

ẢNH HƯỞNG CỦA CHẾ ĐỘ NHIỆT PHÂN ĐẾN THU HỒI SILICA TỪ VỎ TRÁU

Phạm Việt Hùng^{1*}, Đào Văn Phú¹, Đỗ Thanh Tiến¹, Phạm Thị Thanh Phúc¹

Lê Vũ Trường Sơn², Trịnh Ngọc Đạt²

¹Trường Đại học Nông Lâm, Đại học Huế;

²Khoa Vật lý, Trường Đại học Sư phạm, Đại học Đà Nẵng.

*Tác giả liên hệ: phamviethung@huaf.edu.vn

Nhận bài: 17/11/2022 Hoàn thành phản biện: 16/12/2022 Chấp nhận bài: 27/12/2022

TÓM TẮT

Vỏ trấu được xem là phụ phẩm nông nghiệp có trữ lượng lớn, thường được đốt tự nhiên gây phát thải khí nhà kính hoặc gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng do vỏ trấu tươi dư thừa quá lớn. Ngược lại, vỏ trấu khi nhiệt phân trong điều kiện yếm khí sẽ thu được tro trấu chứa phần lớn silica vô định hình, hoạt tính cao tương tự như xi măng và silica fume công nghiệp, những thành phần đóng vai trò rất quan trọng trong phát triển cường độ vật liệu bê tông chất lượng cao. Thông thường, hiệu suất thu hồi silica từ tro trấu bị ảnh hưởng bởi chế độ nhiệt phân và đặc điểm nguyên liệu đầu vào. Trong bài báo này, chúng tôi tiến hành khảo sát ảnh hưởng của nhiệt độ và thời gian nhiệt phân đến hiệu suất thu hồi silica từ vỏ trấu. Trong nghiên cứu này, các mẫu vỏ trấu được nhiệt phân ở 03 mức nhiệt độ 700°C, 800°C và 900°C. Mỗi mức nhiệt độ được nhiệt phân trong thời gian là 1 giờ hoặc 2 giờ. Kết quả phân tích XRD cho thấy hiệu suất thu hồi silica có thể đạt đến 98%. Đây là cơ sở tiến hành nghiên cứu ứng dụng silica từ tro trấu như một giải pháp thay thế cạnh tranh với xi măng và silica fume công nghiệp về chi phí và bảo vệ môi trường trong công nghiệp vật liệu xây dựng.

Từ khóa: Chế độ nhiệt phân, Tro trấu, Hiệu suất, Silica

EFFECTS OF PYROLYSIS PROCCESSTO DERIVE SILICA FROM RICE HUSK

Pham Viet Hung^{1*}, Dao Van Phu¹, Do Thanh Tien¹, Pham Thi Thanh Phuc¹

Le Vu Truong Son², Trinh Ngoc Dat²

¹Hue University of Agriculture and Forestry, Hue University;

²Faculty of Physics, University of Education, Da Nang University.

ABSTRACT

Rice husks (RH), an agricultural waste material from the rice milling process, was often dumped and/or open burned, causing greenhouse gas emissions or causing serious environmental pollution due to a huge amount of waste rice husks. However, pyrolysing the RH under a limited supply of oxygen will yield rice husk ash (RHA), which shows excellent pozzolanic properties due to its high surface area, high amorphous nature, and compatibility with cement concrete and industrial silica fumes. The RHA derived silica depends on the time and temperature of the pyrolysis. In this paper, we investigate the effects of temperature and time to the efficiency pyrolysis process to derive silica from rice husk. In this study, rice husk samples were pyrolyzed at different temperatures of 700°C, 800°C, and 900°C. At each temperature, samples were pyrolyzed for 1hr, 2hrs duration. The results of XRD analysis indicated that the extraction efficiency of the pyrolysis process is 98%. Further research results could lead to the application of silica from RHA as a cost- and environmentally competitive alternative in the production of ordinary Portland cement and industrial silica fumes in the building materials industry.

Keywords: Pyrolysis process, Rice husk ash, Efficiency, Silica

1. MỞ ĐẦU

Với sự phát triển mạnh mẽ về kinh tế cũng như sự gia tăng dân số không ngừng, nhu cầu xây dựng cơ sở hạ tầng và công trình nhà ở đang tăng lên đột biến. Hầu hết vật liệu xây dựng công trình được khai thác từ tự nhiên, tiêu thụ năng lượng và chi phí cao, tạo ra chất thải gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng trong quá trình sản xuất vật liệu và thi công công trình. Vật liệu xây dựng được sử dụng phổ biến là xi măng poóc lăng (Ordinary Portland Cement: OPC), bởi đây là vật liệu có cường độ và độ bền cơ học cao, thuận tiện và dễ dàng thi công (Nuaklong và cs., 2020). Tuy nhiên, sản xuất xi măng là một ngành công nghiệp tiêu thụ năng lượng và chi phí đầu tư rất cao, thải ra khí CO₂ trong quá trình sản xuất (Rattanachu và cs., 2020). Khoảng 5-8% lượng khí thải CO₂ toàn cầu được tạo ra từ quá trình sản xuất xi măng poóc lăng (Khan và cs., 2017; Sani và cs., 2020). Do đó, nhu cầu tìm kiếm giải pháp thay thế xi măng truyền thống bằng các nguồn khác với chi phí thấp, tiết kiệm năng lượng, thân thiện với môi trường là rất cấp thiết và đang thu hút nhiều nghiên cứu hiện nay.

Tro trấu (Rice Husk Ash: RHA) thu được từ quá trình nhiệt phân vỏ trấu có hàm lượng silica cao, có diện tích bề mặt lớn, bản chất vô định hình cao, có khả năng liên kết tương thích với cốt liệu, và cho thấy đặc tính pozzolanic tốt, tương đương với xi măng (Al-Kutti và cs., 2019; Sandhu và cs., 2017). Do đó, nghiên cứu sử dụng tro trấu như một sự thay thế một phần xi măng truyền thống đã thu hút nhiều nhà khoa học bởi tính bền vững và thân thiện với môi trường của tro trấu (El-Sayed & El-Samni, 2006; Meddah và cs., 2020).

Theo Bộ Nông nghiệp Hoa Kỳ (USDA) ước tính rằng sản lượng gạo thế giới năm 2022/2023 sẽ là 507,99 triệu tấn. Năm 2021/2022, con số này là 515,08 triệu

tấn (Sản xuất nông nghiệp thế giới, 12/6/2022). Sản lượng này tập trung chủ yếu ở Châu Á, nơi sản xuất hơn 90% lượng gạo trên toàn thế giới (Vigneshwari và cs., 2018). Quá trình sản xuất lúa gạo đã tạo ra 120 triệu tấn trấu hàng năm trên thế giới (Bodie và cs., 2019). Như vậy, vỏ trấu thải ra từ quá trình chế biến lúa gạo là lượng chất thải khổng lồ mà nếu không xử lý kịp thời sẽ gây ô nhiễm môi trường nghiêm trọng và là một sự lãng phí lớn hiện nay.

Vỏ trấu sau khi cháy, các thành phần hữu cơ bị phân hủy và thu được tro trấu. Nếu đốt trấu trong điều kiện tự nhiên thì tro trấu thu được có hàm lượng silica không cao, nếu tinh chế silica từ các loại tro này thu được kết quả rất thấp, không có hiệu quả kinh tế. Tuy nhiên, áp dụng phương pháp nhiệt phân phù hợp có thể thu được tro trấu có hàm lượng silica cao lên đến trên 90% đến 98 % (Le, 2013). Đây là nguồn nguyên liệu tiềm năng rất lớn để tổng hợp vật liệu silica.

Các tính chất vật lý, cũng như đặc điểm của tro trấu phụ thuộc vào điều kiện nhiệt phân. Theo đó, hàm lượng silica trong tro trấu phụ thuộc vào nhiệt độ nhiệt phân, thời gian nhiệt phân, và nhiều thông số đầu vào khác. Tùy theo sản phẩm thu hồi mong muốn là chất khí, chất lỏng hay chất rắn mà phương pháp nhiệt phân nhanh, nhiệt phân chậm hay khí hóa sẽ được lựa chọn. Với mục tiêu thu được tro trấu (dạng chất rắn) có tỷ lệ thành phần silica cao, phương pháp nhiệt phân chậm với tốc độ gia nhiệt đến nhiệt độ nhiệt phân là 10°C/phút trở lên thường được sử dụng. Phương pháp này phù hợp cho nhiệt phân các vật liệu sinh khối không cần nghiền mịn đến 1mm (Akinyemi & Adesina, 2020). Với phương pháp nhiệt phân chậm, thời gian nhiệt phân thường được lựa chọn là 2 giờ, bởi với thời gian nhiệt phân này, quá trình đốt yếm khí carbon sẽ xảy ra không hoàn toàn khi nhiệt độ

nhệt phân thấp hơn 500°C (Al-Khalaf & Yousif, 1984). Kết quả nghiên cứu cho thấy hiệu suất thu hồi silica có xu hướng tăng dần khi nhiệt độ nhiệt phân tăng. Cụ thể, khi khảo sát các mức nhiệt độ nhiệt phân từ 450°C đến 850°C trong thời gian 2 giờ, hiệu suất thu hồi silica tương ứng tăng từ 85,88% lên 87,72% (Al-Khalaf & Yousif, 1984) và hiệu suất đạt đến 92,73% khi ở nhiệt độ 1000°C (Hwang & Wu, 1989). Tuy nhiên, tính chất hóa lý của sản phẩm silica thu được phụ thuộc vào pha vật liệu silica được tạo thành và do đó sẽ quyết định mức độ hoạt tính puzolan của silica. Vì vậy, nghiên cứu xác định chế độ nhiệt phân phù hợp đặc điểm nguồn vỏ trấu hiện có nhằm nâng cao hiệu suất thu hồi silica là cần thiết và là cơ sở cho sản xuất silica từ vỏ trấu phục vụ nghiên cứu thay thế một phần xi măng, góp phần ngăn ngừa khí thải CO₂ từ công nghiệp xi măng cũng như vỏ trấu dư thừa gây ô nhiễm môi trường.

2. NỘI DUNG VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu

Vỏ trấu của giống lúa Hương Thơm 1 được thu thập để khảo sát thuộc thị trấn Hương Trà tỉnh Thừa Thiên Huế. Số lượng vỏ trấu được lấy đủ lớn để thực hiện các thí nghiệm trong cả quá trình nghiên cứu một cách đồng nhất. Các mẫu vỏ trấu được rửa sạch, phơi khô và sấy đạt độ ẩm 10 - 15% trước khi nhiệt phân.

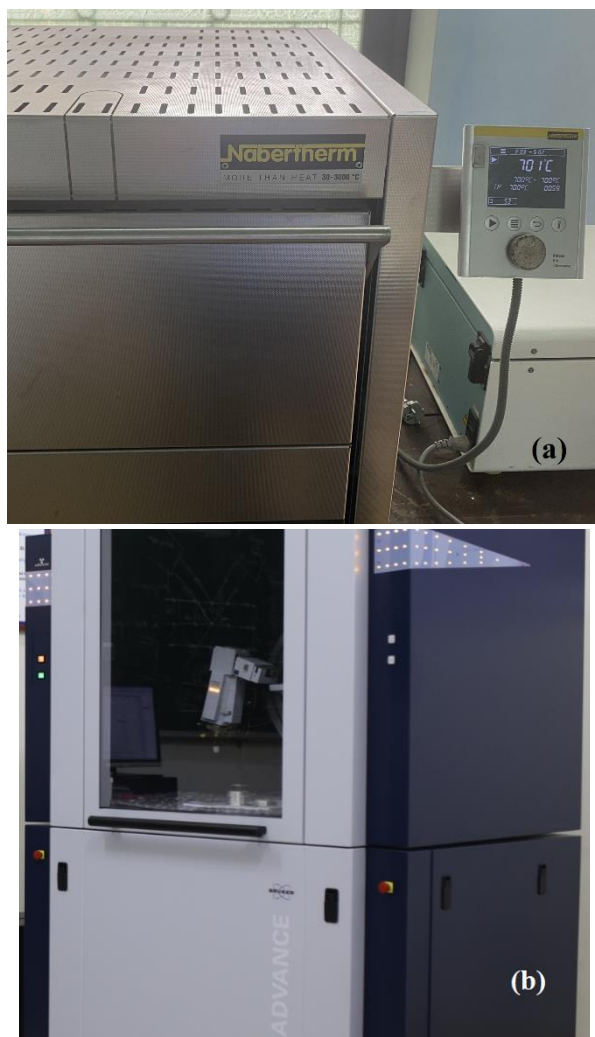
2.2. Phương pháp nghiên cứu

Vỏ trấu được nhiệt phân bằng lò nung chuyên dụng hiệu Nabertherm N7/H/B400 do Đức sản xuất (Hình 1.a). Mỗi mẻ nhiệt phân được cài đặt ở nhiệt độ thí nghiệm lần

lượt là 700°C, 800°C, 900°C trong thời gian là 1 giờ hoặc 2 giờ. Quá trình gia nhiệt từ nhiệt độ phòng đến nhiệt độ mục tiêu được khống chế theo tốc độ gia nhiệt theo phương pháp nhiệt phân chậm là 10°C/phút. Thời gian duy trì ở nhiệt độ nhiệt phân mục tiêu đặt ra là 1 giờ và 2 giờ. Mẫu sau thời gian nhiệt phân được làm nguội tự nhiên về nhiệt độ phòng trong điều kiện yếm khí (Hình 3).

Mỗi điều kiện nhiệt phân sẽ được bố trí đồng thời 04 mẫu có khối lượng 5g như nhau được định lượng bằng cân điện tử mã hiệu ScienTech SA-210 do Mỹ sản xuất có độ chính xác đến 0.1mg, và được đặt riêng lẻ trong cốc sứ chuyên dụng (Hình 2). Mẫu phân tích XRD sẽ được lấy đại diện bằng cách trộn đều tro của 04 cốc.

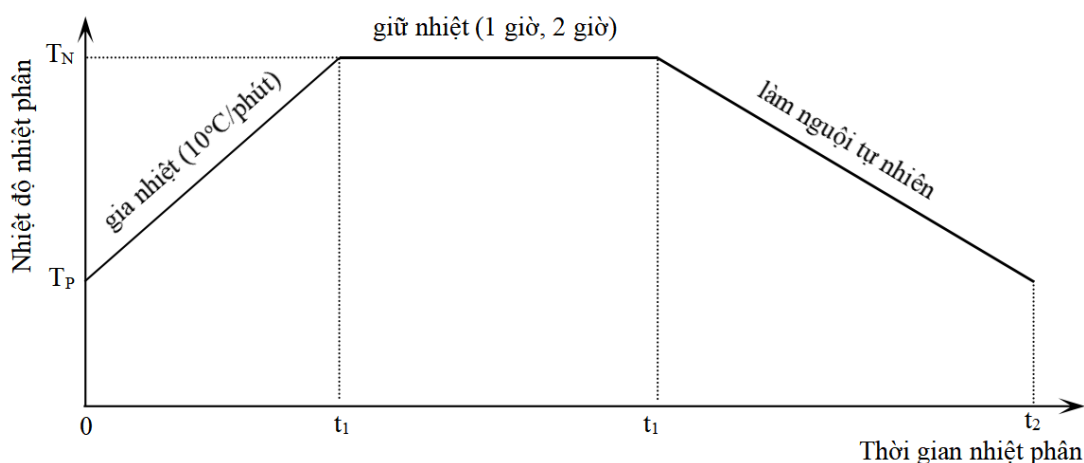
Các mẫu tro trấu thu được sau quá trình nhiệt phân được phân tích nhiễu xạ tia X (XRD: X Ray Diffraction) bằng máy XRD mã hiệu Bruker D8 Advance Eco của Đức (Hình 1.b) với góc quét 2 θ từ 10° - 80°, bước góc 0.02°/bước, bước thời gian 0,2 giây/bước. Máy phân tích XRD trong nghiên cứu này sẽ cho ra kết quả về định tính cấu trúc pha và định lượng thành phần pha vật liệu; cấu trúc mạng tinh thể; kích thước và độ kết tinh của tinh thể. Định lượng thành phần pha dựa trên đặc điểm mỗi thành phần của hỗn hợp chất phân tích có phổ nhiễu xạ chuẩn đặc trưng. Tỷ lệ giữa tích phân cường độ phổ nhiễu xạ của thành phần và tích phân cường độ phổ nhiễu xạ hỗn hợp sẽ giúp định lượng tỷ lệ thành phần pha trong hỗn hợp chất phân tích theo phương pháp của Rietveld (Bish & Howard, 1988).



Hình 1. (a) Lò nung Nabertherm N7/H/B400 và (b) Máy XRD Bruker D8 Advance Eco



Hình 2. (a) Mẫu vỏ trấu, (b) Mẫu tro trấu ở 700°C, (c) Mẫu tro trấu ở 800°C và (d) Mẫu tro trấu ở 900°C



Hình 3. Giản đồ quy trình nhiệt phân vỏ trấu

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

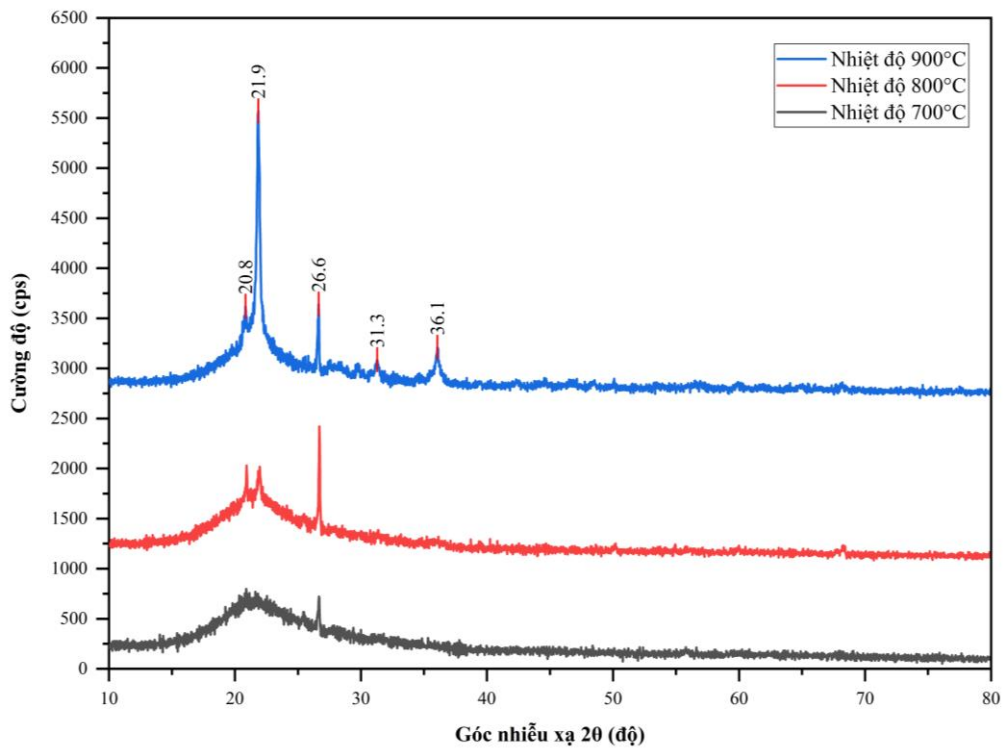
3.1. Ảnh hưởng của điều kiện nhiệt độ nhiệt phân

Kết quả phân tích phổ nhiễu xạ tia X (XRD) được trình bày trên Hình 4 và Hình 5. Hiệu suất thu hồi silica và kết quả thành phần pha của silica được trình bày lần lượt ở Bảng 2 và Bảng 3.

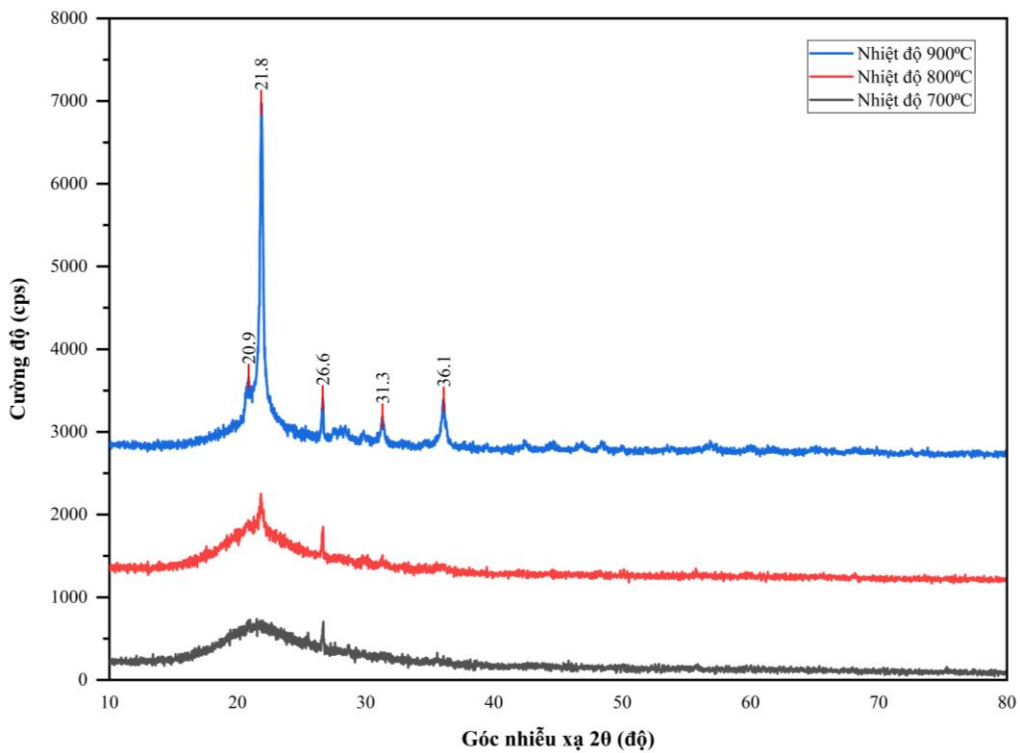
Hình 4 trình bày phổ nhiễu xạ của các mẫu tương ứng với nhiệt độ nhiệt phân ở 700°C, 800°C và 900°C được nhiệt phân trong thời gian 1 giờ. Kết quả cho thấy mẫu ở nhiệt độ nhiệt phân ở 700°C cấu trúc pha tinh thể silica không rõ ràng tại góc nhiễu xạ 21°, 22° và 27°. Theo đó, hàm lượng silica trong trường hợp này khá thấp là 37,2% (Hình 6) với pha Quartz chủ yếu (Bảng 1). Với mẫu ở nhiệt độ nhiệt phân ở 800°C cấu trúc pha tinh thể silica rõ ràng hơn mẫu ở nhiệt độ 700°C với đỉnh đặc trưng tinh thể silica rõ hơn tại các góc nhiễu xạ 21°, 22° và 27°. Hàm lượng silica trong trường hợp này là 98% (Hình 6) với pha quartz và Tridymite chủ yếu (Bảng 1). Phổ nhiễu xạ của mẫu tương ứng với nhiệt độ

nhiệt phân ở 900°C cấu trúc pha tinh thể silica rõ ràng nhất với đỉnh đặc trưng silica tại các góc nhiễu xạ 21°, 22°, 27°, 31° và 36°. Kết quả phổ nhiễu xạ với các đỉnh đặc trưng tại các góc này phù hợp với kết quả nghiên cứu được công bố (Atta và cs., 2012; Zabihi và cs., 2018). Hàm lượng silica trong trường hợp này là 95,9% (Hình 6) với pha Quartz và Cristobalite chủ yếu (Bảng 1). Kết quả trên Hình 6 cũng cho thấy hiệu suất thu hồi silica ở nhiệt độ cao có xu hướng giảm nhẹ.

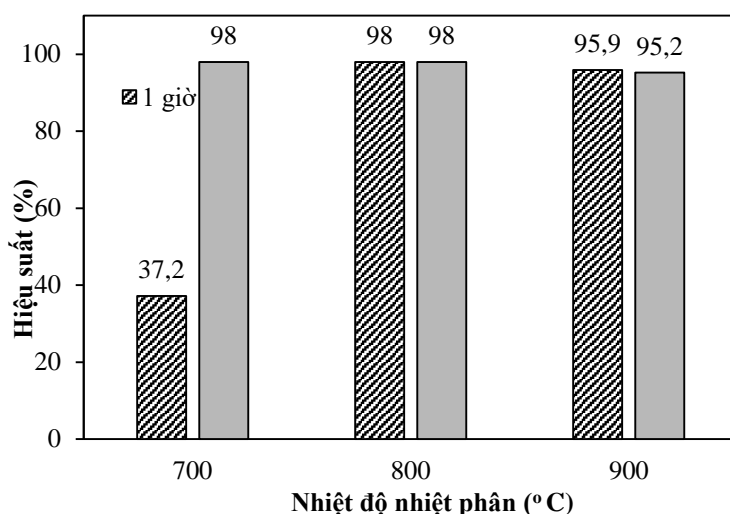
Trên Hình 5 trình bày phổ nhiễu xạ của các mẫu tương ứng với nhiệt độ nhiệt phân ở 700°C, 800°C và 900°C được nhiệt phân trong thời gian 2 giờ. Các phổ nhiễu xạ thể hiện cấu trúc pha tinh thể silica rõ nét tại góc nhiễu xạ 21°, 22°, 27°, 31° ở nhiệt độ 900°C. Một cách tương tự hiệu suất cũng giảm nhẹ tại nhiệt độ 900°C như trường hợp nhiệt phân 1 giờ. Kết quả cho thấy sự ảnh hưởng của nhiệt độ nhiệt phân đến hiệu suất thu hồi silica là khá cao (Hình 6) so với các công bố khác với hiệu suất là 91,56% (Huang và cs., 2017) và 87% (Umasabor & Okovido, 2018).



Hình 4. Kết quả phân tích XRD mẫu tro trấu với thời gian nhiệt phân 1 giờ



Hình 5. Kết quả phân tích XRD mẫu tro trấu trong thời gian nhiệt phân 2 giờ



Hình 6. Hiệu suất thu hồi silica

Bảng 1. Kết quả thành phần pha silica theo nhiệt độ và thời gian nhiệt phân

Thời gian nhiệt phân	Nhiệt độ nhiệt phân/Cường độ (cps)		
	700°C	800°C	900°C
1 giờ	Quartz*/750	Tridymite*, Quartz/900	Cristobalite*, Quartz/2800
2 giờ	Quartz*, Cristobalite/700	Cristobalite*, Quartz/1100	Cristobalite*, Tridymite/4200

*Pha chủ yếu

3.2. Ảnh hưởng của thời gian nhiệt phân

Hình 6 cho thấy, ở nhiệt độ nhiệt phân 700°C, thời gian ảnh hưởng lớn đến hiệu suất với 37,2% với thời gian nhiệt phân 1 giờ và 98% với thời gian nhiệt phân 2 giờ. Tuy nhiên, ở nhiệt độ nhiệt phân 800°C và 900°C thời gian ảnh hưởng đến sự phân bố pha của silica hơn là hiệu suất thu hồi silica. Thật vậy, hiệu suất ở nhiệt độ nhiệt phân 800°C và 900°C đều gần như bằng nhau trong trường hợp thời gian nhiệt phân 1 giờ và 2 giờ, lần lượt bằng 98% và khoảng 95%.

Thời gian nhiệt phân ảnh hưởng đến sự chuyển pha của silica được thể hiện trên Bảng 1. Theo đó, theo sự tăng dần của nhiệt độ nhiệt phân sự chuyển pha theo thứ tự từ Quartz, Tridymite đến Cristobalite phù hợp với kết quả nghiên cứu về silica (Greenwood & Earnshaw, 2012). Cụ thể, ở nhiệt độ nhiệt phân 700°C, thành phần pha Quartz là chủ yếu và có một phần chuyển pha Cristobalite khi thời gian tăng lên 2 giờ.

Ở độ nhiệt phân 800°C, thành phần pha Quartz giảm và có một phần chuyển pha Tridymite. Khi thời gian tăng lên 2 giờ, tồn tại pha Quartz và Cristobalite, với pha Cristobalite là chủ yếu. Ở độ nhiệt phân 900°C, thành phần pha Cristobalite là chủ yếu cả khi tăng thời gian nhiệt phân lên 2 giờ.

3.3. Đề xuất chế độ nhiệt phân thu hồi silica từ vỏ trấu

Từ kết quả phân tích ở trên cho thấy, hiệu suất quá trình nhiệt phân phụ thuộc vào nhiệt độ và thời gian nhiệt phân. Yêu cầu đặt ra cần thiết phải lựa chọn chế độ nhiệt phân phù hợp, có hiệu suất cao nhằm chiết tách tối đa hàm lượng silica cho quá trình sản xuất quy mô công nghiệp trong lĩnh vực sản xuất vật liệu xây dựng.

Kết quả nhiệt phân cho thấy, ở nhiệt độ nhiệt phân 800°C cho cùng hiệu suất cao nhất trong cả hai trường hợp thời gian nhiệt phân 1 giờ hay 2 giờ và trường hợp nhiệt

phân trong 1 giờ được dự báo là có hiệu quả kinh tế hơn do thời gian sử dụng năng lượng ít hơn. Ở nhiệt độ này, hiệu suất không phụ thuộc vào thời gian nhiệt phân nhưng có sự thay đổi về tỷ lệ thành phần pha của silica.

So sánh hai trường hợp có hiệu suất như nhau khác là nhiệt phân ở 800°C trong thời gian 1 giờ và nhiệt phân ở 700°C trong thời gian 2 giờ, trường hợp nhiệt phân ở 700°C được dự báo có hiệu quả hơn. Thực vậy, khi triển khai nhiệt phân vỏ trấu ở quy mô công nghiệp, nhiệt độ nhiệt phân cao hơn không những sử dụng năng lượng lớn hơn, mà còn khiến các thiết bị nhiệt phân kém bền, đặc biệt là các bộ phận chuyển động như mô hình lò nhiệt phân sinh khối liên tục dạng trục vít (Heredia Salgado và cs., 2020) hoặc chi phí cao hơn cho sử dụng vật liệu chịu nhiệt. Do đó, chế độ nhiệt phân với nhiệt độ nhiệt phân 700°C với thời gian nhiệt phân 2 giờ được đề xuất để lựa chọn trong nhiệt phân vỏ trấu thu hồi silica hợp lý nhất.

4. KẾT LUẬN

Vỏ trấu giống lúa Hương Thơm 1 đã được sử dụng để nhiệt phân trong thời gian 1 giờ và 2 giờ với 03 mức nhiệt độ 700°C, 800°C và 900°C. Từ kết quả phân tích, một số kết luận được đưa ra như sau:

Thành phần silica có trong tro trấu rất cao, với 5/6 trường hợp nghiên cứu đạt hiệu suất trên 95%, trong đó, hiệu suất cao nhất đạt 98% ở nhiệt độ 700°C trong thời gian 1 giờ và nhiệt độ 800°C trong cả hai trường hợp 1 giờ và 2 giờ.

Hiệu suất thu hồi silica từ vỏ trấu ở nhiệt độ 800°C là như nhau, không phụ thuộc vào thời gian nhiệt phân 1 giờ hay 2 giờ, nhưng thành phần pha silica có sự khác nhau.

Ở nhiệt độ nhiệt phân 900°C cấu trúc pha tinh thể silica rõ ràng nhất với đỉnh đặc

trung silica tại các góc nhiễu xạ 21°, 22°, 27°, 31° và 36°.

Chế độ nhiệt phân ở 700°C trong thời gian 2 giờ bước đầu được đánh giá có triển vọng và cần được đánh giá toàn diện hơn để có cơ sở áp dụng hiệu quả.

Kết quả trên là cơ sở quan trọng để thực hiện các nghiên cứu đánh giá ảnh hưởng của thành phần pha silica đến tính chất cơ lý của vật liệu xây dựng cũng như thay thế một phần xi măng và phụ gia công nghiệp có chi phí cao và quá trình sản xuất đang tác động tiêu cực đến môi trường (Siddika và cs., 2021).

LỜI CẢM ƠN

Tác giả chân thành cảm ơn sự hỗ trợ tài chính của Bộ Giáo dục và Đào tạo cho đề tài “Nghiên cứu ứng dụng công nghệ vật liệu nano gốc silica từ vỏ trấu cải thiện một số đặc tính của vật liệu bê tông chất lượng siêu cao (UHPC) sử dụng thích hợp trong môi trường đặc dụng (biển, hải đảo, công nghiệp hóa chất), mã số B2022-DHH-15.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- Akinyemi, B. A., & Adesina, A. (2020). Recent advancements in the use of biochar for cementitious applications: A review. *Journal of Building Engineering*, 32, 101705.
- Al-Khalaf, M. N., & Yousif, H. A. (1984). Use of rice husk ash in concrete. *International Journal of Cement Composites and Lightweight Concrete*, 6(4), 241-248.
- Al-Kutti, W., Islam, A. S., & Nasir, M. (2019). Potential use of date palm ash in cement-based materials. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 31(1), 26-31.
- Atta, A., Jibril, B., Aderemi, B., & Adefila, S. (2012). Preparation of analcime from local kaolin and rice husk ash. *Applied Clay Science*, 61, 8-13.
- Bish, D. L., & Howard, S. (1988). Quantitative phase analysis using the Rietveld method. *Journal of Applied Crystallography*, 21(2), 86-91.
- Bodie, A. R., Micciche, A. C., Atungulu, G. G., Rothrock Jr, M. J., & Ricke, S. C. (2019). Current trends of rice milling byproducts for

- agricultural applications and alternative food production systems. *Frontiers in Sustainable Food Systems*, 3, 47.
- El-Sayed, M. A., & El-Samni, T. M. (2006). Physical and chemical properties of rice straw ash and its effect on the cement paste produced from different cement types. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 19(1), 21-29.
- Greenwood, N. N., & Earnshaw, A. (2012). *Chemistry of the Elements*: Elsevier.
- Heredia Salgado, M. A., Coba S, J. A., & Tarelho, L. A. C. (2020). Simultaneous production of biochar and thermal energy using palm oil residual biomass as feedstock in an auto-thermal prototype reactor. *Journal of Cleaner Production*, 266, 121804.
- Huang, H., Gao, X., Wang, H., & Ye, H. (2017). Influence of rice husk ash on strength and permeability of ultra-high performance concrete. *Construction and Building Materials*, 149, 621-628.
- Hwang, C.-L., & Wu, D.-S. (1989). Properties of cement paste containing rice husk ash. *Special Publication*, 114, 733-762.
- Khan, M., Abbas, Y., & Fares, G. (2017). Review of high and ultrahigh performance cementitious composites incorporating various combinations of fibers and ultrafines. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 29(4), 339-347.
- Le, V. H., Thuc, Chi Nhan Ha, Thuc, Huy Ha. (2013). Synthesis of silica nanoparticles from Vietnamese rice husk by sol-gel method. *Nanoscale research letters*, 8(1), 1-10.
- Meddah, M., Praveenkumar, T., Vijayalakshmi, M., Manigandan, S., & Arunachalam, R. (2020). Mechanical and microstructural characterization of rice husk ash and Al₂O₃ nanoparticles modified cement concrete. *Construction and Building Materials*, 255, 119358.
- Nuaklong, P., Jongvivatsakul, P., Pothisiri, T., Sata, V., & Chindaprasirt, P. (2020). Influence of rice husk ash on mechanical properties and fire resistance of recycled aggregate high-calcium fly ash geopolymers concrete. *Journal of Cleaner Production*, 252, 119797.
- Rattanachu, P., Toolkasikorn, P., Tangchirapat, W., Chindaprasirt, P., & Jaturapitakkul, C. (2020). Performance of recycled aggregate concrete with rice husk ash as cement binder. *Cement and Concrete Composites*, 108, 103533.
- Sandhu, Ravinder Kaur, Siddique, & Rafat. (2017). Influence of rice husk ash (RHA) on the properties of self-compacting concrete: A review. *Construction and Building Materials*, 153, 751-764.
- Sani, J., Yohanna, P., & Chukwujama, I. (2020). Effect of rice husk ash admixed with treated sisal fibre on properties of lateritic soil as a road construction material. *Journal of King Saud University-Engineering Sciences*, 32(1), 11-18.
- Siddika, A., Mamun, M. A. A., Alyousef, R., & Mohammadhosseini, H. (2021). State-of-the-art-review on rice husk ash: A supplementary cementitious material in concrete. *Journal of King Saud University - Engineering Sciences*, 33(5), 294-307.
- Umasabor, R., & Okovido, J. (2018). Fire resistance evaluation of rice husk ash concrete. *Heliyon*, 4(12), e01035.
- Vigneshwari, M., Arunachalam, K., & Angayarkanni, A. (2018). Replacement of silica fume with thermally treated rice husk ash in Reactive Powder Concrete. *Journal of Cleaner Production*, 188, 264-277.
- Zabihi, S. M., Tavakoli, H., & Mohseni, E. (2018). Engineering and microstructural properties of fiber-reinforced rice husk-ash based geopolymers concrete. *Journal of Materials in Civil Engineering*, 30(8), 04018183.
- Sản xuất nông nghiệp thế giới (12/6/2022), khai thác từ <http://www.worldagriculturalproduction.com/crops/rice.aspx>