

Bê tông dẻo trong xây dựng công trình giao thông và nghiên cứu định hướng ứng dụng cho đường sắt tốc độ cao

■ PGS. TS. NGUYỄN THANH SANG; TS. MAI TIẾN CHINH; ThS. LÊ QUANG HƯNG^(*)

Trường Đại học Giao thông vận tải

Email: ^(*)hunglq_ds@utc.edu.vn

TÓM TẮT: Vật liệu bê tông xi măng có những thành tựu vượt bậc trong những thập kỷ gần đây. Các thành tựu điển hình là bê tông cường độ cao (HSC), tính năng cao (HPC), tự đầm (SCC), siêu tính năng (UHPC)... và hướng đến vật liệu bê tông có ứng xử cơ học gần tương tự như vật liệu kim loại (tính dẻo, chịu va đập). Vật liệu bê tông composite gốc xi măng được biết với tên gọi là ECC (Engineered Cementitious Composite) với các tính năng vượt trội như: Độ chảy cao, cấu trúc hạt mịn dễ tạo hình, cường độ chịu kéo cao nên không cần bố trí hoặc rất ít cốt thép cho các cấu trúc thanh mảnh. Các ứng dụng ECC đã được khẳng định trong các công trình thực tế ở nước ngoài, tuy nhiên ở Việt Nam mới chỉ bước đầu tiếp cận nghiên cứu. Bài báo giới thiệu một số đặc điểm cơ bản của ECC và ứng dụng của nó trong xây dựng công trình giao thông, đồng thời định hướng nghiên cứu ứng dụng ECC xây dựng đường sắt tốc độ cao theo điều kiện ở Việt Nam gắn với mục tiêu phát triển bền vững.

TỪ KHÓA: Bê tông dẻo, cường độ chịu kéo cao, đường sắt tốc độ cao, độ chảy cao, tính dẻo cao.

ABSTRACT: Cement-based concrete materials have made remarkable achievements in recent decades. Notable achievements include high-strength concrete (HSC), high-performance concrete (HPC), self-compacting concrete (SCC), ultra-performance concrete (UHPC), etc., with a trend towards concrete materials exhibiting mechanical properties similar to metals (plasticity, impact resistance). Engineered Cementitious Composite materials (ECC) with outstanding features such as: high flowability, fine-grained structure for easy shaping, high tensile strength, so little or no reinforcement is required in slender structures. Applications of ECC have been proven in real-world projects abroad, but in Vietnam, research on this material is still in its early stages. This paper introduces some fundamental characteristics of ECC and its applications in transportation

infrastructure, while also outlining research direction for applying ECC in high-speed railway construction under Vietnamese conditions, aligned with the goal of sustainable development.

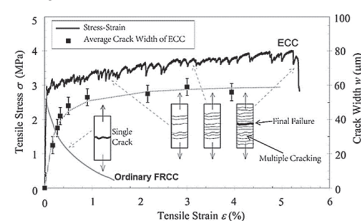
KEYWORDS: Engineered cementitious composite, high tensile strength, high speed rail, high flowability, high plasticity.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

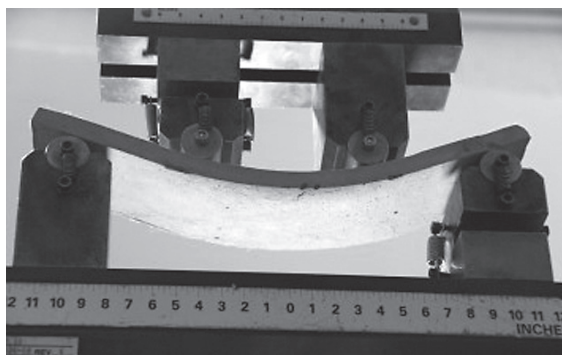
Bê tông xi măng là vật liệu chính trong công nghiệp xây dựng với khả năng chịu tải tốt, đặc biệt là chịu tải trọng nén. Nhược điểm của bê tông thông thường là khả năng chịu kéo kém, nó dễ bị phá hoại dưới tải trọng kéo. Do đó, nâng cao cường độ chịu kéo của bê tông luôn là vấn đề được quan tâm nghiên cứu. Bê tông dẻo ECC được coi là thế hệ bê tông tiên tiến với các đặc tính khác biệt của nó so với bê tông thông thường là độ dẻo dai và biến dạng lớn hơn nhiều. Nghiên cứu này trình bày tính chất của bê tông ECC cũng như các ứng dụng của nó trong những năm gần đây trên thế giới trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông. Trên cơ sở đó, đề xuất định hướng nghiên cứu để ứng dụng vật liệu bê tông ECC trong xây dựng công trình giao thông ở Việt Nam nói chung và lĩnh vực xây dựng đường sắt tốc độ cao nói riêng.

2. MỘT SỐ TÍNH NĂNG CƠ BẢN CỦA BÊ TÔNG ECC

Bê tông ECC là một loại bê tông chất lượng cao đặc biệt gốc xi măng composite sử dụng cốt sợi. Một số đặc điểm cơ bản khác biệt của ECC so với bê tông thông thường: Tính dẻo rất cao; có ứng xử biến dạng giống như vật liệu kim loại dẻo; biến dạng khi kéo trực tiếp có thể đạt hơn 4% và tới 12%, ECC thể hiện khả năng chịu uốn rất cao và chỉ xuất hiện vết nứt li ti, phân bố đều và hạn chế độ mở rộng.



Ứng xử kéo trực tiếp của bê tông ECC [1]



Thí nghiệm uốn 4 điểm tấm bê tông ECC
(độ dẻo gấp 300 - 500 lần so với bê tông thông thường)
Hình 2.1: Đặc điểm cơ bản và khác biệt của bê tông ECC so với bê tông thông thường

Cường độ của ECC từ 30 đến 100 MPa. Mô-đun đàn hồi của ECC khoảng 20 đến 35 GPa. Thành phần của bê tông ECC gồm: Xi măng, tro bay, cát mịn, phụ gia giảm nước, sợi các loại. Bê tông ECC có độ chảy cao có thể thi công dạng như tự đầm. Hiện nay, ECC đang được nghiên cứu phát triển và ứng dụng trong thực tế, nhất là trong lĩnh vực xây dựng công trình giao thông.

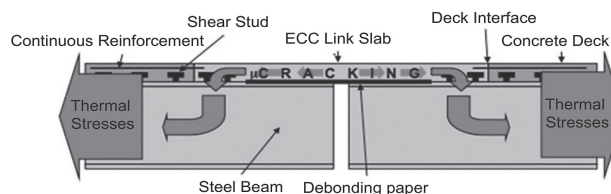
3. ỨNG DỤNG CỦA BÊ TÔNG ECC TRONG XÂY DỰNG CÔNG TRÌNH GIAO THÔNG

Bê tông ECC được nghiên cứu cách đây hơn 3 thập kỷ, đầu tiên được đề cập đến thông qua nhóm nghiên cứu IPC (Aveston et al năm 1971), sau đó được nghiên cứu sâu và phổ biến rộng rãi thông qua những kết quả của nhóm do Giáo sư Victor Li làm trưởng nhóm [2], ECC được tạo thành từ xi măng poóc-lăng, cát (0,15 - 0,25 mm), tro bay (Loại F) với sợi Polypropylene (PP) theo các tỷ lệ khác nhau: 0%, 0,25%, 0,5%, 0,75%, 1,0%. Độ bền kéo của ECC được đo bằng cách thử mẫu trụ kích thước (100x200)mm. Kết quả thử nghiệm cho thấy độ bền kéo tăng 111,40% với 0,5% sợi PP ở ECC 1:1:1 và mức tăng 74,74% ở ECC 1:0,8:1,2, sợi PP 1%. Nghiên cứu chỉ ra rằng bê tông ECC có thể thay thế bê tông thông thường với khả năng chịu biến dạng cao hơn.

Các ứng dụng của bê tông ECC trong lĩnh vực chế tạo cấu kiện lắp ghép, thi công toàn khối hay sửa chữa gia cố công trình giao thông được trình bày sau đây:

3.1. Mặt cầu và tấm liên kết mặt đường

Một giải pháp khả thi cho vấn đề khe co giãn là sử dụng tấm liên kết ECC thay thế khe co giãn và một phần của các tấm bê tông liên kết [3]. Bản liên kết ECC có chức năng thích ứng với các chuyển vị co giãn của mặt cầu thông qua biến dạng của vật liệu ECC. Biến dạng này phụ thuộc vào khoảng cách giữa các mối nối và chuyển vị do nhiệt độ, kích thước dọc của bản liên kết, các biến dạng do co ngót của ECC và tải trọng phương tiện. Đối với kích thước hợp lý của bản liên kết, yêu cầu biến dạng được tính toán vượt quá 1%. Không có loại bê tông nào, có cốt thép hay không có thể thích ứng với lượng biến dạng kéo này. Về độ bền, yêu cầu chiều rộng vết nứt dưới 0,1 mm. ECC có thể đáp ứng các yêu cầu của bản liên kết này.



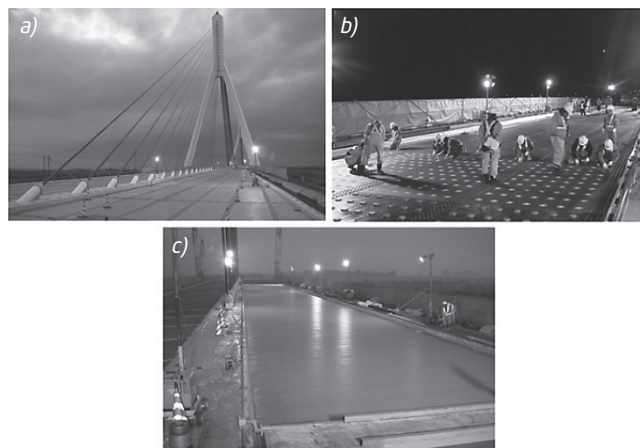
Hình 3.1: Sử dụng tấm liên kết ECC để thay thế khe co giãn

Để kiểm tra độ bền của bản liên kết dưới tác dụng tải trọng, tiến hành thử nghiệm mỏi của bản liên kết [4]. Kết quả cho thấy, sau hơn 100.000 chu kỳ tải, độ cứng của bản liên kết không bị suy giảm. Tuy nhiên, quan sát thấy nhiều vết nứt với chiều rộng vết nứt được duy trì dưới 0,05 mm, thấp hơn đáng kể so với giới hạn AASHTO. Kết quả ở bản liên kết đối chứng bằng bê tông thông thường cho thấy, chiều rộng vết nứt tăng lên hơn 0,6 mm, mặc dù vẫn duy trì độ cứng trong các chu kỳ tải.

Bản liên kết ECC đầu tiên trên thế giới dày 225 mm, dài 5,5 m và rộng 20,25 m, trên một mặt cầu ở miền Nam Michigan tại Mỹ năm 2005. Một ứng dụng tương tự khác của bản liên kết ECC đã được áp dụng trên đường cao tốc đô thị tại Nhật Bản [5] để giảm tiếng ồn so với các khe co giãn thông thường.

3.2. Bản mặt cầu

Bê tông ECC được ứng dụng sớm xây dựng cầu dây văng Mihara ở Hokkaido, Nhật Bản vào năm 2004 - 2005 [6, 7]. Bản liên kết ECC-thép sử dụng để giảm tải trọng khoảng 40% và giảm 50% chi phí. ECC được sử dụng để cải thiện độ cứng của sàn và tăng cường khả năng chống mỏi của thép sàn. Cầu có chiều dài 972 m, với nhịp cầu 340 m. Diện tích sàn là 20.000 m² dùng 800 m³ ECC có độ dày 38 mm. Sau khi hoàn thành sàn thép (Hình 3.2a), các đinh neo FRP đã được lắp đặt (Hình 3.2b) kết nối lớp phủ ECC với sàn thép bên dưới.



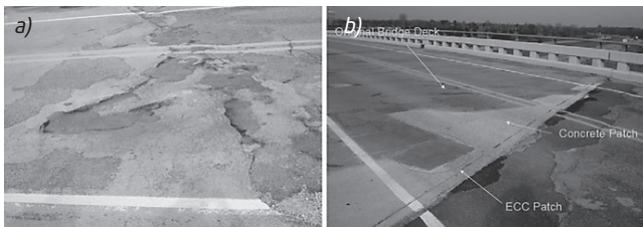
Hình 3.2: Xây dựng cầu Mihara: a) - Sàn thép; b) - Các neo được lắp đặt phía trên màng chống thấm nước polyme trên sàn thép; c) - Sau khi đổ ECC. Cầu không sử dụng khe co giãn

3.3. Lớp bê tông lót vỏ đường hầm

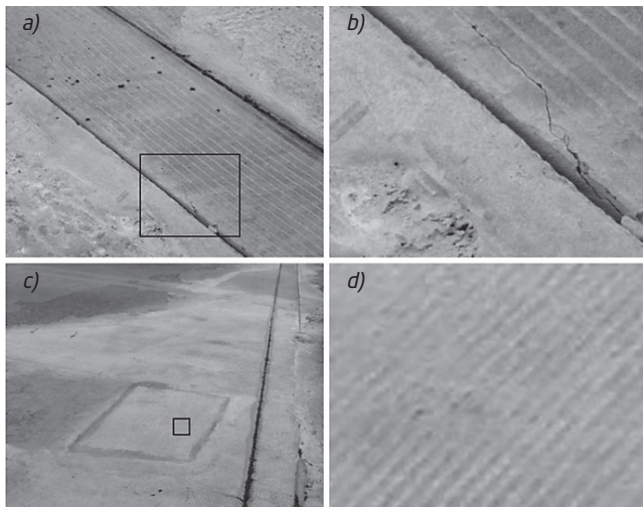
Bê tông lót lót đường hầm phải có khả năng biến dạng kéo cao và độ thấm nước thấp. Ngoài ra, khả năng chống cacbonat hóa tốt và độ bền đóng-tan băng. ECC đã được sử dụng cho việc cải tạo, sửa chữa 10 đường hầm ở Nhật Bản [8].

Đường hầm đường sắt JR Ten-nou đường kính 8,6 m,

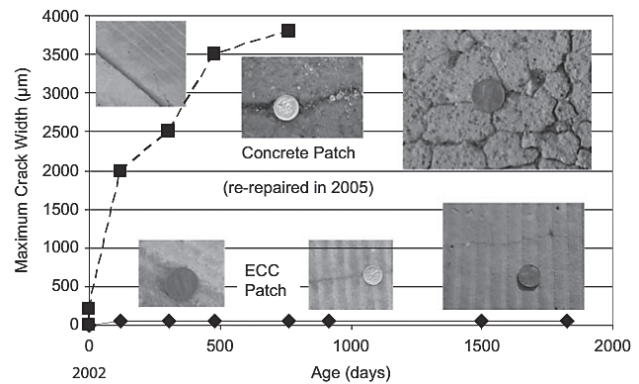
phương tiện và điều kiện môi trường chính là ECC. Để xác nhận khả năng chống tách lớp, Li và Li [11] đã nghiên cứu thực nghiệm quá trình phá hủy của vữa nhiều lớp FRC và ECC trên nền bê tông chịu điều kiện sấy khô. Họ kết luận rằng, ECC có khả năng chống tách lớp cao hơn đáng kể so với nền bê tông xét về chiều dài và độ mở của vết nứt tách lớp. Zhou và cộng sự [12] cũng đưa ra kết luận tương tự bằng cách sử dụng một mô hình lý thuyết. Ở Đông Nam Michigan năm 2002, miếng vá ECC hình chữ nhật là một phần trong miếng vá lớn sử dụng vật liệu sửa chữa bê tông thông thường được đổ một ngày trước khi đặt ECC. Hình 3.8 cho thấy tình trạng của mặt cầu trước khi sửa chữa và ngay sau khi sửa chữa. Hai miếng vá được theo dõi về sự phát triển chiều rộng vết nứt theo thời gian, 2 ngày sau khi sửa chữa, phát hiện vết nứt của miếng vá vữa với chiều rộng khoảng 0,3 mm; không thấy vết nứt nào ở mảng ECC (Hình 3.9). Sau đó, chiều rộng vết nứt vữa liên tục tăng lên đến 3,8 mm sau khoảng hai năm rưỡi sửa chữa (Hình 3.10), khi mảng bê tông được đục bỏ và sửa chữa lại do hư hỏng nghiêm trọng bao gồm cả bong tróc. Ngược lại, chỉ thấy vết nứt nhỏ ở mảng ECC, với chiều rộng vết nứt được duy trì ở mức không đổi là 50 μm thời điểm 1.800 ngày sau khi sửa chữa, khi toàn bộ mặt cầu được thay thế. Thực tế này cho thấy, việc sửa chữa và bằng ECC có thể sử dụng thiết bị đổ vữa thông thường, đồng thời cũng chứng minh độ bền của vật liệu chịu tải trọng phương tiện giao thông kết hợp với điều kiện môi trường (đóng băng - tan băng).



Hình 3.8: Tình trạng: a) - Trước sửa chữa; b) - Sau khi vá và sửa trên mặt cầu ở Đông Nam Michigan



Hình 3.9: Hai ngày sau khi sửa chữa: a) và b) - Có thể thấy vết nứt co ngót trong vữa và sửa chữa thông thường; c) và d) - Không thấy vết nứt nào trong ECC



Hình 3.10: Phát triển chiều rộng vết nứt theo thời gian đối với các miếng vá và sửa chữa bằng bê tông thông thường và ECC

3.7. Ứng dụng trong cầu đường sắt khung cứng

Để đảm bảo kết cấu bê tông ứng xử tốt với tải trọng động đất, xu hướng là tăng tỷ lệ cốt thép. Tuy nhiên, mật độ cốt thép lớn sẽ gây khó khăn cho việc đổ bê tông. Với mong muốn giảm cốt thép ngang trong các kết nối khớp dầm - cột của cầu đường sắt khung cứng (Hình 3.11), Zhang và cộng sự [13] đã nghiên cứu việc sử dụng ECC dẻo để bù cho việc giảm tỷ lệ cốt thép. Kết quả cho thấy rằng dầm bê tông với cốt thép chống cắt 0,12% có khả năng chịu cắt cao hơn 7,7% so với dầm có cốt thép chống cắt 0,42%. Khi thử nghiệm kết nối dầm - cột dưới tải trọng tuần hoàn ngược, họ nhận thấy rằng các mẫu với cốt thép cắt giảm duy trì khả năng chịu tải và độ dẻo của kết cấu, đồng thời tiêu tán nhiều năng lượng hơn. Như vậy, việc sử dụng ECC có thể làm giảm số lượng đai thép cần thiết trong các kết nối dầm - cột của cầu đường sắt khung cứng, đồng thời cải thiện khả năng làm việc và tính kinh tế.



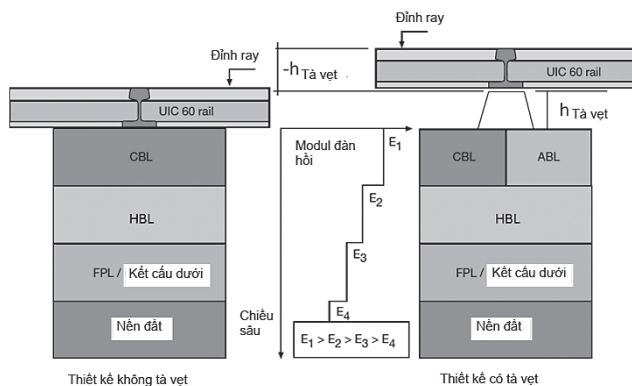
Hình 3.11: Cầu đường sắt khung cứng với các kết nối cột - dầm được thay thế bằng ECC

4. NGHIÊN CỨU ĐỊNH HƯỚNG ỨNG DỤNG TRONG XÂY DỰNG ĐƯỜNG SẮT TỐC ĐỘ CAO Ở VIỆT NAM

Trong bối cảnh nước ta chuẩn bị triển khai xây dựng đường sắt tốc độ cao trên trục Bắc - Nam thì việc lựa chọn loại hình kết cấu đường (có đá/không đá ballast) đáp ứng các chỉ tiêu kinh tế - kỹ thuật, phù hợp với những điều kiện, đặc điểm của Việt Nam là hết sức cần thiết. Kinh nghiệm xây dựng vận hành đường sắt của các nước đã chỉ ra kết cấu đường sắt không đá có nhiều ưu điểm, phù hợp hơn với những tuyến đường có mật độ chạy tàu lớn như đường sắt tốc độ cao hay đường sắt đô thị, ở đó công việc bảo dưỡng

thường xuyên và sửa chữa là rất khó khăn.

Cấu tạo cơ bản của đường không đá bao gồm 5 lớp (Hình 4.1) từ dưới lên gồm: Lớp móng dưới hoặc lớp nền móng, lớp bảo vệ sương giá (FPL), lớp đệm (HBL), lớp chịu lực (bản bê tông/asphalt - CBL/ABL), tà vẹt và ray.



Hình 4.1: Mặt cắt của các thiết kế đường sắt không đá

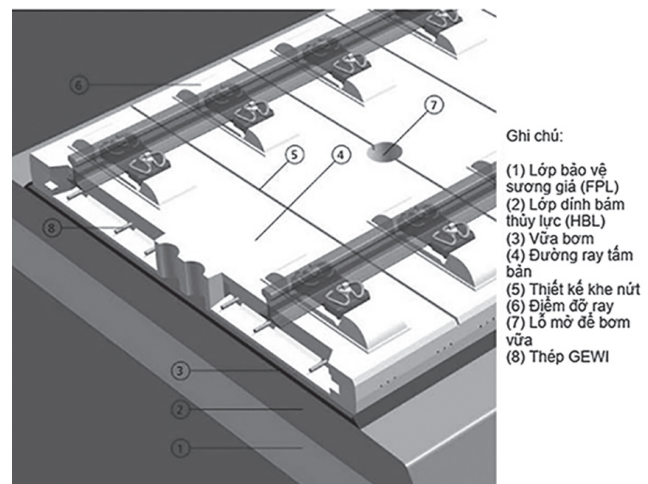


Hình 4.2: Đường sắt có đá

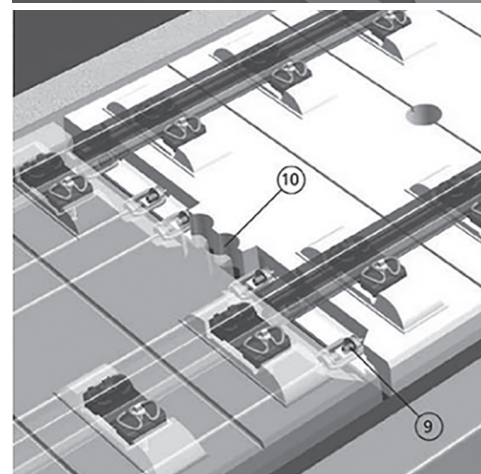


Hình 4.3: Đường sắt không đá

Loại hình kết cấu tấm bản là khá phổ biến (J-slab, Max Bolg, OBB Porr...), tuy nhiên kết cấu dạng này yêu cầu kết cấu dưới tấm bản bê tông chịu lực phải có cường độ và độ ổn định cao, nếu đi qua khu vực nền đường yếu không được gia cố xử lý thích hợp thì các tấm bản sẽ rất dễ bị nứt vỡ.



- Ghi chú:
- (1) Lớp bảo vệ sương giá (FPL)
 - (2) Lớp dính bám thủy lực (HBL)
 - (3) Vữa bơm
 - (4) Đường ray tấm bản
 - (5) Thiết kế khe nứt
 - (6) Đệm đỡ ray
 - (7) Lỗ mở để bơm vữa
 - (8) Thép GEWI



- Ghi chú:
- (9) Tầng đỡ và đầu bu lông
 - (10) Khe nối thi công

Hình 4.4: Hệ thống BÖGL



Hình 4.5: Hệ thống J-slab (cải tiến)

Với khả năng chịu kéo vượt trội so với bê tông thông thường, ứng dụng tấm bản bê tông ECC để làm kết cấu đỡ ray đường sắt tốc độ cao ở những khu vực nền đường mềm yếu, kém ổn định... sẽ là giải pháp hữu hiệu. Vì vậy, việc nghiên cứu ứng dụng bê tông dẻo ECC làm kết cấu đường không đá dăm tấm bản là một hướng nghiên cứu hoàn toàn khả thi.

5. TIỀM NĂNG SẢN XUẤT ECC TỪ NGUỒN VẬT LIỆU SẴN CÓ Ở VIỆT NAM

Việt Nam là một quốc gia biển, trữ lượng cát mịn ở các tỉnh ven biển là rất lớn: Quảng Ninh đang dự kiến khai thác khoảng 10 triệu m³ để làm xây dựng; Hà Tĩnh có khoảng 38 tỷ m³, Quảng Bình có khoảng 60 tỷ m³ cát chưa được khai thác và nhiều tỉnh miền Trung khác; các tỉnh đồng bằng sông Cửu Long hàng trăm triệu m³ hàng năm. Thêm vào đó, một lượng lớn phế thải công nghiệp ở Việt Nam chưa được sử dụng: Lượng tro bay từ các nhà máy nhiệt điện hàng năm vào khoảng 25 triệu tấn, đến năm 2030 lượng tro bay thải ra là 40 triệu tấn; lượng xỉ lò cao từ các nhà máy gang thép vào khoảng 1,5 triệu tấn hàng năm. Đó là điều kiện tốt về vật liệu cần thiết nghiên cứu trong việc chế tạo ECC và ứng dụng ECC vào công trình.

Ngày nay, để phù hợp với xu thế phát triển bền vững, các công trình thường được tính toán, xây dựng với mục đích đạt được các lợi ích sử dụng lâu dài. Các nghiên cứu trên cho thấy các tính năng ưu việt của ECC cũng như tiềm năng sử dụng nguồn phong phú cát mịn, tro bay trong chế tạo ECC ứng dụng trong công trình giao thông và nhất là định hướng cho đường sắt tốc độ cao Việt Nam là rất khả thi và cần thiết.

6. KẾT LUẬN

Bê tông ECC (Engineered Cementitious Composite) là loại vật liệu composite sợi gốc xi măng siêu bền với độ dẻo cao. ECC với nhiều ưu điểm về tính năng cơ học, độ bền theo thời gian cũng như tính công tác tốt đã mang đến nhiều tính năng có lợi cho kết cấu so với bê tông thông thường. Đặc biệt, với cấu trúc hạt mịn và ứng xử cơ học tương tự như kim loại nên đáp ứng tốt trong công nghệ chế tạo các cấu kiện bê tông thanh mảnh hơn, bố trí cốt thép ít hơn/đơn giản hơn, chịu các tác động đặc biệt tốt hơn như va chạm, mài mòn, động đất... Nhiều công trình đã sử dụng ECC và đã chứng minh được tiềm năng to lớn của loại vật liệu này. Việc nghiên cứu ứng dụng tấm bản bê tông ECC để làm kết cấu đỡ ray đường sắt tốc độ cao là một định hướng nghiên cứu rất đáng được quan tâm. Đồng thời, việc nghiên cứu sản xuất bê tông ECC gắn liền với tận dụng vật liệu sẵn có như cát mịn, tro bay ở Việt Nam cũng là hướng đi đáp ứng xu hướng phát triển bền vững.

Tài liệu tham khảo

[1]. Li, V.C., Engineered Cementitious Composites (ECC)

(2008), *Material, structural and durability performance, in Concrete Construction Engineering Handbook*, E. Nawy, Editor, CRC Press: Boca Raton, USA.

[2]. Li, V.C., (2008), *Engineered Cementitious Composites (ECC) Material, Structural and Durability Performance*, Concrete Construction Engineering Handbook, in Concrete Construction Engineering Handbook, Chapter 24, Ed. E. Nawy, published by CRC Press, <http://hdl.handle.net/2027.42/84661>.

[3]. Lepech, M.D., Li, V.C. (2009), *Application of ECC for bridge deck link slabs*, Mater. Struct. 42(9), 1185-1195.

[4]. Kim, Y.Y., Fischer, G., Li, V.C. (2004), *Performance of bridge deck link slabs designed with ductile engineered cementitious composite*, ACI Struct. J. 101(6), 792-801.

[5]. Rokugo, K. (2010), *Tension tests and structural applications of strain-hardening fiber-reinforced cementitious composites*, In: Fracture Mechanics of Concrete and Concrete Structures, pp.1533-1540.

[6]. Rokugo, K., Kanda, T. (2013), *Strain Hardening Cement Composites: Structural Design and Performance*, vol.6, RILEM.

[7]. Hiroshi, M., Kumilko, S., Noboru, S., Takenori, H., Keji, S. (2005), *Application of overlay reinforcement method on steel deck utilizing engineered cementitious composites - Mihara Bridge*, Bridg.Infrastruct. 8, 88-91.

[8]. Rokugo, K. (2018), *Strain-hardening cement-based composites*, In: SHCC4, vol.15, pp.671-680.

[9]. Uchida, Y., Fischer, G., Hishiki, Y., Niwa, J., Rokugo, K. (2008), *Review of recommendations on design and construction of different classes of fiber reinforced concrete and application examples*, In 8th International Symposium on Utilization of High Strength and High-Performance Concrete, pp.92-110.

[10]. Rokugo, K. (2018), *Strain-hardening cement-based composites*, In: SHCC4, vol.15, pp.671-680.

[11]. Li, M., Li, V.C. (2006), *Behavior of ECC/concrete layer repair system under drying shrinkage*, Restor. Build. Monum. 12(2), 143-160.

[12]. Zhou, J., Li, M.M., Ye, G., Schlangen, E., Van Breugel, K., Li, V.C. (2009), *Modelling the performance of ECC repair systems under differential volume changes*, In Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting II - Proceedings of the 2nd International Conference on Concrete Repair, Rehabilitation and Retrofitting, ICCRRR, pp.1005-1010.

[13]. Zhang, R., Matsumoto, K., Hirata, T., Ishizeki, Y., Niwa, J. (2015), *Application of PP-ECC in beamcolumn joint connections of rigid-framed railway bridges to reduce transverse reinforcements*, Eng. Struct. 86, 146-156.

Ngày nhận bài: 02/12/2024

Ngày nhận bài sửa: 13/12/2024

Ngày chấp nhận đăng: 25/12/2024