

NGHIÊN CỨU VÀ ỨNG DỤNG VỮA SỬA CHỮA THI CÔNG DƯỚI NƯỚC ĐỂ CHỐNG THẨM THƯƠNG LƯU ĐẬP THỦY ĐIỆN

Nguyễn Văn Tuấn¹, Nguyễn Tùng Lâm²

Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: ¹nguyentuanibst11@gmail.com, 0984 133 773

²nguyentunglam300790@gmail.com, 0973 118 789

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-19>

TÓM TẮT: Bài báo trình bày kết quả nghiên cứu và ứng dụng loại vữa sửa chữa thi công dưới nước, được phát triển nhằm phục vụ cho việc sửa chữa và tăng khả năng chống thấm bê tông thượng lưu đập thủy điện (phần ngập nước). Một số phương pháp thí nghiệm trong phòng và thực nghiệm ngoài thực địa đã được sử dụng để kiểm chứng hiệu quả thực tế. Kết quả cho thấy loại vữa này có thể thi công hiệu quả ngay dưới nước, đảm bảo độ bền lâu dài, khả năng kết dính tốt với bề mặt bê tông cũ. Việc ứng dụng loại vữa chống thấm này giúp nâng cao tuổi thọ công trình thủy điện, giảm thiểu chi phí bảo trì và đảm bảo an toàn vận hành lâu dài.

TỪ KHÓA: Vữa sửa chữa dưới nước, đập bê tông, bê tông đầm lăn, chống thấm, độ bám dính.

ABSTRACT: This paper presents the research and application results of a newly developed underwater repair mortar. This mortar was specifically formulated for the repair and waterproofing of the upstream concrete faces of hydropower dams (the submerged parts). To verify its practical effectiveness, several laboratory and field tests were conducted. The results demonstrate that this mortar can be applied effectively underwater, ensuring long-term durability and excellent adhesion to existing concrete surfaces. The application of this waterproofing mortar helps to extend the service life of hydropower structures, reduce maintenance costs, and ensure long-term operational safety.

KEYWORDS: Underwater repair mortar, Concrete dam, Roller-compacted concrete, Waterproofing, Adhesion.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Việt Nam hiện có gần 400 nhà máy thủy điện lớn và nhỏ. Các thủy điện lớn tại Việt Nam chúng ta có thể kể đến như: Thủy điện Sơn La, Hòa Bình, Lai Châu, Ialy, Huội Quảng, Bản Vẽ, Bản Chát, Đồng Nai 3, Đồng Nai 4... Đối với các công trình thủy điện thì đập dâng, đập tràn là hạng mục đóng vai trò rất quan trọng. Đập bê tông (thủy lợi, thủy điện...) được xây dựng nhiều ở nước ta trong những năm gần đây chủ yếu là các đập trọng lực, bê tông khối lớn và xây dựng theo công nghệ bê tông đầm lăn (BTĐL). Đến nay Việt Nam đã và đang xây dựng hàng chục đập BTĐL lớn [1], như đập thủy điện Bản Vẽ cao 136 m, đập thủy điện Bản Chát cao 130 m, đập thủy điện Sơn La cao 139 m, đập thủy điện Đồng Nai 4 cao 128 m...

Ở Việt Nam tính đến nay đã có khoảng 20 công trình đập BTĐL lớn đã thi công xong và đã tích nước để đưa vào sử dụng. Tuy nhiên, ở hầu hết

các công trình, sau khi tích nước và trải qua quá trình vận hành một thời gian đã xảy ra hiện tượng thấm, một số đập thậm chí có hiện tượng dòng thấm kèm theo cốt liệu nhỏ của bê tông. Dưới đây là hình ảnh thấm qua thân đập của một số đập bê tông (Hình 1, Hình 2, Hình 3):



Hình 1: Hiện trạng thấm thủy điện Đồng Nai 3



Hình 2: Hiện trạng thấm đập thủy điện Bản Vẽ



Hình 3: Hiện trạng thấm đập thủy điện Đồng Nai 5

Đối với công trình đập bê tông, khi nước thấm qua thân đập nếu không được xử lý theo thời gian lưu lượng thấm ngày càng tăng lên, và vượt quá giới hạn cho phép. Về lâu dài khi nước thấm qua đập sẽ gây ra hiện tượng xâm thực hòa tan, rửa trôi dẫn đến làm giảm chất lượng bê tông và dẫn đến nguy cơ mất an toàn cho đập. Sự cố thấm đập không chỉ gây lãng phí nước mà còn tiềm ẩn nguy cơ an toàn. Minh chứng tại Trung Quốc cho thấy trong số hàng chục nghìn đập lớn, có khoảng 25% đập bị sự cố thấm [2]. Ở Việt Nam, vụ rò rỉ mạnh tại Đập Sông Tranh 2 được đánh giá là bất thường, và các chuyên gia đã chỉ ra cần chống thấm toàn diện mặt thượng lưu của đập. Để khắc phục tình trạng này giải pháp hữu hiệu được đưa ra là chống thấm toàn bộ bề mặt thượng lưu của đập (bao gồm cả phần bề mặt trên khô và phần ngập nước). Đối với phần trên khô, với các ưu điểm vượt trội, hệ sơn phủ polyurea đã được lựa chọn như là một giải pháp hữu hiệu nhất để chống thấm cho bề mặt thượng lưu đập trên khô. Đối với phần ngập nước, công nghệ sử dụng vữa sửa chữa đặc biệt thi công dưới nước được xem là phương án hiệu quả. Nghiên cứu quốc tế cũng cho thấy ứng dụng sửa

chữa kết cấu bê tông ngầm dưới nước giúp giải quyết hiệu quả các vấn đề an toàn của đập, đặc biệt là bịt kín rò rỉ và sửa chữa vết nứt [3].

Bài báo này trình bày kết quả nghiên cứu và ứng dụng loại vữa sửa chữa đặc biệt có thể thi công dưới nước để cải thiện khả năng chống thấm bê tông thượng lưu đập thủy điện (phần ngập nước), do Trung tâm Tư vấn Chống ăn mòn và Xây dựng thực hiện trong thời gian gần đây.

2. CƠ SỞ LỰA CHỌN VỮA SỬA CHỮA THI CÔNG DƯỚI NƯỚC

Có thể nhận thấy hiện trạng thấm các đập bê tông công trình thủy điện là khá phổ biến, trước thực trạng này nhu cầu sửa chữa chống thấm cho các công trình này là rất cao. Trong xử lý chống thấm thượng lưu đập thủy điện tại khu vực thường xuyên ngập nước, việc lựa chọn vật liệu và công nghệ thi công đóng vai trò quyết định đến hiệu quả và độ bền lâu dài của công trình. Một số giải pháp xử lý được đưa ra như quét sơn chống thấm dưới nước, dán lớp màng chống thấm, sử dụng vữa sửa chữa thi công dưới nước:

- Giải pháp phủ lớp sơn chống thấm dưới nước: có ưu điểm thi công đơn giản bằng thợ lặn và tạo được lớp màng ngăn nước tức thì, giá thành thấp, nhưng lớp sơn tạo ra rất mỏng, không đồng đều, khó kiểm soát chiều dày nên khả năng chịu áp lực nước lớn và lấp kín vết nứt hạn chế. Bên cạnh đó, trong môi trường ngập nước lớp sơn có độ bám dính thấp, đặc biệt ở các khe nứt hay vùng bê tông rỗ. Do đó, theo thời gian lớp sơn có thể bị bong tróc, nước vẫn có thể thấm trở lại.

- Giải pháp sử dụng màng dán chống thấm Carpi: Về nguyên tắc có thể chặn nước tuyệt đối, nhưng khi thi công dưới nước màng không thể dán chắc lên bề mặt bê tông ướt mà phải cố định bằng nẹp và bu lông và vẫn tạo kẽ hở, mối nối dễ gây rò rỉ cục bộ. Dưới áp lực nước lớn lớp màng có thể bong tróc, tạo túi khí dẫn đến mất hiệu quả chống thấm. Lớp màng có tuổi thọ hạn chế so với vật liệu gốc vô cơ, khó duy tu sửa chữa hư hỏng cục bộ và giá thành rất cao so với các giải pháp khác.

- Giải pháp sử dụng vữa sửa chữa thi công dưới nước: Phương pháp thi công đơn giản bằng cách lắp đặt các tấm màng ngăn nước, sau đó bơm vữa vào khoảng hở giữa tấm màng và bề mặt bê tông đập, có thể khoan vùng, phân đoạn thi công. Vật liệu vữa gốc vô cơ có khả năng lấp đầy các khe hở, vị trí rỗng rỗ, kết nối rất tốt với bề mặt bê tông đập hiện hữu, sau khi đông cứng nó đạt cường độ cơ học lớn và bám dính chắc ngay trong môi trường

nước và bền lâu theo thời gian. Đạt hiệu quả cao trong chống thấm và giá thành thấp.

Trên cơ sở phân tích ưu, nhược điểm của các giải pháp có thể nhận thấy, với thượng lưu đập thủy điện trong điều kiện thi công ngập nước và chịu áp lực nước lớn, việc sử dụng vữa sửa chữa chuyên dụng vừa khắc phục nhược điểm của giải pháp phủ bê mặt (chiều dày mỏng, không đều) vừa cung cấp khả năng gia cường kết cấu và chống thấm bền vững dưới áp lực nước. Vì vậy, xét trên cả phương diện kỹ thuật và kinh tế, vữa sửa chữa thi công dưới nước được đánh giá là giải pháp tối ưu cho xử lý chống thấm thượng lưu đập thủy điện so với các vật liệu màng phủ truyền thống.

3. NGHIÊN CỨU THÍ NGHIỆM CÁC TÍNH NĂNG CỦA VẬT LIỆU

3.1. Yêu cầu kỹ thuật đối với vữa sửa chữa thi công dưới nước

Vữa thi công dưới nước không chỉ cần có các tính năng của vữa thông thường (cường độ, độ bám dính) mà quan trọng nhất là phải chống lại được sự xâm nhập và rửa trôi của nước trong quá trình thi công và đông rắn. Theo tài liệu của Cục Đập nước Hoa Kỳ, các vữa xi măng sửa chữa dưới nước thường kết hợp phụ gia giảm nước cao cấp và phụ gia chống rửa trôi để gia tăng tính lưu động và duy trì kết dính của vữa trong môi trường nước [4]. Các đặc tính của loại vữa này bao gồm: khả năng chống rửa trôi cao (giữ nguyên kết cấu hạt vữa dưới nước) [4], độ bám dính cao với bê tông ướt, không co ngót sau đông cứng (ổn định thể tích), độ tự chảy tốt giúp lấp đầy khe hở phức tạp, độ bền cao (chịu được môi trường ngập nước và tác động cơ học). Các yêu cầu về tính năng kỹ thuật chính của vữa như sau:

- Khả năng chống rửa trôi: Vữa phải có độ kết dính và độ nhớt cao để khi tiếp xúc với nước, các thành phần (đặc biệt là xi măng và phụ gia mịn) không bị nước hòa tan và rửa trôi. Điều này đảm bảo thành phần vữa được giữ nguyên vẹn, duy trì cường độ thiết kế.

- Khả năng tự chảy, tự san phẳng: Vữa được thiết kế có độ chảy cao để thi công trong môi trường nước bằng cách đổ trực tiếp hoặc bơm phun bằng máy chuyên dụng, độ chảy xoè yêu cầu từ 22 - 28 cm. Ngoài ra, khi thi công trong môi trường không quan sát được trực tiếp, vữa cần có khả năng chảy lan tốt, lấp đầy hoàn toàn các khe nứt, lỗ rỗng mà không cần các biện pháp đầm nén thủ công.

- Thời gian ninh kết: Thời gian ninh kết ban đầu đủ dài (≥ 5 giờ) để đảm bảo thời gian thi công. Thời gian kết thúc ninh kết không quá chậm (≤ 12 giờ) để tránh bị nước làm hư hại trong giai đoạn đầu.

- Cường độ chịu nén: Cường độ nén là thông số thiết kế cơ bản phản ánh khả năng chịu lực của vữa. Vữa sửa chữa dưới nước cần đạt cường độ nén tương đương hoặc cao hơn bê tông nền để đảm bảo khả năng chịu lực. Cường độ nén yêu cầu của vữa sửa chữa dưới nước ≥ 30 MPa. Cường độ nén cao giúp vữa không bị phá hoại dưới tải trọng của nước, đồng thời tăng tuổi thọ sửa chữa. Bên cạnh đó, cường độ nén phát triển nhanh và ổn định cho phép rút ngắn thời gian thi công.

- Độ bám dính: Khả năng bám dính vào bề mặt bê tông cũ trong môi trường nước là yêu cầu sống còn. Vữa sửa chữa dưới nước phải có độ bám dính cao (thông thường ≥ 1 MPa) nếu không vữa sẽ bong tách, gây hở khe và nước có thể xâm nhập.

- Tính năng giãn nở nhẹ: Vữa sửa chữa có khả năng giãn nở nhẹ (thông thường $\geq 0,1\%$) khi đông rắn dưới nước để bù lại độ co ngót và tăng áp lực bề mặt, giúp lấp đầy hoàn toàn, tăng độ chặt và tự lấp đầy vết nứt nhỏ, tăng hiệu quả chống thấm cho đập.

3.2. Vật liệu sử dụng

- Vữa sửa chữa thi công dưới nước XM03 UW: Là loại vữa một thành phần (chỉ cần trộn với nước sạch trước khi thi công).

- Tẩm màng chống thấm Polytop Aseal: Là tẩm màng nhựa được gia cường sợi tổng hợp, có cường độ kéo đứt và kháng xé cao, dùng làm lớp ngăn nước tạm thời tương tự cốp pha dưới nước, tạo lớp vách ngăn nước trong quá trình bơm vữa.

- Mẫu bê tông đầm lăn lấy tại hiện trường: Để đúc mẫu thử độ bám dính và so sánh.

3.3. Phương pháp thí nghiệm

Mục tiêu của nghiên cứu này là phát triển vữa sửa chữa đặc biệt có thể thi công dưới nước để cải thiện khả năng chống thấm của mặt thượng lưu đập thủy điện, từ đó kéo dài tuổi thọ công trình và giảm chi phí bảo trì. Để đánh giá hiệu quả của vữa sửa chữa thi công dưới nước, nhóm tác giả đã tiến hành các thí nghiệm các đặc tính kỹ thuật của vữa trong phòng thí nghiệm và thử nghiệm tại hiện trường.

3.4. Thí nghiệm các đặc tính XM03 UW tại phòng thí nghiệm

Đúc và bảo dưỡng mẫu vữa theo tiêu chuẩn, thực hiện các phép thử cơ bản để đánh giá đặc tính:

- Thử cường độ nén : Đúc mẫu vữa theo quy chuẩn và bảo dưỡng tốt, kiểm tra cường độ nén tại 3 ngày, 7 ngày và 28 ngày theo TCVN 3121-11:2022 (Hình 4).

- Thử độ bám dính với bê tông cũ: Đúc mẫu vữa lên nền bê tông ngập trong nước, sau 28 ngày kiểm tra độ bám dính giữa lớp vữa và bề mặt bê tông cũ theo TCVN 3121-12:2022.

- Thử khả năng chống rửa trôi: Trộn mẫu vữa theo đúng tỉ lệ tiến hành đổ mẫu vào trong môi trường ngập nước để kiểm tra xem vữa có bị hòa tan, phân tầng hay không (Hình 5).

- Thí nghiệm khác: Thử độ nở thể tích, thời gian ninh kết, độ chảy để kiểm tra tính ổn định của vữa...

Kết quả thí nghiệm trong phòng cho thấy vữa XM03 UW đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật của vữa sửa chữa thi công dưới nước. Những kết quả này cho thấy vữa có cường độ cao và độ bám dính tốt, phù hợp để thử nghiệm tại hiện trường trong điều kiện ngập nước.



Hình 4: Đúc mẫu ngập trong nước



Hình 5: Thí nghiệm độ chống rửa trôi

Bảng 1: Kết quả thí nghiệm đặc tính kỹ thuật vữa XM03 UW

STT	Các chỉ tiêu thí nghiệm	Đơn vị	Kết quả	Phương pháp thử
1	Lượng nước dùng	%	28	
2	Độ chảy xòe	cm	24,0	TCVN 9204:2012
3	Khối lượng thể tích hỗn hợp	kg/lít	1,96	TCVN 3121-6:2022
4	Độ tách nước	%	0,0	TCVN 9204:2012
5	Độ nở thể tích sau 24 giờ	%	0,12	ASTM C940
6	Cường độ nén tuổi 3 ngày	MPa	23,3	TCVN 3121-11:2022
7	Cường độ nén tuổi 7 ngày	MPa	35,9	
8	Cường độ nén tuổi 28 ngày	MPa	45,6	
9	Cường độ bám dính tuổi 28 ngày	MPa	1,3	TCVN 3121-12:2022
10	Thời gian bắt đầu ninh kết	Giờ: phút	6:40'	TCVN 9338:2012
11	Thời gian kết thúc ninh kết	Giờ: phút	11:35'	TCVN 9338:2012

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm cường độ nén, cường độ bám dính mẫu vữa khoan tại hiện trường

STT	Chỉ tiêu thí nghiệm	Kết quả				Phương pháp thử
		Mẫu 1	Mẫu 2	Mẫu 3	TB	
1	Cường độ nén tuổi 28 ngày, MPa	45,6	42,5	46,3	44,8	TCVN 3121-11:2022
2	Cường độ bám dính với RCC, MPa	1,2	1,1	1,2	1,17	TCVN 3121-12:2022

Bảng 3. Bảng kết quả thí nghiệm thử thấm mẫu khoan rút lõi vữa

STT	Loại mẫu	Tuổi thí nghiệm	Áp lực nước không đổi trong 16 giờ	Số viên bị nước xuyên qua	Kết quả đạt độ chống thấm	Phương pháp thử
		Ngày	daN/cm ²	Viên		
1	Mẫu thử thấm hệ chống thấm thử nghiệm	28	2,0	0/6	B10	Áp dụng TCVN 3116:2022
			4,0	0/6		
			6,0	0/6		
			8,0	0/6		
			10,0	0/6		

3.5. Thí nghiệm vữa sửa chữa XM03 UW tại hiện trường

Biện pháp thi công được lập để áp dụng cho việc thi công dưới nước chống thấm thử nghiệm thượng lưu đập thủy điện Đồng Nai 3, diện tích chống thấm thử nghiệm là 8 m² (rộng 2 m, cao 4 m) từ cao trình 574 m → 570 m, vị trí thi công thử nghiệm nằm tại Vai phải đập.

Các bước thử nghiệm thi công chính:

- Lắp đặt hệ thống giáo treo và sàn thao tác phục vụ việc thi công.
- Vệ sinh sạch và đục tạo nhám bề mặt bê tông.
- Lắp đặt các tấm màng chống thấm Polytop Aseal.
- Bơm vữa chống thấm XM03 UW dày trung bình 3 cm để điền đầy khoảng hở giữa màng chống thấm và bề mặt bê tông.
- Miết kín và điền đầy các mạch hở giữa các tấm chống thấm bằng vữa CMF.
- Quay camera các bước thi công và tổng thể bề mặt sau khi thi công.

Sau khi tiến hành các bước thi công trên, để mẫu vữa đạt tuổi tiến hành thí nghiệm tại hiện trường các nội dung sau:

- Khoan lấy mẫu vữa XM03 UW để thí nghiệm kiểm tra cường độ nén theo TCVN 3121-11:2022.
- Kiểm tra độ bám dính của lớp vữa mới với bê tông RCC thân đập theo tiêu chuẩn TCVN 3121-12:2022.
- Khoan lấy mẫu vữa XM03 UW để Thí nghiệm kiểm tra khả năng chống thấm. Chuẩn bị mẫu thử chống thấm theo TCVN 3105:1993. Thử nghiệm áp dụng theo TCVN 3116:2022. Một số hình ảnh thi công và thử nghiệm được thể hiện trong Hình 6 - Hình 11.



Hình 6: Thí nghiệm cường độ bám dính



Hình 7: Thí nghiệm thử thấm



Hình 8: Bơm đầy vữa giữa khoảng hở với tấm màng



Hình 9: Khoan rút lõi lấy mẫu vữa



Hình 10: Các lớp chống thấm



Hình 11: Nén mẫu vữa VT-XM03 UW

Qua kiểm tra trực tiếp bằng quan sát trực quan tại vị trí thi công thử nghiệm nhận thấy các lớp thi công như vữa chống thấm XM03 UW bám dính tốt với bê tông đập, hệ vật liệu chống thấm liên kết thành một khối thống nhất và rất chắc chắn.

Các phép thử trên cho thấy vữa sửa chữa có độ bám dính và độ bền cơ học đủ cao, độ chống rửa trôi cao, đảm bảo ổn định lâu dài khi thi công dưới

nước [4]. Điều này phù hợp với nghiên cứu trong và ngoài nước rằng vữa chống thấm dưới nước, nhờ thành phần phụ gia đặc biệt, có thể thi công hiệu quả mà không bị rửa trôi, giúp bít kín các vị trí bề mặt khuyết tật, khe nứt ngầm [3-4]. Quy trình thi công thử nghiệm chống thấm dưới nước đạt yêu cầu kỹ thuật theo phương án thử nghiệm đưa ra.

4. KẾT QUẢ ỨNG DỤNG VỮA SỬA CHỮA THI CÔNG DƯỚI NƯỚC ĐỂ CHỐNG THẤM THƯỢNG LƯU ĐẬP THỦY ĐIỆN

Từ những kết quả đạt được trong quá trình thử nghiệm. Hiện nay, vữa sửa chữa XM03 UW đã và đang được ứng dụng sửa chữa, tăng khả năng chống thấm cho bề mặt thượng lưu 1 số các công trình đập thủy điện như Thủy điện Đồng Nai 3, thủy điện Hoà Bình với khối lượng đã thực hiện khoảng 11.500 m².

Thủy điện Đồng Nai 3 là công trình thủy điện xây dựng trên sông Đồng Nai (hay sông Đa Dâng), tại vùng đất xã Đắc Som huyện Đắc Glong tỉnh Đắc Nông và xã Lộc Lâm huyện Bảo Lâm, tỉnh Lâm Đồng, Việt Nam. Đó là bậc thang thủy điện thứ 4 tính từ thượng nguồn sông Đồng Nai, sau các thủy điện Đa Nhim (Đơn Dương), Đại Ninh, Đồng Nai 2.

Thủy điện Đồng Nai 3 có công suất 180 MW với 2 tổ máy, khởi công tháng 12/2004, hoàn thành tháng 02/2012. Qua quá trình tích nước, vận hành và khai thác Thủy điện Đồng Nai 3 xuất hiện các dòng thấm màu nâu đỏ trong bê tông và kết tủa tại các mặt tường, rãnh thu nước, khi khô hóa rắn trong hành lang. Dẫn đến chất lượng bê tông suy giảm. Để đảm bảo làm việc an toàn, ổn định và lâu dài cần có biện pháp chống thấm triệt để từ phía thượng lưu. Phần trên khô từ cao trình 570 - 595 m đã được xử lý bằng lớp phủ chống thấm gốc polyurea đem lại những hiệu quả tích cực. Phần dưới nước từ cao trình 570 m xuống 514 m được tiến hành xử lý bằng lớp vữa sửa chữa XM03 UW. Hình ảnh thi công thực tế được thể hiện từ Hình 12 đến Hình 15.

Việc ứng dụng vữa sửa chữa dưới nước đòi hỏi quy trình nghiêm ngặt, kỹ thuật rất cao, đòi hỏi sự tỉ mỉ và an toàn rất lớn. Trong công tác thi công ngoài hiện trường, thông thường đội thợ lặn chuyên nghiệp sẽ đảm nhiệm việc sửa chữa. Các thợ lặn sử dụng hệ thống cấp khí bề mặt để đảm bảo an toàn và hiệu suất lao động [5]. Quy trình thực hiện sửa chữa như sau:

- Lắp đặt hệ thống giá treo, sàn thao tác, tời điện phục vụ thi công dưới nước.
- Vệ sinh, đục tạo nhám bề mặt bê tông thượng lưu đập.
- Lắp ghép dưới nước các tấm màng cách nước có độ bền cao và chịu va đập.
- Bơm vữa XM03 UW điền đầy vào khoảng hở giữa tấm màng cách nước và bề mặt bê tông đập.



Hình 12: Đục tạo nhám cho bề mặt bê tông



Hình 13: Lắp đặt màng cách nước



Hình 14: Vữa sửa chữa được bơm dưới nước



Hình 15: Vữa sửa chữa sau khi bơm

Kết quả ứng dụng tại các công trình cho thấy vữa sửa chữa thi công có khả năng phục hồi toàn diện bề mặt đập. Sau khi thi công, lớp vữa đông kết tốt và liên kết chặt chẽ với kết cấu cũ, ngăn chặn dòng chảy thấm. Quan sát thực tế tại các hiện trường cho thấy vữa duy trì được cường độ cao và không bị bong tróc dù liên tục ngâm nước. Nhờ đó, nước thấm qua đập giảm đáng kể, tuổi thọ công trình được gia tăng và giảm chi phí bảo trì. Vữa cũng không co ngót nên tránh gây rạn nứt mới và đảm bảo kết cấu kín nước lâu dài. Kết quả này phù hợp với nhận định của các nghiên cứu quốc tế: ứng dụng công nghệ sửa chữa bê tông ngâm giúp duy trì hoạt động an toàn và ổn định của các công trình thủy điện [6].

5. HIỆU QUẢ KINH TẾ

Việc ứng dụng vữa XM03 UW để thi công chống thấm phía thượng lưu đập thủy điện là một giải pháp kỹ thuật có hiệu quả rất cao về kỹ thuật và kinh tế. Quan trắc các khu vực đã áp dụng giải pháp xử lý này cho thấy lưu lượng thấm giảm, bên trong hành lang không phát hiện hiện tượng rửa trôi cốt liệu mịn thấm thấu, kết tủa trên mặt tường hành lang lân cận khu vực chống thấm, lượng cát, bùn trong rãnh hành lang đoạn chống thấm giảm so với trước khi thực hiện.

Ngoài những hiệu quả về mặt kỹ thuật thì giải pháp trên còn mang lại những hiệu quả kinh tế so với các giải pháp khác. Tuy mức đầu tư ban đầu lớn hơn khoảng 20% so với giải pháp sơn chống thấm dưới nước nhưng xét về lâu dài do tuổi thọ cao hơn, chi phí bảo trì thấp hơn so với các giải pháp khác, với chi phí vòng đời 30 năm thì việc sử dụng vữa XM03 UW giảm giá thành từ 30 - 60%.

Bảng 4: Giá thành và chi phí các giải pháp xử lý

Chỉ tiêu Giải pháp	Giá thành ban đầu (Triệu VNĐ/m ²)	Chi phí vòng đời 30 năm (Triệu VNĐ/m ²)	Ghi chú
Sơn chống thấm dưới nước	12,0	23,5	Bảo trì mỗi 5 năm/lần
Vữa sửa chữa XM03 UW	15,0	16,2	Bảo trì mỗi 10 năm/lần
Dán màng chống thấm Carpi	40,0	43,1	Bảo trì mỗi 10 năm/lần

Mặc dù có những thách thức về chi phí ban đầu và kỹ thuật thi công, nhưng những lợi ích to lớn về mặt kinh tế và kỹ thuật mà nó mang lại khiến đây trở thành phương pháp được ưu tiên lựa chọn hàng đầu cho các dự án bảo trì, sửa chữa phía thượng lưu đập bê tông thủy điện phần ngập nước.

6. KIẾN NGHỊ VÀ HƯỚNG NGHIÊN CỨU TIẾP THEO

6.1. Kiến nghị

Mặc dù XM03 UW có nhiều ưu điểm, nhưng vẫn tồn tại các nhược điểm cần khắc phục. Thời gian ninh kết của vữa dài sẽ làm chậm tiến độ thi công, do đó để đẩy nhanh tiến độ thi công cần nghiên cứu làm giảm thời gian ninh kết của vữa về gần giá trị yêu cầu. Ngoài ra, độ bám dính của vữa với bề mặt nền chưa thực sự cao, do vậy cần tiếp tục nghiên cứu cải thiện khả năng bám dính của vữa XM03 UW.

6.2. Hướng nghiên cứu tiếp theo

Để tối ưu hóa hiệu quả của vữa sửa chữa XM03 UW cần tiếp tục nghiên cứu và phát triển các giải pháp nhằm nâng cao tính năng, hiệu quả kinh tế như sau:

- Nghiên cứu, thử nghiệm các loại phụ gia mới hơn để cải thiện khả năng chống rửa trôi, tăng cường độ bám dính, đồng thời có giá thành hợp lý hơn.

- Nghiên cứu nâng cao tính năng kháng mài mòn và bổ sung phụ gia chống ăn mòn để tăng độ bền lâu dài tăng khả năng chống lại sự ăn mòn của muối, sulfat, và các hóa chất khác trong môi trường nước biển hoặc nước thải.

- Thử nghiệm, ứng dụng vữa sửa chữa XM03 UW tại các khu vực có dòng chảy mạnh như cửa biển, cầu cảng.

- Nghiên cứu công nghệ thi công mới: Phát triển các robot lặn có thể thi công vữa một cách chính xác, giảm sự phụ thuộc vào thợ lặn và an toàn hơn trong môi trường nguy hiểm.

7. KẾT LUẬN

Nghiên cứu và thực nghiệm cho thấy vữa sửa chữa thi công dưới nước XM03 UW là giải pháp hữu hiệu để chống thấm cho phần ngập nước của đập thủy điện. Loại vữa này đông kết ổn định trong môi trường nước, độ chảy ổn định không bị phân tách, đồng thời kết dính chắc chắn với bê tông cũ. Thành phần xi măng và các phụ gia đặc biệt giúp vữa đạt cường độ cao, chống co ngót và có khả

năng chống ăn mòn, đảm bảo độ bền lâu dài cho lớp phủ chống thấm. Việc ứng dụng thành công vữa sửa chữa XM03 UW tại các dự án đập thủy điện thực tế giúp cải thiện khả năng chống thấm, kéo dài tuổi thọ công trình và giảm chi phí bảo trì. Tổng hợp kết quả cho thấy đây là công nghệ tiềm năng cho công tác sửa chữa và nâng cấp, góp phần bảo đảm an toàn khai thác và vận hành lâu dài các đập thủy điện hiện hữu [3], [6].

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] Nguyễn Quang Bình (2015), “Nghiên cứu tổ hợp phụ gia để nâng cao khả năng chống thấm nước của bê tông đầm lăn sử dụng cho đập trong điều kiện Việt Nam”, Luận án tiến sĩ kỹ thuật.
- [2] Zhongwei Liu, Jinsheng Jia and Aili Li, “Application of the Dam Underwater Repair Technology in China”, ICOLD Symposium on Sustainable Development of Dams and River Basins, 24th - 27th February, 2021, New Delhi.
- [3] Dolen T. P. (2007). Underwater Crack Repair. Dam Safety Technology Development Program, U.S. Bureau of Reclamation, Denver, Colorado.
- [4] Bureau of Reclamation (2007). Underwater Crack Repair - Materials for Underwater Mortars. Denver, Colorado.
- [5] <https://www.waterpowermagazine.com/analysis/underwater-engineering/>
- [6] Zhaogeng Wang, Jijian Lian, Hui Liu 3, Chao Liang, Kaifang Zou, Liang Chen, Suiling Wang, Nan Shao and Ye Yao (2024), “Review on Repair Technologies for Underwater Concrete Structure Damage of Infrastructures”. Water 2025, 17, 35.