

SỬ DỤNG CỐT LIỆU XỈ THÉP VÀ CỐT SỢI THỦY TINH KHÁNG KIỀM ĐỂ SẢN XUẤT BÊ TÔNG ỨNG DỤNG CHO CÁC CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

Nguyễn Hữu Năm

Viện Thủy điện và Năng lượng tái tạo

Nguyễn Quang Phú

Trường Đại học Thủy lợi

Tóm tắt: Trong nghiên cứu sử dụng cốt liệu xỉ thép và cốt sợi thủy tinh kháng kiềm, kết hợp tro bay và phụ gia siêu dẻo giảm nước để chế tạo bê tông cốt sợi có cường độ nén từ M40 đến M50. Bê tông cốt sợi thiết kế có tính công tác tốt, cường độ nén, cường độ kéo uốn và mác chống thấm cao, đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật cho thi công các công trình Thủy lợi. Bê tông cốt sợi thủy tinh kháng kiềm làm tăng khả năng chịu uốn của bê tông, làm giảm hiện tượng nứt mặt của bê tông và không bị ăn mòn trong môi trường nước biển. Sử dụng cốt liệu xỉ thép thay thế cốt liệu đá dăm trong sản xuất bê tông góp phần đa dạng hóa các loại vật liệu xây dựng, từ đó nghiên cứu và ứng dụng các loại vật liệu xây dựng xanh thân thiện với môi trường.

Từ khóa: Xỉ thép; bê tông cốt sợi; cốt sợi thủy tinh kháng kiềm; tro bay; phụ gia siêu dẻo.

Summary: In the study, the steel slag aggregate and alkali-resistant glass fiber were used, combined with fly ash and water-reducing superplasticizers to produce fiber-reinforced concrete with compressive strength from M40 to M50. Fiber-reinforced concrete is designed with good workability, high compressive strength, high split tensile strength and high waterproofing grade, meeting the technical requirements for construction of irrigation works. Alkali-resistant glass fiber reinforced concrete increases the flexural strength of concrete, reduces surface cracking of concrete and does not corrode in seawater environment. Using steel slag aggregate to replace crushed stone aggregate in concrete production contributes to diversifying construction materials, thereby researching and applying environmentally friendly green construction materials.

Keywords: Steel slag; fiber-reinforced concrete; alkali-resistant glass fiber; fly ash; superplasticizer.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Để sản xuất bê tông (BT) và bê tông cốt thép (BTCT) cho các kết cấu công trình Xây dựng, Giao thông và Thủy lợi đạt được các yêu cầu kỹ thuật và đảm bảo độ bền thì việc lựa chọn các loại vật liệu xây dựng trong thiết kế thành phần bê tông là hết sức cần thiết. Với mỗi loại VLXD khác nhau, sẽ cho chất lượng của bê tông thành phẩm khác nhau. Thành phần vật liệu sử dụng để sản xuất bê tông thông thường gồm chất kết dính (xi măng và phụ gia khoáng), cốt liệu (cát và đá), nước, phụ gia hóa học.... Trong đó, vấn đề khan hiếm và thiếu hụt nguồn cung cấp cốt liệu thô tự

nhiên để sản xuất bê tông (đá dăm, sỏi) đang là thách thức không nhỏ mà ngành xây dựng phải đối diện do nguồn khai thác cạn kiệt vì nhu cầu xây dựng ngày càng cao, nhưng nguồn cung lại hạn chế.

Ở nước ta hiện nay công nghiệp luyện gang thép đã và đang được phát triển mang tính chủ động về nguồn thép sản xuất trong nước, điển hình là các nhà máy sản xuất thép Formosa Hà Tĩnh, Thái Nguyên, Nhà máy Thép Phú Mỹ,... hàng năm sẽ thải ra một lượng xỉ thép rất lớn. Do lượng xỉ thép thải ra nhiều, nên công tác tổ chức xử lý tồn kém và cần diện tích lớn để chứa xỉ, gây nên hiện

Ngày nhận bài: 26/9/2024

Ngày thông qua phản biện: 10/10/2024

Ngày duyệt đăng: 12/11/2024

tượng ô nhiễm môi trường và nguồn nước ngầm. Vì vậy cần nghiên cứu và xử lý để ứng dụng nguồn xi thép làm cốt liệu thay thế cốt liệu tự nhiên trong thiết kế và sản xuất bê tông, nhằm mang lại hiệu quả về kinh tế, giảm thiểu ô nhiễm môi trường.

Bên cạnh đó, các công trình xây dựng, đặc biệt là công trình Thủy lợi làm việc trong môi trường nước có nhiều tác nhân gây xâm thực, loại bê tông thông thường có nhược điểm về khả năng chịu kéo - uốn, chịu xâm thực kém, dễ phát sinh các vết nứt trong quá trình làm việc của bê tông. Để giải quyết vấn đề trên thì việc sử dụng cốt sợi thủy tinh kháng kiềm là một giải pháp hữu ích và mang tính hiệu quả cao, giúp tăng khả năng chịu kéo uốn, giảm co ngót cho bê tông, đồng thời giúp bê tông bền trong môi trường nước có các tác nhân gây xâm thực đá xi măng. Trong quá trình thiết kế và chế tạo bê

tông cốt sợi (BTCS) có kết hợp với phụ gia khoáng hoạt tính sẽ làm giảm lượng xi măng trong bê tông và giảm hiện tượng xâm thực đá xi măng Pooclăng.

Trong nghiên cứu sử dụng cốt sợi thủy tinh kháng kiềm (alkali-resistant glass fiber) và cốt liệu xi thép thay thế cốt liệu đá dăm, cùng với một số VLXD thông thường khác để thiết kế và chế tạo BTCS. Bê tông chế tạo có cường độ kéo uốn và mác chống thấm cao, đảm bảo chất lượng thi công các công trình Thủy lợi.

2. VẬT LIỆU SỬ DỤNG VÀ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

2.1. Xi măng

Đề tài sử dụng xi măng PC40 thiết kế BTCS; kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu cơ lý của xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 2682:2020 như trong bảng 1.

Bảng 1: Tính chất cơ lý của xi măng

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.15
2	Độ mịn (Lượng sót trên sàng 0,09)	%	3.2
3	Lượng nước tiêu chuẩn	%	29.15
4	Thời gian bắt đầu đông kết	phút	115
	Thời gian kết thúc đông kết	phút	315
5	Độ ổn định thể tích	mm	2.2
6	Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày	N/mm ²	36.8
	Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày	N/mm ²	49.6

2.2. Tro bay

Phụ gia khoáng là tro bay được sử dụng trong việc thay thế một phần xi măng trong thành

phần bê tông thiết kế. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của tro bay trong bảng 2 đạt yêu cầu theo TCVN 10302:2014.

Bảng 2: Tính chất của tro bay Phả Lại

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Độ ẩm	%	0.28
2	Lượng nước yêu cầu	%	27.8
3	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	944
4	Tỷ trọng	g/m ³	2.24
5	Hàm lượng mất khi nung	%	3,08
6	Hàm lượng SiO ₂	%	50.98
7	Hàm lượng Fe ₂ O ₃	%	10.34
8	Hàm lượng Al ₂ O ₃	%	31.27

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
9	Hàm lượng SO ₃	%	0.15

2.3. Cốt liệu mịn (cát)

Cát thí nghiệm là cát lấy ở công trình xây dựng và được đưa về Phòng nghiên cứu vật liệu để thí nghiệm. Cát thí nghiệm là cát loại

vừa, có thành phần hạt và các chỉ tiêu cơ lý phù hợp TCVN 7570:2006. Kết quả thí nghiệm tính chất cơ lý của cát được trình bày trong bảng 3.

Bảng 3: Tính chất cơ lý của cát

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2.68
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.65
3	Độ hồng	%	38.4
4	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0.85
5	Mô đun độ lớn	-	2.86
6	Tạp chất hữu cơ	-	Đạt
7	Thành phần hạt	-	Đạt

2.4. Cốt liệu thô (đá dăm)

Đá dăm thí nghiệm được lấy từ công trình thi công thực tế và được đưa về Phòng nghiên cứu vật liệu để

thí nghiệm. Đá dăm phối trộn cỡ hạt (5 ÷ 20)mm có thành phần hạt và tính chất cơ lý đạt tiêu chuẩn TCVN 7570:2006 được trình bày tại bảng 4.

Bảng 4: Tính chất cơ lý của đá dăm

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2.76
2	Khối lượng thể tích xốp	g/cm ³	1.68
3	Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	0.58
4	Hàm lượng thoi dẹt	%	18.8
5	Hàm lượng hạt mềm yếu	%	1.15
6	Độ hút nước	%	0.48
7	Thành phần hạt	-	Đạt

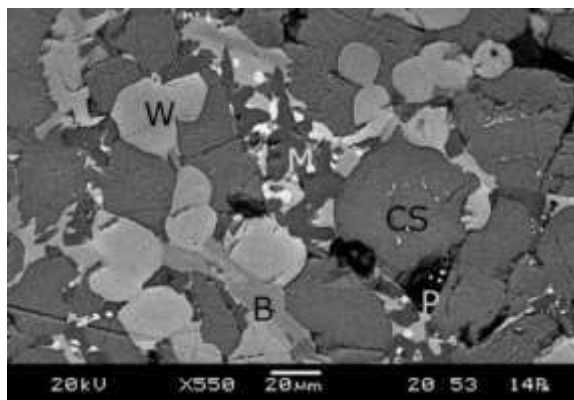
2.5. Cốt liệu xỉ thép

Xỉ thép được lấy ở khu công nghiệp luyện gang thép Hòa Phát - Kinh Môn - Hải Dương và đưa về Phòng nghiên cứu vật liệu để thí nghiệm và phân loại thành phần hạt đạt cỡ hạt (5 - 20)mm theo tiêu chuẩn TCVN 7570:2006. Các chỉ tiêu cơ lý của cốt liệu xỉ thép như trong bảng 5.

Bảng 5: Tính chất cơ lý của xỉ thép

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.26
2	Khối lượng thể	g/cm ³	2.02

TT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
	tích xốp		
3	Độ hút nước	%	2.66



Hình 1: Hình ảnh xi thép quét từ kính hiển vi điện tử [20]

2.6. Nước: Nước sử dụng để trộn và bảo dưỡng bê tông là nước sinh hoạt lấy tại phòng thí nghiệm, nước phù hợp tiêu chuẩn TCVN 4560:2022.

2.7. Phụ gia hóa học: Vì sợi thủy tinh có đặc tính là hút nước hấp phụ bề mặt lớn nên sẽ làm giảm tính công tác của hỗn hợp bê tông (HHBT) xuống rất thấp. Vì vậy BTCS cần phải sử dụng phụ gia siêu dẻo (PGSD) giảm nước bậc cao gốc Polycarboxylate (PC). Đề tài sử dụng PGSD giảm nước bậc cao với lượng dùng thông qua các thí nghiệm cụ thể để xác định tỷ lệ pha trộn hợp lý, đảm bảo tính công tác yêu cầu của HHBT.

Bảng 6: Thành phần vật liệu cho 1m³ bê tông cốt sợi

Cấp phối	Xi măng (kg)	Tro bay (kg)	Nước (lít)	Cát (kg)	Cốt sợi (kg)	Cốt liệu thô		PGSD (lít)
						Đá dăm (kg)	Xi thép (kg)	
CP1	360	90	180	800	6.57	1018	-	5.4
CP2	360	90	180	855	6.57	-	1268	5.4

Sau khi thiết kế thành phần vật liệu cho 1m³ bê tông, tiến hành phối trộn vật liệu đúng tiêu chuẩn hiện hành và thí nghiệm xác định độ sụt (Sn, cm) của các HHBT. Sau đó đúc mẫu thí nghiệm cường độ nén (R_n, MPa), cường độ kéo khi uốn (R_k, MPa) và mác chống thấm (W, at) của tất cả các cấp phối BTCS thiết kế.

3.2. Kết quả thí nghiệm độ sụt của các hỗn hợp BTCS

Tiến hành trộn vật liệu các cấp phối đã thiết kế như bảng 2.8, thí nghiệm xác định độ sụt của

2.8. Cốt sợi thủy tinh: Cốt sợi thủy tinh kháng kiềm (AR - Glass Fiber) được sử dụng có chiều dài 50 mm, khối lượng riêng 2,7g/cm³, cường độ kéo đạt 3500MPa và các chỉ tiêu cơ lý đạt tiêu chuẩn ACI 440.3R-12.

3. THIẾT KẾ CẤP PHỐI BÊ TÔNG VÀ KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

3.1. Thiết kế cấp phối BTCS

Sử dụng phương pháp thiết kế thành phần BTCS theo tiêu chuẩn ACI 211-4R:1993. Trên cơ sở các loại vật liệu sử dụng để chế tạo bê tông đã nghiên cứu ở trên, đề tài đã kết hợp các loại vật liệu với cốt sợi thủy tinh kháng kiềm (AR - Glass Fiber) và phụ gia siêu dẻo thể hệ mới để thiết kế bê tông cốt sợi với yêu cầu của mẫu đối chứng (*mẫu bê tông không có cốt sợi*) có cường độ nén ở tuổi 28 ngày đạt M40; hỗn hợp bê tông có độ linh động cao, đảm bảo hỗn hợp không phân tầng, không tách nước và có độ nhớt phù hợp giúp phân tán sợi tốt trong HHBT, tạo sự đồng nhất và phát huy hiệu quả của cốt sợi trong bê tông.

Ký hiệu (CP1) sử dụng cốt liệu thô là đá dăm và thay đá dăm bằng cốt liệu xi thép (CP2). Thành phần vật liệu cho các cấp phối BTCS thiết kế như trong bảng 6.

các hỗn hợp bê tông theo tiêu chuẩn, tiến hành giữ hỗn hợp bê tông sau 30 phút để kiểm tra lại độ sụt. Kết quả kiểm tra độ sụt của các hỗn hợp BTCS thể hiện như trong bảng 7.

Bảng 7: Kết quả thí nghiệm độ sụt

Cấp phối	Độ sụt (cm)	
	Có PGSD	Có PGSD, sau 30 phút
CP1	16,0	14,5
CP2	12,5	11,5

Nhận xét: Từ kết quả thí nghiệm độ sụt ở bảng 7, có thể thấy các hỗn hợp BTCS thiết kế có pha

PGSD với hàm lượng hợp lý thì tất cả các cấp phối bê tông đều có độ sụt thỏa mãn yêu cầu thiết kế, HHTB đảm bảo về tính công tác cho bê tông thi công các công trình Thủy lợi và công trình biển theo TCVN 8218:2009 và TCVN 9139:2012. Tuy nhiên, hỗn hợp bê tông sử dụng cốt liệu xi thép (CP2) có độ sụt thấp hơn HHTB sử dụng cốt liệu đá dăm từ 3-4cm, cấp phối sử dụng đá dăm (CP1) có độ sụt rất cao khi pha PGSD, điều này phù hợp với độ hút nước khác nhau của các loại cốt liệu thô đã sử dụng trong thiết kế.

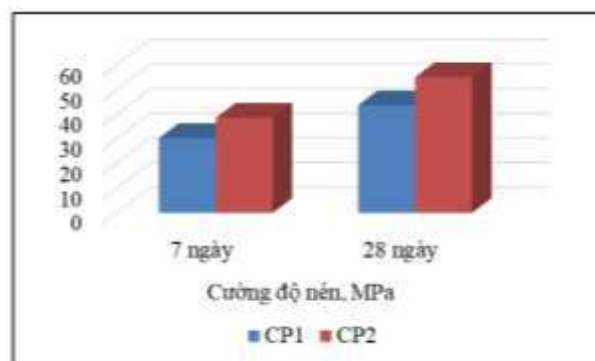
Bên cạnh đó, mức giảm độ sụt của các hỗn hợp bê tông theo thời gian (sau 30 phút) vẫn đảm bảo về tính công tác của các hỗn hợp BTCS thiết kế. Điều này là do trong thành phần của bê tông có sử dụng phụ gia hóa dẻo thể hệ mới gốc Polycarboxylate sẽ duy trì được độ lưu động của hỗn hợp bê tông trong quá trình thi công rất tốt. Vì vậy, trong thiết kế thành phần BTCS, nhất thiết phải sử dụng PGSD giảm nước bậc cao để cốt sợi có sự phân tán tốt và duy trì được tính công tác trong quá trình vận chuyển và thi công.

3.3. Kết quả thí nghiệm cường độ nén của BTCS

Để thí nghiệm cường độ nén, đúc các tổ mẫu thí nghiệm hình lập phương có kích thước (15x15x15)cm, mẫu đúc thí nghiệm được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022. Kết quả thí nghiệm cường độ nén ở 7 và 28 ngày tuổi như trong bảng 8 và biểu đồ hình 2.

Bảng 8: Kết quả thí nghiệm cường độ nén

Cấp phối	Cường độ nén, MPa	
	7 ngày	28 ngày
CP1	30,4	43,8
CP2	38,7	55,2



Hình 2: Biểu đồ so sánh cường độ nén của các cấp phối BTCS

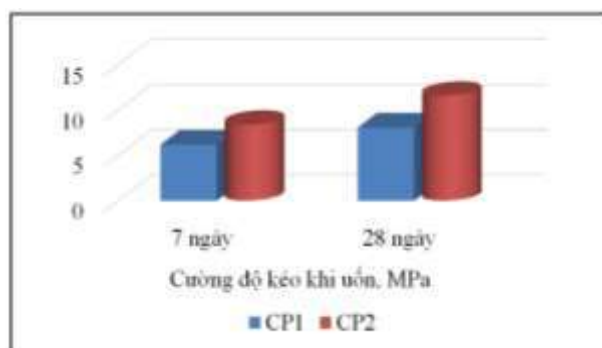
Nhận xét: So với bê tông sử dụng cốt liệu đá dăm thì bê tông sử dụng cốt liệu xi thép (CP2) có cường độ nén cao hơn 27,3% ở tuổi 7 ngày và 26,03% ở tuổi 28 ngày. Điều này có thể giải thích như sau: xi thép có tính chất cơ học tốt hơn đá tự nhiên, vì xi thép có thành phần cấu trúc tinh thể đặc biệt mà thành phần chủ yếu là các khoáng chất tương tự thành phần của xi măng; xi thép nặng hơn, ma sát tốt hơn, độ bền cao hơn đá dăm tự nhiên, do vậy bê tông sử dụng cốt liệu xi thép sẽ cho cường độ nén cao hơn.

3.4. Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn của BTCS

Để thí nghiệm cường độ kéo khi uốn, mẫu thí nghiệm có kích thước hình lăng trụ (10x10x40)cm. Mẫu đúc thử nghiệm được chế tạo và bảo dưỡng theo TCVN 3105:2022. Bảo dưỡng mẫu trong điều kiện môi trường tiêu chuẩn và tiến hành kiểm tra cường độ kéo khi uốn của các tổ mẫu bê tông. Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn ở 7 và 28 ngày tuổi như trong bảng 9 và biểu đồ hình 3.

Bảng 9: Kết quả thí nghiệm cường độ kéo khi uốn

Cấp phối	Cường độ kéo khi uốn, MPa	
	7 ngày	28 ngày
CP1	5,8	7,6
CP2	7,9	10,2



Hình 3: Biểu đồ so sánh cường độ kéo khi uốn của các cấp phối BTCS

Nhận xét: Tương tự cường độ nén, BTCS sử dụng cốt liệu xi thép (CP2) có cường độ kéo khi uốn cao hơn BTCS sử dụng cốt liệu đá dăm khoảng $35,48 \div 43,21\%$, vì bản thân xi thép đã có cường độ và độ bền cao hơn đá dăm.

Ngoài ra, với bê tông xi măng thông thường (không có cốt sợi) thì cường độ kéo chỉ bằng khoảng từ 1/15 đến 1/10 (từ $6,67 \div 10$)% cường độ chịu nén, nhưng khi trong thành phần của bê tông có cốt sợi thủy tinh đã làm tăng cường độ chịu kéo của bê tông lên từ $(18,50 \div 21,71)\%$ Rn.

3.5. Kết quả thí nghiệm mác chống thấm của BTCS

Các mẫu bê tông thí nghiệm mác chống thấm sử dụng đối với 02 loại cốt liệu thô: đá dăm, xi thép thí nghiệm theo TCVN 3116:2022. Mẫu được bảo dưỡng 28 ngày trong điều kiện tiêu chuẩn, sau đó tiến hành kiểm tra mác chống thấm. Kết quả thí nghiệm xác định mác chống thấm của BTCS sau 28 ngày thể hiện trong bảng 10.

Bảng 10: Kết quả thí nghiệm mác chống thấm

STT	Cấp phối	Mác chống thấm W, at
1	CP1	12
2	CP2	14

Nhận xét: Tất cả các mẫu bê tông đều đạt mác chống thấm yêu cầu của bê tông dùng cho các

công trình Thủy lợi theo TCVN 8218:2009 và TCVN 9139:2012. Mẫu BTCS sử dụng cốt liệu xi thép (CP2) đạt W14, cao hơn 1 cấp so với mẫu BTCS sử dụng đá dăm. Điều này cũng phù hợp với độ đặc chắc và cường độ nén, cường độ kéo khi uốn của các cấp phối BTCS tương ứng. Trong thiết kế, để tăng mác chống thấm cho BTCS thiết kế, cần thiết phải điều chỉnh hàm lượng phụ gia siêu dẻo một cách hợp lý nhất, nhằm giảm lượng nước trộn bê tông, tăng độ đặc chắc của bê tông và làm tăng mác chống thấm cho bê tông.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ các kết quả thí nghiệm về cường độ nén, cường độ kéo khi uốn, mác chống thấm của các cấp phối BTCS sử dụng cốt liệu thô là đá dăm, xi thép cho thấy BTCS là một loại bê tông sử dụng hiệu quả cho các hạng mục công trình Thủy lợi và công trình biển có yêu cầu cao về mác chống thấm, BTCS đặc biệt có khả năng kháng nứt, giảm co ngót tốt hơn vì có cường độ chịu kéo khi uốn tốt hơn nhiều so với bê tông thông thường, vì vậy cần tiếp tục nghiên cứu và ứng dụng các loại BTCS vào thi công các công trình Thủy lợi và công trình biển.

Sợi thủy tinh có nguồn gốc là một loại khoáng làm tăng khả năng chịu kéo uốn của bê tông, làm giảm hiện tượng nứt mặt của bê tông và không bị ăn mòn trong môi trường nước biển, bền trong môi trường kiềm. Với tính năng chịu kéo cao gấp 2 đến 3 lần cốt thép và không bị ăn mòn, vì vậy khi ứng dụng cho các công trình Thủy lợi làm việc trong môi trường nước có các tác nhân xâm thực mạnh như môi trường nước biển, môi trường nước thải của các khu công nghiệp có thể sử dụng kết hợp sợi thủy tinh để thay thế cốt thép thường.

Cốt liệu dùng để sản xuất bê tông ngày càng khan hiếm do nhu cầu xây dựng ngày càng cao mà nguồn cung ứng lại dần cạn kiệt, vì vậy cần

thiết phải nghiên cứu các loại cốt liệu tái chế, tận dụng các loại phụ phẩm công nghiệp làm cốt liệu thay thế cho cốt liệu tự nhiên trong sản xuất bê tông, góp phần giảm giá thành bê tông và góp phần bảo vệ môi trường. Cần nghiên cứu các quy trình và ứng dụng tối đa nguồn xỉ thép để thay thế đá dăm làm cốt liệu cho bê tông, giúp biến vật liệu thải thành nguồn nguyên liệu có giá trị, tiết kiệm chi phí xử lý chất thải và bảo vệ môi trường.

Trong thiết kế thành phần bê tông cốt sợi, để duy trì được tính lưu động của hỗn hợp bê tông và tính chất kỹ thuật của bê tông rắn chắc thì

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Bộ Xây dựng, Quyết định số 430/QĐ-BXD ngày 16/5/2017 ban hành chỉ dẫn kỹ thuật “Xi gang và xỉ thép sử dụng làm vật liệu xây dựng”, 2017.
- [2] A. Mladenović, "Application of steel slag aggregate in road construction," ARCHES and SPENS Final Seminar, Slovenian National Building and Civil Engineering Institute, 2009, p. 1-50.
- [3] R. Alizadeh, M. Chini, P. Ghods et al., "Utilization of electric arc furnace slag as aggregates in concrete—environmental issue," Proceedings of the Proceedings of the 6th CANMET/ACI international conference on recent advances in concrete technology, Bucharest, Romania, 2003, p. 451-464.
- [4] I. Netinger, M. J. Rukavina, and A. Mladenović, Improvement of post-fire properties of concrete with steel slag aggregate, *Procedia Engineering*, vol. 62, p. 745-753, 2013.
- [5] Công ty Vật liệu Xanh, Xi thép - Vật liệu xanh cho tương lai, 2013.
- [6] J.L. Provis and J.S.J. Van Deventer, *Geopolymers: Structure, Processing. Properties and Industrial Applications*, Woodhead Publishing, Cambridge, UK, 2009.
- [7] B. Erlin and D. Jana, "Forces of Hydration that Can Cause Havoc in Concrete," *Concrete International*, 25(11), pp. 51-57, 2003.
- [8] Montgomery and D. Wang, "Engineering uses of steel slag - A by-product material," *Proc. Intl. Conference on Environmental Management - Geo -Water and Engineering Aspects*, NSW, Australia, 1993.
- [9] M. Maslehuddin, M. Shameem, M. Ibrahim et al., *Performance of steel slag aggregate concretes*, Exploiting Wastes in Concrete: Thomas Telford Publishing, 1999, pp. 109-119.
- [10] M. Maslehuddin, A. M. Sharif, M. Shameem et al., Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes, *Construction and Building Materials*, vol. 17, p. 105-112, 2003.
- [11] J. P. Patel, *Broader use of steel slag aggregates in concrete*. Master's thesis, Cleveland State University, USA, 2008.
- [12] Ioanna Papayianni and Eleftherios Anastasiou, "Utilization of Electric Arc Furnace Steel Slags in Concrete Products," *The 6th European Slag Conference*, Madrid, 2010, p.61.
- [13] Bộ Xây dựng, Văn bản số 31/BXD-VLXD ngày 07/6/2011 về việc xin ý kiến về giải pháp tái chế xỉ thép từ lò điện hồ quang thành vật liệu xây dựng, vật liệu làm đường giao thông hạn chế khai thác tài nguyên và bảo vệ môi trường, 2011.

nhất thiết phải sử dụng phụ gia siêu dẻo giảm nước bậc cao hợp lý. Lựa chọn các loại VLXD đảm bảo yêu cầu kỹ thuật theo các tiêu chuẩn hiện hành. Đặc biệt là tận dụng tối đa các nguồn phụ phẩm công nghiệp và các nguồn vật liệu tại chỗ, góp phần giảm giá thành xây dựng. Xi thép có độ đặc chắc, cường độ và độ bền cao hơn đá dăm tự nhiên nên khi sử dụng làm cốt liệu lớn thay thế cho cốt liệu đá dăm giúp BTCS xi thép có cường độ nén, cường độ kéo khi uốn và mác chống thấm cao hơn. Bê tông cốt sợi xi thép có độ bền và khả năng chống xâm thực cao, phù hợp thi công các công trình Thủy lợi.

- [14] T. V. Mien. "Đề tài: Nghiên cứu tận dụng xỉ thải công nghiệp của các nhà máy luyện thép để sản xuất gạch lát vỉa hè phục vụ phát triển cơ sở hạ tầng thân thiện với môi trường". Khoa Kỹ thuật xây dựng, Đại học Bách Khoa, 2012.
- [15] N. V. Phước, L. T. D. Hạnh, H. N. Minh et al., "Tái chế xỉ thép lò hồ quang điện làm thành phần phụ gia khoáng xi-măng," Tạp chí KHCN Xây dựng vol.2, p. 49-57, 2014.
- [16] Trần Văn Miên and Tôn Nữ Phương Nhi, "Nghiên cứu các tính chất của bê tông sử dụng cốt liệu xỉ thép," Tạp chí Xây dựng, p. 125-128, 2014.
- [17] T. V. Mien, N. V. Chanh, T. Nawa et al., "Properties of high strength concrete using steel slag coarse aggregate," The IES Journal Part A: Civil Structural Engineering, vol. 2, p. 202-214, 2009.
- [18] T. Sofilić, A. Mladenović, and U. Sofilić, "Defining of EAF steel slag application possibilities in asphalt mixture production," Journal of Environmental Engineering and Landscape Management, vol. 19, p. 148-157, 2011.
- [19] ACI 440.3R-12, Guide Test Methods for Fiber-Reinforced Polymer (FRP) Composites for Reinforcing or Strengthening Concrete and Masonry Structures.
- [20] M. Maslehuddin, A. M. Sharif, M. Shameem et al., Comparison of properties of steel slag and crushed limestone aggregate concretes, Construction and Building Materials, vol. 17, p. 105-112, 2003.
- [21] ACI Committee 211, Guide for Selecting Proportions for High- Strength Concrete.
- [22] ASTM C494-86: Standard Specification for Chemical Admixtures for Concrete.
- [23] Bộ Tài nguyên và Môi trường, Chất thải rắn, Báo cáo môi trường Quốc gia, 2011.
- [24] Công ty TNHH Vật Liệu Xanh, Dự án đầu tư nhà máy sản xuất vật liệu xây dựng từ xỉ lò điện hồ quang tại Khu công nghiệp Phú Mỹ I, huyện Tân Thành - tỉnh Bà Rịa - Vũng Tàu, 2012.
- [25] Eng.Pshtivan, N.Shakor, S.S. Pimplikar, "Glass Fiber Reinforced Concrete Use in Construction", International Journal of Technology and Engineering System: Jan - Mach 2011, Vol.2, No.2, 2011.
- [26] Ir. Richard, Glass Fiber Reinforced Concrete as a material, its properties, manufacture and applications, Summers Quality Control Consultants Ltd, Hong Kong, 2000.
- [27] JBIC, Environment improvement and Polution Prevention by Effective Recycling of Industrial and Domestic Waste in Vietnam, Draft Final Report, 2003
- [28] Phạm Duy Hữu, Công nghệ bê tông và bê tông đặc biệt, Nhà xuất bản xây dựng, 2011.
- [29] Tăng Văn Lâm, Ks. Ngô Xuân Hùng, Nghiên cứu sử dụng phế thải luyện kim làm cốt liệu chế tạo bê tông, Báo cáo tổng kết đề tài, Trường Đại học Mỏ - Địa chất, 2016.
- [30] Trần Văn Miên, Công ty TNHH Lê Phan, Sử dụng xỉ thép làm cốt liệu thay thế đá dăm làm bê tông asphalt ứng dụng làm lớp áo đường trong công trình giao thông, Đề tài khoa học công nghệ cấp TP. Hồ Chí Minh, 2011.