

NGHIÊN CỨU SỬ DỤNG VẬT LIỆU RỒNG VERMICULITE THAY THẾ CỐT LIỆU ĐỂ CHẾ TẠO VỮA PHỦ VI SINH

Đinh Tiến Đạt

Viện Khoa học công nghệ xây dựng
Email: datdt129@gmail.com, 0389911866

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-4>

TÓM TẮT: Nội dung của bài báo sẽ trình bày kết quả nghiên cứu ban đầu về việc sử dụng vật liệu rồng Vermiculite (trương nở) không chứa vi khuẩn và có chứa vi khuẩn để chế tạo vữa vi sinh để bảo vệ lớp phủ bề mặt bê tông trong hệ thống cống bê tông cốt thép thoát nước thải sinh hoạt. Các tính chất của vữa sẽ được đánh giá trong điều kiện tiêu chuẩn và trong môi trường nước thải. Các kết quả nghiên cứu ban đầu cho thấy, có thể sử dụng vật liệu rồng vermiculite với hàm lượng từ 10% đến 30% thay thế theo thể tích cát để chế tạo vữa phủ với cường độ uốn ở tuổi 28 ngày đạt trên 5 MPa, cường độ nén của vữa đạt trên 30 MPa.

TỪ KHÓA: Vật liệu rồng vermiculite, Vi khuẩn, Hợp chất cao phân tử ngoại bào, Vữa phủ vi sinh, Cường độ nén.

ABSTRACT: This paper presents the preliminary study on using expanded vermiculite with and without bacteria to make new biological coating mortars to protect the concrete substrate of reinforced concrete culvert systems exposed to the aggressive environment in drainage systems. The properties of mortar will be evaluated under standard condition and in a typical wastewater environment. The experimental results show that adding 10 - 30% vermiculite (by vol.) to replace sand to make a coating mortar with a 28-day flexural strength of over 5 MPa and 28-day compressive strength of over 30 MPa.

KEYWORDS: Vermiculite, Bacteria, Glycocalyx, Biological mortar coating, Compressive strength.

1. GIỚI THIỆU

Bê tông là loại vật liệu có trong hầu hết các công trình, cơ sở hạ tầng trên mặt đất và hệ thống ngầm. Bê tông chỉ được coi là vĩnh cửu trong môi trường không khí bình thường và trong môi trường nước mềm, nhưng khi được sử dụng cho các công trình thoát và xử lý nước thải thì độ bền của chúng giảm đáng kể. Theo số liệu của thế giới, với nồng độ H_2SO_4 từ 80 đến 300 phần triệu, sau 7 năm, bê tông sử dụng chất kết dính xi măng pooc lăng có thể bị phá hủy với chiều sâu đến 5 cm [1]. Tại những thành phố lớn, số lượng dân cư đông, nước thải chứa nhiều abumin do thức ăn thừa, những hợp chất hữu cơ, vô cơ có chứa lưu huỳnh, và một loại vi sinh yếm khí phân hủy sinh ra, chúng có tên là Thiobacillus là tác nhân chủ yếu gây ăn mòn cho bê tông trong nước thải. Khi bị kích hoạt bởi chính lưu lượng nước thải, các vi khuẩn này hoạt động mạnh hơn, đẩy nhanh việc tạo ra khí H_2S . Khí này một lần nữa lại kích thích sự phát triển của vi khuẩn, dẫn đến sự hình thành axit sunfuric (H_2SO_4) trong hệ thống ống cống nước thải. Những vi

khẩn này tạo ra nhiều H_2SO_4 hơn toàn bộ ngành công nghiệp hóa trên thế giới [2].

Trên thế giới, xu hướng ứng dụng công nghệ sinh học vào vật liệu xây dựng đang phát triển mạnh mẽ, đặc biệt là các loại bê tông, vữa “tự vá lành” (Self-healing concrete/mortar) và vữa phủ sinh học (Biological coating mortar). Các nghiên cứu tại châu Âu và Mỹ đã chứng minh hiệu quả của việc sử dụng các chủng vi khuẩn khác nhau, như Bacillus pasteurii, để tạo ra Canxi Cacbonat ($CaCO_3$), giúp bịt kín các vết nứt và tạo lớp màng bảo vệ bề mặt bê tông khỏi sự xâm thực của ion clorua và sunfat.

Việt Nam, với điều kiện khí hậu nhiệt đới gió mùa, nhiệt độ từ $10^{\circ}C$ đến $38^{\circ}C$ được đánh giá là rất thuận lợi để vi khuẩn sinh trưởng, phát triển và tạo ra khí H_2S . Trong hệ thống đường ống nước thải chia làm 03 khu vực: (1) khu vực luôn luôn ngập nước, (2) khu vực có mực nước thải thay đổi và (3) khu vực trong môi trường khí thải. Trong đó, môi trường (3) khí thải, sẽ tồn tại một lượng nhất định khí H_2S và ngưng tụ trên bề mặt bê

tông, qua quá trình oxy hoá sẽ tạo thành H_2SO_4 [1], [3]. Quá trình ăn mòn bê tông trong nước thải diễn ra theo thứ tự: sự phân hủy của các hợp chất hữu cơ hình thành H_2S ; giải phóng H_2S từ nước thải và màng sinh học; bê tông bị giảm độ pH; oxy hóa sunfua [3].

Ăn mòn bê tông do axit được gọi là ăn mòn loại II [4], trong đó axit sunfuric (H_2SO_4) được cho là một trong những loại axit có mức độ ăn mòn bê tông mạnh nhất. Mức độ phá hoại mạnh của axit H_2SO_4 là do sự tác động đồng thời của các quá trình hóa học đến sự phân hủy $Ca(OH)_2$, tạo thành thạch cao, hoặc với monosunfat hoặc C_3AH_6 , tạo thành ettringite ($C_3A.3CaSO_4.32H_2O$), gây ra nở thể tích cho bê tông. Ettringite sinh ra gây ra các vết nứt ở bề mặt và ảnh hưởng lớn đến khả năng làm việc của bê tông [4], [5]. Thông thường, trong môi trường kiềm của bê tông với độ pH ở mức 12 - 13, cốt thép hoàn toàn được bảo vệ khỏi các tác nhân ăn mòn nhờ vào lớp màng mỏng trên bề mặt (dày từ 2 đến 20 nm). Tuy nhiên, khi axit xâm nhập ngày càng sâu hơn vào trong cấu trúc bê tông, nó bắt đầu gây hư hại phần bên trong bê tông, làm giảm chỉ số pH của bê tông xuống dưới mức 10, sẽ làm hỏng lớp kiềm bảo vệ cốt thép [6]. Kết quả là cốt thép bị ăn mòn, kết cấu bê tông cốt thép (BTCT) sẽ bị phá hoại.

Với hệ thống ống cống nước thải sinh hoạt bằng BTCT, để tăng độ bền cho kết cấu một trong những giải pháp có thể được sử dụng là ngăn cản sự ngưng tụ của khí H_2S để không xảy ra quá trình oxy hóa thành H_2SO_4 . Để giải quyết vấn đề này, một loại vữa chứa vi sinh vật có khả năng biến đổi khí H_2S sinh ra trong nước thải thành những chất bền vững trong bê tông. Trong vữa vi sinh, vật liệu rỗng thông thường được sử dụng để cung cấp lỗ rỗng làm môi trường sống và phát triển cho vi khuẩn. Trong số các vật liệu rỗng, vermiculite được đánh giá là vật liệu rỗng có khả năng giữ ẩm cao và độ pH trung tính, có thể hấp thụ hiệu quả các cation (ví dụ, Ca^{2+} và Mg^{2+}) cần thiết cho sự phát triển của vi khuẩn. Trong vữa phủ vi sinh, được phát triển dựa trên hợp chất cao phân tử ngoại bào glycocalyx được tạo ra xung quanh tế bào vi khuẩn để bảo vệ chất nền của bê tông. Hợp chất cao phân tử ngoại bào glycocalyx được tạo ra bằng cách sử dụng vi khuẩn *Rhodobacter capsulatus* để kiểm soát hiệu quả sự xâm nhập của các ion sunfat và độ bền của kết cấu khi chịu tác động của các ion sunfat được đánh giá dựa trên độ dày của lớp phủ [5], [7].

Trong nghiên cứu này, vật liệu rỗng sử dụng là vermiculite và vi khuẩn sử dụng là *Rhodobacter capsulatus* được nuôi cấy ở nồng độ 10^9 cel/mL, độ pH của môi trường nuôi cấy là axit malic với pH = 6 - 8 để cải thiện môi trường có tính kiềm cao [5]. Vật liệu rỗng chứa vi khuẩn được sử dụng để thay thế đến 30% hàm lượng cốt liệu mịn trong hỗn hợp. Một số tính chất của vữa được đánh giá bao gồm độ lưu động, khối lượng thể tích, cường độ uốn và cường độ nén.

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP NGHIÊN CỨU

2.1. Vật liệu sử dụng

Trong nghiên cứu, xi măng (XM) sử dụng là PC40 Nghi Sơn, các tính chất cơ lý của xi măng đạt yêu cầu theo TCVN 2682:2020 [8]. Phụ gia polymer của hãng Wacker có tên thương mại là Vinnapas - 5010N, một loại bột đồng trùng hợp của vinyl axetat và etilen. Sử dụng phụ gia polymer nhằm cải thiện độ bám dính, độ bền uốn, chống biến dạng và chống mài mòn cho vữa [9]. Cốt liệu mịn sử dụng với đường kính trung bình 0,315 mm. Vật liệu rỗng sử dụng trong nghiên cứu là vermiculite, đây là một loại đất sét tự nhiên trung tính (aluminum - iron magnesium silicates); có độ pH 7 đến 7,5; có điện tích âm vĩnh viễn; và hấp thụ các ion photphat do điện tích bề mặt cao [10]. Vermiculite có cấu trúc phân lớp với độ xốp cao và có tính chất phù hợp để nuôi cấy vi sinh vật. Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện trong Hình 1.



Hình 1: Các loại vật liệu sử dụng trong nghiên cứu

Tính chất cơ lý của xi măng, cát, polymer và vermiculite được thể hiện ở Bảng 1. Thành phần hóa được thể hiện trong Bảng 2.

Bảng 1: Tính chất cơ lý của xi măng và cốt liệu

Tính chất cơ lý	Đơn vị	XM	Vermiculite	Cát
Khối lượng riêng	g/cm ³	3,1	0,41	2,638
Khối lượng thể tích hạt	g/cm ³		0,34	2,600
Tỷ diện Blaine	m ² /g	0,387	5,93	0,021
Độ ổn định thể tích	mm	0,2		
Độ pH	-		7 - 7,5	
Độ hút nước	%		301	
Giới hạn bền nén sau 3 ngày	MPa	33,5		
Giới hạn bền nén sau 28 ngày	MPa	54,6		
Đường kính hạt trung bình	μm	17,3		
Kích thước hạt	Mm		0,14 ÷ 2,5	0,14 - 0,315

Bảng 2: Thành phần hóa của xi măng và cốt liệu

Vật liệu	Thành phần hóa (%)								
	Na ₂ O	MgO	Al ₂ O ₃	SiO ₂	SO ₃	CaO	Fe ₂ O ₃	K ₂ O	TiO ₂
Xi măng	0,0991	1,3858	4,0826	16,9609	3,6563	68,4947	3,7781	0,7626	0,4069
Polymer	0,4504	0,3384	10,9170	11,3066	0,3720	74,6183	0,7346	0,1410	0,8548
Vermiculite	-	12,7917	15,9590	37,7270	0,0721	1,5633	21,8348	6,8237	2,4553

Bảng 3: Tỷ lệ thành phần vật liệu của cấp phối vữa chứa vermiculite trương nở và chứa vermiculite vi sinh

TT	XM	N	Polyme	Vermiculite trương nở	Vermiculite chứa vi khuẩn	Cát silica
	g	g	g	g	g	g
1	675,5	270,2	33,78	0	0	1215,9
2	675,5	270,2	33,78	18,38		1094,3
3	675,5	270,2	33,78	36,75		972,7
4	675,5	270,2	33,78	55,13		851,1
5	675,5	205,4	33,78		83,15	1094,3
6	675,5	131,5	33,78		166,30	972,7
7	675,5	57,5	33,78		249,45	851,1

2.2. Cấp phối vữa sử dụng trong nghiên cứu

Trong nghiên cứu này, để đưa ra được cấp phối chính xác và phù hợp để chế tạo vữa chứa vermiculite vi sinh, nhóm nghiên cứu đã đưa ra những cấp phối sơ bộ với tỷ lệ cát/chất kết dính (C/CKD) và nước/chất kết dính (N/CKD) khác nhau để khảo sát và chọn tỷ lệ phù hợp với mục tiêu đặt ra. Lượng dùng vật liệu cho các cấp phối thể hiện ở Bảng 3. Tỷ lệ thành phần cấp phối sơ bộ được thể hiện ở Bảng 4.

Các kết quả nghiên cứu cho thấy khi tăng tỷ lệ N/CKD với mỗi tỷ lệ C/CKD thì cường độ nén của

vữa giảm, điều này hoàn toàn phù hợp với quy luật thông thường. Tại mỗi tỷ lệ N/CKD, khi tăng tỷ lệ C/CKD thì cường độ nén của vữa giảm. Tuy nhiên, do mục tiêu của đề tài chế tạo vữa phù với cường độ nén trên 20 MPa do vậy trong cấp phối khảo sát lựa chọn tỷ lệ C/CKD từ 1,4 đến 2,2. Qua kết quả khảo sát sơ bộ, đề tài lựa chọn cấp phối với tỷ lệ C/CKD = 1,8 và N/CKD = 0,4 có cường độ uốn và nén phù hợp với mục tiêu đặt ra. Trên cơ sở các tỷ lệ này, đề tài tiếp tục nghiên cứu các tính chất của vữa sử dụng vật liệu rỗng vermiculite trong chế tạo vật liệu phủ vi sinh để đánh giá ảnh hưởng của vật liệu rỗng đến tính chất của vữa.

Bảng 4: Tỷ lệ thành phần cấp phối sơ bộ

TT	C/CKD	N/CKD	Ru7, MPa	Rn7, MPa
1	1,4	0,38	5,12	46,7
2	1,6	0,38	4,58	43,5
3	1,8	0,38	4,55	39,6
4	2,0	0,38	4,42	35,6
5	2,2	0,38	4,21	32,5
6	1,4	0,40	4,94	41,5
7	1,6	0,40	4,53	38,2
8	1,8	0,40	4,23	35,8
9	2,0	0,40	4,20	32,5
10	2,2	0,40	4,10	29,8
11	1,4	0,42	4,56	38,3
12	1,6	0,42	4,55	35,1
13	1,8	0,42	4,23	34,5
14	2,0	0,42	4,05	31,2
15	2,2	0,42	4,10	28,1

Nghiên cứu ảnh hưởng của vật liệu rỗng vermiculite đến các tính chất của vữa, đề tài đánh giá ảnh hưởng của vermiculite với hai trạng thái mẫu vật liệu rỗng tự nhiên và vật liệu rỗng vermiculite chứa vi khuẩn *Rhodobacter capsulatus*. Hàm lượng vật liệu rỗng sử dụng với hàm lượng 0%, 10%, 20%, 30% theo thể tích của Cát. Cấp phối được lựa chọn với tỷ lệ C/CKD = 1,8 và tỷ lệ N/CKD = 0,4; trong nghiên cứu này đề tài lựa chọn vật liệu polyme Vinnapas - 5010N với hàm lượng là 5% theo khối lượng chất kết dính. Tỷ lệ thành phần vật liệu của cấp phối vữa sử dụng vermiculite trương nở và vermiculite chứa vi sinh được thể hiện ở Bảng 5.

Sau đó, đề tài mô phỏng lại điều kiện làm việc thực tế của vữa vi sinh trong ống cống nên mẫu vữa vi sinh được đặt vào trong 3 môi trường để theo dõi cường độ đó là: môi trường tiếp xúc với khí H_2S trong nước thải bốc lên (ký hiệu: MT1); môi trường ngâm trong nước thải (ký hiệu: MT2); và môi trường ngâm trong nước sạch - điều kiện dưỡng hộ tiêu chuẩn (ký hiệu: MT3). Hình 2 thể hiện vị trí dưỡng hộ mẫu ở 2 môi trường MT1 (mẫu ở trên mặt nước thải) và MT2 (mẫu ở dưới mặt nước thải), nhóm nghiên cứu pha chế nước thải và đổ vào thùng sao cho mẫu ngập mẫu xếp bên dưới và không được tiếp xúc với mẫu bên trên. Thùng dưỡng hộ mẫu chứa nước thải này không được mở ra cho đến khi tiến hành đo đạc vì để mô phỏng điều kiện làm việc của vữa vi sinh trong

nước thải là một môi trường kín. Nếu mở nắp đầy thùng thường xuyên thì khí thải (H_2S) sẽ thoát ra ngoài và kết quả thí nghiệm không được chính xác.

Bảng 5: Tỷ lệ thành phần vật liệu của cấp phối vữa chứa vermiculite trương nở và chứa vermiculite vi sinh

TT	C/CKD	N/CKD	Polymer /CKD (%)	Vermiculite, %	
				Trương nở	Chứa vi khuẩn
1	1,8	0,4	5	0	0
2	1,8	0,4	5	10	
3	1,8	0,4	5	20	
4	1,8	0,4	5	30	
5	1,8	0,4	5		10
6	1,8	0,4	5		20
7	1,8	0,4	5		30



Hình 2: Mẫu được dưỡng hộ trong MT1 và MT2

2.3. Phương pháp nghiên cứu

Độ lưu động của hỗn hợp vữa được xác định theo TCVN 3121- 3:2022 [11].

Khối lượng thể tích của hỗn hợp vữa được thực hiện theo TCVN 3121-6:2022 [12].

Cường độ uốn, nén của vữa được xác định theo TCVN 3121-11:2022 [13]. Hỗn hợp vữa được đổ vào khuôn hình lăng trụ với kích thước $40 \times 40 \times 160$ mm. Mẫu được bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn trong 24 giờ, sau đó mẫu được tháo khuôn và bảo dưỡng trong các môi trường khác nhau, cụ thể: (MT1): mẫu được bảo dưỡng trong điều kiện tiêu chuẩn. (MT2): mẫu được bảo dưỡng trong môi trường nước thải, mẫu được lưu ở phía trên mực nước thải.

Cường độ nén của các cấp phối vữa sử dụng vermiculite trương nở được xác định ở tuổi 7 ngày và 28 ngày; các cấp phối vữa chứa vermiculite

vi sinh được dưỡng hộ trong các môi trường khác nhau được xác định ở tuổi 28 ngày.

Mẫu đo biến dạng co ngót được chuẩn bị vữa theo TCVN 6016:2011 và thí nghiệm đo theo tiêu chuẩn ASTM C157.

Hệ số thấm nước của hỗn hợp vữa được xác định theo tiêu chuẩn ASTM C1585.

Một số hình ảnh trong quá trình chế tạo mẫu vữa vi sinh tại phòng thí nghiệm được thể hiện trong Hình 3.



Hình 3: Một số hình ảnh trong quá trình chế tạo mẫu tại phòng thí nghiệm

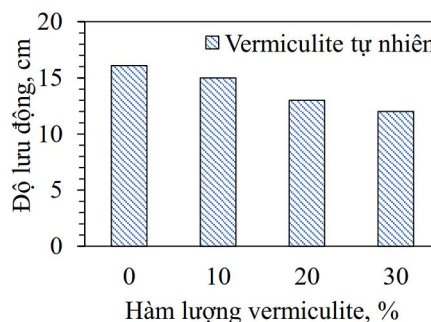
3. KẾT QUẢ NGHIÊN CỨU VÀ BÀN LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến độ lưu động của hỗn hợp vữa

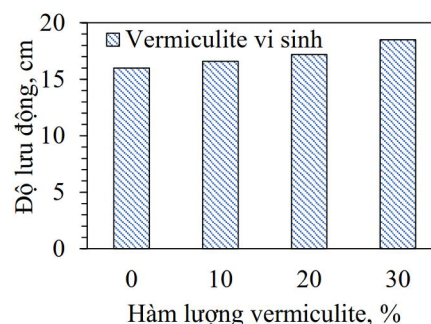
Kết quả thí nghiệm về ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite tới độ lưu động của vữa thể hiện ở Hình 4 và Hình 5.

Kết quả thí nghiệm cho thấy, với cấp phối vữa sử dụng vermiculite trương nở (không chứa vi khuẩn), khi hàm lượng vermiculite tăng, độ lưu động của vữa chứa vermiculite trương nở có xu hướng giảm, khi hàm lượng vermiculite sử dụng 10% thì độ lưu động của hỗn hợp vữa giảm 6,8% so với mẫu đối chứng. Khi hàm lượng vermiculite sử dụng đến 30% độ lưu động của hỗn hợp vữa giảm đến 25%, độ lưu động của vữa giảm từ 16cm xuống 12cm tương ứng tỷ lệ vermiculite là 0% và 30%. Tuy nhiên, với mẫu sử dụng vermiculite chứa vi khuẩn, độ lưu động của vữa có xu hướng tăng dần khi tăng hàm lượng vermiculite, khi hàm lượng vermiculite sử dụng 10% thì độ lưu động của hỗn hợp vữa tăng 4% so với mẫu đối chứng. Khi hàm lượng vermiculite sử dụng đến 30% độ lưu động của hỗn hợp vữa tăng đến 15%. Như vậy, độ lưu động giữa vữa sử dụng vermiculite chứa vi khuẩn thì độ lưu động của vữa tăng đến 35% so với mẫu vermiculite trương nở (không chứa

vi khuẩn). Việc sử dụng vermiculite trương nở sẽ giảm độ lưu động của vữa điều này là do các hạt vermiculite có độ rỗng lớn, tỷ diện tích bề mặt của hạt lớn $5,93 \text{ m}^2/\text{g}$. Tuy nhiên, với mẫu sử dụng vật liệu rỗng chứa vi khuẩn tăng độ lưu động là do mẫu vermiculite khi đó đã được làm bão hòa nước, do vậy khi nhào trộn trong vữa sẽ không hút lượng nước tự do và không làm giảm độ lưu động của vữa.



Hình 4: Ảnh hưởng của vermiculite trương nở đến độ lưu động của vữa



Hình 5: Ảnh hưởng của vermiculite chứa vi sinh đến độ lưu động của vữa

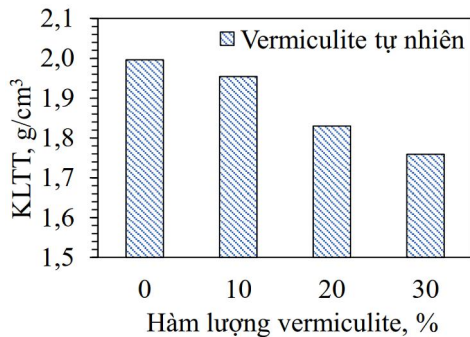
3.2. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến khối lượng thể tích của hỗn hợp vữa

Trong nghiên cứu này sẽ đánh giá ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến khối lượng thể tích của hỗn hợp vữa. Khối lượng thể tích của hỗn hợp vữa được thí nghiệm theo TCVN 3121-6:2003 [14].

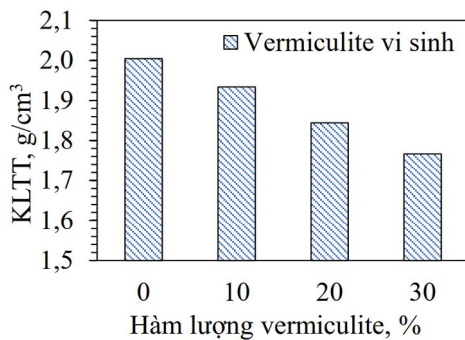
Kết quả về ảnh hưởng hàm lượng vermiculite đến khối lượng thể tích (KLTT) của vữa được thể hiện ở Hình 6 và Hình 7.

Kết quả thể hiện KLTT của vữa sử dụng vermiculite tự nhiên và vermiculite chứa vi sinh không có sự chênh lệch đáng kể. Khi tăng hàm lượng sử dụng vermiculite từ 0 đến 30% thì KLTT giảm dần, khi hàm lượng vermiculite sử dụng đến 30% thì KLTT của hai loại vữa xấp xỉ $1,76 \text{ g}/\text{cm}^3$, giảm khoảng 12% so với mẫu đối chứng (0% vermiculite). Điều này có thể dễ dàng giải thích rằng KLTT hạt của vermiculite nhỏ hơn rất nhiều

($0,34 \text{ g/cm}^3$) so với KLTT của cát ($2,60 \text{ g/cm}^3$). Do đó, khi dùng vermiculite với hàm lượng càng lớn thì khối lượng của vữa càng nhẹ. KLTT của từng tỷ lệ sử dụng vermiculite trương nở và vermiculite chứa vi sinh tương đồng với nhau là do trong quá trình tính toán cấp phối đã tính giảm lượng nước có trong vermiculite chứa vi sinh nên KLTT theo lý thuyết là tương đương với nhau.



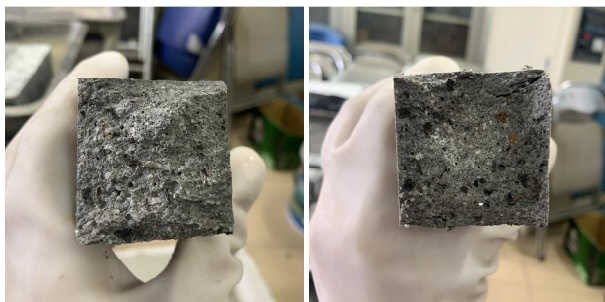
Hình 6: Ảnh hưởng của vermiculite trương nở tới KLTT của hỗn hợp vữa



Hình 7: Ảnh hưởng của vermiculite chứa vi sinh tới KLTT của hỗn hợp vữa

3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến cường độ uốn của vữa

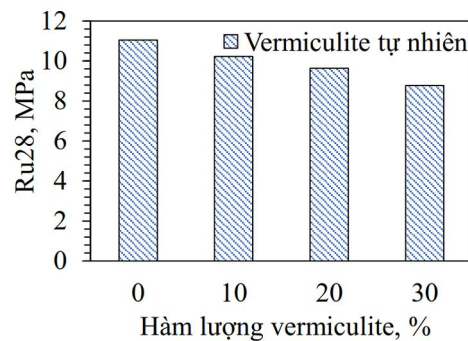
Cường độ uốn của mẫu vữa chứa vermiculite trương nở được thể hiện ở Hình 9 và vữa chứa vermiculite vi sinh trong hai môi trường MT1 và MT2 được thể hiện ở Hình 10. Bề mặt của mẫu vữa chứa vermiculite sau khi thí nghiệm đo cường độ thể hiện ở Hình 8.



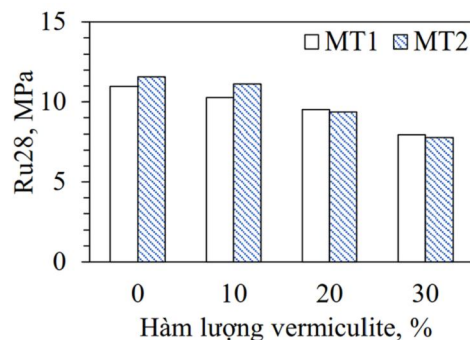
Hình 8: Bề mặt gãy của mẫu sau khi thử nghiệm cường độ uốn

Từ kết quả thí nghiệm, cường độ uốn khi không sử dụng vật liệu rỗng là 11,05 MPa; cường độ uốn khi sử dụng hàm lượng 30% vermiculite trương nở là 8,78 MPa, vermiculite chứa vi sinh ở MT1 là 7,96 MPa ở MT2 là 7,78 MPa. Mỗi khi sử dụng tăng 10% vermiculite trương nở, cường độ uốn của vữa giảm đi trung bình 7,4%. Đối với vữa chứa vermiculite vi sinh, cường độ uốn của mẫu tại hai môi trường có sự chênh lệch nhỏ và có xu hướng giảm dần khi sử dụng tăng hàm lượng vermiculite tương tự như của vữa chứa vermiculite trương nở.

Cường độ uốn của vữa chứa vermiculite trương nở và vữa chứa vermiculite vi sinh trong hai MT1 và MT2 hoàn toàn phù hợp với mục tiêu đặt ra là 5 MPa.



Hình 9: Ảnh hưởng của vermiculite trương nở tới cường độ uốn 28 ngày của vữa đã đóng rắn



Hình 10: Ảnh hưởng của vermiculite chứa vi sinh tới cường độ uốn 28 ngày của vữa đã đóng rắn

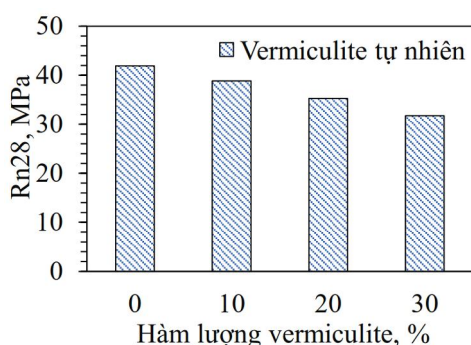
3.4. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến cường độ nén của vữa

Cường độ nén ở tuổi 28 ngày của mẫu vữa chứa vermiculite trương nở được thể hiện ở Hình 11 và vữa chứa vermiculite vi sinh được thể hiện ở Hình 12.

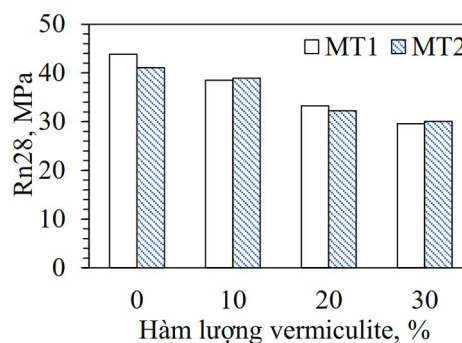
Kết quả cho thấy, cường độ nén của mẫu vữa giảm khi tăng hàm lượng vermiculite, điều này thể hiện với cả mẫu sử dụng vermiculite trương nở và vermiculite chứa vi sinh. Việc giảm cường độ khi

sử dụng vermiculite trong vữa được giải thích là do vermiculite là loại vật liệu rỗng, có cấu trúc phân lớp và kích thước hạt lớn, kích thước hạt của cốt liệu mịn (0,315 mm) nên trong mẫu vữa chứa vermiculite trương nở, khi dùng với hàm lượng càng nhiều thì độ rỗng trong mẫu vữa càng tăng, từ đó làm giảm dần cường độ nén của mẫu. Khi sử dụng vermiculite trong vữa chứa vermiculite trương nở, cường độ nén cao nhất đạt được là từ 38,51 đến 39,27 MPa ở hàm lượng vermiculite trương nở và vermiculite chứa vi sinh 10%, giảm 7,27% so với cấp phối không sử dụng vermiculite. Những cấp phối sử dụng tăng dần hàm lượng vermiculite có cường độ nén giảm dần 7 đến 10% so với cấp phối trước, cường độ nén thấp nhất tại cấp phối có hàm lượng vermiculite trương nở 30% là 31,7 MPa; Tại cấp phối có hàm lượng vermiculite chứa vi sinh trong MT1 là 29,01 MPa, MT2 là 30,04 MPa. Tuy cường độ nén của vữa sử dụng vermiculite 30% giảm so với cấp phối không sử dụng vermiculite nhưng vẫn đạt được mục tiêu ban đầu mà đề tài đặt ra là 20 MPa. Đối với cường độ nén của mẫu vữa sử dụng vermiculite chứa vi sinh, kết quả thí nghiệm cho thấy, cường độ nén của vữa tương tự như đối với mẫu vữa sử dụng vermiculite trương nở. Sự chênh lệch cường độ nén từ 1,6 đến 7,4% của hai loại vữa này thỏa mãn chênh lệch cho phép 10% trong TCVN 3121-11:2003.

Khi nghiên cứu ảnh hưởng của điều kiện môi trường bảo dưỡng đến cường độ nén của vữa sử dụng vật liệu rỗng vermiculite tự nhiên và mẫu chứa vi khuẩn cho thấy: Với mẫu vữa tiếp xúc với môi trường nước thải có cường độ nén không có sự khác biệt đáng kể so với mẫu bảo dưỡng ở điều kiện tiêu chuẩn. Điều này cho thấy ở tuổi 28 ngày thì mức tác động của các tác nhân trong môi trường nước thải là chưa đủ lâu để ảnh hưởng tới cường độ của vữa.



Hình 11: Ảnh hưởng của vermiculite trương nở tới cường độ nén 28 ngày của vữa đã đóng rắn



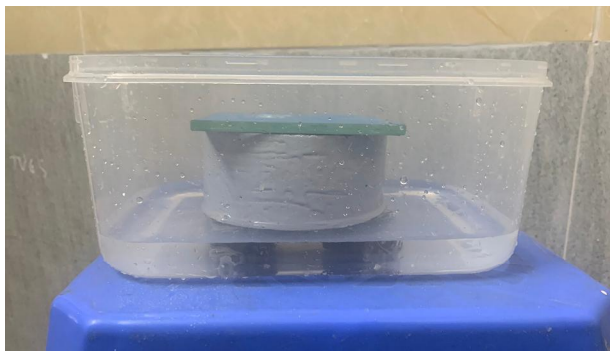
Hình 12: Ảnh hưởng của vermiculite chứa vi sinh tới cường độ nén 28 ngày của vữa đã đóng rắn

3.5. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến hệ số thấm nước của vữa

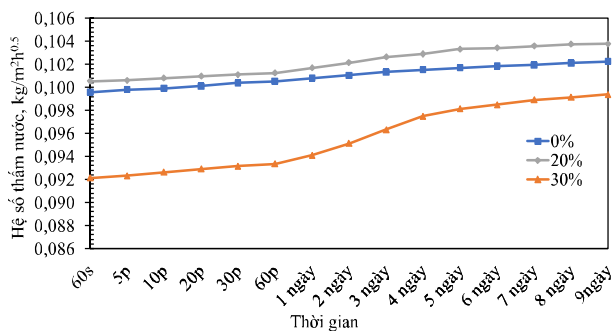
Mẫu thí nghiệm hệ số thấm nước của vữa vi sinh có hình trụ với đường kính 10 cm và chiều cao 20 cm được dưỡng hộ trong MT1 trong vòng 28 ngày sau đó được cắt thành những mẫu nhỏ có chiều cao 5 cm và đường kính 10 cm. Mẫu được sơn keo epoxy ở bề mặt, đặt mẫu lên bề mặt nước và đo khối lượng ở các mốc thời gian khác nhau theo tiêu chuẩn ASTM C1585 [15] (Hình 13). Kết quả hệ số thấm nước của vữa vi sinh được thể hiện ở Bảng 6. Hình 14 thể hiện hệ số thấm nước của vữa chứa 0%, 20%, 30% vermiculite vi sinh tại các mốc thời gian khác nhau.

Bảng 6: Kết quả hệ số thấm nước của vữa vi sinh

Thời gian	0%	20%	30%
60s	0,09958	0,10053	0,09213
5p	0,09978	0,10060	0,09232
10p	0,09990	0,10079	0,09260
20p	0,10010	0,10096	0,09290
30p	0,10038	0,10110	0,09316
60p	0,10051	0,10123	0,09334
1 ngày	0,10079	0,10168	0,09409
2 ngày	0,10103	0,10215	0,09514
3 ngày	0,10132	0,10263	0,09631
4 ngày	0,10152	0,10289	0,09748
5 ngày	0,10170	0,10331	0,09812
6 ngày	0,10185	0,10342	0,09848
7 ngày	0,10194	0,10359	0,09891
8 ngày	0,10210	0,10373	0,09912
9 ngày	0,10225	0,10378	0,09939



Hình 13: Mẫu thí nghiệm hệ số thấm nước của vữa vi sinh



Hình 14: Hệ số thấm nước ban đầu của vữa vi sinh

Hệ số thấm nước tăng dần theo các mốc thời gian từ 60 s đến 9 ngày. Mẫu vữa vi sinh sử dụng hàm lượng vermiculite 30% có sự thay đổi về độ hút nước lớn nhất. Nhìn chung, hệ số thấm nước của các mẫu vữa vi sinh trong nghiên cứu đạt được mục tiêu ban đầu đặt ra là $\leq 0.5 \text{ kg/m}^2\text{h}^{0.5}$.

3.6. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến hệ số thấm ion Clo

Mẫu thí nghiệm hệ số thấm ion clo được chế tạo tương tự như hệ số thấm nước. Sơ đồ thí nghiệm hệ số thấm ion clo như trong Hình 15.



Hình 15: Sơ đồ thí nghiệm hệ số thấm ion clo của vữa vi sinh

Tổng điện lượng truyền qua mẫu vữa vi sinh sử dụng hàm lượng vermiculite vi sinh là 0%, 20%, 30% được tính toán theo công thức trên và có kết quả thể hiện trong Bảng 7.

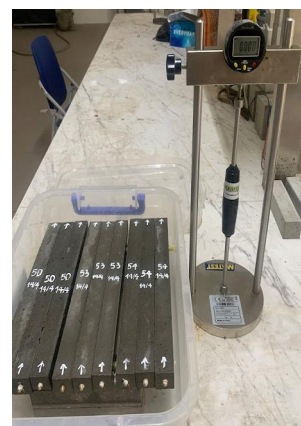
Kết quả cho thấy, hệ số thấm ion clo của các cấp phối vữa phù vi sinh trong nghiên cứu có hệ số thấm ion clo ≤ 1000 coulombs phù hợp với mục tiêu ban đầu đặt ra. Điều này giúp cho thấy vữa phù vi sinh có khả năng chống lại sự tấn công do clo tốt hơn so với vữa thông thường.

Bảng 7: Kết quả đo hệ số thấm ion clo của vữa chứa vermiculite vi sinh

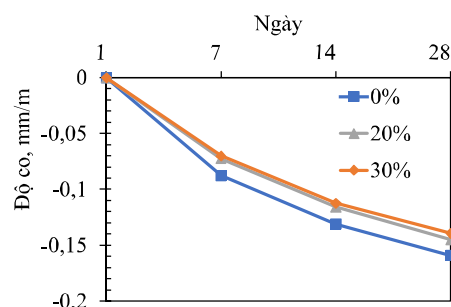
Hàm lượng vermiculite vi sinh	Tổng điện lượng	Nhận xét
0%:	$Q_{0\%} = 244,406025$	từ 100 đến 1000 rất thấp
20%:	$Q_{20\%} = 13,889475$	< 100 thấm không đáng kể
30%:	$Q_{30\%} = 9,90945$	< 100 thấm không đáng kể

3.7. Ảnh hưởng của hàm lượng vermiculite đến biến dạng co ngót của vữa

Hình 17 biểu diễn kết quả đo độ co mà nhóm nghiên cứu đã thực hiện trong phòng thí nghiệm. Những mẫu đo độ co này được chuẩn bị vữa theo TCVN 6016:2011 [16] và thí nghiệm đo theo tiêu chuẩn ASTM C157. Mẫu đúc theo tiêu chuẩn có kích thước $25 \times 25 \times 285$ mm được dưỡng hộ trong môi trường tiếp xúc với khí trong nước thải (MT1) như trong Hình 16.



Hình 16: Thí nghiệm độ co của vữa vi sinh



Hình 17: Độ co của vữa vi sinh

Kết quả đo độ co cho thấy, độ co của mẫu vữa đối chứng có biến động lớn nhất 0,0159 mm. So với những mẫu sử dụng vermiculite vi sinh, mẫu có hàm lượng sử dụng vermiculite 30% có độ co nhỏ hơn 4,03% so với sử dụng hàm lượng là 20%. Biểu đồ cho thấy, khi sử dụng tăng hàm lượng vermiculite vi sinh thì độ co của mẫu thí nghiệm giảm. Điều này xảy ra là do trong vermiculite chứa vi sinh đã được bão hòa nước, do vậy khi nhào trộn trong vữa sẽ không hút nước tự do vào trong bản thân hạt vermiculite. Điều này được chứng minh bởi độ lưu động của mẫu vữa chứa vermiculite trương nở so với vữa chứa vermiculite vi sinh. Do mẫu vữa không bị thiếu nước nên độ co của mẫu sẽ giảm đi khi sử dụng vermiculite vi sinh và giảm dần khi sử dụng càng nhiều vermiculite vi sinh.

4. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

4.1. Kết luận

Trên cơ sở kết quả nghiên cứu thực nghiệm ban đầu đạt được về sử dụng vật liệu vermiculite rỗng thay thế cát làm cốt liệu chế tạo vữa vi sinh để bảo vệ lớp phủ bề mặt bê tông trong hệ thống công bê tông cốt thép thoát nước thải sinh hoạt, một số kết luận có thể rút ra như sau:

- Hoàn toàn có thể sử dụng vật liệu rỗng vermiculite để chế tạo vữa với cường độ uốn đạt trên 5 MPa và cường độ nén đạt trên 20 MPa. Việc sử dụng vật liệu rỗng vermiculite sẽ làm giảm cường độ của vữa, khi sử dụng đến 30% vermiculite cường độ nén của vữa ở tuổi 28 ngày giảm đến 35% so với mẫu đối chứng (0% vermiculite).

- Khi sử dụng vermiculite trương nở để chế tạo vữa sẽ làm giảm độ lưu động của vữa, tuy nhiên với mẫu đã được làm bão hòa trước (vermiculite chứa vi sinh) sẽ cải thiện độ lưu động của hỗn hợp vữa. Việc sử dụng vermiculite sẽ làm giảm khối lượng thể tích của vữa, khi vermiculite sử dụng đến 30% theo thể tích của cát thì khối lượng thể tích của vữa giảm đến 12% so với mẫu đối chứng.

- Với mẫu vữa sử dụng vermiculite tự nhiên và vermiculite chứa vi sinh, với cùng hàm lượng sử dụng không có sự khác biệt về khối lượng thể tích và cường độ uốn, cường độ nén ở tuổi 28 ngày. Ở môi trường bảo dưỡng khác nhau, cường độ uốn và cường độ nén ở tuổi 28 ngày của mẫu vữa sử dụng vi sinh và mẫu vữa không sử dụng vi sinh cũng không có sự khác biệt.

- Hệ số thấm nước của vữa vi sinh thấp hơn nhiều so với mục tiêu ban đầu. Hệ số thấm ion clo của vữa vi sinh rất thấp (20% vermiculite vi sinh là

13,3 coulombs; 30% vermiculite vi sinh là 9,9 coulombs) đạt mức thấm clo không đáng kể. Đối với cấp phối vữa không sử dụng vermiculite vi sinh, hệ số thấm ion clo đạt 244,4 coulombs > 100 coulombs thì mẫu vữa này đạt mức thấm rất thấp.

Việt Nam, với tốc độ đô thị hóa nhanh chóng, đang đối mặt với thách thức lớn về việc xây dựng mới và bảo trì hệ thống hạ tầng thoát nước thải. Các vấn đề về ăn mòn kết cấu bê tông cốt thép trong môi trường này ngày càng trở nên nghiêm trọng, gây tốn kém chi phí sửa chữa và thay thế. Sản phẩm vữa phủ vi sinh được nghiên cứu có tiềm năng phát triển rất lớn tại Việt Nam vì các lý do sau:

- Phù hợp điều kiện khí hậu: Điều kiện khí hậu nhiệt đới nóng ẩm của Việt Nam là môi trường lý tưởng cho sự phát triển của vi khuẩn. Nếu như đây là yếu tố bất lợi gây ăn mòn nhanh, thì nó cũng chính là điều kiện thuận lợi để các vi sinh vật có lợi trong lớp vữa phủ phát triển mạnh mẽ, tăng cường hiệu quả bảo vệ.

- Giải pháp kinh tế và bền vững: So với các giải pháp truyền thống như sử dụng lớp phủ epoxy, polyurea hay thay thế toàn bộ cấu kiện, việc thi công một lớp vữa phủ có khả năng “sống” và tự tái tạo sẽ giúp tiết kiệm chi phí bảo trì trong dài hạn, đồng thời đây cũng là một giải pháp vật liệu xanh, thân thiện với môi trường.

- Chủ động về nguồn vật liệu: Vermiculite là một khoáng chất tự nhiên. Việc nghiên cứu làm chủ công nghệ sản xuất trong nước sẽ giúp giảm sự phụ thuộc vào các sản phẩm nhập khẩu đắt tiền, từ đó hạ giá thành sản phẩm và tăng khả năng cạnh tranh.

4.2. Kiến nghị

Đề tài có một số kiến nghị như sau:

- Đề tài tiếp tục nghiên cứu một số tính chất của vữa khi sử dụng vermiculite vi sinh như: Cường độ bám dính của vữa; Cường độ uốn nén, độ co ngót của vữa vi sinh ở tuổi dài ngày trong môi trường nước thải; Hàm lượng vi khuẩn tồn tại trong vữa đóng rắn; Khả năng làm việc và sự hiệu quả của vữa phủ vi sinh;...

- Nghiên cứu các tính chất tương tự của vữa vi sinh khi sử dụng loại vật liệu rỗng khác như perlite, CDW. Đánh giá lại sự hiệu quả về độ bền của kết cấu, hiệu quả về kinh tế,...

- Đánh giá các tính năng và ứng xử của vữa phủ vi sinh khi sử dụng thêm các loại phụ gia khoáng khác nhau.

LỜI CẢM ƠN

Tác giả xin gửi lời cảm ơn chân thành tới Viện Khoa học Công nghệ Xây dựng; Trung tâm Tư vấn Chống ăn mòn và Xây dựng - Đơn vị chủ trì thực hiện nhiệm vụ đã tạo điều kiện thuận lợi để tác giả hoàn thành nội dung nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Cổng thông tin điện tử Bộ Xây Dựng, “Sự ăn mòn phá hoại xi măng Portland trong môi trường nước thải.” <https://moc.gov.vn/tl/tin-tuc/48826/su-an-mon-pha-hoai-xi-mang-portland-trong-moi-truong-nuoc-thai.aspx>
- [2] L. Minh, “Bảo vệ các kết cấu bê tông tránh ăn mòn vi sinh,” khenmt.xaydung.gov.vn, 2022. <http://khenmt.xaydung.gov.vn/Tin-tuc/?bao-ve-cac-ket-cau-be-tong-tranh-an-mon-vi-sinh.html&aid=fledortdwgkpwbcgysxa>
- [3] P. Woyciechowski, P. Łukowski, E. Szmigiera, G. Adamczewski, K. Chilmon, and S. Spodzieja, “Concrete corrosion in a wastewater treatment plant - A comprehensive case study,” *Constr. Build. Mater.*, vol. 303, 2021, doi: 10.1016/j.conbuildmat.2021.124388.
- [4] N. M. Phát, *Ăn mòn và chống ăn mòn Bê tông - Bê tông cốt thép trong xây dựng*. 2007.
- [5] K. Yang, H. Lim, and S. Kwon, “Effective bio-slime coating technique for concrete surfaces under sulfate attack,” *Materials (Basel)*, vol. 13, no. 7, pp. 1-12, 2020.
- [6] “Sự ăn mòn Kết cấu Bê tông cốt thép, nguyên nhân và cách phòng tránh,” vatlieuxaydung.org.vn, 2014. <https://vatlieuxaydung.org.vn/vlxd-ket-cau-be-tong/su-an-mon-ket-cau-be-tong-cot-thep-nguyen-nhan-va-cach-phong-tranh-3838.htm>
- [7] H. S. Yoon, K. H. Yang, and S. S. Lee, “Evaluation of sulfuric acid resistance of biomimetic coating mortars for concrete surface protection,” *J. Korea Concr. Inst.*, vol. 31, no. 1, pp. 61-68, 2019, doi: 10.4334/JKCI.2019.31.1.061.
- [8] Bộ Khoa Học và Công Nghệ, “TCVN 2682:2020. Xi măng Poóc lăng.” 2020.
- [9] Wacker Chemie AG, “Vinnapas 5010N (GER) - Dispersible Polymer Powders,” 2021.
- [10] M. Valkov and G. Simha, “Vermiculite: Structural Properties and Examples of the Use,” *Clay Miner. Nat. - Their Charact. Modif. Appl.*, 2012, doi: 10.5772/51237.
- [11] Bộ Khoa Học và Công Nghệ, “TCVN 3121-3:2022 - Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 3: Xác định độ lưu động của vữa tươi (phương pháp bàn dần).” 2022.
- [12] Bộ Khoa Học và Công Nghệ, “TCVN 3121-6:2022. Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 6. Xác định khối lượng thể thích của vữa tươi.pdf.” 2022.
- [13] Bộ Khoa Học và Công Nghệ, “TCVN 3121-11:2022. Vữa xây dựng - Phương pháp thử - Phần 11. Xác định cường độ uốn và nén của vữa đóng rắn.pdf.” 2022.
- [14] Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam, “TCVN 3121-6:2003. Xác định khối lượng thể tích của vữa tươi,” Việt Nam, 2003.
- [15] ASTM C1585-13, “Standard Test Method for Measurement of Rate of Absorption of Water by Hydraulic Cement Concretes,” *ASTM Int.*, vol. 41, no. 147, pp. 1-6, 2013.
- [16] Bộ Khoa học và Công nghệ, Việt Nam, “TCVN 6016:2011. Xi măng - Phương pháp thử - Xác định cường độ,” p. 37, 2011.