



ĐÁNH GIÁ ĐẶC TÍNH VÀ TIỀM NĂNG ỨNG DỤNG CỦA TRO ĐỐT CHẤT THẢI Y TẾ TRONG SẢN XUẤT VẬT LIỆU XÂY DỰNG TẠI THÀNH PHỐ HỒ CHÍ MINH

CHÂU NGUYỄN THANH ĐIỂM^{1,2}, HUỲNH THỊ NGỌC HÂN¹, HUỲNH QUYỀN^{1*}

¹Trường Đại học Tài nguyên và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh

²Chi cục Bảo vệ Môi trường - Sở Nông nghiệp và Môi trường Thành phố Hồ Chí Minh

Tóm tắt

Chất thải y tế (CTYT) tại TP. Hồ Chí Minh (HCM) tăng nhanh, trung bình 33 tấn/ngày từ hơn 8.000 cơ sở, gây áp lực lớn cho hệ thống xử lý (Sở Tài nguyên và Môi trường TP. HCM, 2024). Công ty TNHH MTV Môi trường đô thị TP. HCM (CITENCO) hiện đốt CTYT nguy hại bằng công nghệ hai giai đoạn, công suất 14 - 21 tấn/ngày (Citenco, n.d.). Nghiên cứu thu thập tro đáy (2023 - 2024) cho thấy, vật liệu này an toàn môi trường, với florua 2,42 - 2,80 mg/L, kim loại nặng không phát hiện và clorua 1,80 -1,93%. Tro được tái sử dụng sản xuất gạch không nung đạt cường độ nén 2,0 MPa, độ hút nước 10 - 12% và hệ số hình dạng 0,96. Tiềm năng ứng dụng cho thấy, mỗi ngày, TP. HCM có thể sản xuất 9.996 - 10.995 viên gạch, góp phần giảm chôn lấp, tiết kiệm tài nguyên và thúc đẩy kinh tế tuần hoàn.

Từ khóa: CTYT nguy hại, công nghệ đốt, phân tích tro sau đốt, tái sử dụng làm vật liệu xây dựng, kinh tế tuần hoàn.

Ngày nhận bài: 1/10/2025; **Ngày sửa chữa:** 29/10/2025; **Ngày duyệt đăng:** 5/11/2025.

Assessment of characteristics and application potential of medical waste incineration ash in building material production in Ho Chi Minh city

Abstract

Medical waste in Ho Chi Minh City has been rapidly increasing, averaging 33 tons per day from over 8,000 healthcare facilities, placing significant pressure on the treatment system (Department of Natural Resources and Environment of Ho Chi Minh City, 2024). The CITENCO company currently incinerates hazardous medical waste using a two-stage combustion technology with a capacity of 14 -21 tons per day (Citenco, n.d.). Analysis of bottom ash samples collected between 2023 and 2024 indicates that the material is environmentally safe, containing fluoride concentrations of 2.42 - 2.80 mg/L, non-detectable heavy metals, and chloride levels of 1.80-1.93%. The ash was successfully reused to produce non-fired bricks with a compressive strength of 2.0 MPa, water absorption of 10 - 12%, and a shape coefficient of 0.96. The findings suggest that Ho Chi Minh City could potentially produce 9,996 - 10,995 bricks per day, thereby reducing landfill demand, conserving natural resources, and promoting the development of a circular economy.

Keywords: Hazardous medical waste, incineration technology, post-incineration ash analysis, reuse in construction materials, circular economy.

JEL Classifications: O13, O44, P18.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

CTYT đang gia tăng nhanh chóng trên toàn cầu, đặc biệt sau đại dịch Covid-19. Nhiều quốc gia ghi nhận mức phát sinh rác thải y tế tăng vọt. Đơn cử như tại tâm dịch Vũ Hán (Trung Quốc), lượng rác thải này đã tăng từ 40-50 tấn/ngày lên đến 247 tấn/ngày vào đỉnh dịch năm 2020 (Peng et al., 2020). CTYT của Bangladesh tăng từ 658 tấn tháng 3/2020 lên hơn 16.000 tấn tháng 4/2021 (Chowdhury et al., 2022). Tại Việt Nam, tốc độ gia tăng dân số và nhu cầu khám chữa bệnh đã làm khối lượng CTYT tăng cả về số lượng và mức độ nguy hại. Năm 2022, tổng CTYT toàn quốc ước đạt 440,7 tấn/ngày, trong đó 71,5 tấn là CTYT

nguy hại, chủ yếu từ bệnh viện tuyến tỉnh và Trung ương (Cục Quản lý môi trường y tế, 2022). TP. HCM – địa phương có mật độ cơ sở y tế cao nhất – phát sinh trung bình 33 tấn CTYT nguy hại/ngày từ hơn 8.000 cơ sở y tế. Công suất xử lý toàn thành phố được nâng lên 159 tấn/ngày, song vẫn tồn tại thách thức: Công nghệ xử lý chưa đồng bộ, chi phí cao và phân loại tại nguồn chưa triệt để (Sở TN&MT TP. HCM, 2024). Hiện nay, Công ty TNHH một thành viên môi trường đô thị TP. HCM (CITENCO) đang vận hành lò đốt hai giai đoạn để xử lý CTYT với tổng công suất khoảng 35 tấn/ngày, phát sinh tro chiếm 15–20% khối lượng chất thải đầu vào (5–6 tấn/ngày) (Citenco, n.d.). Tro

này chủ yếu chôn lấp tại bãi Đông Thạnh hoặc Phước Hiệp, tiềm ẩn nguy cơ ô nhiễm nước ngầm và phát thải khí nhà kính.

Sản phẩm từ quá trình đốt gồm: (i) Tro bay và khí thải (CO_2 , SO_2 , hợp chất Cl) và (ii) tro đáy chiếm 75 - 90% tổng lượng tro (Izquierdo et al., 2020). Tro đáy chứa nhiều CaO , SiO_2 , Al_2O_3 và kim loại nặng (Cd, Pb, Cr, Cu, Zn), có hoạt tính pozzolanic thấp-trung bình nhưng có thể dùng làm phụ gia khoáng cho vật liệu xây dựng nếu xử lý đạt chuẩn (Saikia et al., 2022). Nhiều nghiên cứu quốc tế khẳng định khả năng sử dụng tro rác y tế để sản xuất gạch xây, vật liệu nền đường với độ an toàn môi trường đảm bảo (Zhang et al., 2023). Tại Việt Nam, Nguyễn & Trần (2023) chứng minh tro lò đốt rác sinh hoạt xử lý đạt chuẩn có thể thay thế một phần cát trong gạch không nung, tăng cường độ và độ đồng nhất. Le & Nguyen (2024) ghi nhận gạch không nung chứa tro đạt tính cơ học tương đương gạch truyền thống, đồng thời giảm lượng CTYT chôn lấp và khí thải nhà kính.

Nghiên cứu tập trung đánh giá tiềm năng tái sử dụng tro đáy từ quá trình đốt CTYT nguy hại tại TP.HCM. Các mục tiêu chính gồm: (i) Phân tích đặc tính hóa lý và khả năng tái sử dụng của tro; (ii) đánh giá ứng dụng trong sản xuất bê tông, gạch không nung, vật liệu nền đường; (iii) so sánh với các tiêu chuẩn Việt Nam (TCVN 6260:2009, TCVN 6477:2016, QCVN 07:2009/BTNMT). Kết quả kỳ vọng khẳng định giá trị tro như nguồn tài nguyên thứ cấp, góp phần giảm chôn lấp, BVMT và thúc đẩy kinh tế tuần hoàn.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Phương pháp thu thập và phân tích tài liệu

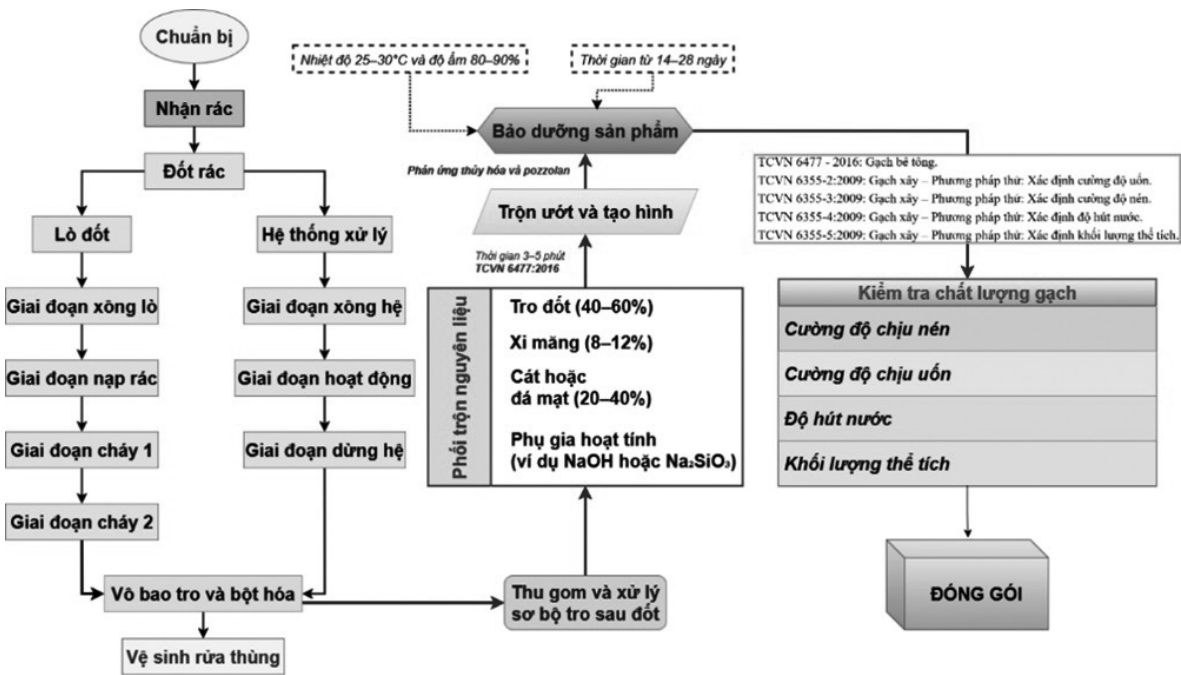
Nghiên cứu được xây dựng trên cơ sở tổng quan các công trình khoa học, văn bản pháp luật và tiêu chuẩn kỹ thuật liên quan. Mẫu tro đáy được thu thập định kỳ trong giai đoạn 2023 - 2024 tại các lò đốt CTYT (công suất 14 và 21 tấn/ngày) của CITENCO. Quy trình lấy mẫu tuân thủ TCVN 6909:2001 và TCVN 8699:2011, đảm bảo tính đại diện. Các mẫu được phân tích các chỉ tiêu hóa học (pH, kim loại nặng) và được sử dụng để sản xuất gạch không nung thử nghiệm.

2.2. Khu vực nghiên cứu và công tác thu thập mẫu

Nghiên cứu sử dụng mẫu tro từ lò đốt CTYT nguy hại tại CITENCO (công suất 14 và 21 tấn/ngày), thu thập giai đoạn 2023 - 2024. Gạch không nung được sản xuất và thử nghiệm tại Công ty CP Công nghệ Bách Khoa TP. HCM, phân tích hóa học thực hiện tại phòng thí nghiệm NEWCENLAB.

2.3. Quy trình sản xuất gạch không nung từ tro lò đốt

Quy trình sản xuất gạch không nung (Hình 1) gồm các bước: (1) Xử lý sơ bộ tro để loại bỏ tạp chất; (2) Phối trộn nguyên liệu theo tỷ lệ: Tro (40 - 60%), xi măng (8 - 12%), cát/đá mịn (20 - 40%) và phụ gia; (3) Trộn ướt và ép định hình bằng máy ép thủy lực; (4) Bảo dưỡng sản phẩm trong 14 - 28 ngày ở điều kiện tiêu chuẩn (nhiệt độ 25–30°C, độ ẩm 80 - 90%). Tuy nhiên, vì đây là tro y tế, nên để tăng cường độ nén, giúp gạch nhanh đạt mục tiêu thiết kế, giảm rủi ro nứt vỡ, nâng năng suất và bù trừ trường hợp tro bay kém hoạt tính hoặc chất lượng không ổn định, tỷ lệ phối trộn



Hình 1. Quy trình xử lý đốt CTYT và sản xuất gạch không nung từ tro lò đốt CTYT

(Nguồn: Nhóm tác giả)



Bảng 1. Kết quả phân tích đặc tính của các mẫu tro lò đốt

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả trung bình sau khi phân tích mẫu tro		QCVN 07:2009/BTNMT
			Công suất 14 tấn/ngày	Công suất 21 tấn/ngày	
1	pH	-	10,14 - 12,36	9,3 - 12,29	-
2	Hàm lượng Florua (F)	mg/l	2,42	2,80	180
3	Bạc (Ag)	mg/l	Gần như KPH hoặc vô cùng bé so với QCVN	Gần như KPH hoặc vô cùng bé so với QCVN	5
4	Coban (Co)	mg/l			80
5	Cadimi (Ca)	mg/l			0,5
6	Chì (Pb)	mg/l			15
7	Kẽm (Zn)	mg/l			250
8	Beryn (Be)	mg/l			0,1
9	Tổng Xyanua (CN ⁻)	mg/kg			590
10	Clorua (Cl ⁻)	%	1,80	1,93	-
11	Đồng (Cu)	ppm	906	779	-

(Nguồn: Nhóm tác giả)

nghiên cứu lựa chọn là 30% tro bay, 20% xi măng, 50% đá mi và 20% độ ẩm.

Chất lượng gạch thành phẩm được kiểm tra các chỉ tiêu cơ lý theo TCVN, bao gồm: Cường độ chịu nén (TCVN 6355-3:2009), cường độ chịu uốn (TCVN 6355-2:2009), độ hút nước (TCVN 6355-4:2009) và khối lượng thể tích (TCVN 6355-5:2009).

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Kết quả xác định đặc tính hóa học của tro lò đốt CTYT

Kết quả phân tích tại NEWCENLAB đối với mẫu tro lò đốt công suất 14 và 21 tấn/ngày của Công ty TNHH MTV Môi trường đô thị TP. HCM cho thấy, pH dao động 9,3 - 12,36, đặc trưng môi trường kiềm (Bảng 1). Tính kiềm này hỗ trợ phản ứng pozzolanic, phù hợp khi sử dụng tro làm phụ gia trong xi măng hoặc bê tông, đồng thời thích hợp cho sản xuất vật liệu xây không gia cường mà không ảnh hưởng đáng kể đến độ bền (Péra et al., 1997).

Phân tích cho thấy, tro đáy từ lò đốt CTYT tại TP.HCM có đặc tính môi trường an toàn, với hàm lượng florua 2,42–2,80 mg/L, thấp hơn nhiều so với QCVN 07:2009/BTNMT (180 mg/L). Các kim loại nặng độc hại như bạc, chì, cadimi, cobalt, berili và xyanua hầu như không phát hiện. Khi lò đốt vận hành ổn định và hệ thống xử lý khí thải hoạt động tốt, tro được kiểm soát hiệu quả, không vượt ngưỡng độc tính (Zand et al., 2020). Hàm lượng clorua 1,80–1,93% cần lưu ý với bê tông cốt thép, nhưng vẫn phù hợp cho gạch không nung, vữa hoặc nền đường nếu kiểm soát tốt độ thấm và phản ứng kiềm-silic.

3.2. Kết quả sản phẩm vật liệu thu được từ giải pháp nghiên cứu - gạch không nung

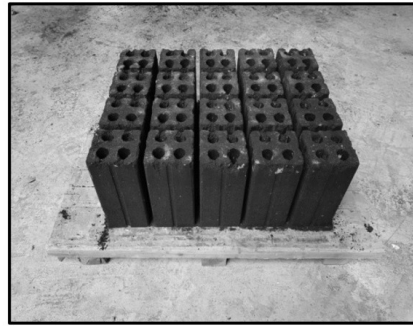
Kết quả giải pháp tái chế tro từ lò đốt CTYT của nhóm nghiên cứu là sản phẩm gạch không nung được thể hiện trên Hình 2.

Kết quả thử nghiệm cường độ kỹ thuật sản phẩm gạch không nung được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 2. Kết quả phân tích đặc tính nén của sản phẩm gạch không nung

STT	Kích thước mẫu			Ngày đúc	Ngày nén	Tuổi mẫu	Diện tích mặt cắt ngang	Tải trọng phá	Hệ số hình dạng	Cường độ chịu nén
	Dài	Rộng	Cao							
	(mm)					(ngày)	(mm ²)	(kN)	Ratio (K)	(Mpa)
1	175	80	80	28/06/25	15/07/25	17	14.000	30,10	0,96	2,1
2	175	80	80	-nt-	-nt-	-nt-	14.000	26,10	0,96	1,8
3	175	80	80	-nt-	-nt-	-nt-	14.000	32,70	0,96	2,2
Trung bình										2,0

(Nguồn: Nhóm tác giả)



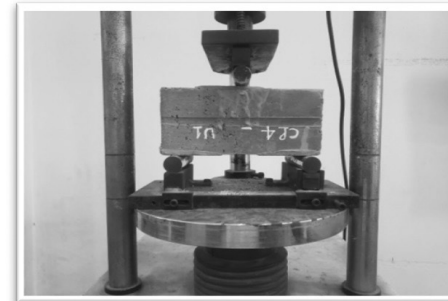
a) Sản phẩm ban đầu



b) Sản phẩm sau khi kiểm tra



c) Sản phẩm khi thử cường độ nén



d) Sản phẩm khi thử cường độ uốn

Hình 2. Gạch không không nung được sản xuất từ tro lò đốt CTYT

Kết quả thử nghiệm cơ học từ Bảng 2 cho thấy, gạch không nung sử dụng tro đáy đạt cường độ nén trong khoảng 1,8 - 2,2 MPa, trung bình 2,0 MPa sau 17 ngày. Hệ số hình dạng $K = 0,96$ phản ánh sự đồng đều hình học cao. Tuy chưa đạt yêu cầu theo TCVN 6477:2016 ($\geq 3,5$ MPa), kết quả ban đầu khẳng định tiềm năng sử dụng tro đáy trong sản xuất vật liệu xây dựng. Khả năng tăng cường độ nén trong 28 ngày nhờ phản ứng pozzolanic (Pérea et al., 1997) cùng việc tối ưu hóa cấp phối hứa hẹn cải thiện đáng kể chất lượng sản phẩm. Ngoài ra, độ hút nước 10 - 12% đạt chuẩn TCVN và thấp hơn so với gạch nung, thể hiện khả năng kháng nước tốt. Nhờ đó, loại gạch này có thể ứng dụng hiệu quả cho các công trình không chịu tải trọng lớn như tường bao, vách ngăn hoặc nền đường nhẹ (Nguyen & Le, 2020).

3.3. Thảo luận kết quả, đề xuất giải pháp khả thi và ước tính lượng sản phẩm nghiên cứu

Theo TCVN 6477:2016 - Gạch bê tông, để sản xuất gạch bê tông (không nung) đạt yêu cầu cường độ nén $\geq 3,5$ MPa, để đạt được thì mẫu nghiên cứu được đề xuất thay đổi thành phần phối liệu và thành phần phối trộn bằng cách tăng xi măng hoặc phụ gia hoạt tính, giảm tỷ lệ nước/xi măng, tăng áp lực ép và kiểm soát dưỡng hộ. Từ kết quả tại Bảng 2, nghiên cứu đề xuất giải pháp tối ưu chi phí và tận dụng tro lò đốt như sau: Với cấp phối tham chiếu cho gạch block với kích thước 175 x 80 x 80 mm theo tỷ lệ phối trộn là 30% tro bay, 20% xi măng, 50% đá mi và 20% độ ẩm. Bên cạnh đó, khối lượng thực tế của 1 viên gạch thường 1,8-2,5 kg

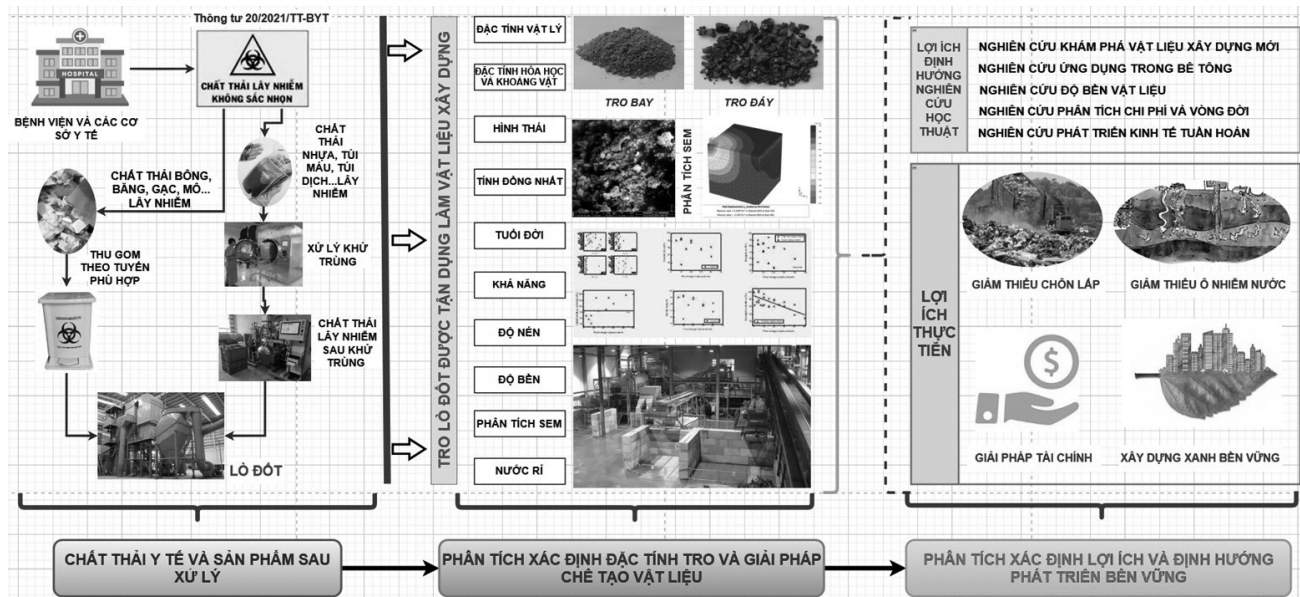
với mật độ vật liệu 1.800 - 2.000 kg/m³ (Lê et al., 2018). Bài toán sơ bộ cho thấy với mỗi viên gạch không nung nặng 2 kg sẽ chứa 0,6 kg tro. Từ đó, 1 tấn tro có thể sản xuất khoảng gần 1.666 viên gạch. Dựa trên lượng CTYT nguy hại phát sinh tại TP.HCM khoảng 30-33 tấn/ngày, lượng tro đáy thu được ước tính chiếm 20%, tương ứng 6,0-6,6 tấn/ngày (Zand et al., 2020). Như vậy, TP. HCM có thể sản xuất được 9.996 - 10.995 viên gạch mỗi ngày từ tiềm năng tái chế tro từ lò đốt.

Hình 3 trình bày mô hình tích hợp xử lý CTYT theo hướng tuần hoàn, tận dụng tro sau đốt làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng không nung, tuân thủ Thông tư số 20/2021/TT-BYT và hướng đến các mục tiêu phát triển bền vững về môi trường, kỹ thuật, kinh tế.

Mô hình tận dụng tro đốt CTYT để sản xuất vật liệu không nung là giải pháp bền vững, vừa xử lý chất thải nguy hại vừa tạo giá trị kinh tế. Giải pháp giảm áp lực xử lý tại đô thị như TP. HCM, phù hợp định hướng kinh tế tuần hoàn. Tuy nhiên, cần kiểm soát chất lượng và đánh giá vòng đời sản phẩm để đảm bảo an toàn hơn.

4. KẾT LUẬN

Tro đáy từ lò đốt CTYT tại TP. HCM là nguồn tài nguyên thứ cấp giá trị, với đặc tính hóa lý phù hợp để tái chế thành gạch không nung. Thử nghiệm ban đầu cho thấy gạch có tiềm năng đạt tiêu chuẩn kỹ thuật sau tối ưu công thức. Tái sử dụng tro vừa xử lý chất thải hiệu quả, vừa mang lại lợi ích kinh tế - môi trường theo hướng kinh tế tuần hoàn. Để ứng dụng công nghiệp, cần kiểm soát chất lượng tro, đánh giá vòng đời sản



Hình 3. Mô hình quản lý và tái sử dụng tro lò đốt CTYT trong sản xuất vật liệu xây dựng hướng đến phát triển bền vững

phẩm, triển khai dự án thí điểm và chính sách hỗ trợ của nhà nước nhằm khuyến khích thị trường cho vật liệu xây dựng tái chế bền vững■

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Chowdhury, M., Chowdhury, T., Sarker, S., & Chowdhury, H. (2022). Medical waste generation during COVID-19 pandemic: Challenges and management in Bangladesh. *Science of the Total Environment*, 825, 153902. <https://doi.org/10.1016/j.scitotenv.2022.153902>.
2. Citenco. (n.d.). Chất thải công nghiệp nguy hại, chất thải y tế. Truy cập từ <https://www.citenco.com.vn/cong-nghe/xu-ly-chat-thai/chat-thai-cong-nghiep-nguy-hai-chat-thai-y-te>.
3. Cục Quản lý Môi trường Y tế. (2022). Báo cáo môi trường y tế quốc gia năm 2022. Bộ Y tế, Việt Nam.
4. Izquierdo, M., Querol, X., Davidovits, J., Antenucci, D., Nugteren, H., & Fernández-Pereira, C. (2020). Characterization of bottom ash from medical waste incinerators for reuse as construction materials. *Waste Management*, 101, 123–135. <https://doi.org/10.1016/j.wasman.2019.10.028>.
5. Lê Văn Thông, & Nguyễn Thanh Sang. (2018). Nghiên cứu sử dụng tro bay và xỉ đáy lò trong sản xuất gạch bê tông không nung. *Tạp chí Khoa học & Công nghệ Xây dựng (NUCE)*, 12(5), 45–52.
6. Mordor Intelligence. (2024). Vietnam medical waste management market – Growth, trends, COVID-19 impact, and forecasts (2024–2029). <https://www.mordorintelligence.com/>.
7. Nguyễn, T. T. H., & Trần, M. C. (2023). Ứng dụng tro lò đốt rác sinh hoạt vào sản xuất gạch không nung. *Tạp*

chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, 17(4), 45–53.

8. Nguyễn, T. M., & Lê, X. T. (2024). Khả năng sử dụng tro lò đốt rác y tế trong sản xuất gạch bê tông không nung. *Tạp chí Vật liệu Xây dựng*, 10(2), 25–33.
9. Nguyen, T. H., & Le, V. T. (2020). Nghiên cứu tính chất cơ học của gạch không nung sử dụng tro bay. *Tạp chí Khoa học và Công nghệ Xây dựng*, 14(2), 45–53.
10. Peng, J., Wu, X., Wang, R., Li, C., Zhang, Q., Wei, D., & Wang, J. (2020). Medical waste management practice during the 2019–2020 novel coronavirus pandemic: Experience in a general hospital. *Waste Disposal & Sustainable Energy*, 2(2), 161–168. <https://doi.org/10.1007/s42768-020-00039-6>.
11. Saikia, N., Sarmah, A. K., & Barua, P. (2022). Sustainable reuse of incinerator ash in construction materials: A review. *Journal of Cleaner Production*, 334, 130255. <https://doi.org/10.1016/j.jclepro.2021.130255>.
12. Sở Tài nguyên và Môi trường TP.HCM. (2024). Báo cáo công tác quản lý CTYT trên địa bàn TP. Hồ Chí Minh năm 2024.
13. Zand, A. D., & Heir, A. V. (2020). Characterization and environmental risk assessment of bottom ash and fly ash from medical waste incinerators. *Environmental Monitoring and Assessment*, 192(3), 171.
14. Zhang, L., Zhou, Y., Li, Q., & Zhang, J. (2023). Reuse of incineration ash from medical waste: Environmental and technical considerations. *Resources, Conservation & Recycling*, 190, 106894. <https://doi.org/10.1016/j.resconrec.2023.106894>.
15. Péra, J., Ambroise, J., & Chabannet, M. (1997). Use of incinerator bottom ash in concrete. *Cement and Concrete Research*, 27(1), 1–5. [https://doi.org/10.1016/S0008-8846\(96\)00190-3](https://doi.org/10.1016/S0008-8846(96)00190-3).