



Original Article

The Application of Coal Ash of Thermal Power Plant in Building Materials and Anti-salinity Foundation

Nguyen Ngoc Truc^{1,*}, Nguyen Van Hoan², Tran Ngoc Tu³, Nguyen Trong Van⁴

¹VNU School of Interdisciplinary Studies, 144 Xuan Thuy, Cau Giay, Hanoi, Vietnam

²Vietnam Institute for Building Materials, Ministry of Construction,
235 Nguyen Trai, Thanh Xuan, Hanoi, Vietnam

³Mekong Investment Holdings Joint Stock Company, 83B Ly Thuong Kiet, Hoan Kiem, Hanoi, Vietnam

⁴Nui Phao Mining Company Limited, Ha Thuong, Dai Tu, Thai Nguyen, Vietnam

Received 25 October 2021

Revised 05 June 2022; Accepted 29 June 2022

Abstract: Fly ash (FA) and coal bottom ash (CBA) of thermal power plants is industrial wastes but can be used for many different purposes. This paper focuses on the authors' research on using CBA to successfully produce artificial sand to replace natural sand; using FA and CBA as aggregates for producing of non-fired brick, and applying of the important properties of CBA to prevent salinization of structures based on capillary test results combined with a specialized design method. The research and application of coal ash not only contribute to solving environmental problems and natural resources but also significantly contribute to promoting sustainable development and proactively responding to climate change.

Keywords: Coal bottom ash, Fly ash, Artificial sand, Non-fired brick, Anti-salinity.

* Corresponding author.

E-mail address: trucnn@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnu.ees.4853>

Ứng dụng tro xỉ nhiệt điện than làm vật liệu xây dựng và móng công trình chống nhiễm mặn

Nguyễn Ngọc Trục^{1,*}, Nguyễn Văn Hoan², Trần Ngọc Tú³, Nguyễn Trọng Vân⁴

¹*Khoa Các khoa học liên ngành, Đại học Quốc gia Hà Nội, 144 Xuân Thủy, Cầu Giấy, Hà Nội, Việt Nam*

²*Viện Vật liệu Xây dựng, Bộ Xây dựng, 235 Nguyễn Trãi, Thanh Xuân, Hà Nội, Việt Nam*

³*Công ty Cổ phần Quản lý Đầu tư Mekong, 83B Lý Thường Kiệt, Hoàn Kiếm, Hà Nội, Việt Nam*

⁴*Công ty Trách nhiệm Hữu hạn Khai thác Chế biến Khoáng sản Núi Pháo, Hà Thượng, Đại Từ, Thái Nguyên, Việt Nam*

Nhận ngày 25 tháng 10 năm 2021

Chỉnh sửa ngày 05 tháng 6 năm 2022; Chấp nhận đăng ngày 29 tháng 6 năm 2022

Tóm tắt: Tro xỉ nhiệt điện là dạng thải phẩm công nghiệp nhưng có thể ứng dụng cho nhiều mục đích khác nhau. Bài báo này giới thiệu các nghiên cứu của tác giả về sử dụng xỉ đáy nhiệt điện để sản xuất thành công cát nhân tạo thay thế cát tự nhiên; dùng tro bay và xỉ đáy làm cốt liệu sản xuất gạch không nung; và ứng dụng các tính chất quan trọng của xỉ đáy để chống nhiễm mặn công trình dựa trên kết quả thí nghiệm mao dẫn kết hợp với phương pháp thiết kế độc đáo. Việc nghiên cứu ứng dụng tro xỉ nhiệt điện than không chỉ góp phần giải quyết các vấn đề môi trường và tài nguyên thiên nhiên, mà còn góp phần đáng kể thúc đẩy phát triển bền vững và chủ động ứng phó với biến đổi khí hậu.

Từ khóa: Xi đáy, Tro bay, Cát nhân tạo, Gạch không nung, Chống nhiễm mặn.

1. Mở đầu

Tro xỉ nhiệt điện là thải phẩm của quá trình đốt than trong các nhà máy nhiệt điện than, tạo thành từ quá trình phân hủy và biến đổi chất khoáng có trong than đá và các phụ gia, tro xỉ chủ yếu gồm tro bay và xỉ đáy. Tro bay (fly ash) là bụi mịn thu được từ thiết bị lọc bụi của nhà máy nhiệt điện trong quá trình đốt than. Xi đáy (coal bottom ash, CBA) thu được ở đáy lò của nhà máy nhiệt điện trong quá trình đốt than, có dạng cục hoặc dạng hạt, chiếm khoảng 15-20% tổng khối lượng tro xỉ.

Nhiều nước trên thế giới coi tro xỉ nhiệt điện than là nguyên liệu để sản xuất các loại vật liệu

xây dựng. Nhật Bản và các quốc gia EU đã sử dụng gần 100% tro xỉ thải ra từ nhà máy nhiệt điện than, Hàn Quốc, Đài Loan (Trung Quốc), Thái Lan đều sử dụng trên 90% [1]. Ali Mangi và nnk (2019), Singh và Siddique (2013) quan tâm nghiên cứu về các vấn đề ảnh hưởng của xỉ đáy đối với tính chất của bê tông khi dùng thay thế cát tự nhiên; khả năng sử dụng làm nền đường và lớp đệm lót; làm vật liệu san lấp và kết cấu của bãi chôn lấp chất thải. Các tác giả đều đánh giá xỉ đáy phù hợp các mục tiêu này [2, 3].

Theo Maliki và nnk (2017), Aggarwal và nnk (2007), xỉ đáy có thể thay thế một phần cốt liệu nhỏ trong bê tông. Tuy nhiên, khi đó tính công tác của bê tông sẽ bị kém hơn trường hợp không

* Tác giả liên hệ.

Địa chỉ email: trucnn@vnu.edu.vn

<https://doi.org/10.25073/2588-1094/vnuees.4853>

không thay thế [4, 5]. Trong khi đó, Kumar và nnk (2015), Kadam và Patil (2013) cho rằng, khi dùng xỉ đáy thay thế cát tự nhiên, sự thay đổi tính công tác của bê tông khác nhau rất nhiều tùy thuộc nguồn và loại xỉ đáy được sử dụng. Tỷ trọng bê tông khi được thay thế bằng xỉ đáy cũng nhẹ hơn bê tông sử dụng cát tự nhiên [6, 7]. Kumari và Thandavamoorthy (2017) thì cho rằng, xỉ đáy không chỉ có thể sử dụng cho bê tông thông thường mà còn cho cả bê tông hiệu suất cao. Thông qua thí nghiệm xác định các đặc tính của bê tông sử dụng xỉ đáy thay thế cát tự nhiên ở các mức 25, 50 và 75%, các tác giả nhận thấy cường độ nén của bê tông 28 ngày tuổi đạt trên 70 daN/cm², độ bền kéo trên 5,56 daN/cm², và độ bền uốn cũng trên 6,64 daN/cm² [8]. Trong khi đó, Atsuko Sato và Satoshi Nishimoto (2001) cho rằng xỉ đáy có thể ứng dụng làm vật liệu xây dựng bền vững, thân thiện với môi trường cùng với tính kinh tế cao khi thay thế cát tự nhiên [9].

Trên thế giới cũng đã có rất nhiều giải pháp sáng chế chủ yếu tập trung vào việc ứng dụng xỉ đáy lò như một loại cốt liệu dùng trong các loại bê tông khác nhau, hoặc làm phụ gia xi măng, hoặc sử dụng chúng như cốt liệu đầu vào để sản xuất gạch, hoặc để san lấp, hoàn thổ. Đặc điểm chung của các sáng chế đó là xỉ được dùng trực tiếp hoặc nếu có can thiệp xử lý trước khi sử dụng cũng không đáng kể. Do việc xử lý hóa học đối với xỉ đáy lò chưa được triệt để nên dễ dẫn đến nguy cơ ảnh hưởng tới môi trường và sức khỏe người sử dụng.

Ở Việt Nam, tro xỉ bắt đầu được ứng dụng ở các lĩnh vực làm vật liệu san lấp (tiêu chuẩn TCVN 12249:2018), làm nền đường ô tô (tiêu chuẩn TCVN 12660:2019), làm phụ gia khoáng cho bê tông đầm lăn (tiêu chuẩn TCVN 8825:2011), làm phụ gia khoáng cho xi măng, bê tông và vữa (tiêu chuẩn TCVN 10302:2014) và một phần dùng sản xuất gạch không nung. Việc ứng dụng tro xỉ cũng cần đáp ứng được TCVN 12249:2018 về tác động môi trường và độ an toàn phóng xạ của tro xỉ. Đến nay việc nghiên cứu sản xuất gạch không nung khá phổ biến và đã có sản phẩm gạch thương mại hóa trên thị trường. Tuy nhiên, vẫn có nhiều hạn chế với loại

gạch này và cần được tiếp tục nghiên cứu phát triển và hoàn thiện để nâng cao chất lượng. Với cát nhân tạo sản xuất từ xỉ đáy đạt tiêu chuẩn xây dựng vẫn chưa được quan tâm nghiên cứu do có nhiều khó khăn và phức tạp về mặt công nghệ, đặc biệt là khó khăn trong khắc chế tính nở, tính hoạt hóa, cường độ thấp của hạt xỉ, độ thoi dẹt của hạt xỉ cũng như loại bỏ phần hạt quá mịn của xỉ đáy [10].

Từ 2016 đến nay, Nguyễn Ngọc Trục và cộng sự đã có nhiều nghiên cứu, thử nghiệm trên nhiều loại xỉ đáy tại Việt Nam và nhận thấy sự phù hợp và khả năng ứng dụng của chúng. Có thể ứng dụng tro xỉ như loại vật liệu chất lượng, giá rẻ và thân thiện với môi trường cho nhiều mục đích khác nhau [11-13].

Bài báo này giới thiệu kết quả nghiên cứu ứng dụng tro xỉ chế tạo cát nhân tạo thay thế cát tự nhiên và sản xuất gạch không nung, cũng như áp dụng các đặc tính hữu ích của xỉ đáy cho các giải pháp thiết kế móng công trình chống nhiễm mặn.

2. Phương pháp nghiên cứu

2.1. Lấy mẫu, chuẩn bị và các bước thực hiện

Việc khảo sát lấy mẫu được thực hiện tại các nhà máy nhiệt điện ở Thái Nguyên, Hải Dương và Quảng Ninh; lượng mẫu tro xỉ thu thập khoảng 200 kg mỗi loại dùng cho các thí nghiệm liên quan. Đánh giá vật liệu xây dựng sản xuất từ tro xỉ được thực hiện thông qua phân tích so sánh với vật liệu tự nhiên tương đương.

Trong nghiên cứu cát nhân tạo, tác giả đã xây dựng quy trình công nghệ mới để sản xuất được cát nhân tạo hoàn chỉnh với ba bước gồm bảy công đoạn và đã nộp đơn xin cấp bằng phát minh sáng chế. Để đánh giá khả năng của cát nhân tạo, tác giả đã đánh giá gián tiếp thông qua hỗn hợp bê tông và các mẫu bê tông đóng rắn sử dụng cát nhân tạo. Việc phân tích được thực hiện bằng các thí nghiệm về tính công tác, khả năng phản ứng kiềm silic và cường độ nén, cường độ uốn của mẫu bê tông.

Trong nghiên cứu chế tạo gạch không nung, sử dụng tro xỉ của nhà máy nhiệt điện Cao Ngạn (Thái Nguyên) để thay thế một phần cốt liệu tự nhiên. Mẫu tro xỉ được tập kết về phòng thí nghiệm, phân tích, đánh giá các chỉ tiêu thành phần khoáng, hóa và vật lý. Do tro xỉ có chứa các thành phần có hại đối với gạch không nung như CaO_{td} và CaSO_4 nên chúng phải được xử lý để hạn chế các tác hại này trước khi sử dụng.

Các mẫu gạch mác 10,0 MPa theo tiêu chuẩn TCVN 6477:2016 được chế tạo có kích thước 210x100x60 mm (GĐt-M10,0-210x100x60-TCVN 6477:2016). Gạch không nung được tạo hình bằng rung ép trên máy ép gạch (Hình 1b) tại viện vật liệu xây dựng gồm bốn bước: chuẩn bị nguyên vật liệu, cân định lượng nguyên vật liệu và nước trộn theo bài phối liệu cho trước, trộn khô hỗn hợp trên máy trộn bê tông khoảng 1 phút, trộn ướt hỗn hợp bê tông khoảng 2,5 phút (Hình 1a).



Hình 1. Trộn và đúc tạo hình mẫu gạch không nung trong phòng thí nghiệm.

2.2. Các phương pháp đánh giá gián tiếp cát nhân tạo

Cát nhân tạo được phân tích, so sánh và đánh giá gián tiếp thông qua hai hỗn hợp bê tông và các mẫu bê tông đóng rắn M0 và M1. Các thí nghiệm đã được thực hiện bao gồm: xác định khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông (theo TCVN 3108:1993); xác định độ tách nước của hỗn hợp bê tông (TCVN 3105:1993); xác định độ sụt hỗn hợp bê tông sau trộn (TCVN 3016:1993); xác định khả năng phản ứng kiềm – silic (TCVN 7572-14:2006); xác định cường độ nén của bê tông đóng rắn (TCVN 3118:1993); xác định cường độ kháng uốn của bê tông đóng rắn (TCVN 3121-11:2003).

2.3. Các phương pháp đánh giá gạch không nung

Gạch không nung sau khi chế tạo trong phòng thí nghiệm thì được đánh giá thông qua loạt thí nghiệm xác định các chỉ tiêu cơ lý như xác định khối lượng thể tích; cường độ nén gạch ở các tuổi 3, 7, 14, 28; độ hút nước của gạch ở tuổi 28 ngày (TCVN 6477:2016 – gạch bê tông); độ thấm nước của gạch ở tuổi 28 ngày (TCVN 6355-4:2009). Thí nghiệm được chuẩn bị trên mẫu thử và mẫu đối sánh – là mẫu sử dụng vật liệu truyền thống, để đánh giá tính tương thích của mẫu thử, mẫu đối sánh và tiêu chuẩn xây dựng hiện hành [14].

2.4. Phương pháp chống mao dẫn cho móng công trình chống nhiễm mặn

Mao dẫn nước mặn gây ra nhiều tác hại đối với hệ thống cơ sở hạ tầng. Do đó, việc tìm ra loại vật liệu chống mao dẫn nước mặn phù hợp và thông dụng để phát triển móng công trình chống mao dẫn đã được thực hiện. Các tác giả đã nghiên cứu so sánh các đặc tính mao dẫn của cát sỏi tự nhiên, xỉ hạt lò cao của nhà máy luyện gang và xỉ đáy nhiệt điện để tìm ra loại vật liệu chống mao dẫn tối ưu nhất.

Chiều cao mao dẫn phụ thuộc vào kích thước hạt, độ đồng nhất của vật liệu trong môi trường mao dẫn, và thành phần hóa học của dung dịch mao dẫn. Thí nghiệm xác định chiều cao mao

dẫn của từng loại vật liệu được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C1585 – 13 [15], tiến hành với 4 cấp hạt 5,0-2,0 mm (sạn), 2,0-1,0 mm (cát thô), 1,0-0,5 mm (cát hạt vừa), và 0,5-0,1 mm (cát mịn). Dung dịch mao dẫn là nước biển nhân tạo có 7 nồng độ muối khác nhau, bao gồm 0,0 g/L, 4,95 g/l, 9,9 g/L, 14,75 g/l, 19,8 g/L, 24,75 g/L và 33,0 g/L. Đây là các nồng độ muối tương ứng với 0, 15, 30, 45, 60, 75 và 100% độ mặn của nước biển, nếu xem độ mặn trung bình của nước biển là 33,0 g/L. Ngay khi quá trình mao dẫn bắt đầu, đo chiều cao mao dẫn liên tục theo thời gian. Đọc số đo cột nước theo thời gian lần lượt là 1, 2, 5, 10, 15, 20, 30, 45, 60, 90, 120, 180, 240, 360,... phút, đến khi số đọc giữa hai lần đọc gần nhau nhất không thay đổi thì dừng thí nghiệm (khoảng 2-3 ngày). Kết quả thí nghiệm là chiều cao mao dẫn trong vật liệu rời, thời gian ổn định mao dẫn và kích thước hạt kháng mao dẫn tối ưu.

3. Hiện trạng các vấn đề nghiên cứu

3.1. Hiện trạng phát thải và ứng dụng tro xỉ nhiệt điện

Tính đến năm 2019, nước ta có 28 nhà máy nhiệt điện đang hoạt động, trong đó có 19 nhà máy sử dụng công nghệ đốt than phun, 9 nhà máy sử dụng công nghệ tầng sôi tuần hoàn. Tổng công suất nhiệt điện 18,709 MW. Tổng lượng tro, xỉ phát sinh năm 2019 theo tính toán khoảng 17,8 triệu tấn/năm, trong đó tro, xỉ đốt theo công nghệ than phun PC là 12,7 triệu tấn/năm chiếm khoảng 71,4%, tro, xỉ đốt theo công nghệ than tầng sôi là 5,1 triệu tấn/năm chiếm khoảng 28,6%. Thực trạng phát thải tro, xỉ của các nhà máy nhiệt điện tại Việt Nam được thể hiện trong Bảng 1 dưới đây.

Bảng 1. Tổng lượng tro, xỉ nhiệt điện phát sinh năm 2019 [16]

Loại tro, xỉ	Tro bay (tấn)	Xi đáy (tấn)	Tổng (tấn)	Tỷ lệ %
Công nghệ PC	10.166.802	2.541.700	12.708.502	71,4
Công nghệ CFB	4.082.646	1.020.662	5.103.308	28,6
Tổng cộng 2 loại	14.249.448	3.562.362	17.811.810	100

Để thúc đẩy việc sử dụng tro, xỉ của các nhà máy nhiệt điện, chính phủ đã ban hành quyết định 452/QĐ-TTg ngày 12/4/2017 về phê duyệt đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng. Đến cuối năm 2020, tổng lượng tro, xỉ nhiệt điện đã tiêu thụ trên cả nước khoảng 44,5 triệu tấn, tương đương 42% tổng lượng phát thải qua các năm. Trong đó, lượng tro, xỉ được sử dụng nhiều nhất làm phụ gia khoáng cho xi măng, khoảng 24 triệu tấn (70%); sản xuất gạch không nung khoảng 4 triệu tấn (12%); làm phụ gia cho sản xuất bê tông tươi, bê tông cho các công trình thủy lợi, giao thông và xây dựng dân dụng, ước khoảng 3 triệu tấn (8%) và làm vật liệu san lấp, đắp đường giao thông các loại khoảng 3,5 triệu tấn (9%).

Mặc dù vậy, kết quả xử lý, tiêu thụ tro xỉ chưa như kỳ vọng. Theo số liệu điều tra thực tế

và các đơn vị báo cáo, lượng tro xỉ tồn đọng tại bãi chứa của các nhà máy nhiệt điện than vẫn còn khoảng 47,65 triệu tấn (Hình 2). Tổng lượng tro xỉ, thạch cao đã được tiêu thụ chỉ vào khoảng 25% - 30% so với tổng lượng được thải ra hàng năm và không phân bố đều đối với từng nhà máy.



Hình 2. Bãi chứa tro xỉ của nhà máy nhiệt điện chưa được tiêu thụ.

Những hạn chế trong ứng dụng, xử lý, tiêu thụ tro xỉ được xác định do một số nguyên nhân sau: i) Các nhà máy sử dụng công nghệ than phun sẽ tách được thạch cao ra khỏi tro bay, do đó ngoài việc tiêu thụ được tro bay thì nếu thạch cao đủ tiêu chuẩn (hàm lượng thạch cao $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$ lớn) sẽ dễ dàng tiêu thụ vào các mục đích khác nhau như làm phụ gia cho sản xuất xi măng, vật liệu xây không nung, ... Trong khi đó, đối với các nhà máy sử dụng công nghệ CFB, đá vôi được đưa vào đốt cùng với than để khử lưu huỳnh (SOx) trong khói, do đó thạch cao được tạo ra sẽ lẫn vào tro bay và không thể tách thạch cao ra khỏi tro bay, đồng thời hàm lượng SO_3 và CaO_{td} và Cacbon lớn, tro bay có màu đỏ, nâu dẫn đến việc sử dụng vào sản xuất vật liệu xây dựng gặp nhiều khó khăn; ii) Một số nhà máy ở khu vực gần biên (như nhiệt điện Mông Dương 2) do thiếu nước ngọt đã phải dùng nước mặn hoặc nước nhiễm mặn để vận hành hệ thống bơm thải xỉ ra bãi chứa dẫn tới tro, xỉ bị nhiễm mặn, gây khó khăn cho việc xử lý, sử dụng; iii) Thông thường tro bay tại nhà máy nhiệt điện có hàm lượng Cacbon <12% được tiêu thụ gần hết trong ngành sản xuất vật liệu xây dựng, tuy nhiên một số nhà máy thải ra tro bay có hàm lượng này trên dưới 5% (nhiệt điện Vũng Áng 1) nhưng ở khu vực cách xa các đơn vị có tiềm năng sử dụng tro, xỉ với khối lượng lớn dẫn đến mặc dù tro bay, xỉ đạt tiêu chuẩn sử dụng hoặc sau khi xử lý đạt tiêu chuẩn, quy chuẩn hiện hành để sử dụng làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng nhưng do chi phí vận chuyển cao dẫn tới giá thành cao hơn so với khoáng sản được khai thác tại chỗ; iv) Có nhà máy do chất lượng than đốt làm cho tro bay và xỉ có màu đỏ, nâu dẫn tới việc xử lý, sử dụng khó khăn; và v) Khi tro, xỉ không được các đơn vị thu mua hoặc có thể xử lý tại chỗ thì tất cả đều được hòa trộn với nước và bơm ra bãi thải dẫn tới sự lẫn lộn giữa tro, xỉ gây khó khăn trong quá trình xử lý tiếp theo.

3.2. Vấn đề bảo vệ tài nguyên, phát triển bền vững và ứng phó với biến đổi khí hậu

Ngành xây dựng nước ta đang đối mặt với tình trạng thiếu hụt nghiêm trọng các nguồn cung vật liệu tự nhiên, đặc biệt là cát, cuội, sỏi. Mỗi

năm nhu cầu cát xây dựng trong nước cần khoảng 120 triệu m^3 , lượng cát khai thác được là 28,985 triệu m^3 /năm, chỉ đáp ứng được 24,2%. Từ 2017, Campuchia bắt đầu cấm xuất khẩu cát, dẫn đến tình trạng thiếu hụt nguồn cung cát tự nhiên cho các tỉnh Nam Bộ.

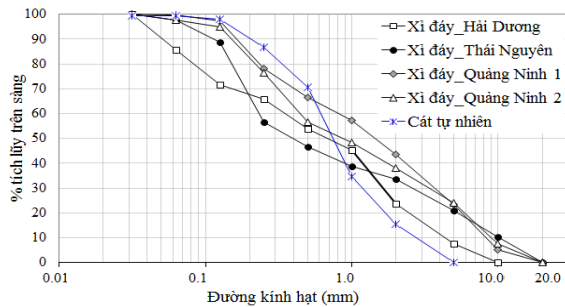
Trước đây, nguồn cung vật liệu xây dựng chủ yếu có nguồn gốc tự nhiên, cát sỏi được khai thác trên khắp các con sông lớn nhỏ trên cả nước. Công tác quản lý khai thác chưa chặt chẽ, nhiều doanh nghiệp tư nhân khai thác vượt mức cấp phép, tình trạng khai thác bất hợp pháp diễn ra tràn lan, dẫn đến nguồn vật liệu tự nhiên nói chung và cát tự nhiên nói riêng ngày càng cạn kiệt. Không những thế, hoạt động khai thác thiếu quản lý đã làm thất thoát tài nguyên, gây tác động tiêu cực và dẫn đến suy thoái môi trường, làm biến đổi luồng lạch, sạt lở bờ sông, mất diện tích đất, phá hoại cơ sở hạ tầng giao thông và dân dụng ven sông. Việc khai thác tài nguyên thiên nhiên quá mức còn dẫn đến cường hóa thiên tai liên quan đến biến đổi khí hậu như gia tăng tần suất, quy mô, cường độ lũ quét-lũ bùn đá, xói lở bờ sông, sụt lún nền đường, sạt lở mất nhà cửa và đất canh tác, đe dọa sinh kế dân cư địa phương.

Trong khi đó, tình trạng dư thừa tro xỉ tại bãi chứa của các nhà máy nhiệt điện đốt than trên khắp cả nước đang là nguyên nhân gây ô nhiễm môi trường đất, nước và không khí, đồng thời là vấn đề nan giải đối với các cơ quan quản lý nhà nước và doanh nghiệp. Trước thực trạng đó, việc nghiên cứu, xử lý và ứng dụng tro xỉ nhà máy nhiệt điện với quy mô lớn để sản xuất vật liệu xây dựng, từng bước thay thế vật liệu tự nhiên là yêu cầu rất cấp thiết.

Bên cạnh đó, biến đổi khí hậu đang diễn biến ngày càng cực đoan hơn, đặc biệt đối với các quốc gia ven biển và gần xích đạo. Các giải pháp ứng phó với biến đổi khí hậu tập trung nhiều vào thích ứng và giảm nhẹ, phần lớn mang tính chất thụ động. Việc nghiên cứu ứng dụng các đặc tính hữu ích của tro xỉ nhiệt điện vào thiết kế móng công trình chống nhiễm mặn vừa góp phần giải quyết tồn đọng phế thải công nghiệp, vừa cung cấp công nghệ mới cho cuộc chiến chủ động chống biến đổi khí hậu.

4. Sử dụng tro xỉ nhiệt điện sản xuất vật liệu xây dựng

4.1. Sản xuất cát nhân tạo từ xỉ đáy



Hình 3. So sánh phân bố thành phần hạt các loại xỉ đáy với cát tự nhiên.

Xi đáy có nhiều đặc điểm tương đồng với cát tự nhiên. Hình 3 thể hiện đường cong phân bố

thành phần hạt của các loại xỉ đáy và cát tự nhiên; Theo đó, có thể nhận thấy mức độ tương đồng khá cao của hai loại vật liệu này. Do vậy, có thể xử lý xỉ đáy để chế tạo cát nhân tạo thay thế cát tự nhiên dùng cho nhiều mục đích khác nhau.

Kết quả phân tích thành phần hóa học của xỉ đáy được thể hiện trên Bảng 2. Sự biến động về thành phần khá lớn do nhà máy nhiệt điện sử dụng các nguồn than và chủng loại than khác nhau. Các ô-xít SiO_2 , Al_2O_3 chiếm tỉ lệ lớn nhất trong thành phần xỉ đáy, có vai trò nâng cao chất lượng xỉ khi dùng làm vật liệu xây dựng. Các ô-xít CaO , MgO , K_2O chiếm tỉ lệ thấp nhưng có vai trò đáng kể làm gia tăng độ pH của xỉ thậm chí lên đến 11. Một mặt các ôxít kiềm, kiềm thổ này gây vón cục và khó khăn cho quá trình sản xuất cát nhân tạo cũng như chế tạo bê tông, vữa, nhưng mặt khác cũng giúp tăng liên kết trong bê tông và vữa xây.

Bảng 2. Thành phần hóa học của xỉ đáy

Thành phần	Hàm lượng (%)	Thành phần	Hàm lượng (%)
SiO_2	34,40 - 62,30	CaO	1,00 - 19,67
Al_2O_3	11,93 - 24,93	MgO	1,00 - 3,71
Fe_2O_3	2,30 - 6,70	K_2O	0,25 - 3,18
TiO_2	0,30 - 0,64	Na_2O	0,05 - 0,30
SO_3	0,77 - 8,76	C	2,36 - 6,80

Như vậy, có thể coi xỉ đáy là loại nguyên liệu có tính kiềm, hoạt tính thủy lực cao, có khả năng tự đóng rắn như xi măng Portland nhưng cường độ thấp. Hơn nữa, với thành phần hóa học và các đặc tính như trên, xỉ đáy nếu không được xử lý đúng quy cách sẽ gây tác hại đáng kể đến môi trường.

Kết quả nghiên cứu cho thấy, xỉ đáy có ba nhược điểm, i) Cường độ của hạt thấp; ii) Tính nở và hoạt hóa mạnh; và iii) Độ thoi dẹt của hạt xỉ lớn. Từ đó, các tác giả đã đưa ra quy trình ba bước với bảy công đoạn để khắc phục các nhược điểm của xỉ đáy và chế tạo thành công cát nhân tạo. Cụ thể: Bước 1, chọn lọc phân đoạn xỉ đáy gồm bốn công đoạn, nhằm chọn lọc được cấp hạt phù hợp với tiêu chuẩn xây dựng hiện hành (tiêu chuẩn TCVN 7570:2006), loại bỏ phần hạt quá lớn bằng hệ thống sàng rung có kích thước mắt lưới 5,0 mm và loại bỏ phần hạt quá mịn đường

kinh $\leq 0,14$ mm bằng sàng li tâm liên tục; Bước 2, giảm hoạt hóa xỉ đáy với 2 công đoạn, được thực hiện trong bể xử lý nhằm làm giảm tính hoạt hóa của xỉ, giảm tính nở, giảm độ pH của xỉ xuống mức trung tính, làm cho các tính chất của xỉ tiệm cận gần nhất đến tính chất của cát tự nhiên; Bước 3, thay thế từng phần với 1 công đoạn, được thực hiện bằng cách trộn đều xỉ đáy đã xử lý với cát tự nhiên hoặc cát nghiền theo tỉ lệ trọng lượng tính toán, mục đích nhằm làm cho hỗn hợp cát-xỉ được gia tăng cường độ chịu lực, hạn chế tính nở, giảm độ thoi dẹt chung của tập hợp hạt. Đây là công nghệ chọn lọc phân đoạn, giảm hoạt hóa và thay thế từng phần do tác giả đã dày công nghiên cứu xây dựng nên. Cát nhân tạo sản xuất theo công nghệ này có đặc điểm nhận diện tương đương cát tự nhiên (Hình 4). Màu sắc của cát không phụ thuộc vào quy trình sản xuất mà phụ thuộc nguyên liệu đầu vào. Mô

đun độ lớn của cát nhân tạo có thể điều chỉnh để phù hợp với yêu cầu đầu ra sản phẩm, chủng loại

sản phẩm và mục đích sử dụng, mô-đun dao động từ 0,7 đến 3,3.



Xi đáy chưa xử lý



Cát nhân tạo

Hình 4. Hình ảnh xi đáy chưa xử lý và cát nhân tạo thành phẩm.



Hình 5. Một số thí nghiệm đánh giá gián tiếp cát nhân tạo.

Sau khi hoàn thành chế tạo cát nhân tạo, chúng cần được đánh giá bằng phương pháp gián tiếp thông qua hỗn hợp bê tông và mẫu bê tông đóng rắn. Mẫu cần đánh giá sử dụng cốt liệu nhỏ là cát nhân tạo, mẫu đối sánh sử dụng cốt liệu nhỏ là cát tự nhiên. Theo đó, nhóm mẫu M0 là hỗn hợp bê tông sử dụng cát nhân tạo có mô-đun độ lớn 2,5. Thành phần hỗn hợp bê tông bao gồm 350 kg xi măng PC40, 1079 kg đá dăm đường kính 20 mm, 787 kg cát nhân tạo với tỉ lệ trọng

lượng trộn cát tự nhiên 50%, 216 lít nước trộn. Nhóm mẫu đối sánh M1 có thành phần tương tự nhưng sử dụng 100% cát tự nhiên. Thí nghiệm được thực hiện trên hỗn hợp bê tông tươi, phần còn lại được chế tạo mẫu bê tông đóng rắn kích thước 150x150x150 mm cho thử nghiệm cường độ nén và 150x150x600 mm để thử nghiệm cường độ uốn. Hình 5 thể hiện một số hoạt động thí nghiệm đánh giá gián tiếp cát nhân tạo.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm so sánh thông số kỹ thuật của hỗn hợp bê tông và mẫu bê tông đóng rắn sử dụng cát tự nhiên M0 và cát nhân tạo M1

Thông số	Đơn vị	Giá trị		
		M0	M1	
Khối lượng thể tích hỗn hợp	(kg/m ³)	2473	2348	
Độ tách nước	%	0,27	0,41	
Độ sụt ban đầu	cm	11,5	11,9	
Độ sụt sau 30 phút	cm	9,5	6,3	
Khả năng phản ứng kiềm - silic	Rc	mmol/l	-	370
	Sc	mmol/l	-	31,8
Cường độ nén	3 ngày tuổi	daN/cm ²	217,8	210,4
	7 ngày tuổi		328,9	310,4
	14 ngày tuổi		355,2	357,4
	28 ngày tuổi		382,7	399,7
Cường độ uốn	3 ngày tuổi	daN/cm ²	14,1	14,3
	7 ngày tuổi		16,3	15,6
	14 ngày tuổi		16,9	17,4
	28 ngày tuổi		17,1	18,5

Bảng 3 là kết quả thí nghiệm thu được để đánh giá về tính công tác, tính ăn mòn và cường độ của bê tông sử dụng cát nhân tạo làm cốt liệu nhỏ. Giá trị các chỉ tiêu thu được của bê tông tươi sử dụng cát nhân tạo đã đáp ứng được yêu cầu. Khối lượng thể tích của bê tông sử dụng cát nhân tạo chỉ có 2348 kg/m³, nhẹ hơn bê tông sử dụng cát tự nhiên 5,3%. Độ tách nước của bê tông M1 khá lớn, trong khi độ sụt độ sụt sau 30 phút của M1 khá thấp, sẽ ảnh hưởng phần nào đến tính công tác khi thi công. Điều này có thể khắc phục bằng cách sử dụng các chất phụ gia thương mại đang phổ biến trên thị trường. Kết quả phản ứng kiềm-silic cho thấy cát nhân tạo thuộc vùng cốt liệu vô hại, chúng không có khả năng gây hại, ăn mòn kết cấu thép. Cường độ kháng uốn và kháng nén của mẫu bê tông đóng rắn M1 với thời gian bảo dưỡng từ 14-28 ngày tuổi đều rất lớn hơn của M0 và đáp ứng vượt quy định trong các tiêu chuẩn xây dựng hiện hành.

Như vậy, kết quả nghiên cứu cho thấy cát nhân tạo sản xuất từ xỉ đáy theo quy trình ba bước như trên đã đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật của các tiêu chuẩn xây dựng hiện hành, có thể dùng cho các công trình xây dựng, giao thông, thủy lợi.

4.2. Sản xuất gạch không nung từ xỉ đáy

Trong nghiên cứu sản xuất gạch không nung (gạch block bê tông), các tác giả đã chuẩn bị vật liệu gồm xi măng PC40, tro bay và xỉ đáy của nhà máy nhiệt điện Cao Ngạn, cát vàng, đá mặt được nghiền từ đá vôi có cỡ hạt ≤ 7 mm, nước trộn là nước sinh hoạt. Tro bay và xỉ đáy cần được xử lý trước khi sử dụng theo quy trình chặt chẽ nhằm giảm và loại bỏ các tác hại đến độ ổn định thể tích do CaO_{td} và CaSO₄ gây ra. Quy trình xử lý được tóm lược như sau, trộn đều tro bay và xỉ đáy với nước để có độ ẩm của tro bay 5 đến 7%, xỉ đáy 7 đến 10% và được ủ trong thời gian 15 ngày trong điều kiện phòng thí nghiệm.

Để xác định phương án sử dụng tro bay và xỉ đáy trong thành phần phối liệu sản xuất gạch, có tám nhóm cấp phối được chuẩn bị cho thí nghiệm (ký hiệu G2-G8) và một cấp phối để đối sánh (G1). Các cấp phối được thiết kế theo nguyên tắc: giữ nguyên hàm lượng xi măng ở mọi cấp phối; cung cấp tro bay vào hỗn hợp để làm tăng lượng chất kết dính; xỉ đáy dùng thay thế một phần hoặc hoàn toàn cát vàng, tỉ lệ (cát+xi)/(đá mặt) = 1/2 ở tất cả cấp phối. Thành phần cấp phối cụ thể được cung cấp như Bảng 4. Lượng nước

trộn tối ưu phải được xác định bằng thí nghiệm đầm chặt tiêu chuẩn để tìm được độ ẩm tối ưu hay lượng nước phù hợp nhất cung cấp cho phối liệu. Sau khi xác định độ ẩm tối ưu, đúc gạch

mẫu với số lượng 3 viên cho mỗi mức thời gian bảo dưỡng 3, 7, 14, 28 ngày (mỗi cấp phối có 12 mẫu), để xác định cường độ nén trung bình và các thông số liên quan.

Bảng 4. Thành phần vật liệu các cấp phối thử nghiệm gạch không nung

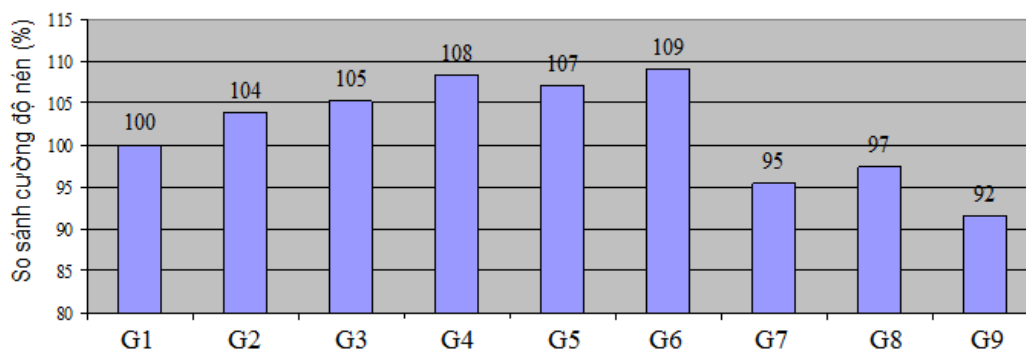
Nhóm mẫu	Tro bay /Xi măng (%)	Xi đáy /Cát (%)	Xi đáy/Đá mịn (%)	Xi măng (kg)	Cát vàng (kg)	Đá mịn (kg)	Xi đáy (kg)	Tro bay (kg)
G1	0	0	0	237	688	1423	0	0
G2	20	0	0	237	665	1398	0	47,4
G3	20	50	0	237	332	1398	279	47,4
G4	20	100	0	237	0	1398	558	47,4
G5	40	50	0	237	303	1399	254	94,8
G6	40	100	0	237	0	1368	533	94,8
G7	50	0	100	237	933	0	783	118,5
G8	50	100	0	237	0	965	783	118,5
G9	50	100	100	237	0	0	1567	118,5

Kết quả thí nghiệm đối với chín cấp phối được thể hiện trên Bảng 5. Có thể nhận thấy, đối với thí nghiệm độ bền, cường độ nén của mẫu tăng lên khi bổ sung tro bay và dùng xi đáy thay thế cát vàng. Tỷ lệ trộn tối ưu là lượng tro bay bằng 40% xi măng và xi đáy thay thế 100% cát vàng (cấp phối G6), khi đó cường độ gạch block 28 ngày tuổi lớn nhất đạt 16,9 MPa, tăng tới 9% so với mẫu đối chứng và khối lượng thể tích giảm 16% so với mẫu đối chứng. Ở G7, G8, G9, khi lượng tro bay bằng 50% hoặc xi đáy thay thế

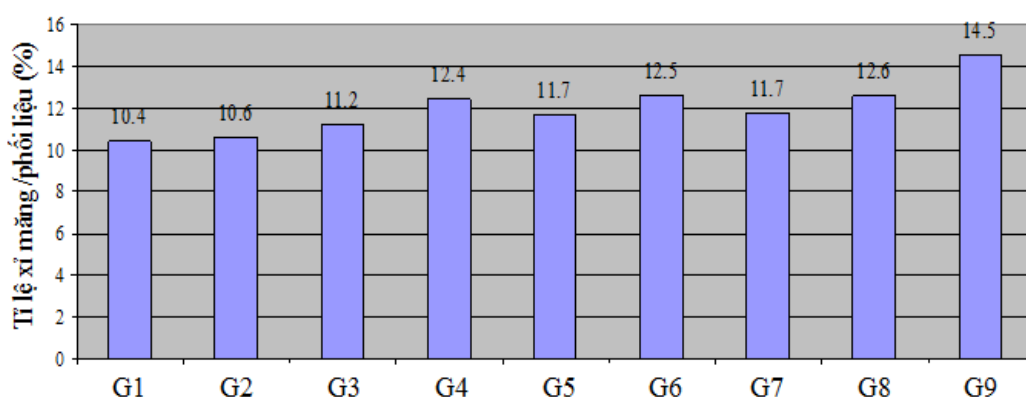
hoàn toàn đá mịn thì cường độ nén của mẫu giảm xuống thấp hơn ở mẫu đối chứng. Cấp phối G4 cũng đạt kết quả xấp xỉ tối ưu, với lượng tro bay bổ sung bằng 20% xi măng, xi đáy thay thế 100% cát, cường độ nén tại 28 ngày tuổi đạt 16,8 MPa và khối lượng thể tích giảm 15% so với mẫu đối chứng. Hình 6 thể hiện đồ thị so sánh tỷ lệ cường độ nén của các nhóm mẫu thí nghiệm với nhóm mẫu đối sánh, khi xem mẫu so sánh có cường độ nén 100%.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm các cấp phối vật liệu gạch block bê tông

Nhóm mẫu	Tro bay /Xi măng (%)	Xi đáy thay Cát (%)	Xi đáy thay Đá mịn (%)	Lượng xi măng (%)	Độ ẩm tối ưu (%)	Khối lượng thể tích khô (kg/m ³)	Cường độ nén 28 ngày (MPa)	Độ hút nước (%)
G1	0	0	0	10,1	7,3	2272	15,5	4,3
G2	20	0	0	10,1	8,1	2223	16,1	5,6
G3	20	50	0	10,3	10,5	2150	16,3	7,4
G4	20	100	0	10,6	12,8	1977	16,8	10,1
G5	40	50	0	10,4	11,4	2052	16,6	11,4
G6	40	100	0	10,6	13,7	1957	16,9	11,7
G7	50	0	100	11,4	11,8	1988	14,8	13,8
G8	50	100	0	11,3	14,1	1872	15,1	12,6
G9	50	100	100	12,3	22,7	1706	14,2	14,5



Hình 6. So sánh tỉ lệ cường độ nén của mẫu đối sánh với các nhóm mẫu khác.



Hình 7. Tỉ lệ khối lượng xi măng so với tổng khối lượng phối liệu.

Lượng tro bay và xi đáy càng lớn thì khối lượng thể tích của gạch càng giảm hay gạch trở nên nhẹ hơn, khi đó tỉ lệ xi măng trên một đơn vị thể tích cũng tăng lên (Hình 7). Đặc điểm này có lợi khi sử dụng tro xỉ làm cốt liệu, bởi tro xỉ có khối lượng thể tích nhỏ hơn cốt liệu tự nhiên, nên với cùng một khối lượng xi măng thì tỉ lệ xi măng so với các vật liệu còn lại trong một đơn vị thể tích sẽ tăng lên. Đây cũng là yếu tố làm tăng cường độ của sản phẩm khi có cùng khối lượng xi măng.

Lượng nước trộn để đạt độ ẩm tối ưu tăng lên tương ứng với lượng tro bay và xi đáy. Điều này dễ hiểu, do tro xỉ hút nước mạnh hơn cốt liệu tự nhiên. Độ hút nước của nhóm mẫu G6 lớn hơn G4 do lượng tro bay trong phối liệu của G6 lớn gấp đôi. Độ hút nước của G7, G8, G9 lớn nhất do lượng tro bay lớn nhất, bằng 50% lượng xi măng. So sánh độ hút nước của chín cấp phối cho thấy, gạch sử dụng tro bay và xi đáy càng nhiều

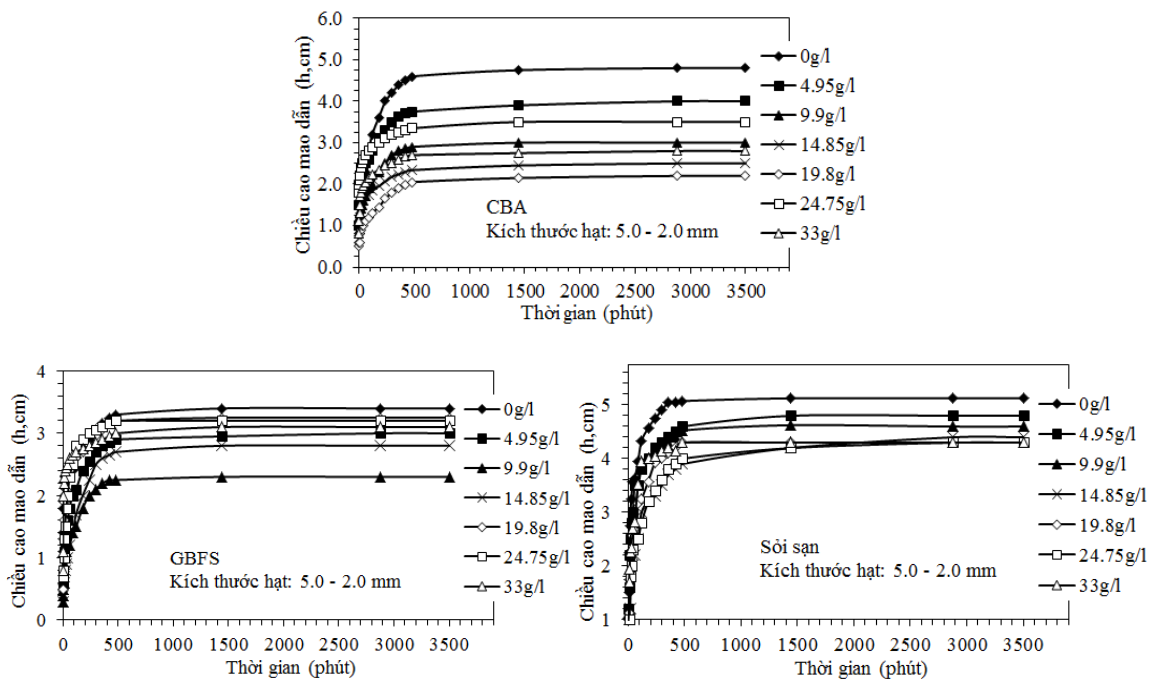
thì độ hút nước càng lớn. Đối chiếu với TCVN 6477:2016, các cấp phối G7, G8, G9 sử dụng tro bay chiếm 50% khối lượng xi măng có độ hút nước trên 12% và không đạt yêu cầu theo tiêu chuẩn. Độ hút nước tăng cao hơn đáng kể so với mẫu đối chứng có thể ảnh hưởng đến sự biến đổi thể tích của viên gạch trong điều kiện thời tiết thực tế, như giao động độ ẩm ngày đêm hoặc theo mùa. Vấn đề này liệu có thể gây nên tình trạng nứt tường khi thi công bằng gạch không nung sử dụng cốt liệu tro xỉ nhiệt điện hay không, cần có những nghiên cứu sâu hơn.

Trong “Nghiên cứu, đánh giá hàm lượng phóng xạ tự nhiên trong vật liệu xây dựng ở Việt Nam” của Viện Khoa học Kỹ thuật hạt nhân cũng đã chỉ ra rằng hàm lượng phóng xạ có trong vật liệu xây dựng ở Hà Nội là ở mức trung bình so với hàm lượng phóng xạ trong vật liệu xây dựng của các nước trên thế giới và thấp hơn các tiêu chuẩn quy định.

Như vậy, có thể kết luận rằng tro xỉ hoàn toàn phù hợp làm cốt liệu quan trọng của gạch không nung. Tuy nhiên, lượng tro bay tối đa không quá 40% xi măng là tốt nhất. Các nhà máy nhiệt điện sử dụng các loại than đá và công nghệ đốt khác nhau sẽ cho ra tro xỉ không đồng nhất. Do đó, khi sử dụng tro xỉ để sản xuất gạch không nung, cần được khảo sát và thử nghiệm để đánh giá trước. Bên cạnh đó, độ hút nước của gạch không nung sử dụng cốt liệu tro xỉ rất lớn, trong điều kiện thi công công trình, độ hút nước lớn có thể dẫn đến biến động thể tích viên gạch, từ đó có thể ảnh hưởng đến chất lượng và tính thẩm mỹ công trình. Vì vậy cần có những nghiên cứu sâu hơn để đánh giá và tìm kiếm giải pháp kỹ thuật phù hợp.

5. Ứng dụng xỉ đáy cho móng công trình chống nhiễm mặn

Trong quá trình nghiên cứu, tìm kiếm giải pháp chống nhiễm mặn cho công trình dân dụng, tác giả đã thí nghiệm so sánh khả năng chống mao dẫn trên một số loại vật liệu rời bao gồm cát-sỏi tự nhiên, xỉ hạt lò cao của nhà máy luyện gang và xỉ đáy nhiệt điện than, để tìm ra loại hoặc nhóm vật liệu tối ưu nhất. Dung dịch mao dẫn là nước mặn có các nồng độ muối 0,0 g/L; 4,95 g/L; 9,9 g/L; 14,85 g/L; 19,8 g/L; 24,75 g/L và 33,0 g/L, thực hiện trên bốn nhóm cỡ hạt được phân chia tương đương với sạn sỏi (5,0-2,0 mm), cát thô (2,0-1,0 mm), cát trung (1,0-0,5 mm) và cát mịn (0,5-0,1 mm), thời gian mỗi mẻ thí nghiệm trung bình 3500 phút.



Hình 8. Chiều cao mao dẫn (h, cm) theo thời gian (t, phút) của xỉ đáy, xỉ lò cao và vật liệu tự nhiên cùng kích thước hạt 2-5 mm trong dung dịch mao dẫn có bảy nồng độ muối.

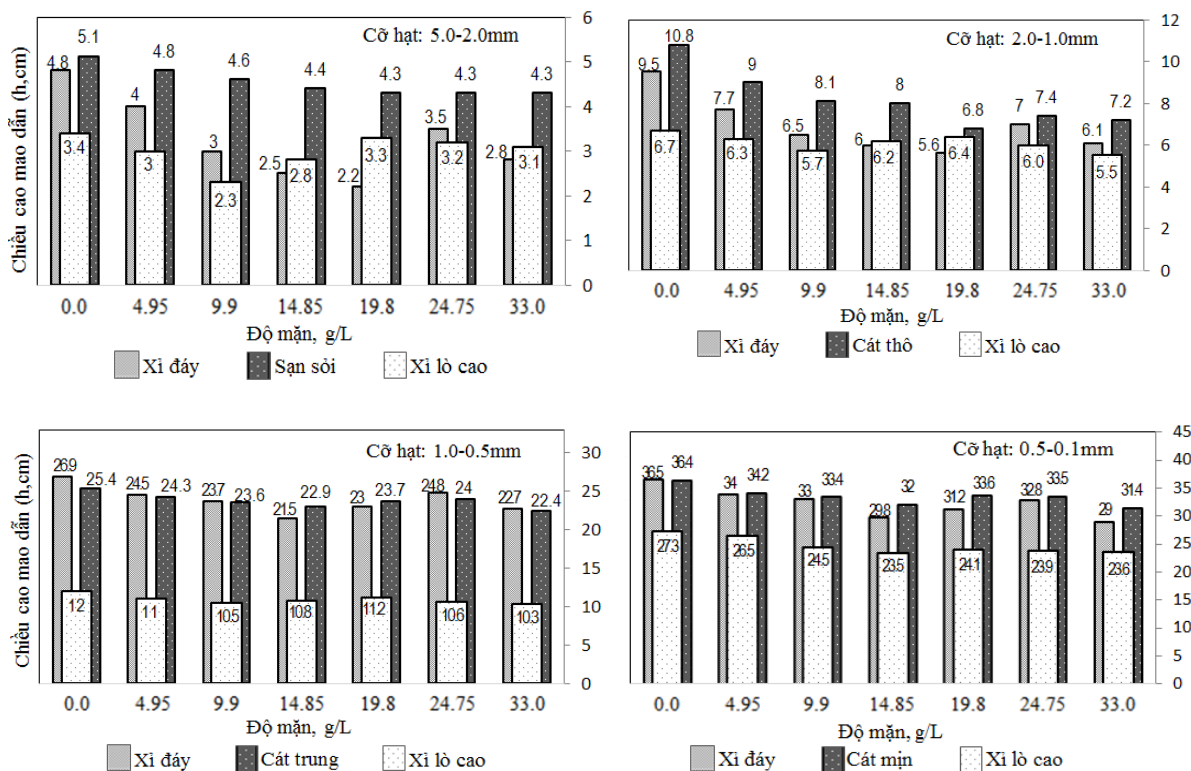
Kết quả thí nghiệm mao dẫn trên ba nhóm vật liệu ở nhóm kích thước hạt 2-5 mm được thể hiện trên Hình 8. Kết quả phân tích chi tiết cũng được thể hiện trong công bố mới nhất của tác giả [11]. Sau khi có kết quả thí nghiệm về chiều cao mao dẫn theo thời gian, chiều cao mao dẫn của

các nhóm hạt và quan hệ với nồng độ dung dịch mao dẫn, các giá trị được tổng hợp và so sánh trên Hình 9. Theo đó có thể nhận thấy, trong ba loại vật liệu này chiều cao mao dẫn của xỉ lò cao nhỏ nhất, của cát sỏi lớn nhất. Ở cỡ hạt 5,0-2,0 mm và 2,0-1,0 mm, chiều cao mao dẫn của cát

sỏi lớn hơn đáng kể so với hai vật liệu còn lại. Về mối quan hệ với nồng độ muối, chiều cao mao dẫn nhỏ nhất khi nồng độ muối đạt 33,0 g/L và lớn nhất khi nồng độ muối bằng 0,0 g/L. Tuy nhiên, mối quan hệ này không có xu hướng tuyến tính. Thời gian ổn định chiều cao mao dẫn của cát sỏi và xỉ lò cao tương đương nhau, trong khi thời gian ổn định của xỉ đáy dài hơn đáng kể so với hai vật liệu còn lại. Điều này chứng tỏ khả

năng mao dẫn của xỉ đáy là kém nhất trong số các vật liệu được nghiên cứu.

So sánh kết quả thí nghiệm nhận thấy, xỉ đáy có chiều cao mao dẫn nhỏ, khả năng mao dẫn kém. Hạt xỉ đáy đồng nhất và có kích thước $\geq 2,0$ mm có khả năng chống mao dẫn tốt. Đánh giá tổng thể, xỉ đáy là thải phẩm, dư thừa nhiều, giá rẻ, phù hợp làm vật liệu chống mao dẫn và chống mao dẫn nước mặn.



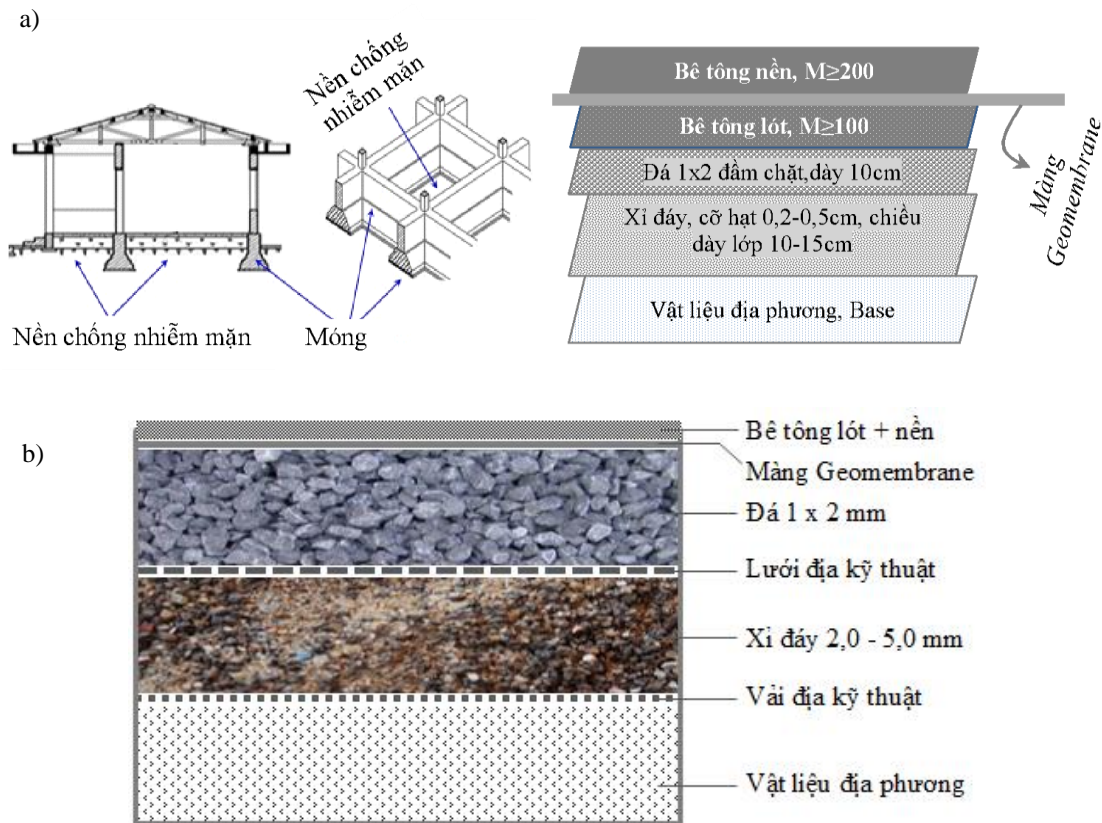
Hình 9. So sánh chiều cao mao dẫn của các vật liệu rời trong các dung dịch nước mặn.

Hiện nay, hầu như chưa có loại móng công trình được thiết kế riêng cho mục đích chống nhiễm mặn. Do đó, tác giả đưa ra mô hình móng nông trên nền thiên nhiên có chức năng chủ động chống nhiễm mặn và nồm ẩm dựa trên kết quả nghiên cứu mao dẫn và đề xuất phương pháp thiết kế độc đáo. Bài báo này không bàn sâu về móng công trình mà chỉ cung cấp mô hình thiết kế cơ bản và ứng dụng xỉ đáy như một giải pháp kỹ thuật mới, kinh tế và không ảnh hưởng môi trường.

Nguyên lý chung là chống mao dẫn và ngưng tụ hơi nước trong nền và móng bằng vật liệu chống thấm và chống mao dẫn kết hợp với phương pháp thiết kế riêng biệt. Theo đó, toàn bộ cấu trúc chống nhiễm mặn gồm có phần tường móng; nền chống mao dẫn và ngưng tụ hơi nước (gọi chung là nền); phần tường bao và vách ngăn; phần phủ bì cho tường móng và tường bao. Trong đó, phần nền được áp dụng kỹ thuật chống mao dẫn và vật liệu xỉ đáy. Kết cấu phần nền theo trình tự từ dưới lên bao gồm, lớp đất địa phương

hoặc lớp Base được đầm chặt; tiếp đến là lớp xỉ đáy cỡ hạt 2-5 mm được đầm chặt, dày 10-15 cm; lớp đá 1x2 đầm chặt, dày khoảng 10 cm; lớp bê tông lót có $M \geq 100$, trộn với hạt xốp theo tỉ lệ nhất định, chiều dày 5 cm; lớp Geomembrane

phủ toàn bộ lớp bê tông lót của nền và phủ chồng lên giằng móng; lớp bê tông nền có $M \geq 200$ trộn với hạt xốp theo tỉ lệ tính toán, chiều dày 5-10 cm. Cao độ bề mặt lớp bê tông nền ngang bằng bề mặt giằng móng (Hình 10).



Hình 10. Mô hình cơ bản cấu trúc móng công trình chống nhiễm mặn, nồm ẩm: mô hình cơ bản (a) và mô hình tích hợp (b).

6. Kết luận

i) Tro xỉ nhiệt điện trước đây được xem là phế thải công nghiệp, tuy nhiên, các nghiên cứu đã cho thấy cần xem xét tro xỉ như nguồn nguyên vật liệu thứ sinh, có thể ứng dụng cho nhiều mục đích khác nhau, đặc biệt làm vật liệu xây dựng. Việc nghiên cứu ứng dụng tro xỉ không chỉ góp phần giải quyết các vấn đề môi trường và tài nguyên thiên nhiên, mà còn góp phần đáng kể thúc đẩy phát triển bền vững và chủ động chống biến đổi khí hậu;

ii) Dựa vào phân tích các hạn chế của xỉ đáy, tác giả đã nghiên cứu phát triển công nghệ chọn lọc phân đoạn, giảm hoạt hóa và thay thế từng phần để sản xuất thành công cát nhân tạo. Cát nhân tạo này là dạng vật liệu xây dựng mới, có các đặc điểm hầu như tương đương cát tự nhiên, có khả năng thay thế hoàn toàn cát tự nhiên;

iii) Tro bay và xỉ đáy của nhà máy nhiệt điện cũng đã được nghiên cứu sản xuất thành công gạch không nung. Kết quả nghiên cứu ứng dụng tro xỉ nhiệt điện Cao Ngạn cho thấy có thể dùng lượng tro bay bằng 40% xỉ măng và 100% xỉ đáy

thay thế cát tự nhiên để sản xuất gạch block với cường độ cao hơn và giá thành giảm 16-21% so với dùng phối liệu là đá mịn và cát tự nhiên thông thường;

iv) Trong nghiên cứu phát triển móng công trình chống nhiễm mặn và nồm ẩm, xi đáy được xác định là vật liệu có tính mao dẫn kém, có thể ứng dụng làm vật liệu chống mao dẫn nói chung và chống mao dẫn nước mặn nói riêng. Tác giả đã đưa ra công nghệ mới để thiết kế móng công trình sử dụng xi đáy có chức năng chủ động chống nhiễm mặn và nồm ẩm. Đây là loại móng công trình lần đầu tiên được đề cập và giới thiệu.

Tài liệu tham khảo

- [1] Center for Science and Technology Information and Statistics, Ho Chi Minh City Department of Science and Technology, Technology Trend Analysis Report: Trend of Application of Thermoelectric Ash in the Production of Building Materials, 2019.
- [2] S. A. Mangi et al., Short-Term Effects of Sulphate and Chloride on The Concrete Containing Coal Bottom Ash as Supplementary Cementitious Material, *Engineering Science and Technology*, an International Journal, Vol. 22, Iss. 2, 2019, pp. 515-522, <https://doi.org/10.1016/j.jestch.2018.09.001>.
- [3] M Singh, R. Siddique, Effect of Coal Bottom Ash as Partial Replacement of Sand on Properties of Concrete, *Resources, Conservation and Recycling*. Vol. 72, 2013, pp. 20-32, <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2012.12.006>.
- [4] A. I. F. A. Maliki et al., Compressive and Tensile Strength for Concrete Containing Coal Bottom Ash, *IOP Conference Series: Materials Science and Engineering*, Vol. 271, 2017.
- [5] P. Aggarwal, Y. Aggarwal, S. M. Gupta, Effect of Bottom Ash as Replacement of Bottom Ash as Replacement of Fine Aggregates in Concrete, *Asian Journal of Civil Engineering*, Vol. 8, No. 1, 2007, pp. 49-56.
- [6] K. N. V. Kumar, B. R. Hemalatha, S. B. Anadinni, Study on Strength of Concrete Using Fly Ash and Bottom Ash as a Partial Replacement for Cement and Sand, *International Journal of Informative & Futuristic Research (IJIFR)*, Vol. 2, No. 7, 2015, pp. 2344-2335.
- [7] M. P. Kadam, Y. D. Patil, Effect of Coal Bottom Ash as Sand Replacement on The Properties of Concrete With Different W/C Ratio, *International Journal of Advanced Technology in Civil Engineering*, Vol. 2, No. 1, 2013, pp. 45-50.
- [8] S. L. Kumari, S. Thandavamoorthy, Development of High Performance Concrete Using Bottom Ash as Fine Aggregate, *International Journal of Civil Engineering and Technology (IJCIET)*, Vol. 8, No. 12, 2017, pp. 354-361.
- [9] A. Sato, S. Nishimoto, Use of Coal ash Generated by Circulating Fluidized Bed Boiler for Embankments in Cold, Snowy Regions, *Proceedings of the 7th International Symposium on Cold Region Development*, Sapporo, Japan, 2004.
- [10] Institute of Building Materials, R&D Project Report Research on The Use of Circulating Fluidized Coal Bottom Ash in Thermal Plant as Building Materials, 2013.
- [11] N. N. Truc, N. V. Hoang, Comparative Study of Capillary Rise Characteristics of Saltwater in Loose Materials, *Marine Georesources and Geotechnology*, 2021, <https://doi.org/10.1080/1064119X.2021.1993470>.
- [12] N. N. Truc, N. V. Hoang, T. N. Tu, Capillary Rise Characteristics and Saltwater Propagation in Fine Aggregate: Toward Developing the Anti-Salinity Shallow Foundation, *CIGOS 2021, Emerging Technologies and Applications for Green Infrastructure*, C. Ha-Minh et al., (eds.), 2021, https://doi.org/10.1007/978-981-16-7160-9_101.
- [13] N. N. Truc et al., Capillary Characteristics and Applicability of Coal Bottom Ash as Anti-Capillary Salt Material for Coastal Constructions. *VNU Journal of Science: Earth and Environmental Sciences*, Vol. 36, No. 4, 2020, pp. 17-27.
- [14] Institute of Building Materials, Report on Research and Application of Adobe Brick Production Using Coal Bottom Ash of Na Duong Thermal Power Plant, 2020.
- [15] ASTM C1585-20, Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic-Cement Concretes, American Society for Testing and Materials, 2020.
- [16] Institute of Building Materials, Report on Investigation and Survey of Industrial Waste Sources Used as Construction Materials, 2015.