

Nghiên cứu cơ sở lý thuyết về thành phần cấp phối hạt nhằm ứng dụng vật liệu tro xỉ nhiệt điện làm vật liệu đắp nền đường tại Việt Nam

■ **TS. NGUYỄN VĂN BÍCH^(*); PGS. TS. HOÀNG TÙNG**
Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
Email: ^(*)bichnv@huce.edu.vn

TÓM TẮT: Theo thống kê từ Bộ Xây dựng, lượng tro xỉ phát thải từ các nhà máy nhiệt điện (NMNĐ) trên toàn quốc đang có xu hướng gia tăng. Tính đến cuối năm 2023, tổng lượng tro xỉ nhiệt điện đạt khoảng 83 triệu tấn, tăng hơn 10% so với cuối năm 2022. Hiện nay, tro xỉ được sử dụng chủ yếu trong các lĩnh vực như vật liệu san lấp, phụ gia khoáng cho sản xuất xi măng và tiếp đến là phụ gia bê tông. Khi đáp ứng các yêu cầu về tính chất cơ lý, nguồn tro xỉ này có tiềm năng ứng dụng lớn trong xây dựng nền đường ô tô, với nhiều phương pháp công nghệ khác nhau. Bài báo tập trung nghiên cứu lý thuyết về ảnh hưởng của thành phần cấp phối hạt và cấp phối độ chặt lớn nhất, nhằm đánh giá khả năng sử dụng tro xỉ trong xây dựng nền đường giao thông tại Việt Nam. Kết quả cho thấy, dù việc ứng dụng tro xỉ nhiệt điện trong xây dựng nền mặt đường ô tô vẫn còn hạn chế, nhưng có cơ sở khoa học và thực tiễn rõ ràng. Tro xỉ có thể được sử dụng theo hai hướng chính: Trực tiếp hoặc phối trộn với các vật liệu khác để đắp nền đường, hoặc kết hợp với chất liên kết vô cơ để gia cố nền đường, đặc biệt phù hợp với khu vực đất yếu.

TỪ KHÓA: Tro xỉ, nhà máy nhiệt điện, nền đường, xây dựng đường, vật liệu đắp nền.

ABSTRACT: According to the Ministry of Construction, the volume of coal ash and slag discharged from thermal power plants nationwide has been steadily increasing. By the end of 2023, the total amount of coal ash and slag reached approximately 83 million tonnes, representing an increase of over 10% compared to the end of 2022. Currently, coal ash and slag are primarily utilised in fields such as landfilling materials, mineral additives for cement production. When meeting certain physical and mechanical property requirements, this ash and slag material has significant potential for use in road embankment construction, employing various technological approaches. This study focuses on the theoretical evaluation of the effects

of particle gradation and the maximum compaction theory to assess the feasibility of applying coal ash and slag as materials for road embankments in Vietnam. The results indicate that, although the application of coal ash and slag in road pavement and embankment construction remains limited in Vietnam, there are clear scientific and practical grounds for its adoption. Coal ash and slag can be utilized in two primary ways: Directly or mixed with other materials for embankment construction, or in combination with inorganic binders for stabilizing road foundations, particularly in areas with soft soils.

KEYWORDS: Fly ash, thermal power plants, roadbed, road construction, embankment materials.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Trong các NMNĐ, sau quá trình đốt cháy nhiên liệu than đá, phần phế thải rắn tồn tại dưới hai dạng: Phần xỉ và phần tro xỉ. Tro than bay theo dòng khí nóng sau khi đi qua dây ống lò hơi được xả ra ngoài qua các thiết bị lọc bụi tĩnh điện hoặc lọc bụi túi, sản phẩm thu hồi từ các thiết bị này gọi là tro xỉ (Fly Ash), thông thường chiếm 80 - 90%. Tro xỉ đáy (Bottom Ash) được hình thành khi các hạt tro hóa mềm hoặc chảy lỏng dưới tác dụng của nhiệt độ và bám chặt vào tường lò và ống nổi hơi. Những hạt lớn hơn tích tụ và rơi xuống phễu nằm ở đáy lò, nơi chúng được thu thập và thường chứa chủ yếu các hạt kích thước phân cấp chiếm 10 - 20% lượng tro xỉ thải ra.

Theo kết quả nghiên cứu của Viện Vật liệu xây dựng (Bộ Xây dựng), tính đến năm 2016, tại Việt Nam có tổng cộng 21 cụm NMNĐ hoạt động, trong đó có 10 nhà máy sử dụng công nghệ đốt than phun, 12 nhà máy sử dụng công nghệ đốt than tầng sôi. Tổng công suất nhiệt điện 13.110 MW. Theo kết quả điều tra của Viện Vật liệu xây dựng, tổng lượng tro, xỉ phát thải năm 2016 khoảng 15.784.357 triệu tấn [1, 2].

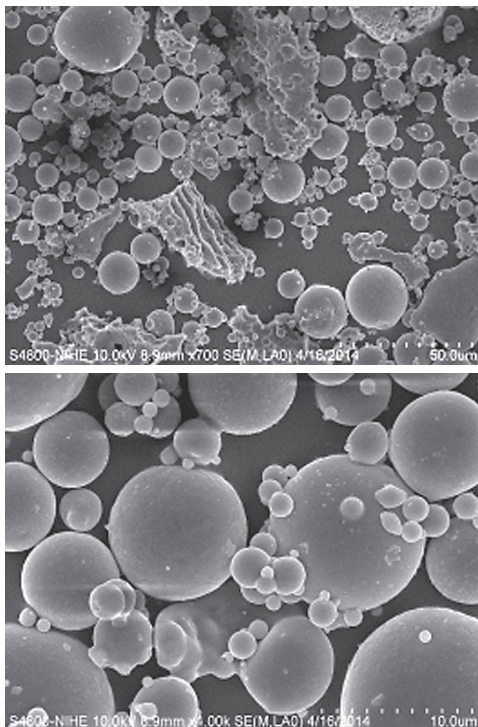
Theo [3, 4], lượng tro, xỉ các NMNĐ than tại Việt Nam phát sinh trong thời gian tới có thể ước tính như thể hiện trong Bảng 1.1.

Bảng 1.1. Khối lượng tro xỉ dự kiến theo quy hoạch điện VII

TT	Năm	Tổng công suất điện, MW	Trong đó		Khối lượng tro, xỉ thải một số năm theo Quy hoạch điện VII, tấn/năm		
			Nhiệt điện đốt than tầng sôi, MW	Nhiệt điện đốt than phun, MW	Lò hơi đốt tầng sôi	Lò hơi đốt than phun	Tổng cộng
1	2020		5.716	29.575	6.001.800	19.439.970	25.441.770
2	2025	35.291	5.986	41.290	6.285.300	23.086.800	29.372.100
3	2030	47.276	6.586	68.290	6.479.700	31.834.800	38.314.500

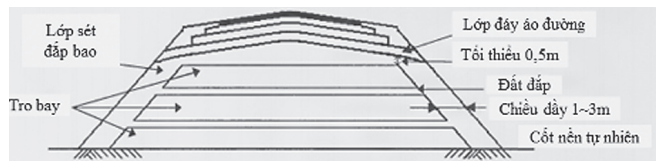
Tính chất của tro, xỉ NMNĐ chủ yếu phụ thuộc vào tính chất nguồn than đốt và công nghệ đốt than. Các NMNĐ ở Việt Nam hiện nay áp dụng hai loại công nghệ đốt than là công nghệ đốt than phun (PC) và công nghệ đốt than tầng sôi tuần hoàn (CFBC). Trong đó, NMNĐ có công nghệ đốt than phun là phổ biến. Theo [4], đến năm 2020 và 2030, công nghệ đốt than tầng sôi nước ta chỉ chiếm khoảng 10% tổng công suất NMNĐ than. Do đặc điểm công nghệ khác nhau, nên tro, xỉ các NMNĐ theo hai loại công nghệ đốt than này cũng rất khác nhau.

Tro, xỉ của NMNĐ công nghệ đốt than phun được hình thành do các quá trình đốt than đã được nghiền mịn ở nhiệt độ cao 1.400 - 1.500°C, gồm các hạt bị nóng chảy và các hạt than không cháy. Phần vật liệu bị nóng chảy khi được làm lạnh nhanh tạo ra các pha thủy tinh. Do đó, tro, xỉ gồm hỗn hợp của pha thủy tinh (vô định hình) và pha tinh thể, trong đó pha thủy tinh chiếm chủ yếu 60 - 90%. Tro bay gồm phần lớn là các hạt hình cầu dạng pha thủy tinh, các hạt này có thể là hạt cầu rỗng (chứa nhiều hạt cầu con trong nó) hoặc là các hạt cầu đặc. Hình 1.1 biểu thị hình dạng tro xỉ điển hình của NMNĐ đốt than phun tại Việt Nam.

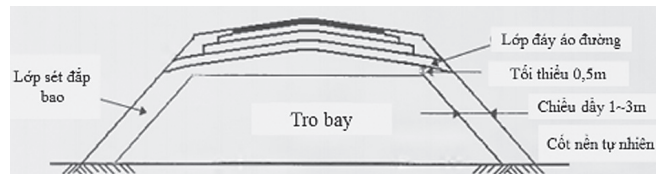


Hình 1.1: Hình dạng hạt tro xỉ điển hình của NMNĐ đốt than phun [2]

Trên thế giới, Ấn Độ đã sử dụng tro bay nhiệt điện như là vật liệu để đắp nền trực tiếp theo sơ đồ như Hình 1.2 với hai phương pháp thi công khác nhau, phương pháp đắp xen kẽ một lớp đất một lớp tro xỉ hoặc phương pháp đắp tro xỉ dạng lõi. Tùy theo chiều cao nền đường nhưng thực tế thi công có thể đắp trực tiếp bằng tro xỉ lên tới 3 m/lớp [5]. Theo đó, với 1 km đường cấp IV, bề rộng nền 9 m, chiều cao đắp trung bình 3 m, ta-luy 1:1,5, lượng tro xỉ sử dụng có thể lên tới 80.000 tấn.



a) - Phương pháp đắp xen kẽ lớp đất, lớp tro bay



b) - Phương pháp đắp tro bay dạng lõi

Hình 1.2: Yêu cầu đối với tro xỉ khi sử dụng đắp nền đường ô tô [5]

Tại Việt Nam, việc sử dụng tro xỉ trong xây dựng công trình giao thông mới dừng ở nghiên cứu lý thuyết, trong đó điển hình là các nghiên cứu của Trường Đại học Xây dựng Hà Nội và Trường Đại học GTVT. Các nghiên cứu này chủ yếu tập trung ở việc sử dụng tro bay để kết hợp cùng xi măng phục vụ gia cố đất, cát mịn. Hàm lượng tro bay sử dụng trong khoảng từ 5 - 15% khối lượng đất, kết hợp với tỷ lệ xi măng từ 3 - 5% [6, 7]. Bên cạnh đó, có thể sử dụng một hàm lượng tro bay nhất định trong chế tạo bê tông đầm lăn phục vụ xây dựng mặt đường ô tô cấp thấp. Bài báo tập trung vào việc nghiên cứu lý thuyết khả năng ứng dụng loại vật liệu tro xỉ này áp dụng trong xây dựng các công trình giao thông ở Việt Nam.

2. CƠ SỞ LÝ THUYẾT VỀ THÀNH PHẦN CẤP PHỐI CỦA VẬT LIỆU DẠNG HẠT

2.1. Nghiên cứu ảnh hưởng của thành phần hạt

Thành phần cấp phối là tỷ lệ phối hợp giữa các nhóm cỡ hạt có mặt trong một tập hợp vật liệu hạt đem sử dụng. Thành phần hạt được biểu thị bằng các đặc trưng sau: Cỡ hạt lớn nhất D có mặt trong tập hợp hạt (mm); tỷ lệ % tính theo tổng khối lượng vật liệu hạt của mỗi nhóm cỡ hạt d_i/

d_{i+1} có mặt trong tập hợp hạt 0/D, trong đó đặc biệt chú trọng đến tỷ lệ % của cỡ hạt mịn $d \leq 0,074$ mm.

Thành phần cấp phối của vật liệu hạt có ảnh hưởng quyết định đến độ chặt, đến việc hình thành đến cường độ và tính ổn định bền vững của lớp kết cấu áo đường cũng như tạo điều kiện để lớp kết cấu này đáp ứng được các yêu cầu khác tùy thuộc chức năng mà lớp kết cấu đó phải đảm nhận. Ngoài ra, thành phần cấp phối còn trực tiếp ảnh hưởng đến tính dễ hay khó đầm nén chặt của lớp kết cấu trong quá trình thi công và do đó ảnh hưởng đến việc lựa chọn công nghệ thi công thích hợp.

Tỷ lệ các cỡ hạt từ lớn đến nhỏ, nếu thay đổi liên tục và phân bố đều thì cỡ hạt nhỏ hơn sẽ có khả năng chèn đầy các lỗ rỗng giữa các cỡ hạt lớn hơn nó và nhờ vậy có khả năng tạo ra được một hỗn hợp có độ chặt lớn nhất (độ rỗng nhỏ nhất). Trong đó, nếu tỷ lệ hạt mịn $d \leq 0,074$ mm không đủ chèn đầy lỗ rỗng thì độ chặt của hỗn hợp vật liệu hạt thấp, nhưng tính thoát nước cao; cường độ của lớp kết cấu lúc này chủ yếu dựa vào sức ma sát giữa các hạt và khi thi công đầm nén chặt phải chọn các loại công cụ nặng với công đầm nén lớn.

2.2. Nghiên cứu ảnh hưởng của độ sạch

Các hạt nhỏ và mịn là sét, bùn bần hoặc hạt bở và các tạp chất hữu cơ, nếu lẫn vào hoặc dính bám vào vật liệu hạt thì sẽ giảm cường độ của lớp vật liệu hạt khi gặp nước, đồng thời làm giảm khả năng dính bám của hạt với các chất liên kết vô cơ hoặc hữu cơ. Do vậy, khi sử dụng làm các lớp kết cấu áo đường bằng hỗn hợp vật liệu hạt (có hay không sử dụng thêm chất liên kết) thì đều đòi hỏi hỗn hợp phải có độ sạch nhất định.

Chỉ số dẻo và giới hạn nhão của cỡ hạt $d \leq 0,425$ mm (sàng vuông) hoặc $d \leq 0,5$ mm (sàng tròn) có mặt trong hỗn hợp hạt sử dụng được lấy làm đặc trưng cho chỉ số dẻo và giới hạn nhão của hỗn hợp hạt sử dụng. Nếu các đặc trưng này càng lớn thì thành phần hạt nhỏ trong cấp phối hạt càng nhiều sét hoặc càng nhiều bụi bần.

Hàm lượng hạt bụi, sét: Chỉ tiêu này là tỷ lệ % khối lượng hạt bụi, sét dính bám trên bề mặt hoặc lẫn trong hỗn hợp vật liệu hạt so với khối lượng toàn bộ mẫu hỗn hợp được đem thí nghiệm rửa sạch.

Hàm lượng cát tương đương lúc này được tính theo công thức:

$$ES = 100 \frac{h_2}{h_1} \quad (1)$$

Trong đó: h_2 - Chiều cao phần hạt cát sạch trong ống nghiệm; h_1 - Chiều cao của cả phần cát sạch, cộng với chiều cao phần nước đục có chứa bụi sét.

Như vậy, nếu trị số ES càng lớn thì vật liệu càng sạch. Thông thường, nếu $ES \geq 30$ thì bụi bần không thuộc loại sét.

3. NGHIÊN CỨU LÝ THUYẾT CẤP PHỐI CÓ ĐỘ CHẶT LỚN NHẤT VÀ CÁCH TẠO RA VẬT LIỆU DẠNG HẠT CÓ THÀNH PHẦN CẤP PHỐI THÍCH HỢP

Độ chặt sau khi lu lèn của lớp kết cấu áo đường bằng vật liệu hạt càng lớn thì cường độ (khả năng chống biến dạng) của nó càng cao. Do vậy, trên thế giới, các nhà chuyên môn từ lâu đã đặt vấn đề nghiên cứu tỷ lệ phối

hợp giữa các cỡ hạt có kích cỡ khác nhau như thế nào để có thể tạo nên được một hỗn hợp vật liệu hạt có độ chặt lớn nhất sau khi chúng được đầm nén. Để đạt mục tiêu nghiên cứu này, một số tác giả đã dựa vào các mô hình lý thuyết miêu tả các viên bi tròn đường kính nhỏ chèn vào khe rỗng giữa các viên bi có đường kính lớn hơn như Fuller, talbot hay Weymouth để từ đó đưa ra cách xác định thành phần cấp phối hạt có khả năng đạt được độ chặt lớn nhất.

3.1. Đường cong cấp phối lý tưởng theo mô hình lý thuyết

Theo Fuller, để cấp phối đạt độ chặt lớn nhất thì đường cong biểu thị thành phần cấp phối nên là một đường cong liên tục dạng parabol có dạng sau:

$$p^2 = p \times d \quad (2)$$

Trong đó: p - Tỷ lệ % hạt lọt qua lỗ sàng có kích cỡ d (mm); p - Hệ số;

Như vậy, nếu có d_1 là cỡ sàng lớn nằm trên liền kề với cỡ sàng d_2 nằm dưới nó thì ta có tỷ số giữa % lọt qua cỡ sàng d_2 (p_2) với % lọt qua cỡ sàng d_1 (p_1) là:

$$K = \frac{p_2}{p_1} = \frac{\sqrt{p \cdot d_2}}{\sqrt{p \cdot d_1}} = \sqrt{\frac{d_2}{d_1}} \quad (3)$$

Trong trường hợp cỡ sàng nằm dưới có kích thước bằng 1/2 cỡ sàng nằm trên thì $d_2/d_1 = 1/2$, lúc đó hệ số K được gọi là hệ số khối lượng giảm dần của đường cong biểu diễn thành phần cấp phối và trong trường hợp này (theo lý thuyết của Fuller) thì:

$$K = \sqrt{\frac{1}{2}} = 0,707$$

Với hệ số khối lượng giảm dần đã biết, ta có thể dễ dàng biểu diễn đường cong cấp phối lý thuyết của Fuller trên đồ thị có tọa độ bán logarit; lúc này tương ứng với cỡ hạt lớn nhất D , % lọt qua sàng sẽ là $p_d = 100\%$ và tiếp theo cỡ hạt $d_1 = D/2$ sẽ có % lọt qua sàng $p_{d_1} = K \cdot 100 = 0,707 \times 100 = 70,7\%$, cỡ sàng $d_2 = d_1/2$ sẽ có tỷ lệ % lọt qua sàng là $p_{d_2} = 70,7 \times K = 70,7 \times 0,707 \approx 50\%$.

Theo nghiên cứu của Talbot thì để đạt độ chặt lớn nhất, thành phần cấp phối phải thỏa mãn quan hệ toán học dưới đây:

$$P = \left(\frac{d}{D}\right)^n \times 100 \quad (4)$$

Trong đó: P - Tỷ lệ % lọt qua lỗ sàng d (mm); D - Cỡ hạt lớn nhất (mm); n - Chỉ số mũ, thông thường $n = 0,3 \div 0,5$.

Từ (4) ta có thể dễ dàng suy ra khi $d/D = 1/2$ thì hệ số khối lượng giảm dần K sẽ bằng: $K = \left(\frac{1}{2}\right)^{0,3-0,5}$, tức là $K = 0,56 \div 0,707$.

Theo mô hình, các viên bi tròn nhỏ chèn đầy khe rỗng giữa các viên bi tròn to hơn nó (mô hình Weymouth) cho thấy, để đạt độ chặt lớn nhất, thành phần cấp phối cần có hệ số giảm dần $K = 0,704$.

Như vậy, các mô hình lý thuyết đều cho đường cong cấp phối có độ chặt lớn nhất là đường cong biểu thị trên đồ thị tọa độ bán logarit với hệ số khối lượng giảm dần giữa các cỡ hạt liền kề giảm đi 1/2 cần $K = 0,7$. Riêng theo nghiên cứu của Talbot thì đường cong này có thể nằm trong phạm vi bị chặn bởi đường cong tương ứng với $K = 0,56$ và đường cong tương ứng $K = 0,704$.

3.2. Các loại đất đắp nền đường

Đất, đá là vật liệu chủ yếu để xây dựng nền đường, kết cấu của nền mặt đường và sự làm việc của công trình đường phụ thuộc rất nhiều vào tính chất của đất. Trong xây dựng nền đường, để hạ giá thành xây dựng thường dùng loại đất tại chỗ để đắp nền đường. Cường độ và độ ổn định của nền đường phụ thuộc vào loại đất và cường độ của đất.

Cỡ hạt đất càng lớn thì đất có cường độ càng cao, tính mao dẫn càng thấp, tính thấm và thoát nước tốt, ít hoặc không nở khi gặp nước cũng như ít hoặc không co khi khô. Những tính chất này khiến cho loại đất chứa nhiều cỡ hạt lớn có tính ổn định nước tốt, tuy nhiên nó có nhược điểm lớn là tính dính và tính dẻo kém. Cỡ hạt đất càng nhỏ thì các tính chất trên ngược lại. Bảng 3.1 và Bảng 3.2 đưa ra các phân loại cát, đất dính theo chỉ số dẻo được quy định trong TCVN 5747-1993 kèm theo đánh giá khả năng áp dụng xây dựng nền đường.

Bảng 3.1. Khả năng sử dụng vật liệu cát trong xây dựng nền đường

Loại cát	Tỷ lệ hạt theo kích cỡ (% khối lượng)	Chỉ số dẻo	Khả năng sử dụng để xây dựng nền đường
Cát sỏi	hạt >2 mm chiếm 25 - 50%	<1	Rất thích hợp nhưng phải có lớp bọc mái ta-luy
Cát to	hạt >0,5 mm chiếm >50%	<1	Thích hợp nhưng phải có lớp bọc mái ta-luy
Cát vừa	hạt >0,25 mm chiếm >50%	<1	Thích hợp nhưng phải có lớp bọc mái ta-luy
Cát nhỏ	hạt >0,10 mm chiếm >75%	<1	Thích hợp nhưng phải có lớp bọc mái ta-luy
Cát bụi	hạt >0,05 mm chiếm >75%	<1	Ít thích hợp

Bảng 3.2. Khả năng sử dụng vật liệu đất dính trong xây dựng nền đường

Loại đất	Tỷ lệ hạt cát (2 - 0,05 mm) có trong đất (% khối lượng)	Chỉ số dẻo	Khả năng sử dụng để xây dựng đường
Á cát nhẹ, hạt to	>50	1 - 7	Rất thích hợp
Á cát nhẹ	>50	1 - 7	Thích hợp
Á cát bụi	20 - 50	1 - 7	Ít thích hợp
Á cát bụi nặng	<20	1 - 7	Không thích hợp
Á sét nhẹ	>40	7 - 12	Thích hợp
Á sét nhẹ bụi	<40	7 - 12	Ít thích hợp
Á sét nặng	>40	12 - 17	Thích hợp
Á sét nặng bụi	<40	12 - 17	Ít thích hợp
Sét nhẹ	>40	17 - 27	Thích hợp
Sét bụi	không quy định	17 - 27	Ít thích hợp
Sét béo	không quy định	>27	Không thích hợp

4. KẾT LUẬN

Việc nghiên cứu sử dụng tro xỉ từ các NMNĐ trong xây dựng công trình nền đường ô tô mặc dù chưa phổ biến ở nước ta, nhưng có đủ cơ sở thực tiễn và khoa học. Nền đường là các công trình có khả năng tiêu thụ rất lớn tro xỉ, với khối lượng lên tới hàng triệu tấn mỗi 100 km. Phạm vi sử dụng tro xỉ trong xây dựng nền đường có thể xếp vào hai nhóm: Sử dụng trực tiếp hoặc phối trộn với vật liệu khác để đắp nền đường hoặc sử dụng kết hợp với chất liên kết vô cơ để gia cố nền đường, đặc biệt là khu vực đất yếu.

Tài liệu tham khảo

- [1]. Lê Việt Hùng và cộng sự (2014), *Tình hình phát thải, xử lý và sử dụng tro xỉ nhiệt điện tại Việt Nam*, Báo cáo Hội thảo "Phát triển điện than và các giải pháp bảo vệ môi trường tại Việt Nam", Cần Thơ.
- [2]. Bộ Xây dựng (2017), *Nghiên cứu sử dụng tro xỉ nhiệt điện trong xây dựng công trình nền và mặt đường giao thông*, Đề tài nghiên cứu khoa học cấp Bộ.

[3]. Bộ Công thương (2012), *Quyết định số 5964/QĐ-BCT ngày 09/10/2012 về Đề án cấp than cho các NMNĐ*.

[4]. Thủ tướng Chính phủ (2016), *Quyết định số 428/QĐ-TTg ngày 18/3/2016 về Phê duyệt Quy hoạch điện VII*.

[5]. Indian Road Congress (2001), *Guidline for use fly ash in road embankments*, IRC:SP:58-200, New Delhi.

[6]. Bùi Tuấn Anh (2016), *Nghiên cứu sử dụng hợp lý tro thải của NMNĐ đốt than trong xây dựng đường ô tô*, Luận án Tiến sĩ kỹ thuật, Trường Đại học GTVT.

[7]. Bộ Khoa học và Công nghệ (2014), TCVN 10302:2014, *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng*.

Ngày nhận bài: 01/11/2024

Ngày nhận bài sửa: 15/11/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/11/2024