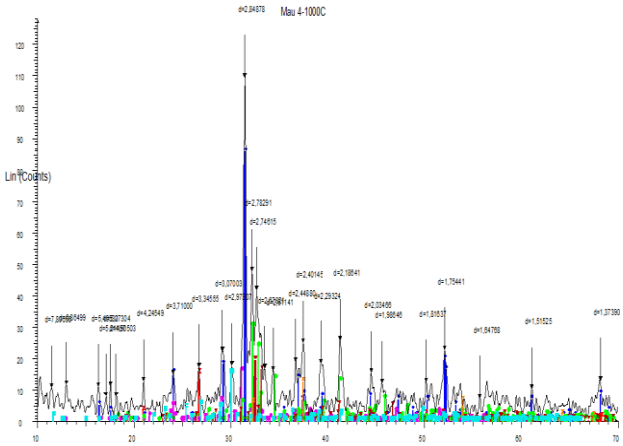


Hình 6. *Phân tích nhiệt mẫu đá CKD có 40,033% PG*

Phân tích vi cấu trúc mẫu đá CKD theo phương pháp TGA, có kết quả theo Hình 6.

Ở khoảng nhiệt độ từ 20°C đến khoảng 107,7 - 113,1°C, có hiệu ứng nhiệt do mất nước lý học, khối lượng bắt đầu giảm mạnh, kèm theo độ co tăng. Từ 107,7 - 113,1°C đến khoảng 450,8 - 473,2°C khối lượng giảm mạnh ở 280°C, ΔG giảm 5,83%; ở 440°C, ΔG giảm 2,56% (Hình 6). Điều đó cho thấy ở khoảng nhiệt độ này, ngoài việc mất nước lý học bắt đầu có sự mất nước liên kết hóa học của các khoáng XM thủy hóa, tốc độ suy giảm khối lượng giảm dần. Kèm theo sự giảm khối lượng là diễn ra sự co ngót của mẫu. Tổng mất khối lượng ở khoảng nhiệt độ này là 6,39%. Tiếp theo, khối lượng giảm thấp 1,22% ở 630°C. Tiếp tục quá trình tách nước hóa học, tổng mất khối lượng là 7,61%. Từ 613,8 - 758,6°C và 783,6°C đến khoảng nhiệt độ 806,7 - 900°C có các hiệu ứng thu nhiệt do phân ly $CaCO_3$; sự mất khối lượng tiếp tục diễn ra mạnh: ΔG giảm 5,49% ở 760°C và ΔG giảm 3,07% ở 900°C. Tổng mất khối lượng của cả quá trình (từ 20°C - 900°C) khá lớn, 18,17%.

Phân tích vi cấu trúc theo phương pháp XRD có kết quả theo Hình 7.

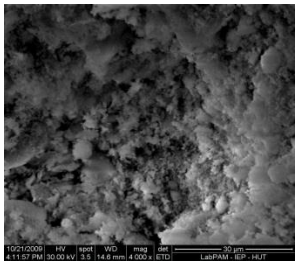


***Hình 7.** *Phân tích XRD mẫu đá CKD có 40,033% PG*

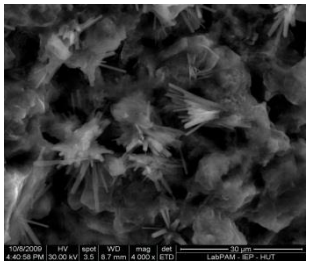
Đốt nóng ở 1.000°C có sự hình thành các khoáng ở các pick sau (Hình 7): Khoáng quắc (SiO_2) ở các pick: dA°(1,3730; 1,8163; 3,3455; 4,2454). Khoáng Gelenhit ($2CaO.Al_2O_3.SiO_2$) ở các pick: dA°(1,3739; 1,4781; 1,4445; 1,5152; 1,7277; 1,7544; 1,8720; 1,9297; 2,0346; 2,2932; 2,4014; 2,4251; 2,5301; 2,8487; 3,0700; 3,7100; 4,2454; 5,0730; 5,4653). Khoáng Vollastonhit ($CaO.SiO_2$) ở các pick: dA°(1,4304; 1,4917; 1,8170; 2,1861; 2,2935; 2,4894; 2,5708; 2,6780; 2,8156; 2,9314; 3,0705; 3,3452; 3,5277; 3,8884; 4,0670; 6,1651; 7,8003). Khoáng Belit ($2CaO.SiO_2$) ở các pick: dA°(1,4094; 1,4797; 1,5150; 2,5483; 2,5814; 1,6145; 1,7550; 1,9439; 1,9859; 2,0341; 2,0350; 2,0850; 2,1105; 2,1485; 2,1864; 2,2398; 2,2930; 2,3292; 2,4488; 2,6112; 2,6782; 2,7461; 2,7645; 2,7829; 2,8158; 2,8901; 3,1618; 3,2537; 3,4062; 3,7100; 3,9241; 4,6807). Khoáng oxit canxi (CaO) ở các pick dA°(1,4449; 1,7010; 2,4014).

Kết quả phân tích XRD cho thấy, ở khoảng nhiệt độ 1.000°C đã xuất hiện khoáng bền nhiệt C_2AS, tuy nhiên vẫn còn CaO, tức phản ứng pha rắn chưa xảy ra triệt để.

Phân tích vi cấu trúc theo phương pháp SEM, có kết quả theo Hình 8, 9.



Hình 8. *Phân tích SEM mẫu OPC ở 1.000°C*



Hình 9. *Phân tích SEM mẫu đá CKD có 40,033% PG ở 1.000°C*

Phân tích cấu trúc cho thấy, ở mẫu đá CKD đốt nóng 1.000°C không dùng PG (Hình 8) có cấu trúc chủ yếu là thành phần pha thủy tinh nóng chảy, các lỗ rỗng phân bố hỗn độn, chính vì thế nên mẫu không có khả năng chịu nhiệt ở nhiệt độ cao.

Thành phần vật chất của mẫu đá CKD có 40,033% PG (Hình 9) gồm các tinh thể hạt mịn $CaCO_3$ phân bố hỗn độn, các khoáng thủy hóa của xi măng (CS, C_2S, C_3S), các pha thủy tinh nóng chảy và các tinh thể khoáng mới C_2AS. Các chùm tia nhỏ của khoáng C_2AS được phân bố hỗn độn trong các khe nhỏ trong pha thủy tinh, nó cùng với các khoáng CS, C_2S, C_3S sẽ tạo nên cường độ và tính chịu nhiệt cho CKD. Nhận thấy, cấu trúc vẫn còn những lỗ rỗng chứng tỏ phản ứng rắn chưa xảy ra triệt để, pha lỏng chưa lấp đầy hoàn toàn các lỗ rỗng để tạo cấu trúc đặc chắc nhất.

4. Kết luận

Có thể sử dụng nguyên liệu sẵn có ở Việt Nam để chế tạo CKD chịu nhiệt sử dụng trong bê tông chịu nhiệt.

Xác định ảnh hưởng của hàm lượng PG đến một số tính chất của đá CKD ở các cấp nhiệt độ. Khi hàm lượng phụ gia tăng lên ở cùng một mức nhiệt thì khối lượng thể tích, độ co và cường độ nén của đá CKD giảm. Nhiệt độ tăng, khối lượng thể tích và cường độ nén giảm, độ co lại tăng. Đến 200°C, mức độ giảm khối lượng thể tích và tăng độ co có xu hướng không cao, trong khi cường độ nén của đá CKD lại tăng với tốc độ lớn. Trên 200°C thì khối lượng thể tích và cường độ nén giảm mạnh, độ co tăng cao. Từ 600 - 800°C là khoảng nhiệt độ bắt đầu nhận thấy ảnh hưởng của hàm lượng PG đưa vào. Trên 800°C, mẫu không có PG hoàn toàn bị phá hủy, một số mẫu đá CKD với hàm lượng PG thích hợp tạo ra nhiều khoáng mới có khả năng bền nhiệt và cường độ cao, khiến tốc độ suy giảm, cường độ của đá CKD ở giai đoạn này có xu hướng giảm dần.

Xây dựng mô hình quy hoạch xác định được thành phần PG tối ưu chế tạo CKD có khả năng chịu nhiệt. Ở cấp 800°C, với 25,014% PG chế tạo được đá CKD có cường độ 33,17 MPa; ở cấp 1.000°C, với 40,033% PG chế tạo được đá CKD có cường độ 19,048 Mpa.

Sử dụng các phương pháp hiện đại nghiên cứu vi cấu trúc đá CKD nâng cao độ tin cậy kết quả thực nghiệm.

Sử dụng phế thải chưa tuyển của ngành nhiệt điện hoàn toàn có thể mang lại hiệu quả cao khi chế tạo CKD cho bê tông chịu nhiệt. Việc sử dụng này đã mang lại ý nghĩa thực tiễn lớn lao, góp phần giải quyết vấn đề môi trường, tiết kiệm vật liệu xây dựng chủ yếu và giảm giá thành sản phẩm.

Cần khảo sát thêm FA của các nhà máy nhiệt điện khác để đưa ra khuyến cáo khi sử dụng. Trong nghiên cứu này mới chỉ ở mức độ sử dụng một loại PG, nghiên cứu ảnh hưởng của hàm lượng PG đến cường độ nén của đá CKD, hướng nghiên cứu tiếp theo sẽ kết hợp các loại PG nhằm phát huy hiệu quả của mỗi loại ở các cấp nhiệt độ, đồng thời nghiên cứu ảnh hưởng của nhiều yếu tố đến cường độ nén cũng như khả năng chịu nhiệt của đá CKD.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Vũ Minh Đức, *Bê tông chịu nhiệt dùng xi măng poóclăng*, Luận án PTS Khoa học kỹ thuật, Hà Nội, 1992.

[2] Đỗ Thị Phượng, Nguyễn Văn Đồng, "Sử dụng xi măng pooclang hỗn hợp chế tạo chất kết dính chịu nhiệt", *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Đại học Đà Nẵng*, Số 8, 2013, trang 43-49.

[3] Phạm Văn Du, *Nghiên cứu chế tạo bê tông chịu nhiệt dùng chất kết dính silicat natri*, B2005-34-71, Hà Nội, 2005.

[4] Tiêu chuẩn Việt Nam.

[5] Phan LT, Carino NJ, "Review of Mechanical Properties of HSC at Elevated Temperature", *Journal of Materials in Civil Engineering*, 10(1), 1998, pp. 58-64.

[6] Ulrich Schneider, "Concrete at High Temperatures – A General Review", *Fire Safety Journal*, 13, 1988, pp. 55-68.

[7] V. V. Remnev, "Heat – Resistant Properties of Cement Stone with Finely Milled Refractory Additives", *Refractories and Industrial Ceramics*, Vol. 37, 1996, pp. 151-152.

[8] Lubos Pazdera, Libor Topolar, Karel Mikulasek, Jaroslav Smutny, Herberet Seelmann, "Non – Linear Characteristics of Temperature Degraded Concrete at High Temperature", *Procedia Engineering*, 190, 2017, pp. 100-105.

[9] K. D. Nekrasov et al., "Combined Heat Insulation from Lightweight Refractory and Heat – Resistant Concrete", *Refrectories and Industrial Ceramics*, Volume 12, 1971, pp. 174-176.

[10] Mucteba Uysal, Kemanttin Yilmaz, Metin Ipek, "Properties and Behavior of Self-Compacting Concrete Produced with GBFS and FA Additives Subjected to Hight Temperatures", *Construction and Building Materials*, 28, 2012, pp. 312-326.

[11] Y. N. Chan, X. Luo, W. Sun, "Compressive Strength and Pore Structure of High – Performance Concrete After Exposure to High Temperature up to 800°C", *Cement and Concrete Research*, 30, 2000, pp. 247-251.

[12] Gyu-Yong Kim, Young-Sun Kim, Tea-Gyu Lee, "Mechanical Properties of High – Strength Concrete Subjected to High Temperature by Stressed Test", *Transaction of Nonferrous Metals Society of China*, 19, pp. 128-133.

[13] Aleksey I. Hlystov, Vladimir A. Shirokov, Alexei V. Vlasov, "Efficiency Improvement of Heat – Resistant Concrete Through the Use of Sludge Technogenic Raw Material", *Procedia Engineering*, 111, 2015, pp. 290-296.

(BBT nhận bài: 24/11/2017; hoàn tất thủ tục phản biện: 05/12/2017)