

NGHIÊN CỨU ĐÓNG RẮN XỈ THẢI PHỐT PHO LÀO CAI VỚI TRƯỜNG THẠCH ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG SẢN XUẤT GẠCH KHÔNG NUNG

STUDY ON SOLIDIFICATION OF LAO CAI PHOSPHORUS WASTE SLAG USING FENSPAT FOR APPLICATION OF ADOBE BRICK

Phạm Thị Mai Hương^{1*}, Phan Thị Quyên¹

TÓM TẮT

Xỉ thải phốt pho từ quá trình sản xuất phốt pho vàng Lào Cai được phân tích thành phần bằng phương pháp phổ huỳnh quang tia X (XRF) gồm các thành phần chính là canxi oxit (46,62%), silic oxit (38,85%), nhôm oxit (3,31%) và một số oxit kim loại khác. Trong đó thành phần chính như SiO_2 , Al_2O_3 có vai trò quan trọng trong quá trình đóng rắn với một số khoáng sét có hàm lượng silic, nhôm cao như trường thạch được kiểm hóa bằng các xút, vôi... Vật liệu đóng rắn từ xỉ phốt pho với trường thạch, xút có cường độ chịu nén khá cao đạt đến 14,57MPa sau 28 ngày cho thấy khả năng đóng rắn của xỉ thải có thể ứng dụng để sản xuất gạch không nung theo công nghệ bê tông "polyme".

Từ khóa: Xỉ thải phốt pho, trường thạch, gạch không nung.

ABSTRACT

The phosphorus slag from yellow phosphorus production in Lao Cai was determined by X-Ray fluorescence spectroscopy (XRF) in which contains mainly calcium oxide (46.62%), silic oxide (38.85%), aluminium oxide (3.31%) and other metal oxide. The mainly component SiO_2 , Al_2O_3 was play the important role to solification process by using the clay mineral with high silic and aluminium oxide as fenspat and alkalization process by sodium hydroxide. The solid material by phosphorus slag and fenspat, sodium hydroxide had the high compressive strength, reach to 14.56MPa after 28 days. The good results used to the application of adobe brick production base on the concrete technology of polymerization.

Keywords: Phosphorus waste slag, fenspat, adobe brick.

¹Trường Đại học Công nghiệp Hà Nội

*Email: phammaihuong@hau.edu.vn

Ngày nhận bài: 03/3/2022

Ngày nhận bài sửa sau phản biện: 15/4/2022

Ngày chấp nhận đăng: 25/4/2022

1. MỞ ĐẦU

Tại khu công nghiệp Tăng Loỏng (Lào Cai) hiện nay đang có 7 nhà máy sản xuất phốt pho vàng Lào Cai, công nghệ sản xuất đều theo phương pháp lò điện. Theo công nghệ này thì cứ sản xuất 1 tấn phốt pho vàng sẽ đồng thời thải ra 9 - 10 tấn xỉ thải phốt pho [1]. Theo con số thống kê

cứ mỗi năm có khoảng 840.000 tấn xỉ thải được đưa ra môi trường gây ô nhiễm khói bụi, môi trường sống xung quanh khu công nghiệp. Việc xử lý xỉ thải phốt pho trở thành vấn đề cấp bách đối với các nhà khoa học. Trên thế giới và ở Việt nam cũng đã có một số nghiên cứu xử lý xỉ thải như làm kính nổi [2], gạch ceramic [3, 4], làm phụ gia xi măng, làm chất độn cho sơn, sản xuất cao su [5]. Nghiên cứu dung xỉ phốt pho làm gạch không nung là phương án khả thích hợp để giải quyết lượng xỉ thải. Công nghệ đóng rắn xử lý phốt pho theo hướng sử dụng công nghệ bê tông polyme được nhiều nhà khoa học đã đề cập tới bởi thành phần chính của xỉ thải phốt pho bao gồm các oxit kim loại SiO_2 , Al_2O_3 , CaO , MgO ,... thành phần tương tự như với các loại tro xỉ khác, rất có lợi trong quá trình đóng rắn [6]. Với vật liệu không nung và công nghệ chế tạo chất kết dính không xi măng hay "công nghệ bê tông polyme", công nghệ này được nghiên cứu dựa trên sự hình thành từ các chất kết dính được tạo ra bởi sản phẩm của phản ứng giữa dung dịch kiềm và các vật liệu có chứa hàm lượng lớn silic (Si) và nhôm (Al) với các chất độn (để làm xương bê tông) [7]. Cơ chế động học phản ứng giải thích quá trình đông kết và rắn chắc của chất kết dính kiềm hóa còn được Glukhovskiy giải thích bằng cơ chế quá trình kiểm hóa bao gồm các phản ứng phân hủy nguyên liệu thành dạng cấu trúc ổn định thấp và phản ứng nội tại. Trước tiên là quá trình bẻ gãy các liên kết cộng hóa trị Si-O-Si tạo ra liên kết Al-O-Si khi pH tăng lên, vì thế nhóm nguyên tố này chuyển sang hệ keo. Sau đó xảy ra sự tích tụ các sản phẩm bị phá hủy bởi phản ứng nội tại giữa chúng tạo cấu trúc ổn định thấp, tiếp theo ở giai đoạn thứ 3 là quá trình tạo cấu trúc đồng đặc [8]. Trong xỉ thải phốt pho đã có sẵn các thành phần oxit silic, oxit nhôm, nhưng để bổ sung thêm nguồn silic, nhôm cho quá trình đóng rắn nhóm nghiên cứu đã sử dụng nguyên liệu trường thạch, nguồn khoáng sét sẵn có, giá thành thấp phối hợp với xỉ thải. Bên cạnh đó còn sử dụng xút (NaOH) làm tác nhân kiểm hóa cho quá trình đóng rắn. Các chỉ tiêu cơ lý của vật liệu đóng rắn rất khả quan cho việc ứng dụng tạo ra các sản phẩm có chất lượng, ứng dụng làm gạch không nung dùng cho xây dựng cơ bản, điều này giúp cho

việc xử lý vấn đề ô nhiễm chất thải rắn công nghiệp tại khu công nghiệp Tăng Loong.

2. THỰC NGHIỆM

2.1. Hóa chất, nguyên liệu

Mẫu xỉ thải phốt pho Lào Cai được lấy tại bãi chứa xỉ thải của Công ty cổ phần phốt pho vàng Lào Cai. Phương pháp lấy mẫu, bảo quản mẫu chất thải rắn theo TCVN 9466:2012 (ASTM D6009-12). Mẫu trường thạch được lấy từ mỏ Lào Cai. Mẫu xỉ thải phốt pho và trường thạch được đem phân tích bằng phương pháp phổ huỳnh quang tia X (XRF) tại Viện Vật liệu xây dựng.

Hóa chất: NaOH công nghiệp.

2.2. Thục nghiệm

2.2.1. Nghiên cứu chế tạo chất kết dính vô cơ sử dụng trường thạch

a) Khảo sát các điều kiện chế tạo chất kết dính

* Khảo sát xác định thời gian, điều kiện khuấy trộn và mức độ trương nở của trường thạch khan trong nước

Trường thạch dạng bột được trộn đều với nước cất với tỷ lệ rắn lỏng là 1:2 theo khối lượng. Thử nghiệm được tiến hành song song, một mẫu có khuấy trộn liên tục trên máy lắc 150 vòng/phút và một mẫu không khuấy trộn. Thời gian tiếp xúc hai pha là 7 ngày. Đối với mẫu khuấy trộn, sau mỗi ngày (23 giờ) ngừng khuấy trong vòng 1 giờ và đo thể tích pha rắn, đối với mẫu không khuấy trộn thì cứ sau 24 giờ đo thể tích pha rắn một lần.

* Khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng kiềm tới mức độ trương nở của trường thạch khan trong dung dịch kiềm

Trường thạch dạng bột được ngâm trong dung dịch có nồng độ NaOH khác nhau theo tỷ lệ trường thạch/dung dịch là 1g : 1ml, tương đương với dung dịch NaOH có nồng độ 1,25M; 2M; 5M; 7,5M; 10M. Thử nghiệm cũng tiến hành song song giữa mẫu để ở điều kiện nhiệt độ phòng với mẫu chỉ được ngâm trong nước cất và thời gian tiếp xúc hai pha là 7 ngày.

* Khảo sát đánh giá khả năng bóc tách lớp tứ diện nhôm oxit ra khỏi lớp tứ diện silic oxit bằng phương pháp trộn nguội trường thạch với NaOH

Trường thạch và dung dịch NaOH có nồng độ khác nhau, dung dịch NaOH được trộn đều với tỷ lệ khối lượng rắn lỏng là 1:1 g/ml bằng cách cho 100g trường thạch đã sấy khô vào 100ml thể tích dung dịch NaOH có nồng độ khác nhau. Sau thời gian khuấy trộn 30 phút, khối vật chất được để cho phản ứng đạt cân bằng là 5 ngày (mỗi ngày dung dịch được khuấy lại 1 lần 30 phút). Sau năm ngày đem tiến hành đo độ nhớt, xác định hàm lượng aluminat và silicat tự do.

* *Xác định công thức chế tạo chất kết dính từ trường thạch - kiềm NaOH trộn nguội*

Chuẩn bị 10kg trường thạch có độ ẩm dưới 5%, NaOH công nghiệp có hàm lượng NaOH trên 95% sử dụng hoạt hóa trường thạch với khối lượng bằng 10%, 20%, 30%, 40%, 50% so với trường thạch. Khi sử dụng thêm lượng nước

theo yêu cầu. Các chất kết dính được xác định các thông số: thời gian đông kết, thời gian kết thúc đông kết, độ ổn định thể tích, cường độ nén.

2.2.2. Nghiên cứu đóng rắn xỉ thải phốt pho bằng chất kết dính vô cơ từ trường thạch

Tiến hành trộn nguội trường thạch với NaOH, trong đó NaOH chiếm 10% - 50% so với trường thạch, thêm nước tùy theo công thức phối trộn, sử dụng chất kết dính chế tạo được đóng rắn xỉ thải của quá trình sản xuất phốt pho với tỷ lệ trường thạch so với xỉ từ 10% đến 50%. Sau 28 ngày xác định cường độ nén của mẫu đóng rắn.

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả phân tích thành phần xỉ thải phốt pho và trường thạch

Mẫu xỉ thải phốt pho và trường được tiến hành phân tích bằng phương pháp phổ huỳnh quang tia X (XRF). Kết quả được thể hiện ở bảng 1.

Bảng 1. Kết quả phân tích thành phần của xỉ thải phốt pho và trường thạch

Thành phần hóa học	Đơn vị	Mẫu xỉ phốt pho	Mẫu trường thạch
MKN	%	0,28	0,96
SiO ₂	%	38,58	71,28
Fe ₂ O ₃	%	0,29	0,29
Al ₂ O ₃	%	3,31	15,60
CaO	%	46,62	0,46
MgO	%	3,22	0,18
SO ₃	%	0,39	-
K ₂ O	%	1,08	4,02
Na ₂ O	%	0	4,60
TiO ₂	%	0,15	0,04
P ₂ O ₅ tổng	%	1,4	
F tổng	%	2,41	
Cl	%	0	
MnO ₂	%	0,15	
As ₂ O ₃	ppm	< 10	
PbO	ppm	< 10	
HgO	ppm	< 10	
CdO	ppm	< 10	
CuO	ppm	< 10	

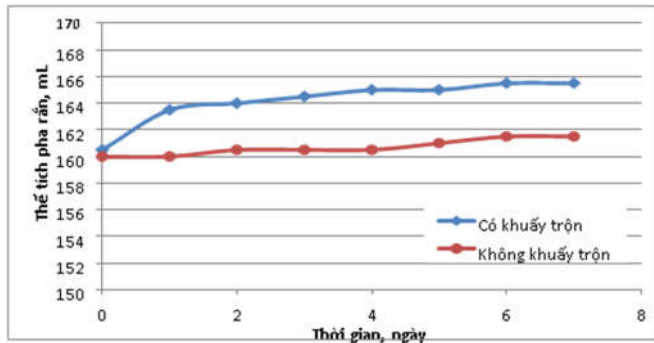
Thành phần xỉ thải phốt pho ngoài các thành phần oxit kim loại thì các kim loại nặng độc hại trong xỉ đều nằm trong giới hạn cho phép. Đối với mẫu trường thạch Lào Cai thì hàm lượng SiO₂, Al₂O₃ tương đối cao cũng, hàm lượng Fe₂O₃ thấp đảm bảo chất lượng làm chất độn xương trong sản xuất gốm sứ cũng như làm gạch.

3.2. Kết quả nghiên cứu chế tạo chất kết dính từ trường thạch

3.2.1. Khảo sát xác định thời gian, điều kiện khuấy trộn và mức độ trương nở của trường thạch khan trong nước

Mẫu trường thạch khan đã được khảo sát trong môi trường nước cất và dung dịch kiềm ở các điều kiện khuấy

trộn khác nhau để xác định khả năng trương nở. Kết quả được thể hiện ở hình 1.



Hình 1. Ảnh hưởng của khuấy trộn và thời gian tiếp xúc đến độ trương nở của trường thạch

Từ các kết quả trên cho thấy, mẫu có khuấy trộn luôn có thể tích pha rắn lớn hơn mẫu không khuấy trộn; nhưng sự thay đổi thể tích của pha rắn trong cả hai trường hợp đều không đáng kể. Điều này chứng tỏ, trong điều kiện thường, trường thạch hầu như không có sự trương nở trong nước.

3.2.2. Ảnh hưởng của hàm lượng kiềm tới mức độ trương nở của trường thạch khan trong kiềm

Trường thạch khan được ngâm trong dung dịch kiềm với các nồng độ khác nhau từ 1,25M đến 10M và khoảng thời gian theo dõi từ 1 đến 7 ngày, xác định thể tích pha của trường thạch theo từng mốc thời gian. Kết quả thử nghiệm về độ trương nở được trình bày trên bảng 2.

Bảng 2. Độ trương nở của trường thạch phụ thuộc hàm lượng NaOH và thời gian

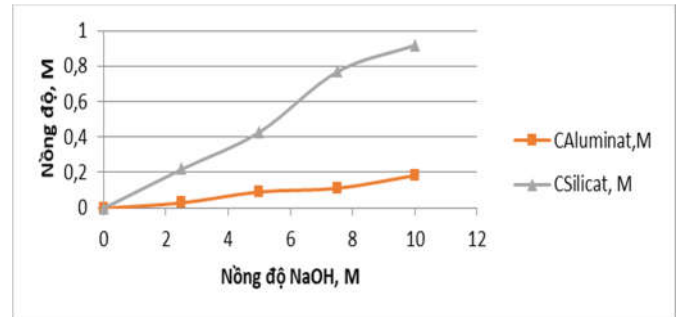
Nồng độ NaOH	Thể tích pha trường thạch rắn, ml						
	1 ngày	2 ngày	3 ngày	4 ngày	5 ngày	6 ngày	7 ngày
1,25M	160	160,4	161,5	161,5	162	162,1	162,2
2M	161,2	162,3	163,4	164,5	165,8	166	166,2
5M	162,5	166	168,4	170,6	171,5	172,4	173
7,5M	165	171	175	178,5	181	182	183
10M	167	177	183	186	188	189	190

Từ kết quả bảng 2 cho thể thấy rằng mặc dù trong dung dịch kiềm mạnh, song độ trương nở của trường thạch không cao. Ở nồng độ 1,25M NaOH, độ trương nở tối đa đạt khoảng 3% và ở nồng độ kiềm cao 10M thì độ trương nở cũng chỉ đạt khoảng 15%. Kết quả còn cho thấy, thời gian tiếp xúc giữa trường thạch và dung dịch kiềm khoảng 5 ngày thì thể tích pha rắn đã gần ổn định, thay đổi không đáng kể.

3.2.3. Khảo sát đánh giá ảnh của nồng độ kiềm đến độ nhớt của chất kết dính, khả năng bóc tách lớp tứ điện nhôm oxit ra khỏi lớp tứ điện silic oxit

Việc bóc tách lớp tứ điện nhôm oxit ra khỏi lớp tứ điện silic oxit có ý nghĩa quan trọng trong việc hình thành các liên kết trong quá trình hình thành geopolymer. Quá trình tổng hợp geopolyme trước hết là quá trình bẻ gãy các liên kết cộng hóa trị Si-O-Si và Al-O-Si khi nồng độ dung dịch kiềm tăng lên và tạo thành chuỗi polyme có công thức chung

$Mn\{-SiO_2\}_z\{-AlO_3\}_n.n.H_2O$, trong đó n là mức độ trùng hợp, z là 1, 2 hoặc 3 và M là ion dương kiềm như Kali, Natri, mỗi một mắt lưới là các anion tứ điện $[SiO_4]^{4-}$ và $[AlO_4]^{5-}$ chung nhau nguyên tử oxy, chính là các anion alumiocat và silicat [7,8,9]. Nồng độ silicat và aluminat tự do trong chất kết dính trường thạch kiềm NaOH được thể hiện trên hình 2.



Hình 2. Ảnh hưởng của nồng độ kiềm đến nồng độ aluminat và silicat tự do

Nồng độ silicat và aluminat tan ra dung dịch chịu ảnh hưởng trực tiếp của nồng độ kiềm trong mẫu nghiên cứu. Ở nồng độ kiềm 10M, nồng độ silicat thấp hơn 1M và nồng độ aluminat thấp hơn 0,2M. Điều này chứng tỏ khả năng bóc tách lớp silicat ra khỏi cấu trúc ở mức độ trung bình, tuy nhiên khả năng bóc tách tạo thành các điện $[SiO_4]^{4-}$ và $[AlO_4]^{5-}$ cũng góp phần đáng kể trong việc tạo liên kết geopolyme trong quá trình đông rắn. NaOH được lựa chọn để sử dụng làm chất kiềm hóa trong quá trình tạo chất kết dính.

3.2.4. Xác định công thức chế tạo chất kết dính từ trường thạch

Để lựa chọn được công thức chế tạo chất kết dính phù hợp, lượng trường thạch và NaOH được khảo sát ở các tỷ lệ kiềm thêm vào từ 10%, 20%, 30%, 40%, 50% khối lượng so với trường thạch và thực hiện đo một số chỉ tiêu cơ lý. Kết quả được thể hiện ở bảng 3.

Bảng 3. Tính chất cơ lý của chất kết dính từ trường thạch - NaOH

Thông số	10%	20%	30%	40%	50%
Thời gian bắt đầu đông kết (phút)	130	129	132	133	135
Thời gian kết thúc đông kết (phút)	250	350	500	800	1020
Độ ổn định thể tích (mm)	0,7	1,1	1,9	3	4,4
Cường độ nén sau 7 ngày (MPa)	16,3	15,8	15,2	14,6	13,6

Từ kết quả bảng 3 cho thấy, khi tăng hàm lượng kiềm, kể cả kiềm NaOH và vôi thì chất kết dính tạo được có thời gian đông kết tăng, cường độ nén giảm và độ ổn định thể tích giảm. Trong đó, thời gian bắt đầu đông kết thay đổi không đáng kể, còn thời gian kết thúc đông kết tăng nhanh hơn khi tăng lượng kiềm trong chất kết dính, với chất kết dính là trường thạch - NaOH thời gian kết thúc đông kết rất lớn. Điều này có thể giải thích khoảng thời gian các phân tử kiềm hoạt hóa được các phân tử fenspat tạo số liên kết Si-O-Al-O đủ lớn để bắt đầu quá trình đông kết là như nhau nên thời gian bắt đầu đông kết thay đổi ít, khi tăng hàm lượng kiềm dẫn đến hàm lượng kiềm dư lớn, lượng NaOH bị dư làm thời gian kết thúc đông kết kéo dài. Để lựa chọn chất kết dính phù hợp có thể đối chiếu với tiêu chuẩn của

xi măng theo TCVN 6282:2009 (thời gian đông kết lớn hơn 45 phút, thời gian kết thúc đông kết nhỏ hơn 375 phút) thì chỉ có tỷ lệ NaOH 10% đến 20% là phù hợp.

3.3. Kết quả đóng rắn xỉ thải phốt pho bằng chất kết dính trường thạch - NaOH

Quá trình thực hiện đóng rắn được khảo sát với chất kết dính có tỷ lệ xút/trường thạch là 10% và 20%, tỷ lệ xỉ thải được phối trộn khảo sát ở tỷ lệ chất kết dính/xỉ thải là 10% đến 50%. Sản phẩm sau khi đóng rắn được lưu dưỡng trong 28 ngày, sau đó đem đo cường độ chịu nén. Kết quả được thể hiện ở bảng 4.

Bảng 4. Kết quả khảo sát tỷ lệ phối trộn đóng rắn xỉ thải phốt pho với trường thạch, xút

Kí hiệu mẫu	Xỉ (g)	Chất kết dính			Nước (ml)	Cường độ nén (Mpa)	Ghi chú
		Trường thạch (g)	% kiểm so với trường thạch	Xút (g)			
Trường thạch 10% so với xỉ							
TX101	500	50	10%	5	55,5	10,5	
TX102	500	50	20%	10	56	13,66	
Trường thạch 20% so với xỉ							
TX201	500	100	10%	10	61	13,5	
TX202	500	100	20%	20	62	14,57	
Trường thạch 30% so với xỉ							
TX301	500	150	10%	15	66,5	12	
TX302	500	150	20%	30	68	12,97	Bề mặt ngoài phủ lớp màng trắng
Trường thạch 40% so với xỉ							
TX401	500	200	10%	20	72	9,79	Bề mặt ngoài phủ lớp màng trắng
TX402	500	200	20%	40	74	11,253	
Trường thạch 50% so với xỉ							
TX501	500	250	10%	25	77,5	8,8775	Bề mặt ngoài phủ lớp màng trắng
TX502	500	250	20%	50	80	8,26	

Từ kết quả thực nghiệm cho thấy với lượng chất kết dính (trường thạch, xút) tăng lên thì trên bề mặt vật liệu đóng rắn có xuất hiện tượng phủ làm màng trắng "mốc cacbonat" do quá dư kiềm gây nên, ảnh hưởng đến thẩm mỹ và độ bền, có thể dẫn đến hiện tượng ô nhiễm thứ cấp. Cường độ chịu nén không tăng theo tỷ lệ chất kết dính, chứng tỏ quá dư thừa kiềm sẽ làm độ giảm độ chịu nén. Như vậy, tỷ lệ trường thạch nằm trong khoảng 10% đến 20% có giá trị cường độ chịu nén khá cao từ 10,5 đến 14,57MPa. Các mẫu TX 101, TX 201, TX 202 được lựa chọn để đo độ hút nước, kết quả đo được lần lượt là 9,92%; 10,43%; 9,67%. Với các thông số về vật liệu đóng rắn thì độ hút nước thấp, cường độ chịu nén cao, như vậy chỉ có mẫu TX202 là phù hợp với cả hai yếu tố trên. Cường độ chịu nén của mẫu đạt đến 14,57MPa rất tốt để ứng dụng làm gạch không nung theo TCVN 6477:2016, tỷ lệ xút thấp cũng giảm thiểu chi phí cũng như vấn đề ô nhiễm thứ cấp. Mặt

khác lượng trường thạch sử dụng cũng không cao, đảm bảo tiêu chí lượng xỉ thải (chiếm 80% khối lượng) sẽ được xử lý nhiều nhất.

4. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu xử lý xỉ thải phốt pho theo hướng sản xuất các vật liệu không nung có ý nghĩa thực tiễn lớn. Quá trình đóng rắn phải hướng tới lượng xỉ thải được xử lý là lớn nhất. Trong nghiên cứu này, quá trình đóng rắn được thực hiện phối trộn với khoáng sét là trường thạch, kiềm hóa bằng NaOH theo dạng bê tông "geopolymer". Vật liệu đóng rắn lựa chọn tốt nhất khi phối trộn các chất theo tỷ lệ (xút/trường thạch là 20%, trường thạch/xỉ là 20%) mẫu TX202 phù hợp nhất với cường độ chịu nén đạt 14,57MPa, độ hút nước 9,67%. Các thông số trên cho thấy khả năng ứng dụng làm gạch không nung, vật liệu đóng rắn có thể đáp ứng được các chỉ tiêu theo TCVN 6477:2016. Kết quả nghiên cứu có ý nghĩa thực tiễn, có tính khả thi, giúp cho việc giải quyết vấn đề ô nhiễm chất thải công nghiệp, đảm bảo sản xuất xanh, sạch và bền vững.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Nam Tien Group JSC., 2016. Báo cáo cơ hội đầu tư: Nhà máy sản xuất axit photphoric nhiệt công suất 70.000 T/N.
- [2]. Hong-pan Liu, Xiao-feng Huang, Li-ping Ma, Dan-li-Chen, Zhi-bio Shang, Ming Jiang, 2017. *Effect of Fe₂O₃ on the crystallization behavior of glass-ceramics produced from naturally cooled yellow phosphorus furnace slag*. International Journal of Mineral, Metallurgy and Materials, 24(3), pp.1-6.
- [3]. B. Xu, K.M. Liang, J.W. Cao, Y.H. Li, 2010. *Preparation of Foam Glass Ceramics from Phosphorus Slag*. Advanced Material Research, 105-106, pp. 600-603.
- [4]. Quan Dinh Khoa, Vu Dinh Ngo va cs, 2014. *Nghien cuu, su dung xi phot pho vang Lao Cai lam nguyen lieu san xuat gạch ceramic*. Journal of Science and Technology, Viet Tri University Of Industry, Vol. 1, pp.10-15.
- [5]. Institute for Tropical Technology, Vietnam Academy of Science and Technology, 2018. *Nghien cuu su dung che bien xi thai phot pho lam nguyen lieu cho ngành vật liệu xây dựng và lâm phụ gia - bot don cho son, nhua, cao su chat deo*. Science and technology project, Lao Cai province.
- [6]. Tran Hong Con, Phuong Thao, Nguyen Thi Dung, Cong Tien Dung, 2019. *Study on curing ash, thermoelectric slag with high residual coal content by kaolin-alkaline binder, did not pollute the environment secondary*. Vietnam Journal of Chemistry, 57(4E1/2), 269-274.
- [7]. Boutterin C., Davidovits J., 1998. *Geopolymeric Cross-Lingk (LTGS) and Building materials*. Geopolymer, 88(1), pp.79-88.
- [8]. Davidovits J., 2005. *Geopolymer chemistry and sustainable development, The poly(sialate) terminology: a very useful and simple model for the promotion and understanding of green-chemistry*. In: Proceedings of geopolymer conference, pp. 9-15.
- [9]. J. Davidovits, 1997. *Geopolymers: inorganic polymeric new materials*. Journal of thermal analysis, Vol 37, pp.1663-1665.

AUTHORS INFORMATION

Pham Thi Mai Huong, Phan Thi Quyen
Hanoi University of Industry