

Nghiên cứu sử dụng tro, xỉ của lò đốt chất thải rắn sinh hoạt làm nguyên liệu sản xuất vật liệu xây dựng

Cao Tiến Phú^{1*}, Trương Đức Tiệp¹

¹ Viện Vật liệu xây dựng, số 235 Nguyễn Trãi, quận Thanh Xuân, Hà Nội

TỪ KHOẢ

Tro xỉ
Chất thải rắn sinh hoạt
Chất thải rắn nguy hại
Gạch bê tông

TÓM TẮT

Bài báo trình bày kết quả đánh giá tính chất cơ lý, hóa học của tro đáy và tro bay thuộc nhà máy đốt chất thải rắn sinh hoạt và đề xuất phương pháp xử lý tro xỉ này bằng phụ gia chelate, phương pháp nhiệt nhận được tro xỉ sau xử lý đảm bảo không là chất thải rắn nguy hại và có thể sử dụng làm nguyên liệu sản xuất gạch bê tông. Kết quả của đề tài cho thấy có thể thay thế đến 30% cốt liệu tự nhiên trong sản xuất gạch bê tông tương đương với mẫu đối chứng.

KEYWORDS

Fly ash
Slag
Domestic solid waste
Hazardous solid waste
Concrete brick

ABSTRACT

This subject presents the results of the assessment of the mechanical and chemical properties of bottom ash and fly ash belonging to the domestic solid waste burning plant and proposes this method of treating slag ash with chelate additives, the heat method of receiving post-treatment slag ash to ensure that it is not hazardous solid waste and can be used as a raw material for the production of concrete bricks. The results of the project showed that up to 30% of natural aggregates in the production of concrete bricks were equivalent to the references..

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, ngành xây dựng đã có nhiều bước tiến đáng kể theo hướng hiện đại ở hầu hết các lĩnh vực như, xây dựng công trình, vật liệu xây dựng (VLXD), kiến trúc và quy hoạch xây dựng, phát triển đô thị và nhà ở, v.v. Nhu cầu xây dựng trong nước cũng đang rất lớn, đòi hỏi một lượng lớn tương ứng của các loại VLXD. Điều này dẫn đến việc khan hiếm nguồn VLXD trên thị trường, đặc biệt là các loại vật liệu có nguồn gốc tự nhiên. Thêm vào đó ở Việt Nam, cùng với sự phát triển dân số của đất nước, quá trình đô thị hóa diễn ra tốc độ cao, khắp nơi đang xảy ra tình trạng chất thải rắn sinh hoạt (CTRSH) xả thải không đúng qui định gây ô nhiễm môi trường đang ngày càng trầm trọng. Theo Báo cáo hiện trạng môi trường quốc gia năm 2011, tổng khối lượng CTRSH phát sinh trên toàn quốc là khoảng 44.400 tấn/ngày. Đến năm 2019, con số này là 64.658 tấn/ngày (khu vực đô thị là 35.624 tấn/ngày và khu vực nông thôn là 28.394 tấn/ngày), tăng 46% so với năm 2010 [1]. Công tác quản lý CTRSH đang gặp một số khó khăn khi lượng chất thải nói chung ngày càng nhiều và đa dạng về chủng loại. Phương pháp xử lý chôn lấp đang gây lãng phí tài nguyên đất, gây ảnh hưởng xấu đến mạch nước ngầm, đất và không khí xung quanh khu vực chôn lấp, và lãng phí tài nguyên từ CTRSH.

Xu thế chung của thế giới là sử dụng công nghệ đốt để xử lý rác thải sinh hoạt [2]. Phương pháp xử lý đốt CTRSH đang được quan tâm vì một số ưu điểm: Giảm được khối lượng phát thải, giảm khoảng 80% đến 90% thể tích thải ra, tiết kiệm được diện tích sử dụng chôn lấp, giảm phát thải mùi, giảm hiệu ứng nhà kính và có thể tận dụng nhiệt

để phát điện. Xu thế trên thế giới, chuyển hóa chất thải thành năng lượng được quan tâm. Ở Mỹ, Châu Âu, Nhật Bản, Singapo là những nước đi đầu trong sử dụng xử lý CTRSH bằng công nghệ đốt chất thải phát điện. Cùng xu thế với thế giới, trong nước các dự án đầu tư xử lý CTRSH bằng công nghệ đốt cũng đang được đầu tư, xây dựng. Hiện tại, ở Việt Nam rác tập kết chưa được phân loại tại nguồn là hỗn hợp của nhiều loại hữu cơ, vô cơ, kim loại. Quá trình đốt CTRSH phát thải ra lượng tro xỉ, trong đó có phần hạt mịn bay theo khí thải (tro bay) chiếm khoảng gần 3% và phần thải rắn được thu gom ở đáy lò (tro đáy) khoảng 15%. Tùy theo công nghệ đốt, hàm lượng các phần phát thải có thể khác nhau. Mặt bằng chứa chất thải tro xỉ hạn hẹp, là vấn đề mà nhà máy cùng chính quyền địa phương đang vướng mắc, tìm cách tháo gỡ. Cùng với lượng CTRSH, xử lý bằng phương pháp đốt sẽ ngày càng tăng lên, lượng tro bay và tro đáy sẽ thải ra khối lượng ngày càng lớn. Vấn đề xử lý tro xỉ đốt CTRSH ở các thành phố, địa phương khác cũng sẽ tương tự, cần có phương án giải quyết.

Tro đáy và tro bay thải ra từ quá trình đốt rác thải sinh hoạt được quy định là chất thải rắn, các yêu cầu về phát thải ảnh hưởng đến môi trường phải tuân theo QCVN 07:2009/BTNMT về Ngưỡng chất thải nguy hại [3]. Vấn đề đang đặt ra, phần tro xỉ phát thải từ công nghệ đốt CTRSH thì xử lý thế nào, có thể sử dụng tro xỉ hợp lý và có ích hay không. Trên thế giới đã nghiên cứu nhiều phương pháp xử lý tro xỉ, tập trung lại có các định hướng xử lý chính: Phương pháp hóa rắn bằng xi măng, Ổn định bằng hóa chất và chelate, Chiết tách kim loại nặng bằng axit, xử lý bằng nhiệt...

*Liên hệ tác giả: phuvlxd

Nhận ngày 01/10/2021, sửa xong ngày 22/10/2021, chấp nhận đăng 04/11/2021

Có một số nghiên cứu sử dụng hỗn hợp tro bay và tro đáy sử dụng làm vật liệu xây dựng. Collins và cộng sự nghiên cứu thêm với hoặc xi măng vào tro CTRSH để sử dụng làm vật liệu đắp lót. Báo cáo của họ cho rằng vôi đã phản ứng với cacbon trong tro để tạo thành phản ứng cacbonat sinh ra khí trong tối đa ba ngày sau khi trộn. Trong báo cáo, cường độ nén trong thời gian 7 ngày tuổi đạt khoảng 8,0 MPa đối với hỗn hợp gốc chỉ chứa xi măng và tro xi CTRSH và khoảng 12,5 MPa với 50 % tro xi và 50 % đá. Roethel và Breslin đã thêm vôi hoặc xi măng vào tro xi lò đốt để xử lý tro xi, sản xuất các viên block và kết quả cường độ nén trong 28 ngày vượt quá 6,9 MPa. Lisk đã báo cáo rằng cường độ nén đối với bê tông có chứa tới 30% khối lượng tro đáy và tro bay đốt CTRSH đạt giá trị phù hợp tiêu chuẩn ASTM đối với lát vỉa hè và xây dựng tường chịu lực bên trong hoặc bên ngoài. Nhiều tác giả lưu ý rằng thêm xi măng vào tro làm giảm sự rửa trôi kim loại nặng từ tro CTRSH (Collins; Roethel và Breslin; Triano và Frantz). Cường độ và mức độ chiết không phải là mối quan tâm duy nhất khi sử dụng tro CTRSH trong bê tông. Nhôm trong tro xi có thể phản ứng với các chất kiềm trong xi măng để tạo ra chất mới tăng thể tích và sinh khí hydro, dẫn đến sự giãn nở của bê tông và gây nứt, bong tróc và giảm cường độ nén. Collins đã cố gắng làm giảm phản ứng nhôm bằng cách xử lý tro bằng vôi hoặc vữa xi măng cho đến khi quá trình chuyển hóa sinh khí được ổn định. Nghiên cứu cũng đã kết luận, bê tông chứa tro refuse-derived-fuel (RDF) có cường độ rất thấp vì giãn nở do sinh khí. Chi bê tông có chứa tro đốt (mass burn) lớn đã rửa sạch, thay thế 50 % cát mới có cường độ hợp lý, xấp xỉ 60 % cường độ bê tông đối chứng. [4]

Trong nước, Đề tài nghiên cứu thành phần và đề xuất cách thức sử dụng tro xi từ lò đốt rác thải sinh hoạt thực hiện trên cơ sở thông tin từ các nghiên cứu trên thế giới và thực tế tại Dự án Nhà máy xử lý rác Đan Phượng, Hà Nội. Tác giả đã đưa ra kết luận: Phân tích mẫu tro xi từ Nhà máy xử lý rác Đan Phượng bằng hệ máy đo ASS-3300 tại phòng thí nghiệm của Viện Vật lý, kết quả cho thấy: hàm lượng các chất Fe₂O₃, CaO và MgO có trong tro xi tại Việt Nam cao hơn tại Trung Quốc và Mỹ; hàm lượng các chất độc hại nằm dưới ngưỡng của QCVN 07:2009/BTNMT. Nghiên cứu đã kết luận: Tro xi từ lò đốt rác có thể sử dụng trong: công nghiệp vật liệu như phụ gia cho xi măng, phụ gia cho bê tông, đóng gạch bê tông [5]

Thực tế, từ phế thải rắn sinh hoạt một số đơn vị đã tiến hành phân loại rác và sử dụng rác vô cơ gồm các thành phần chính gạch vỡ, bê tông để làm nguyên liệu sản xuất gạch tự chèn. Công ty Cổ phần Nước – Môi trường Bình Dương (BIWASE) đã thực hiện công nghệ hóa rắn, tro xi từ quá trình đốt chất thải công nghiệp được phối trộn với xi măng, cát, đá dăm để tạo thành sản phẩm gạch tự chèn hợp chuẩn theo TCVN 6476:1999. Một số nghiên cứu khác đang thực hiện nghiên cứu của Trường Đại học Giao thông Vận tải Hà nội sử dụng làm cốt liệu nền đường. Trường Đại học Cần Thơ cũng có nghiên cứu tro xi đốt CTRSH làm gạch tự chèn. Tuy nhiên, thông tin về báo cáo kết quả nghiên cứu chưa rõ ràng.

Từ kết quả của các nghiên cứu trước, có thể thấy được tiềm năng sử dụng lượng tro xi CTRSH ở Việt Nam là rất lớn. Với nguồn nguyên

liệu dồi dào và nhu cầu sử dụng lớn, việc sản xuất gạch bê tông từ hai nguồn chất thải, phụ phẩm này không những thúc đẩy nền kinh tế nước ta phát triển, mà còn đóng góp một phần quan trọng trong việc bảo vệ môi trường. Tuy vậy, thực tế cho thấy việc nghiên cứu sử dụng nguồn tro xi trong nước để sản xuất VLXD nói chung và gạch bê tông nói riêng còn hạn chế, nhất là ứng dụng phương pháp kiểm hoạt hóa. Chính vì vậy, nghiên cứu tận dụng nguồn tro xi CTRSH trong chế tạo vật liệu xây dựng thay thế nguồn nguyên liệu tự nhiên là cần thiết. Theo đó, các mẫu gạch được thiết kế với yêu cầu tương đương theo TCVN 6477:2016. Các đặc tính kỹ thuật của các mẫu gạch được đánh giá gồm: cường độ chịu nén, cường độ uốn, độ hút nước, độ xuyên nước trên cơ sở đối sánh với các tính chất tương ứng của gạch bê tông thông thường.

2. Nguyên liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Nguyên liệu

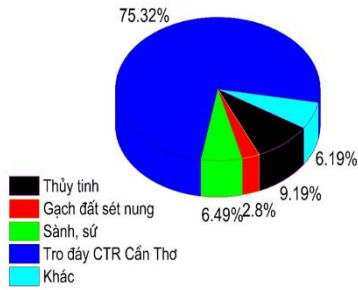
Đề tài đã khảo sát tro xi tại các nhà máy đốt CTRSH ở nhiều nơi. Trong nghiên cứu này tập trung đối tượng nghiên cứu là tro xi của lò đốt rác công suất lớn. Là nơi có nguồn phát thải lớn cần xử lý và nguồn tro xi đủ lớn và có thể đảm bảo tính ổn định khi sản xuất sản phẩm VLXD. Mẫu tro đáy và tro bay được lấy tại nhà máy đốt rác phát điện Cần Thơ để nghiên cứu. Các mẫu được mang đi phân tích các chỉ tiêu cơ bản theo yêu cầu tiêu chuẩn cốt liệu bê tông TCVN 7570, tính an toàn đối với môi trường, thí nghiệm các phối liệu bê tông, gạch bê tông. Các chỉ tiêu thí nghiệm như Bảng 1.

Bảng 1. Các chỉ tiêu thí nghiệm.

| Tính chất tro xi | Phương pháp |
|--|--|
| Thành phần hạt | TCVN 7572-2 : 2006 |
| Khối lượng riêng, khối lượng thể tích và độ hút nước | TCVN 7572-4 : 2006 |
| Khối lượng thể tích xốp và độ hồng | TCVN 7572-6 : 2006 |
| Tạp chất hữu cơ | |
| Độ hao mòn khí va đập của cốt liệu lớn trong máy Los Angeles | TCVN 7572-12 : 2006 |
| Khả năng phản ứng kiềm – silic | TCVN 7572-14 : 2006 |
| Thành phần khoáng | Phương pháp nhiễu xạ tia X |
| Hàm lượng bùn, bụi, sét trong cốt liệu và hàm lượng sét cục trong cốt liệu nhỏ | TCVN 7572-8 : 2006 |
| Hàm lượng Cl ⁻ , SO ₃ | TCVN 7572-15 : 2006 TCVN 7572-16 : 2006 |
| Hàm lượng tạp chất nhẹ | Nổi trên nước |
| Thành phần hóa học | TCVN 8262:2009 |
| Các thành phần độc hại | QCVN 07:2009/BTNMT |

2.1.1. Tro đáy

Phân bố thành phần và thành phần hóa học mẫu tro đáy được thể hiện ở Hình 1.



a. Hình phân bố thành phần tro đáy

| TT | Chỉ tiêu phân tích | Đơn vị | Kết quả |
|----|--------------------------------|--------|---------|
| 1 | Mất khi nung (LOI) | % | 5,73 |
| 2 | SiO ₂ | % | 52,84 |
| 3 | Fe ₂ O ₃ | % | 3,44 |
| 4 | Al ₂ O ₃ | % | 7,77 |
| 5 | CaO | % | 19,32 |
| 6 | MgO | % | 2,02 |
| 7 | SO ₃ | % | 0,75 |
| 8 | K ₂ O | % | 1,64 |
| 9 | Na ₂ O | % | 3,51 |
| 10 | TiO ₂ | % | 0,44 |
| 11 | Hàm lượng silic hòa tan | mMol/l | 105 |
| 12 | Độ giảm kiềm | mMol/l | 269 |

b. TPHH mẫu tro đáy

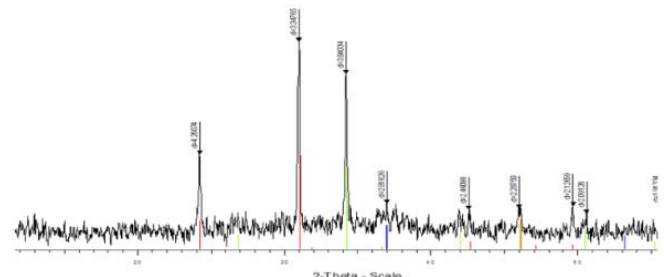
Hình 1. Phân bố thành phần và thành phần hóa học mẫu tro đáy.

Thành phần hóa học của mẫu tro đáy chiếm lượng lớn là các oxit SiO₂, Al₂O₃, CaO. Hàm lượng silic hòa tan và độ giảm kiềm của mẫu nằm trong vùng cốt liệu vô hại. Thành phần theo các ngưỡng giới hạn Quy chuẩn 07:2009/BTNMT đối với chất thải rắn, kết quả phân tích không có thành phần nào vượt ngưỡng nồng độ ngâm chiết, do vậy có thể sử dụng để làm nguyên liệu sản xuất sản phẩm vật liệu xây dựng như bê tông hay gạch bê tông. Thành phần các khoáng vật được thực hiện phân tích bằng phương pháp nhiễu xạ tia X để xác định các khoáng có trong mẫu. Kết quả phân tích cho thấy hàm lượng lớn của tro đáy có cấu trúc vô định hình khoảng 68 %, Calcite khoảng 18 %, Silic dạng Quartz khoảng 13 % và lượng nhỏ muối chứa kiềm NaCl. Như vậy, có thể thấy lượng lớn oxit SiO₂ trong thành phần của tro đáy có dạng vô định hình. Kết quả phân tích khoáng và hóa đều không có vôi tự do trong tro đáy. Giảm độ nhiễu xạ tia X mẫu tro đáy được thể hiện qua Hình 2.

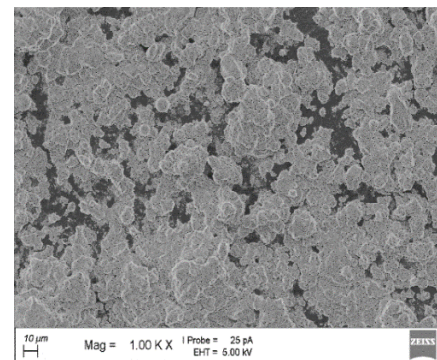
2.1.2. Tro bay

Tro bay có hạt mịn, tương đối đồng đều nên thành phần hạt của tro bay được phân tích bằng thiết bị tán xạ laze. Bằng phương pháp tán xạ laze, phân bố cỡ hạt của tro bay được xác định rõ ràng. Cỡ hạt lớn

nhất là 0,11 mm, hạt trung bình là 24µm, 50 % cỡ hạt có kích thước nhỏ hơn 13,1 µm. Theo yêu cầu của tro bay sử dụng làm phụ gia khoáng TCVN 8827:2011 thì cỡ hạt của tro bay đốt CTRSH hoàn toàn đáp ứng yêu cầu. Kết quả chụp SEM và phân tích THPP mẫu tro bay được thể hiện ở Hình 3 và Hình 4.



Hình 2. Giảm độ nhiễu xạ tia X mẫu tro đáy.



Hình 3. Kết quả chụp SEM mẫu tro bay

| TT | Tên chỉ tiêu | Đơn vị | Kết quả |
|----|--|--------|---------|
| 1 | Mất khi nung (LOI) | % | 43,22 |
| 2 | SiO ₂ + Al ₂ O ₃ + Fe ₂ O ₃ | % | 7,81 |
| 3 | CaO | % | 27,30 |
| 4 | MgO | % | 1,03 |
| 5 | SO ₃ | % | 4,82 |
| 6 | K ₂ O | % | 5,58 |
| 7 | Na ₂ O | % | 7,90 |
| 8 | TiO ₂ | % | 0,14 |
| 9 | Cl ⁻ | % | 23,42 |
| 10 | CaO _{td} | % | 0,00 |
| 11 | Hàm lượng kiềm hòa tan của tro bay sau 28 ngày, Na ₂ O _{td} | % | 12,16 |

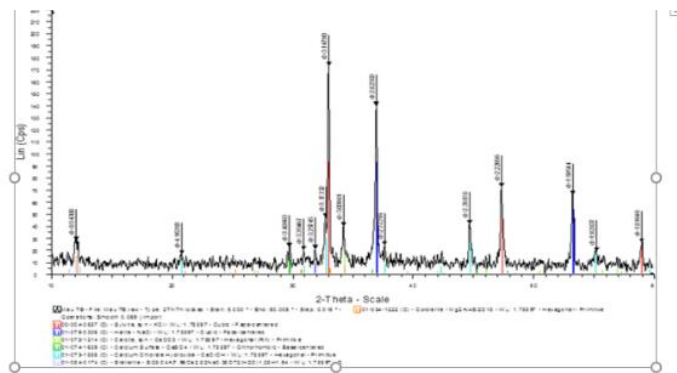
Hình 4. TPHH mẫu tro bay

Thành phần hóa học của tro bay đốt CTRSH chứa các thành phần có ảnh hưởng đến chất lượng bê tông và vữa như hàm lượng kiềm hòa

tan, lượng lớn Cl⁻, đây là thành phần cần quan tâm khi sử dụng làm cốt liệu bê tông. Tro bay cũng chứa lượng lớn hàm lượng mất khi nung, phần này gồm hàm lượng cacbon sử dụng để hấp phụ khí độc trong khói thải, nước liên kết trong dung dịch kiềm xử lý và một phần các hợp chất hữu cơ hấp phụ vào tro bay. Như vậy, cần phải xử lý để giảm hàm lượng ion Cl⁻, hàm lượng kiềm hòa tan để sử dụng phù hợp.

Thành phần khoáng mẫu tro bay được xác định qua phương pháp nhiễu xạ tia X, kết quả thể hiện qua Hình 5 cho thấy Các khoáng chứa trong tro bay: Halite: NaCl chiếm khoảng 16 %, Sylvite: KCl chiếm khoảng 19 %, Calcite chiếm khoảng 4 %, Calcium Sulfate CaSO₄ chiếm khoảng 8 %, Calcium Chloride Hydroxide: CaCl₂-H chiếm khoảng 11 %, pha vô định hình chiếm khoảng 35 %.

Qua các thành phần khoáng trong tro bay đốt CTHSH cho thấy hàm lượng các khoáng chứa kiềm và ion Cl⁻ khá lớn; Một lượng lớn là pha vô định hình gồm các pha thủy tinh, phần này có tác dụng tốt khi sử dụng làm thành phần vật liệu.



Hình 5. Giải đồ XRD mẫu tro bay.

Mẫu tro bay được thử các tính chất cơ lý về độ ẩm giới hạn chảy và chỉ số hoạt tính đối với xi măng. Kết quả cho thấy: Độ ẩm giới hạn chảy thấp: 29,7 %; Độ ẩm giới hạn lặn 25,7 %; Độ dẻo: 4 %. Độ dẻo của tro bay là rất thấp, tro có độ xốp và nhu cầu nước cao. Tro bay đốt chất thải rắn sinh hoạt không đạt hoạt tính phụ gia khoáng cho xi măng do chỉ số hoạt tính cường độ tuổi 28 ngày chỉ đạt 34,8 % theo TCVN 6882.

Các thành phần kim loại nặng nguy hại theo QCVN 07:2009/BTNMT cũng được phân tích để đánh giá các thành phần vượt ngưỡng giới hạn. Kết quả được thể hiện trong Bảng 2.

Trong số 17 chỉ tiêu phân tích, có 1 chỉ tiêu Thủy Ngân (Hg), nồng độ ngậm chiết vượt ngưỡng giới hạn, 2 chỉ tiêu Cadimi (Cd) và Chì (Pb) nồng độ tuyệt đối bị vượt giới hạn.

Theo Nguyên tắc chung của QCVN 07:2009/BTNMT quy định “Có ít nhất một thành phần nguy hại vô cơ hoặc hữu cơ mà đồng thời giá trị hàm lượng tuyệt đối và giá trị nồng độ ngậm chiết đều vượt ngưỡng CTNH (lớn hơn hoặc bằng mức giá trị ngưỡng hàm lượng tuyệt đối (H_{tc}) và ngưỡng nồng độ ngậm chiết (C_{nc}) quy định tại điểm 2.1.5). Một chất thải có ký hiệu * trong Danh mục chất thải nguy hại (CTNH) được phân định là CTNH”. Như vậy, có thể kết luận tro bay đề tài sử dụng để nghiên cứu không nằm trong danh mục CTNH. Để có thể nghiên cứu, xem xét khả

năng sử dụng làm vật liệu xây dựng, bắt buộc phải thực hiện xử lý tro bay đảm bảo để nồng độ chiết các kim loại nặng, các thành phần trong tro bay gây nguy hại đến tính chất sản phẩm chế tạo.

Về quy định của Nhà nước (Bộ Tài Nguyên Môi trường) quy định tro bay phát thải là chất thải rắn nguy hại, phải xử lý theo quy định của CTRNH.

Bảng 2. Các thành phần quy định giới hạn đối với chất thải rắn.

| TT | Tên chỉ tiêu | Nồng độ ngậm chiết, mg/L | Hàm lượng tuyệt đối, ppm |
|----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Antimony | 0,003 | 15,6 |
| 2 | Asen (As) | 0,010 | 11,2 |
| 3 | Bari (Ba) | 2,511 | 202,8 |
| 4 | Bạc (Ag) | < 0,001 | 43,3 |
| 5 | Beryn (Be) | < 0,001 | 0,14 |
| 6 | Cadimi (Cd) | 0,003 | 152,6 |
| 7 | Chì (Pb) | 2,856 | 812,2 |
| 8 | Coban (Co) | 0,011 | 4,5 |
| 9 | Kẽm (Zn) | 0,42 | 1.532 |
| 10 | Molybden (Mo) | 0,082 | 2,5 |
| 11 | Niken (Ni) | 0,012 | 18,5 |
| 12 | Selen (Se) | 0,004 | < 1 |
| 13 | Thali (Tl) | 0,033 | < 1 |
| 14 | Thủy ngân (Hg) | 0,305 | 1,1 |
| 15 | Vanadi (V) | < 0,01 | 10,7 |
| 16 | Crom VI (Cr VI) | 0,8 | < 6 |
| 17 | pH (Tính kiềm/tính axit) | | 11,6 |

2.2. Phương pháp xử lý tro xỉ

2.2.1. Xử lý tro đáy

Qua các kết quả nghiên cứu các tính chất thành phần của tro đáy, có thể đánh giá tro đáy cơ bản đảm bảo các tính chất để làm nguyên liệu sản xuất bê tông theo tiêu chuẩn TCVN 7570 và cho gạch bê tông, cũng như các quy định an toàn đối với chất thải rắn. Để sử dụng làm cốt liệu gạch bê tông cần chú ý xử lý tro đáy để đáp ứng yêu cầu: cốt liệu sử dụng sản xuất gạch bê tông, có kích thước nhỏ hơn 10 mm, trong đó phần hạt có kích thước nhỏ hơn 5 mm chiếm khối lượng chủ yếu. nên xử lý gia công tro đáy sử dụng làm cốt liệu nhỏ cho gạch bê tông (ở dải hạt nhỏ hơn 5 mm) là phù hợp. Hàm lượng ion Cl⁻ phân tích tro đáy có kết quả là 0,84 % như vậy có thể thấy hàm lượng ion Cl⁻ dao động khá nhiều trong tro đáy. Thành phần này cao hơn giới hạn quy định cốt liệu nhỏ trong TCVN 7570. Tuy nhiên, đối với gạch bê tông, bê tông không có cốt thép thì hiện tại chưa có tiêu chuẩn quy định cụ thể hàm lượng ion Cl⁻. Theo tiêu chuẩn EN 206-1:2000, hàm lượng Cl⁻ của bê tông, được biểu thị bằng phần trăm các ion Cl⁻ theo khối lượng xi măng, đối với bê tông không cốt thép giới hạn tối đa 1,0 %. Đối với bê tông có chứa cốt thép hoặc kim loại khác: 0,2 % đến 0,4 %. Có thể tham khảo giới hạn theo tiêu chuẩn EN 206-1:2000 cho gạch bê tông và bê

tông không cốt thép sử dụng tro đáy làm cốt liệu. Tùy vào vị trí sử dụng, sản phẩm được xử lý để có hàm lượng ion Cl⁻ trong sản phẩm phù hợp. Như phần nghiên cứu tính chất tro đáy cho thấy, tro đáy chứa các muối khoáng như NaCl là muối dễ hòa tan trong nước nên phương pháp rửa ở điều kiện nhiệt độ môi trường, với lượng nước đủ lớn để hòa tan là phù hợp. Để làm sạch ion Cl⁻ và kiềm, thực hiện các bước hòa tan các muối chứa ion Cl⁻ trong mẫu trong nước và tách nước chứa muối hòa tan sau rửa khỏi tro đáy.

Kết quả phân tích mẫu trước khi rửa có nồng độ ion Cl⁻ là 0,84 %, sau chu kỳ rửa hai lần kết quả phân tích hàm lượng ion Cl⁻ còn 0,17 %. Việc rửa có thể thực hiện thêm chu kỳ để giảm hàm lượng ion Cl⁻ để đáp ứng yêu cầu vật liệu có chứa hàm lượng ion Cl⁻ thấp. Do hàm lượng ion Cl⁻ trong tro đáy nằm ở dạng liên kết muối NaCl, dễ hòa tan trong nước, nên việc rửa để giảm hàm lượng ion Cl⁻ cũng khá dễ thực hiện.

Phương pháp xử lý gia công cỡ hạt – rửa là phương pháp đơn giản, rẻ tiền để chế tạo nguyên liệu tro đáy sản xuất gạch bê tông. Thành phần kim loại có trong tro đáy được tách, tái chế có giá trị cao. Tùy theo yêu cầu cụ thể, để xem xét xử lý và sử dụng tro đáy có hàm lượng ion Cl⁻ phù hợp. Ngoài ra có thể sử dụng phương pháp xử lý bằng nhiệt nung chảy tro đáy ở nhiệt độ 1210 °C chế tạo được cốt liệu có tính đồng nhất cao, sít đặc, cường độ cao. Các hợp chất dạng dễ hóa hơi, hấp phụ trong tro đáy được xử lý triệt để. Tuy nhiên, sử dụng phương pháp nhiệt xử lý có nhược điểm tốn kém chi phí năng lượng, sử dụng nhiều thiết bị để xử lý. Nên trong thời điểm hiện tại về mặt thực tiễn tính kinh tế chưa phù hợp để áp dụng ở quy mô công nghiệp xử lý làm cốt liệu gạch bê tông và bê tông.

2.2.2. Xử lý Tro bay

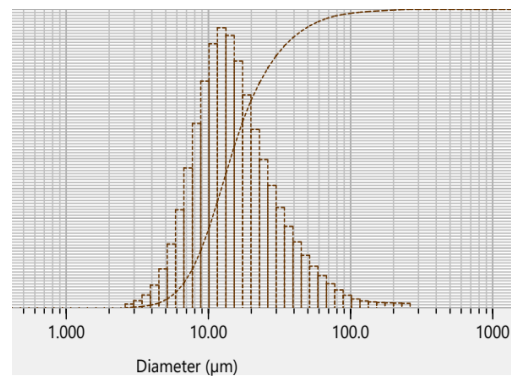
Để đáp ứng mục tiêu là xử lý tro xỉ làm nguyên liệu sản xuất gạch bê tông đề tài lựa chọn 2 phương pháp.

Phương pháp chelate kết hợp đóng rắn xi măng: Quá trình thực hiện sẽ gồm bước 1: sử dụng chất chelate để ổn định các kim loại nặng trong tro bay. Bước 2: tro bay được trộn với xi măng để làm nguyên liệu sản xuất gạch bê tông, bê tông, vai trò xi măng có tác dụng như chất đóng rắn kim loại nặng và liên kết tạo cường độ sản phẩm bê tông, gạch bê tông. Sử dụng hợp chất chelate có chứa thành phần *Dipotassium piperazine-1,4-bis (carbodithioate)* để ổn định kim loại nặng trong tro bay. Lượng chất chelate được thử nghiệm theo khuyến nghị.

Kết quả xử lý thể hiện ở nồng độ ngâm chiết kim loại nặng các mẫu sau xử lý. Kết quả phân tích hàm lượng kim loại nặng nồng độ ngâm chiết và hàm lượng kim loại nặng của tro bay sau quá trình ổn định ở tỷ lệ chất chelate/ tro bay là 2 % đảm bảo hàm lượng chiết của các kim loại nặng nằm trong ngưỡng giới hạn được thể hiện trong Bảng 3. Phân bố kích thước hạt tro bay sau xử lý được thể hiện ở Hình 6.

Phương pháp ổn định kim loại trong tro bay hiệu quả. Với thành phần, hàm lượng kim loại nặng có trong tro bay thí nghiệm, khi sử dụng tỷ lệ chelate 2 % khối lượng tro bay, hàm lượng chiết của kim loại nặng nằm trong ngưỡng giới hạn theo QCVN 07:2009/BTNMT. Tuy nhiên, hàm lượng tuyệt đối các thành phần trong tro bay không giảm do quá trình ổn

định bằng chelate không tách hàm lượng các nguyên tố ra khỏi tro bay. Kích thước hạt tro bay vẫn ở trạng thái các hạt mịn, đảm bảo ứng dụng để điền đầy các lỗ hờ, bù thiếu hụt hạt mịn trong cốt liệu.



Hình 6. Phân bố kích thước hạt tro bay sau xử lý.

Bảng 3. Hàm lượng kim loại nặng của tro bay sau xử lý.

| TT | Tên chỉ tiêu | Nồng độ ngâm chiết, mg/L | Hàm lượng tuyệt đối, ppm |
|----|--------------------------|--------------------------|--------------------------|
| 1 | Antimony | 0,002 | 22,9 |
| 2 | Asen (As) | 0,009 | 10,7 |
| 3 | Bari (Ba) | 2,604 | 209,8 |
| 4 | Bạc (Ag) | <0,001 | 37,2 |
| 5 | Beryn (Be) | <0,001 | 0,14 |
| 6 | Cadimi (Cd) | 0,002 | 144,4 |
| 7 | Chì (Pb) | 0,170 | 774,6 |
| 8 | Coban (Co) | 0,009 | 4,53 |
| 9 | Kẽm (Zn) | 0,42 | 1.476 |
| 10 | Molybden (Mo) | 0,075 | 2,4 |
| 11 | Niken (Ni) | 0,013 | 15,8 |
| 12 | Selen (Se) | 0,007 | 2,5 |
| 13 | Thali (Tl) | 0,023 | <1 |
| 14 | Thủy ngân (Hg) | 0,024 | 0,86 |
| 15 | Vanadi (V) | <0,01 | 10,75 |
| 16 | Crom VI (Cr VI) | 0,4 | <6 |
| 17 | pH (Tính kiềm/tính axit) | | 11,5 |

Phương pháp nung chảy: Tro bay được nung chảy lỏng hoàn toàn ở nhiệt độ 1090 °C, tạo thành sản phẩm gồm các khoáng và pha thủy tinh. Các kim loại nặng được bao bọc và gắn chặt vào các thành phần đó. Ngoài ra, trong quá trình nung chảy một lượng lớn các chất hữu cơ hấp phụ trong tro bay, lượng cacbon đưa vào quá trình xử lý khí thải, và hợp chất chứa ion Cl⁻ bị phân rã hóa hơi thoát khỏi sản phẩm gốm. Quá trình nung chảy ở nhiệt độ cao nên có thể tồn tại CaO tự do được nung già hóa. Khi sử dụng tro nung chảy làm nguyên liệu sản xuất vật liệu như gạch bê tông có thể thủy hóa gây nở, nổ làm ảnh hưởng đến tính chất sản phẩm. Tro bay được xử lý bằng phương pháp nhiệt có hiệu quả rõ rệt trong việc giảm hàm lượng tuyệt đối các kim loại nặng đồng thời khả năng chiết cũng

giảm rõ rệt. Hàm lượng chiết thủy ngân giảm từ 20,305 mg/L xuống còn < 0,001 mg/L, hàm lượng tuyệt đối giảm từ 1,11 ppm xuống còn 0,13 ppm; hàm lượng chiết chì giảm từ 2,85 mg/L xuống còn < 2,57 mg/L, hàm lượng tuyệt đối giảm từ 812 ppm xuống còn 61,1 ppm và đạt yêu cầu ngưỡng của chất thải nguy hại theo QCVN 07:2009/BTNMT.

Bằng hai phương pháp xử lý trên, tro bay sau xử lý đều đáp ứng được yêu cầu các kim loại nặng đều có hàm lượng trong giới hạn ngưỡng nguy hại, không có thành phần kim loại nặng nào vượt ngưỡng nồng độ ngấm chiết theo yêu cầu QCVN 07:2009/BTNMT.

2.3. Phương pháp thí nghiệm

Trên cơ sở đã tính toán từ tỷ lệ thành phần nguyên liệu sản phẩm đã sản xuất thực tế trên dây chuyền công nghiệp đạt các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn và các nguyên liệu đã chuẩn bị sẵn, các tỷ lệ thành phần nguyên liệu, tro đáy và tro bay sau xử lý được nghiên cứu thay thế cát và đá mịn. Tro đáy đã xử lý được sử dụng thay thế cốt liệu đá mịn và cát, tỷ lệ thay thế từ 20 % đến 40 % tổng khối lượng cốt liệu; đối với gạch bê tông sử dụng tro đáy và tro bay nung chảy tạo cốt liệu được nghiên cứu phối liệu có sử dụng 100 % cốt liệu được chế tạo. Tro bay mịn sau xử lý được sử dụng bổ sung để tăng độ sít đặc của sản phẩm, tỷ lệ sử dụng nghiên cứu từ 5 % đến 10 %. Trong quá trình nghiên cứu tỷ lệ thành phần gạch phù hợp, lượng chất kết dính khảo sát khoảng từ 12 % đến 8 %.

Gạch bê tông được chế tạo trong phòng thí nghiệm bằng phương pháp ép rung. Khuôn tạo hình gạch bằng thép có kích thước gạch 220 x110 x 65 mm. Gạch sau khi được tạo hình, tháo khuôn và dưỡng ở trong điều kiện phòng thí nghiệm. Trong quá trình trộn, ép gạch các chỉ số kỹ thuật được ghi nhận như lượng nước trộn tạo hình, ngoài hình viên gạch...

Sản phẩm nghiên cứu được thử nghiệm các tính chất của gạch chế tạo theo tiêu chuẩn TCVN 6477 để đánh giá sự phù hợp các phối liệu. Căn cứ kết quả trong phòng thí nghiệm lựa chọn tỷ lệ thành phần phối liệu nghiên cứu trên dây chuyền công nghiệp.

Để phù hợp với thực tiễn sản xuất gạch bê tông tại các nhà máy, nhóm đề tài đã tham khảo một số nhà máy đang sản xuất gạch có tính chất sản phẩm chứng nhận phù hợp TCVN 6477:2016 và các đề tài nghiên cứu gạch bê tông đã thực hiện.

Phối liệu được chọn TĐ00X12M76 (xi măng 12 %; đá mịn 76 %; cát 12 %) là phối liệu đã sản xuất trên dây chuyền công nghiệp, sản phẩm có các tính chất phù hợp M15 theo TCVN 6477:2016.

Mẫu TĐ00X12M76 sử dụng cốt liệu có phân bố cỡ hạt: từ 2,5 đến 5 mm chiếm 32 %, từ 1,25 đến 2,5 mm chiếm 15,3 %; từ 0,315 đến 1,25 mm chiếm 23,1 %; hạt kích thước nhỏ hơn 0,14 mm chiếm 7,9 % còn lại là các hạt kích thước lớn hơn 5 mm.

Cấp phối gạch bê tông có sử dụng tro xi thay thế được thực nghiệm các nhóm:

- *Nhóm gạch bê tông 12 % xi măng:* hàm lượng tro đáy đốt CTRSH đã xử lý thay thế cát tự nhiên hoàn toàn và một phần mịn đá. Tổng khối lượng thay thế từ 20 % đến 40 % khối lượng. Với tỷ lệ thay thế này, cỡ hạt thay thế sẽ tập trung vào dải cỡ hạt từ 0,315 đến 2,5 mm. Tro bay đã xử lý bằng chelate, được nghiên cứu sử dụng từ 5 % đến 10 % được

nghiên cứu bổ sung cho các phối liệu đã sử dụng 25 % và 30 % tro đáy, mục đích tăng độ điền đầy các lỗ hờ giữa các hạt cốt liệu.

- *Nhóm gạch bê tông 10 % xi măng:* Hàm lượng tro đáy đã xử lý thay thế cát tự nhiên hoàn toàn và một phần mịn đá. Tổng lượng thay thế từ 20 % đến 40 %. Tro bay đã xử lý bằng chelate, được nghiên cứu sử dụng từ 5% đến 10 % được nghiên cứu bổ sung cho các phối liệu đã sử dụng 25 % và 30 % tro đáy, mục đích tăng độ điền đầy các lỗ hờ giữa các hạt cốt liệu.

- *Nhóm gạch bê tông 8 % xi măng:* Các phối liệu sử dụng hàm lượng tro đáy đã xử lý thay thế cát tự nhiên hoàn toàn và một phần mịn đá, lượng thay thế từ 20 % đến 40 % được nghiên cứu. Tro bay đã xử lý bằng chelate, được nghiên cứu sử dụng từ 5% đến 10 % được nghiên cứu bổ sung cho các phối liệu đã sử dụng 25 % và 30 % tro đáy, mục đích tăng độ điền đầy các lỗ hờ giữa các hạt cốt liệu.

Cấp phối để chế tạo gạch bê tông thể hiện trong Bảng 4.

Bảng 4. Cấp phối gạch bê tông trong phòng thí nghiệm.

| TT | Ký hiệu mẫu | Xi măng | Cốt liệu | | | | Độ ẩm tạo hình |
|----|----------------|---------|----------|--------|---------|---------|----------------|
| | | | Cát | Đá mịn | Tro đáy | Tro bay | |
| | | % | % | % | % | % | % |
| 1 | TB0TĐ0X12M76 | 12 | 12 | 76 | 0 | 0 | 8,2 |
| 2 | TB0TĐ15X12M68 | 12 | 5 | 68 | 15 | 0 | 8,6 |
| 3 | TB0TĐ20X12M68 | 12 | 0 | 68 | 20 | 0 | 11,4 |
| 4 | TB0TĐ 25X12M63 | 12 | 0 | 63 | 25 | 0 | 12,6 |
| 5 | TB0TĐ30X12M58 | 12 | 0 | 58 | 30 | 0 | 12,9 |
| 6 | TB0TĐ35X12M53 | 12 | 0 | 58 | 35 | 0 | 13,3 |
| 7 | TB0TĐ40X12M48 | 12 | 0 | 48 | 40 | 0 | 13,7 |
| 8 | TB5TĐ25X12M63 | 12 | 0 | 58 | 25 | 5 | 13,4 |
| 9 | TB5TĐ30X12M58 | 10 | 0 | 53 | 30 | 5 | 13,6 |
| 10 | TB10TĐ25X12M58 | 10 | 0 | 53 | 25 | 10 | 14,2 |
| 11 | TB0TĐ30X10M60 | 10 | 0 | 60 | 30 | 0 | 13,4 |
| 12 | TB5TĐ25X10M60 | 10 | 0 | 60 | 25 | 5 | 13,6 |
| 13 | TB10TĐ25X10M55 | 10 | 0 | 55 | 25 | 10 | 14,2 |
| 14 | TB0TĐ30X8M70 | 8 | 0 | 70 | 30 | 0 | 13,1 |
| 15 | TB5TĐ25X8M70 | 8 | 0 | 70 | 25 | 5 | 13,5 |
| 16 | TB0TĐ30X9M70 | 9 | 0 | 70 | 30 | 0 | 13,6 |
| 17 | TĐNC76 TB0X12 | 12 | 12 | 0 | 76 | 0 | 8,9 |
| 18 | TBNC76TĐ0X12 | 12 | 12 | 0 | 0 | 76 | 9,2 |



a. Mẫu TB0TĐ30X9M70 b. Mẫu TĐNC76TB0X12 và TBNC76TĐ0X12

Hình 7. Một số mẫu gạch bê tông chế tạo trong PTN.

3. Kết quả nghiên cứu

Kết quả thí nghiệm các mẫu chế tạo, được tổng hợp ở Bảng 5.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm mẫu trong PTN.

| TT | Ký hiệu mẫu | Cường độ nén | Cường độ uốn | Độ hút nước | Độ xuyên nước |
|----|----------------|--------------|--------------|-------------|---------------------|
| | | MPa | MPa | % | L/m ² .h |
| 1 | TB0TĐ0X12M76 | 18,1 | 2,4 | 7,6 | 10,3 |
| 2 | TB0TĐ15X12M68 | 17,4 | 2,9 | 8,1 | - |
| 3 | TB0TĐ20X12M68 | 15,8 | 1,6 | 8,5 | - |
| 4 | TB0TĐ 25X12M63 | 13,3 | 1,3 | 9,1 | - |
| 5 | TB0TĐ30X12M58 | 12,8 | 1,8 | 9,4 | 12,6 |
| 6 | TB0TĐ35X12M53 | 11,2 | 1,6 | 10,7 | 15,1 |
| 7 | TB0TĐ40X12M48 | 7,9 | 1,1 | 11,6 | 16,9 |
| 8 | TB5TĐ25X12M63 | 11,1 | 1,2 | 10,3 | 12,2 |
| 9 | TB5TĐ30X12M58 | 8,9 | 0,6 | 11,1 | 14,9 |
| 10 | TB10TĐ25X12M58 | 6,8 | 0,5 | 10,5 | - |
| 11 | TB0TĐ30X10M60 | 11,3 | 1,3 | 10,2 | 14,7 |
| 12 | TB5TĐ25X10M60 | 9,2 | 1,1 | 11,2 | 14,5 |
| 13 | TB10TĐ25X10M55 | 7,1 | 0,8 | 12,0 | - |
| 14 | TB0TĐ30X8M70 | 7,4 | 1,1 | 11,3 | - |
| 15 | TB5TĐ25X8M70 | 6,7 | 0,6 | 11,8 | - |
| 16 | TB0TĐ30X9M70 | 10,3 | 1,2 | 11,0 | 15,2 |
| 17 | TĐNC76 TB0X12 | 16,7 | 1,9 | 8,2 | 13,7 |
| 18 | TBNC76TĐ0X12 | 15,8 | 1,4 | 8,9 | 14,3 |

Nhân xét: Các phối liệu cùng tỷ lệ khối lượng xi măng (12 %), khi tăng lượng tro đáy thay thế đá mịn thì độ hút nước của mẫu thử tăng; cường độ nén và uốn giảm. Khi sử dụng tro đáy thay thế đến 40 % khối lượng đá mịn, phối liệu TB0TĐ40X12M48, thì cường độ giảm đến gần giới hạn 7,5 Mpa. Các phối liệu sử dụng thêm tro bay được khảo sát từ 5 đến 10 % khối lượng cho các phối liệu đã sử dụng 25 đến 30 % tro đáy cho kết quả cường độ nén giảm; phối liệu chứa 25 % tro đáy và 10 % tro bay cường độ chỉ đạt 6,8 Mpa; phối liệu (TB5TĐ30X12M58) có cường độ đạt lớn hơn 7,5 Mpa.

Phối liệu cùng tỷ lệ khối lượng xi măng (10 %), khi tăng lượng tro đáy thay thế đá mịn thì độ hút nước của mẫu thử tăng; cường độ nén và uốn giảm. Khi sử dụng tro đáy thay thế đến 30 % đá mịn, cường độ nén sản phẩm và các chỉ tiêu thử khác đạt yêu cầu; phối liệu sử dụng thêm tro bay đến 5 % (TB5TĐ25X10M60) thì cường độ giảm đến giới hạn 7,5 MPa. Phối liệu tỷ lệ khối lượng xi măng 8%, khi sử dụng khối lượng thay thế tro đáy đến 30 %, mẫu thử nghiệm có cường độ nén không đạt giới hạn yêu cầu.

Phối liệu TB0TĐ30X9M70, tỷ lệ khối lượng xi măng 9 %, được thực hiện khi thí nghiệm phối liệu 8 % xi măng TB0TĐ30X8M70 cho kết quả xấp xỉ đạt yêu cầu mác M7,5. Sử dụng tro đáy thay thế đến 30% đá mịn, cường độ gạch và các chỉ số kỹ thuật khác đạt yêu cầu. Lượng tro bay bổ sung từ 5 % đến 10 %, lượng nước trộn tạo hình tăng; cường độ gạch giảm.

Để phù hợp theo yêu cầu QCVN 07:2009/BTNMT, sản phẩm sử dụng tro phải đạt mác trên 100. Như vậy, theo tổng hợp ở trên, phối liệu TB5TĐ25X12M63 sử dụng tro bay 5 % khối lượng và 25 % khối lượng tro đáy đạt yêu cầu.

Các phối liệu có cường độ nén từ 10 MPa trở lên được thử nghiệm độ xuyên nước. Qua kết quả cho thấy, khi hàm lượng tro đáy tăng, độ xuyên nước cũng tăng theo. Có thể lý giải kết quả này là do tro đáy có độ xốp cao, khả năng hút nước xuyên nước qua các hạt lớn hơn cốt liệu tự nhiên. Phối liệu có chứa tro bay có độ xuyên nước thấp hơn, do hàm lượng hạt mịn tăng dần đầy hơn các lỗ rỗng giữa các hạt cốt liệu. Như vậy, đối với phối liệu sử dụng tro đáy cần tăng độ sít đặc của viên gạch bằng phương pháp tăng lực ép và thời gian ép rung hoặc bổ sung thêm hạt mịn để giảm khả năng xuyên nước.

Mẫu TT 17: sử dụng tro đáy nung chảy thay thế 100 % đá mịn, kết quả cho thấy sản phẩm gạch bê tông sử dụng tro đáy nung chảy thay thế hoàn toàn đá mịn đạt yêu cầu gạch bê tông theo TCVN 6477.

Mẫu TT18: sử dụng tro bay nung chảy thay thế 100 % đá mịn, kết quả cho thấy sản phẩm gạch bê tông sử dụng tro đáy nung chảy thay thế hoàn toàn đá mịn đạt yêu cầu gạch bê tông theo TCVN 6477.

Kết luận: Các phối liệu sử dụng tỷ lệ xi măng từ 9 % đến 12 % và sử dụng tro đáy đến 30 % có các phối liệu đạt yêu cầu đạt mác M7.5 nên có thể kết luận mục tiêu chế tạo sản phẩm gạch bê tông có sử dụng ít nhất 30 % tro xi đã đạt được trong điều kiện phòng thí nghiệm. Tuy nhiên, do quy định QCVN07:2009 BTNMT nên, để sản xuất sản phẩm thử nghiệm ở quy mô công nghiệp, các phối liệu đạt mác M100 được lựa chọn để sản xuất thử.

Phối liệu sử dụng tổng hỗn hợp tro đáy và tro bay đến 30% cũng đạt yêu cầu M7.5 tuy nhiên, do tro bay đang được quy định là loại chất thải nguy hại nên bước tiếp theo của nghiên cứu không sử dụng vào sản xuất thử trên dây chuyền công nghiệp.

4. Kết luận

- Đề tài đã khảo sát được cơ bản các nguồn tro xỉ phát thải từ nhà máy đốt CTRSH, phân tích đầy đủ các tính chất vật lý, hóa học cơ bản và các thành phần nguy hại của tro đáy và tro bay của nhà máy đốt CTRSH. Các phương pháp xử lý bằng chelate, bằng phương pháp nhiệt đều cho kết quả tốt, đảm bảo sau xử lý tro bay không phải là chất thải rắn nguy hại và có thể sử dụng làm nguyên liệu sản xuất gạch bê tông
- Gạch bê tông sử dụng sản xuất được có các tính chất phù hợp tiêu chuẩn TCVN 6477:2016. Tỷ lệ khối lượng 12 %, có thể thay thế đá mặt được đến 35 %; tỷ lệ xi măng 9 %, có thể thay đá mặt được đến 30 %, sản phẩm phù hợp GD - M10 - 220x110x65 - TCVN 6477:2016. Gạch bê tông có sử dụng tro bay đã xử lý có thể sử dụng đến 5 % khối lượng sản phẩm.
- Lựa chọn đối tượng tro đáy và tro bay lò đốt công suất lớn để nghiên cứu làm nguyên liệu sản xuất gạch bê tông phù hợp xu thế phát thải tro xỉ đốt CTRSH hiện tại và tương lai gần. Khi các nhà máy đốt

CTRSH ở các thành phố lớn đi vào hoạt động có thể áp dụng phương pháp xử lý đề tài đã nghiên cứu thực hiện để xử lý và sử dụng tro đáy hiệu quả

Tài liệu tham khảo

- [1]. Báo cáo hiện trạng Môi trường Quốc gia, chuyên đề Chất thải rắn sinh hoạt năm 2019, Bộ Tài Nguyên Môi trường.
- [2]. Xu hướng đốt chất thải phát điện, 2016, Trung tâm Thông tin và Khoa học Công nghệ Thành phố Hồ Chí Minh.
- [3]. Quy chuẩn kỹ thuật Quốc gia, QCVN 07:2019/BTNMT.
- [4]. Rosmadi Abdul Rashid¹ and Gregory C. Frantz. MSW Incinerator ash as Aggregate in concrete and masonry. *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 4, No. 4, November, 1992.
- [5]. Ngô Trà Mai, Bùi Quốc Lập. Nghiên cứu thành phần và cách thức sử dụng tro xỉ từ lò đốt rác sinh hoạt phát điện. Khoa học thủy lợi và môi trường – Số 48, 2015.