THUỘC TÍNH CỦA BÊ TÔNG SỬ DỤNG BỘT THỦY TINH THẢI Y TẾ NHƯ CỐT LIỆU MỊN – MỘT SỐ KẾT QUẢ BAN ĐẦU

BASED ON PROPERTIES OF CONCRETE, USING WASTE MEDICAL GLASS POWDER AS FINE AGGREGATE – SOME INITIAL RESULTS

Nguyễn Quang Hòa[1], Trần Quang Hưng[2], Trần Minh Quân[3]

[1]Trường Đại học Xây dựng Miền Trung; nguyenquanghoa@cuc.edu.vn
[2]Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng; tqhung@dut.udn.vn
[3]Trường Cao đẳng Giao thông Vận tải II; minhquanxd17@gmail.com

Tóm tắt - Thủy tinh từ chai lọ thải của ngành y tế đang là tác nhân gây ô nhiễm môi trường nước, không khí, đất… do phương pháp xử lý loại rác thải này chưa triệt để. Với tính chất cơ học và thành phần hóa học, thủy tinh có thể sử dụng như là một phần thay thế cốt liệu thô, cốt liệu mịn và xi măng trong chế tạo bê tông, tạo ra hướng xử lý rác thải bền vững. Ở dạng bột đủ mịn, thủy tinh thể hiện thuộc tính puzzolan và có thể sử dụng thay thế một phần vai trò xi măng trong bê tông. Trong nghiên cứu này, thủy tinh thải được nghiền thành dạng bột, với độ mịn dưới 10% thông qua sàng 90 µm để giảm một phần xi măng sử dụng. Hàm lượng bột thủy tinh thay thế 5%, 10%, 15% và 20% khối lượng xi măng, nhằm nghiên cứu ảnh hưởng sự thay thế này đến sự phát triển cường độ nén theo thời gian và so sánh với bê tông thông thường. Kết quả thể hiện rằng, khi thay thế 10% xi măng thì cường độ bê tông khá tốt và có thể được ứng dụng vào thực tiễn.

Từ khóa - bê tông; thủy tinh thải y tế; bột thủy tinh; cốt liệu; cường độ chịu nén; độ sụt.

Abstract - Due to lack of effective recycled method, waste glass collected from medical bottles may cause pollution of water, air and soil. By possessing a high performance of mechanical and chemical properties, this type of glass can be used as a partial replacement for coarse aggregate, fine aggregate or cement in manufacture of concrete toward a sustainable construction industry. In powder form, glass possesses pozzolan characteristics and can be used as a partial replacement of cement role in concrete. In this study, medical glass is crushed into powder, with a fineness of less than 10% through a sieve of 90 micrometers. In order to reduce amount of cement, glass powder is introduced with content of 5%, 10%, 15% and 20% by weight of cement respectively. The aim is to study the effect of this substitution on the development of compressive strength of concrete compared to nominal concrete. The results show that with replacement of 10%, the strength of concrete is the best and can be practically applied.

Key words - concrete; waste medical glass; glass powder; aggregates; compressive strength; slump.

1. Rác thải thủy tinh và tình hình sử dụng thủy tinh làm vật liệu xây dựng

Theo Tổng cục Môi trường, hiện mỗi ngày các cơ sở khám chữa bệnh trên cả nước phát sinh khoảng 340 tấn chất thải, mức tăng chất thải y tế hiện nay là 7,6%/năm. Năm 2015, lượng phát sinh chất thải vào khoảng 600 tấn/ngày. Dự kiến đến năm 2020, tổng lượng rác thải là 800 tấn/ngày. Trong đó, hằng năm, lượng rác thải gồm chai, lọ thủy tinh đựng dược phẩm y tế được thải ra với số lượng lớn, chiếm khoảng 3% [1]. Theo ước lượng của tác giả, Bệnh viện Trung ương Huế hằng ngày thải ra khoảng 300 kg chai thủy tinh đựng thuốc y học, lượng rác này hiện đang tồn đọng tại bệnh viện khoảng hàng trăm tấn. Phương hướng xử lý chủ yếu hiện nay là thải trực tiếp hoặc xay thô và chôn lấp. Phương án này đòi hỏi phải có nơi xử lý, quỹ đất chôn lấp lớn, chi phí cao (bao gồm thu gom, xử lý đốt cháy và chôn lấp, nhân công và vận chuyển). Bên cạnh đó, rác thải y tế nếu không được xử lý triệt để sẽ gây ô nhiễm môi trường và chất lượng đất, nước, … ảnh hưởng đến sức khỏe con người. Và phương án này cũng không còn bền vững.

Nghiên cứu tiến hành thống kê một số nước có lượng phát sinh thủy tinh thải (trong đó có thủy tinh thải y tế) một số năm điển hình [2]. Theo thống kê, năm 2010, tại Mỹ, thủy tinh thải đạt xấp xỉ 4,6% trong tổng sản lượng chất thải rắn đô thị (trong khi lượng sản xuất xấp xỉ 20 triệu tấn). Năm 1999 - 2000, tại Ấn Độ, chất thải thủy tinh đạt 2,1% trong tổng sản lượng chất thải rắn đô thị. Tại Thổ Nhĩ Kỳ, trong 120.000 tấn thì có 80.000 tấn thủy tinh được tái chế, còn ở Đức là khoảng 3 triệu tấn thủy tinh thải được tái chế. Ở Hồng Kông, ước tính có xấp xỉ 373 tấn thủy tinh thải ra mỗi ngày trong năm 2010. Năm 2002, vật liệu thủy tinh thải ở Đài Loan xấp xỉ 600.000 tấn. Tại Việt Nam, hầu như chưa có thống kê cụ thể nào về lượng chất thải thủy tinh nói chung và thủy tinh thải y tế nói riêng.

Trên thế giới, đã có nhiều nghiên cứu về việc sử dụng thủy tinh thải như kính, bóng đèn, ống tia ca-tốt, cửa sổ, chai, lọ… như một vật liệu thứ yếu làm cốt liệu trong sản xuất bê tông. Vì thủy tinh có nguồn gốc từ silicat nên phương án dùng nguyên liệu này xay nhỏ để làm vật liệu xây dựng là một ý tưởng rất tốt. Tung-Chai Ling, Chi-Sun Poon, Hau-Wing Wong [3] báo cáo về phương án chuyển đổi thủy tinh thải thành vật liệu có giá trị và một số ứng dụng của nó. Theo đó, thủy tinh nghiền mịn đến cỡ hạt 75 -150 µm có thể thay thế một phần xi măng trong bê tông. Một số ứng dụng khác của thủy tinh trong thay thế cốt liệu lớn, cốt liệu nhỏ hay mịn có thể được sử dụng làm thành các khối block, dùng để lắp vỉa hè và tường, bê tông, bê tông tự đầm hay vữa kiến trúc…

Việc sử dụng thủy tinh nghiền như cốt liệu trong bê tông xi măng Poocläng đã có một số hiệu ứng trái ngược trong thuộc tính của bê tông. Tuy nhiên, ứng dụng vào thực tiễn vẫn có thể được sản xuất, thậm chí sử dụng 100% thủy tinh nghiền như cốt liệu [4]. Batayneh Malek, Marie Iqbal, Asi Ibrahim [5] nghiên cứu sự tăng dần cường độ chịu nén, cường độ chịu kéo tách và cường độ chịu uốn của bê tông có chứa thủy tinh nghiền khi thay thế cát tự nhiên với tỉ lệ hàm lượng là 5%, 10%, 15% và 20%. Borhan Tumadhir Merawi [6] báo cáo rằng, sự tăng cao 15% trong cường độ

chịu kéo tách của bê tông ở tuổi 28 ngày có chứa 20% khối lượng thủy tinh màu tái chế (cỡ hạt 3 - 0,5 mm) thay thế cát tự nhiên. Các nghiên cứu khác cũng dẫn đến kết luận rằng, việc sử dụng thủy tinh thải làm cốt liệu thô trong bê tông hay để sản xuất xi măng Pooclăng không làm ảnh hưởng cường độ nhưng làm giảm độ sụt, hàm lượng bọt khí và trọng lượng của bê tông tươi [7].

Nhiều nghiên cứu cũng chỉ ra rằng, giá trị cộng thêm của thủy tinh trong bê tông đạt được tốt nhất nếu nó được sử dụng làm vật liệu thay thế xi măng. Thủy tinh là vật liệu vô định hình với hàm lượng silic cao, do đó làm cho nó có khả năng xảy ra phản ứng pozolanic khi kích cỡ hạt nhỏ hơn 75 µm [8, 9]. Ankur Meena và Randheer Singh đã kiểm tra ảnh hưởng của kích thước hạt của bột thủy tinh từ 150 µm đến 100 µm và từ 100 µm đến 50 µm đến độ bền của bê tông. Quan sát thấy kích thước hạt nhỏ hơn của bột thủy tinh có hoạt tính cao hơn so với vôi, làm cho cường độ nén của bê tông cao hơn. Bê tông bột thủy tinh mịn hơn có cường độ sớm cao hơn cường độ muộn [10]. Shilpa Raju và P. R. Kumar nhận xét rằng, bột thủy tinh thể hiện hoạt tính puzolanic khi kích thước hạt nhỏ hơn 75 µm, trong khi thí nghiệm được thực hiện bằng bột thủy tinh có kích thước 45 µm. Các kết quả thử nghiệm cho thấy cường độ nén tăng do bột thủy tinh được nghiền rất mịn, có thể hoạt động như một chất độn hoặc có thể có các tính chất puzzolan đủ để thay thế một phần xi măng [11].

Tuy nhiên, các kết quả kiểm tra vẫn có những hiệu ứng trái chiều liên quan đến các đặc tính tươi và đông cứng của bê tông. Soroushian [12] kết luận rằng, sự gia tăng độ sụt có hệ thống khi tăng hàm lượng bột thủy tinh trong hỗn hợp bê tông. Ngược lại, tính chất bê tông đông cứng có một sự cải thiện về cường độ nén bê tông khi thay thế xi măng với hàm lượng 10% bột thủy tinh, đặc biệt là khi sử dụng bột thủy tinh có cỡ hạt nhỏ hơn 90 µm. Vandhiyan đã nghiên cứu và kết luận rằng, sự gia tăng đáng kể cường độ ban đầu ở mẫu chứa bột thủy tinh 15% đã tăng 29% ở tuổi 7 ngày, cường độ giảm xuống còn 23% ở tuổi 28 ngày so với mẫu đối chứng [13].

Shilpa Raju, Dr.P.R. Kumar [11] đã nghiên cứu về ảnh hưởng trong bê tông khi sử dụng thủy tinh dạng bột theo các tỉ lệ thay thế xi măng từ 0% đến 40% (có sử dụng phụ gia siêu dẻo hàm lượng 2% khối lượng xi măng). Kết quả nghiên cứu chỉ ra rằng, có sự tăng cường độ khi tăng bột thủy tinh đến hàm lượng 20%, đây là cấp độ tối ưu, có tính khả thi cao và khi vượt quá điều đó thì bắt đầu giảm cường độ. Shao và cộng sự [14] đã báo cáo rằng, thủy tinh được nghiền mịn hơn 38 µm sẽ có sự hoạt động của puzzolan. Cường độ chịu nén của hỗn hợp thủy tinh – đá vôi cao hơn giới hạn là 4,1 MPa.

Những nghiên cứu trên đều sử dụng thủy tinh thải nói chung, cho thấy những lợi ích nhất định về các đặc tính cơ lý của bê tông. Ở đây, bài báo chủ yếu tập trung nghiên cứu sử dụng chai, lọ thủy tinh thải y tế (nghiên cứu sử dụng thủy tinh trắng) được nghiền thành dạng bột như một vật liệu thay thế cho một phần cốt liệu xi măng, đã và đang thu hút sự quan tâm của nhiều nhà nghiên cứu. Các nghiên cứu đã chỉ ra rằng, việc dùng bột thủy tinh thải thay thế một phần xi măng mang lại những hiệu quả tích cực như sau:

- Góp phần giải quyết vấn đề ô nhiễm môi trường do chất thải rắn, giảm chi phí xử lý chôn lấp…;

- Có thể cải thiện đáng kể một số tính chất cơ bản của hỗn hợp bê tông và bê tông như: cường độ (nén, uốn), khả năng chống thấm nước, …

2. Chương trình thực nghiệm

2.1. Vật liệu sử dụng

- Xi măng (XM): sử dụng xi măng Sông Gianh PCB40, tính chất hóa – lý của xi măng phù hợp với TCVN 6260:2009.

- Đá và cát: sử dụng đá dăm 1x2 (kích cỡ hạt lớn nhất d_{max} = 20 mm) của mỏ đá Hốc Khế tại Hòa Nhơn, Đà Nẵng và cát vàng sông Túy Loan tại Hòa Phong, Đà Nẵng, cỡ hạt dưới 4,75 mm. Các chỉ tiêu cốt liệu được xác định theo TCVN 7572:2006, đường đặc tính thành phần hạt của hai cốt liệu này phù hợp với TCVN 7570:2006.

- Nước (N): nước dùng để trộn bê tông, trộn vữa, rửa cốt liệu và bảo dưỡng bê tông là nước máy sạch tại Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng.

- Bột thủy tinh: chai lọ thủy tinh được thu thập từ Bệnh viện Trung ương Huế và chỉ dùng thủy tinh trắng. Sau khi vệ sinh, thủy tinh được nghiền thành dạng bột đảm bảo yêu cầu độ mịn theo tiêu chuẩn chất lượng kỹ thuật của TCVN 6260:2009. Độ mịn được xác định thông qua phương pháp sử dụng máy thổi không khí FSY-150 qua lưới sàng lọc 90 µm tại phòng thí nghiệm.

Thành phần hóa học của bột thủy tinh được thí nghiệm bởi Trung tâm QUATEST 3, sử dụng phương pháp thử mẫu qua tiêu chuẩn ASTM C169-16, kết quả như Bảng 1.

Bảng 1. *Thành phần hóa học của bột thủy tinh theo % (m/m)*

Tên chỉ tiêu	Bột thủy tinh (%)
Hàm lượng silic trong oxit SiO_2	72,1
Hàm lượng kali trong oxit K_2O	1,04
Hàm lượng natri trong oxit Na_2O	11,1
Hàm lượng canxi trong oxit CaO	9,53
Hàm lượng magie trong oxit MgO	0,23
Hàm lượng sắt trong oxit Fe_2O_3	0,49
Hàm lượng nhôm trong oxit Al_2O_3	2,93
Hàm lượng bo (B)	0,73

Bảng 2. *Thuộc tính lý của bột thủy tinh*

STT	Thuộc tính	Bột thủy tinh
1	Màu bột	Trắng
2	Độ mịn % lọt sàng (cỡ sàng)	94,73 (90 µm)
3	Tỷ trọng	2,42 - 3,01

2.2. Thiết bị và dụng cụ thí nghiệm

Các thiết bị và dụng cụ chính phục vụ thí nghiệm gồm:

- Máy trộn bê tông loại B150, dung tích danh định 150 lít, dung tích thành phẩm 113 lít;

- Bộ thiết bị côn thử sụt bê tông loại N1, thí nghiệm phù hợp với TCVN 3016:1993;

- Khuôn đúc mẫu bê tông kích thước 15x15x15 cm^3 và thanh thép đầm $\phi 16; l = 600mm$.

- Cân Nhơn Hòa 30 kg, sai số 100 g; cân điện tử với khối lượng tối đa là 15 kg, độ chính xác 0,01 g;

- Máy nén mẫu bê tông loại 100 T, thí nghiệm phù hợp với TCVN 3118:1993.

2.3. Cấp phối mẫu và nội dung thí nghiệm

Cấp phối mẫu đối chứng (kí hiệu PCB) được xây dựng trên cơ sở mác bê tông M250, đạt cường độ tối thiểu ở tuổi 28 ngày là 250 daN/cm^2 và hỗn hợp bê tông có độ sụt 6 - 8 cm. Chất kết dính có tổng khối lượng là 100% xi măng và nước, hàm lượng bột thủy tinh là 0%.

Với mục đích nghiên cứu khả năng thay thế bột thủy tinh thải y tế cho một phần xi măng, chúng tôi đưa ra 4 tỉ lệ thay thế là 5%, 10%, 15% và 20% tương ứng với các mẫu cấp phối kí hiệu là 95PCB-5GP, 90PCB-10GP, 85PCB-15GP, 80PCB-20GP. Lượng nước dùng cho cấp phối bột thủy tinh được giữ nguyên như cấp phối mẫu đối chứng PCB. Thành phần của 5 cấp phối được miêu tả trong Bảng 3. Các cốt liệu thô được thí nghiệm để xác định độ ẩm, khối lượng thể tích, thành phần hạt, mô-đun độ lớn.

Bảng 3. *Bảng thiết kế cấp phối bê tông*

Thành phần	Ký hiệu cấp phối				
	PCB	95PCB - 5GP	90PCB - 10GP	85PCB - 15GP	80PCB - 20GP
XM (kg)	27,28	25,92	24,55	23,19	21,82
GP (kg)	0	1,36	2,73	4,09	5,46
Cát (kg)	51,57	51,57	51,57	51,57	51,57
Đá (kg)	92,45	92,45	92,45	92,45	92,45
Nước (lít)	15,20	15,20	15,20	15,20	15,20
N/XM	0,56	0,59	0,62	0,66	0,70

Lưu ý: *Lượng nước trong Bảng 3 đã được điều chỉnh so với lượng nước định mức do lượng nước trong cát (độ ẩm 2,45%) và lượng nước trong đá (độ ẩm 0,4%).*

Mỗi cấp phối thiết kế được đúc với số lượng 4 tổ mẫu ở 4 độ tuổi lần lượt là 3, 7, 14 và 28 ngày, 1 tổ mẫu gồm 5 mẫu. Quá trình đúc mẫu và bảo dưỡng mẫu theo tiêu chuẩn TCVN 3015:1993, các tổ mẫu được ngâm trong nước cho đến thời điểm đạt độ tuổi thí nghiệm.

Nội dung thí nghiệm bao gồm:

+ Thí nghiệm xác định độ sụt của hỗn hợp bê tông theo TCVN 3016:1993;

+ Xác định và theo dõi sự phát triển cường độ chịu nén của bê tông 5 cấp phối trên theo các độ tuổi 3 ngày, 7 ngày, 14 ngày và 28 ngày.

3. Kết quả và thảo luận

Kết quả đo độ sụt hỗn hợp bê tông được lấy trung bình các giá trị qua 3 lần đo, thể hiện trên Hình 1.

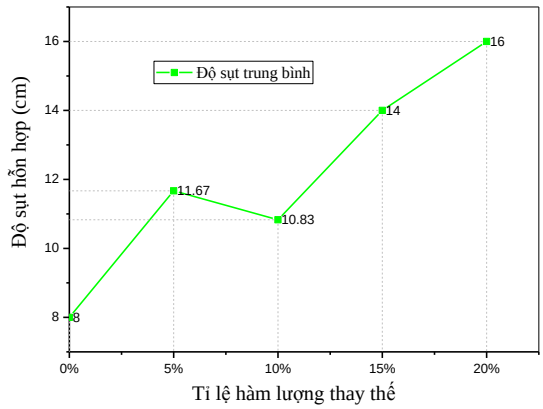
Kết quả Hình 1 cho thấy rằng:

+ Độ sụt hỗn hợp bê tông cho cấp phối mẫu đối chứng PCB đạt độ sụt theo yêu cầu thiết kế 6 - 8cm;

+ Khi thay thế một phần xi măng bằng bột thủy tinh với hàm lượng từ 5% đến 20% về khối lượng, giữ nguyên lượng nước như PCB thì độ sụt hỗn hợp có xu hướng tăng, thậm chí là tăng mạnh so với cấp phối PCB;

+ Với tỉ lệ hàm lượng thay thế thấp 5% - 10% thì độ sụt đạt 10 - 12 cm, bằng độ sụt của bê tông thương phẩm.

+ Với tỉ lệ hàm lượng thay thế xi măng bằng bột thủy tinh là 15% và 20%, lúc này, lượng nước cần cho sự thủy hóa của xi măng tạo chất kết dính thấp hơn 5% - 10%, lượng nước dư ra và làm tăng độ linh động. Vì vậy, độ sụt của hỗn hợp bê tông với tỉ lệ 15% - 20% tăng rất cao, đạt tương ứng 14 cm và 16 cm.



Hình 1. *Độ sụt trung bình hỗn hợp bê tông 5 cấp phối*

Nhìn chung, khi thêm bột thủy tinh thay thế một phần xi măng thì độ sụt tăng nhanh, tỉ lệ thuận với hàm lượng thay thế. Trường hợp thay thế 10% độ sụt có giảm chút ít so với 5%, đây có thể là vấn đề thiếu sót trong thực hiện thí nghiệm.

Sự phát triển cường độ chịu nén được thể hiện ở Hình 2 và Hình 3, có thể thấy:

+ Ở các độ tuổi thí nghiệm, cường độ nén cấp phối có chứa bột thủy tinh thấp hơn cấp phối đối chứng PCB. Quy luật phát triển cường độ nén diễn ra tương tự như bê tông thông thường. Với trường hợp thay thế 5%, trong độ tuổi 7 - 14 ngày, cường độ nén tăng chậm hơn các trường hợp khác.

+ Ở tuổi 28 ngày, với tỉ lệ thay thế thấp từ 5% - 10%, cường độ nén đạt được cường độ mong ước là 250 kg/cm^2;

+ Với tỉ lệ thay thế cao hơn (≥15%) thì cường độ giảm so với yêu cầu đạt mác thiết kế M250. Ở tuổi 28 ngày, cường độ nén chỉ đạt 200,98 kg/cm^2 với tỉ lệ thay thế 15%, với tỉ lệ thay thế 20% cường độ còn thấp hơn nhiều.

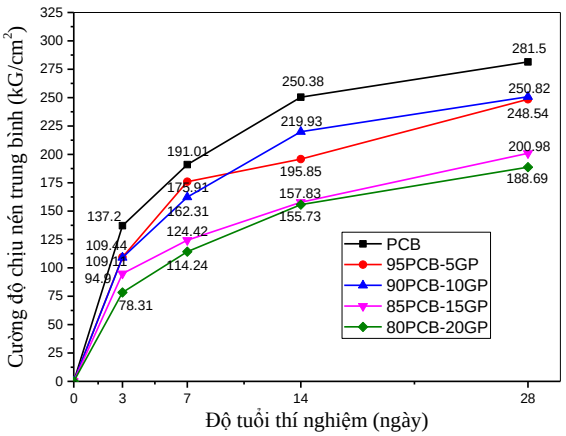
Kết quả thí nghiệm cường độ chịu nén của mẫu qua các ngày tuổi được thể hiện ở Bảng 4.

Bảng 4. *Kết quả cường độ nén các tuổi thí nghiệm (kg/cm^2)*

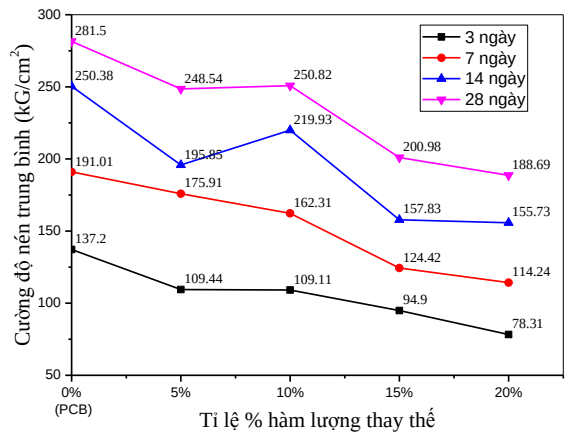
Cấp phối	3 ngày	7 ngày	14 ngày	28 ngày
PCB	137,20	191,01	250,38	281,50
95PCB - 5GP	109,44	175,91	195,85	248,54
90PCB - 10GP	109,11	162,31	219,93	250,82
85PCB - 15GP	94,90	124,42	157,83	200,98
80PCB - 20GP	78,31	114,24	155,73	188,69

Các kết quả trên có thể được lý giải là do sự thay thế xi măng bằng bột thủy tinh đã làm giảm hàm lượng xi măng. Cùng lượng nước không đổi, hàm lượng xi măng cần cho sự thủy hóa tạo chất kết dính giảm đi, trong khi đó, lượng nước cho cốt liệu tăng lên, đây là lý do độ sụt của hỗn hợp với tỉ lệ thay thế 15 - 20% tăng cao. Lúc này, sự liên kết giữa các cốt liệu giảm do giảm chất kết dính, vai trò của bột thủy tinh cũng có tham gia phản ứng nhờ có phản ứng hydrat hóa của xi măng và nước tạo môi trường kiềm. Theo nhiều nghiên cứu, thủy tinh dạng bột có độ mịn dưới 100 µm sẽ có phản ứng puzzolan xảy ra, tạo thành hợp chất có tính chất xi măng.

Mặc dù bột thủy tinh có tham gia phản ứng khi thay thế quá nhiều xi măng nhưng lượng nước vẫn dư nhiều trong khoảng thời gian từ 0 đến 28 ngày, điều này làm tăng độ sụt, nhưng do liên kết các cốt liệu giảm đi, dẫn đến làm giảm cường độ của mẫu. Vì vậy, cường độ nén ở tuổi 28 ngày của các trường hợp tỉ lệ thay thế 15 - 20% sẽ thấp hơn so với tỉ lệ thay thế 5 - 10%.



Hình 2. *Sự phát triển cường độ nén trong bê tông*



Hình 3. *Quá trình phát triển cường độ nén theo tỉ lệ % các độ tuổi thí nghiệm*

Có thể thấy rằng, với tỉ lệ thay thế xi măng bằng bột thủy tinh là 10% khối lượng thì cho kết quả khả quan về cường độ nén, đồng thời độ sụt cũng tương đối tốt.

4. Kết luận

Nghiên cứu này đã tập trung vào việc sử dụng bột thủy tinh thải trong y tế để thay thế một phần xi măng trong bê tông. Kết quả cho thấy rằng, việc sử dụng bê tông với hàm lượng thay thế 10% khối lượng xi măng là khả quan vì có thể đạt được yêu cầu về cường độ, đồng thời, tính công tác của hỗn hợp bê tông cũng rất cao. Do đó, việc sử dụng bột thủy tinh để chế tạo bê tông không những giảm được một phần xi măng, mà còn giải quyết được vấn đề xử lí rác thải y tế, góp phần bảo vệ môi trường và phát triển bền vững.

Kết quả cũng cho thấy rằng, lượng nước sử dụng đóng vai trò quan trọng đối với cường độ bê tông có bột thủy tinh, nếu tối ưu hóa lượng nước thì cường độ của bê tông có bột thủy tinh có thể đạt cao hơn nhiều.

Để ứng dụng vào thực tiễn, cần nghiên cứu thêm nhiều đặc tính khác của vật liệu như độ chống thấm, chống xâm thực, ăn mòn…

Lời cảm ơn: Nhóm tác giả xin chân thành gửi lời cảm ơn đến phòng thí nghiệm thuộc Công ty Xi măng Sông Gianh, Trung tâm QUATEST 3, Phòng thí nghiệm Kết cấu công trình thuộc Trường Đại học Bách khoa - Đại học Đà Nẵng.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Bộ Tài nguyên và Môi trường, *Báo cáo môi trường quốc gia 2011, Chất thải rắn*, Hà Nội, 2011, trang 83-96, http://quantracmoitruong.gov.vn/Portals/0/Bao%20cao/SOE%202011/Baocaomoitruongquocgia2011.pdf

[2] Rashad Alaa M, "Recycled waste glass as fine aggregate replacement in cementitious materials based on Portland cement", *Construction and Building Materials*, Vol 72, 2014, pp. 340-357.

[3] Tung-Chai Ling, Chi-Sun Poon, and Hau-Wing Wong, "Management and recycling of waste glass in concrete products: Current situations in Hong Kong", *Resources, Conservation and Recycling*, Vol 70, 2013, pp. 25-31.

[4] Meyer, C. and S. Baxter, "Use of recycled glass for concrete masonry blocks", *Final Report*, Vol 97, 1997, pp. 15.

[5] Batayneh Malek, Marie Iqbal, and Asi Ibrahim, "Use of selected waste materials in concrete mixes", *Waste Manage*, Vol 27, 2007, pp. 1870–6.

[6] Borhan Tumadhir Merawi, "Properties of glass concrete reinforced with short basalt fibre", *Mater Des*, Vol 42, 2012, pp. 265–71.

[7] Meyer, C Egosi, and C. N Andela, *Concrete with waste glass as aggregate*, Proceedings of the International Symposium Concrete Technology Unit of ASCE and University of Dundee, Dundee, 2001.

[8] Jin Weihua, Meyer Christian, and S. Baxte, "Glascrete" - Concrete with Glass Aggregate", *ACI Materials Journal*, Vol 97 (2), 2000, pp. 208-213.

[9] Federico LM and Chidiac SE, "Waste glass as a supplementary cementitious material in concrete–critical review of treatment methods", *Cement and concrete composites*, Vol 31 (8), 2009, pp. 606-610.

[10] Meena Ankur and Singh Randheer, *Comparative study of waste glass powder as pozzolanic material in concrete*, 2012.

[11] Shilpa Raju and Dr. P. R. Kumar, "Effect of Using Glass Powder in Concrete", *International Journal of Innovative Research in Science, Engineering and Technology*, Volume 3 (Special Issue 5), 2014, pp. 421-427.

[12] Nassar Roz-Ud-Din and Soroushian Parviz, "Strength and durability of recycled aggregate concrete containing milled glass as partial replacement for cement", *Construction and Building Materials*, Vol 29, 2012, pp. 368-377.

[13] Vandhiyan R, Ramkumar K, and Ramya R, "Experimental study on replacement of cement by glass powder", *International Journal of Engineering Research & Technology (IJERT)*, Vol 2, 2013.

[14] Shao et al., "Studies on concrete containing ground waste glass", *Cement and Concrete Research*, Vol 30 (1), 2000, pp. 91-100.

(BBT nhận bài: 30/08/2017, hoàn tất thủ tục phản biện: 29/09/2017)