

NGHIÊN CỨU KHẢ NĂNG SỬ DỤNG NƯỚC THU HỒI TỪ QUÁ TRÌNH SẢN XUẤT BÊ TÔNG TRỘN CHO BÊ TÔNG

Lê Thuận An¹, Lê Phụng Ly, Đoàn Thị Thu Lương

Viện Khoa học công nghệ xây dựng

Email: ¹thuanan82@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/hnkh17-ibst.2025.ses1-1>

TÓM TẮT: Nước thu hồi trong quá trình sản xuất bê tông bao gồm nước từ các công đoạn rửa cốt liệu, rửa thiết bị trộn và rửa thiết bị vận chuyển (xe trộn, bồn chứa), cùng nước gom tại khu vực hoàn nguyên. Tổng hợp các báo cáo kỹ thuật cho thấy lượng nước thu hồi phát sinh tại một trạm trộn cỡ trung bình ($\approx 60 - 90 \text{ m}^3/\text{h}$) vào khoảng $7 - 30 \text{ m}^3/\text{ngày}$, tương đương $0,05 - 0,20 \text{ m}^3$ cho mỗi 1 m^3 bê tông thương phẩm, tùy quy mô và chế độ rửa. Việc tận dụng nguồn nước thu hồi này làm nước trộn cho bê tông có thể góp phần giảm chi phí nước sạch, hạ chi phí xử lý thải, đồng thời cải thiện chỉ số môi trường (giảm xả thải, tuần hoàn tài nguyên). Nghiên cứu này trình bày khả năng sử dụng nước thu hồi (dùng riêng hoặc trộn lẫn) làm nước trộn cho bê tông.

TỪ KHÓA: Bê tông; nước trộn cho bê tông, nước thu hồi từ quá trình sản xuất bê tông, nước trộn lẫn.

ABSTRACT: Recovered water generated during concrete production includes water from washing of aggregates, washing of mixing equipment, and washing of delivery equipment (truck mixers, storage tanks), as well as water collected from the reclamation area. A synthesis of technical reports indicates that a medium-size batching plant ($\approx 60 - 90 \text{ m}^3/\text{h}$) produces about $7 - 30 \text{ m}^3/\text{day}$ of recovered water, equivalent to $0.05 - 0.20 \text{ m}^3$ per 1 m^3 of ready-mixed concrete, depending on plant scale and washing regime. Utilizing this recovered water as mixing water for concrete can reduce potable-water consumption and wastewater-treatment costs, while improving environmental performance (reduced discharge, resource circularity). This study presents the feasibility of using recovered water (used neat or as combined/blended mixing water) as mixing water for concrete.

KEYWORDS: Concrete; mixing water for concrete, recovered water from concrete production, blended mixing water.

1. GIỚI THIỆU

Trong quá trình sản xuất bê tông thương phẩm, một lượng nước đáng kể được sử dụng cho các công đoạn rửa cốt liệu, vệ sinh máy trộn, xe bồn và hệ thống thiết bị. Phần lớn lượng nước này sau khi sử dụng trở thành nước thải có chứa nhiều hạt mịn, ion hòa tan và tạp chất, được thu gom vào các bể lắng của trạm trộn. Đây được gọi là nước thu hồi. Việc quản lý và tái sử dụng loại nước này đóng vai trò quan trọng trong chiến lược sản xuất bê tông theo hướng tiết kiệm tài nguyên và bảo vệ môi trường.

Theo các thống kê quốc tế và trong nước, lượng nước thu hồi bình quân dao động trong khoảng từ 150 đến 300 lít cho mỗi mét khối bê tông thương phẩm. Cụ thể nếu tính trên lượng bê tông thương phẩm thì nước thu hồi tương ứng dao động từ $150 - 300 \text{ L/m}^3$ tùy quy mô trạm [1, 2, 3].

Với sản lượng bê tông thương phẩm lớn, khối lượng nước thải này nếu được xử lý và tái sử dụng hiệu quả sẽ mang lại lợi ích rõ rệt về môi trường do giảm khai thác nước ngọt và giảm xả thải, đồng thời tăng hiệu quả kinh tế nhờ giảm chi phí vận hành trạm, giảm chi phí xử lý nước thải.

Theo ASTM C1602 [5] và BS EN 1008 [6], nước thu hồi có thể được sử dụng để trộn bê tông nếu đáp ứng các yêu cầu về hóa học (giới hạn clorua, sunfat, kiềm, TDS) và được kiểm chứng về tính chất bê tông (thời gian đông kết, cường độ chịu nén) tương đương với nước sạch. Do vậy, việc nghiên cứu và ứng dụng nước thu hồi trong sản xuất bê tông vừa có ý nghĩa thực tiễn, vừa phù hợp với xu thế phát triển bền vững trong ngành xây dựng.

Nhiều nghiên cứu quốc tế và trong nước đã tập trung đánh giá ảnh hưởng của nước thu hồi đến các

tính chất của bê tông. Các nghiên cứu được chia thành ba nhóm chính: ảnh hưởng đến các tính chất cơ lý; ảnh hưởng đến độ bền lâu; và ảnh hưởng đến ăn mòn cốt thép.

Nghiên cứu [3] thực hiện trên bê tông thường có cường độ C25 - C40 cho thấy khi hàm lượng chất rắn lơ lửng và các ion hòa tan trong nước thu hồi được kiểm soát thì cường độ nén 7 - 28 ngày của bê tông xấp xỉ đối chứng (dao động $\pm 5 - 10\%$), mô đun đàn hồi cũng có xu hướng tương đồng. Tuy nhiên, khi hàm lượng bùn mịn, kiềm hoặc Cl^- , SO_4^{2-} tăng vượt ngưỡng, tỷ lệ nước trên chất kết dính (N/CKD) tăng dẫn đến giảm cường độ và biến dạng cường độ lớn.

Nghiên cứu nước rửa xe trộn bê tông [4] tái sử dụng làm nước trộn bê tông cho thấy thời gian đông kết chênh lệch không đáng kể khi nước đạt chuẩn; độ sụt có thể thay đổi nhẹ nhưng có thể điều chỉnh bằng phụ gia siêu dẻo. Cường độ chịu nén và cường độ chịu kéo tại 28 ngày của các cấp phối bê tông đạt tương đương đối chứng hoặc tăng nhẹ nhờ hiệu ứng filler của hạt mịn.

Các chỉ tiêu độ thấm nước và khả năng thâm nhập ion clorua phản ánh khả năng chống xâm nhập chất lỏng và ion của bê tông. Khi nước thu hồi đạt các chỉ tiêu về hóa học và hàm lượng hạt mịn được quản lý hợp lý thì đá xi măng trở nên đặc chắc hơn, hệ số thấm ion giảm, giúp độ bền clorua không kém hoặc thậm chí cải thiện nhẹ so với bê tông đối chứng [6 - 8]. Ngược lại, khi Cl^- , SO_4^{2-} cao làm giảm khả năng chống xâm nhập ion, tăng nguy cơ ăn mòn cốt thép.

Theo EN 206 và ACI 318, tổng hàm lượng clorua từ tất cả các nguồn vật liệu như xi măng, cốt liệu, phụ gia, nước... phải được kiểm soát theo môi trường làm việc và loại kết cấu. Các nghiên cứu

cho thấy khi clorua trong nước thu hồi được kiểm soát chặt và tổng clorua của cấp phối nằm trong giới hạn, các chỉ tiêu điện thế ăn mòn, mật độ dòng ăn mòn và điện trở suất của bê tông không khác đáng kể so với bê tông dùng nước sạch [4 - 8]. Tuy nhiên, nếu clorua vượt ngưỡng thì nguy cơ khởi phát ăn mòn tăng lên đáng kể, đặc biệt trong môi trường biển.

Như vậy, các nghiên cứu đều cho thấy ảnh hưởng nhất định của việc sử dụng nước thu hồi của quá trình sản xuất bê tông đến các tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông. Từ đó, cho thấy tính khả thi của việc tận dụng lượng nước có sẵn này trong sản xuất bê tông.

2. CƠ SỞ LÝ LUẬN VÀ KINH NGHIỆM QUỐC TẾ

Tiêu chuẩn Việt Nam hiện hành, TCVN 4506:2012 - Nước cho bê tông và vữa, thay thế bản cũ năm 1987 đã bổ sung nhiều điểm quan trọng như yêu cầu đối với nước bảo dưỡng, quy định rõ các giới hạn pH, Cl^- , SO_4^{2-} , tổng chất rắn hòa tan, dầu mỡ và chất hữu cơ. So với các tiêu chuẩn EN 1008 [6], TCVN 4506:2012 [8] giới hạn định lượng các chỉ tiêu của nước trộn bê tông, tương đồng với tiêu chuẩn của Nga [9] và ít nhấn mạnh đến khía cạnh thử nghiệm ảnh hưởng của nước được thí nghiệm với nước đối chứng như ASTM C1602 [5] hoặc EN 1008 [6]. Quy định của TCVN 4506:2012 [8] hạn chế khả năng sử dụng nước thu hồi trong quá trình sản xuất. Trong bối cảnh phát triển bền vững và tiết giảm chi phí sản xuất thì việc tận dụng nước thu hồi để sử dụng làm nước trộn bê tông, mà không làm ảnh hưởng đến chất lượng sản phẩm bê tông, càng được quan tâm.

Bảng 1: Một số chỉ tiêu cơ bản của nước trộn cho bê tông theo các quốc gia

Chỉ tiêu	TCVN 4506:2012	EN 1008:2002	ASTM C1602	GOST 23732-2011	JIS A 5308	IS 456:2000
pH	≥ 4	≥ 4	≥ 4.5	6 - 8.5	≥ 5	6 - 8
Cl^- (RC, mg/L)	≤ 500	≤ 500	≤ 500	≤ 300	≤ 500	≤ 500
Cl^- (PC, mg/L)	Không QĐ	≤ 1000	≤ 1000	≤ 600	≤ 500	Không QĐ
SO_4^{2-} (SO_3 , mg/L)	≤ 2000	≤ 2000	≤ 3000	≤ 2700	≤ 2000	≤ 2000
TDS (mg/L)	≤ 2000	≤ 2000	≤ 2000	≤ 2000	Không QĐ	≤ 2000
Hữu cơ (mg O_2 /L)	≤ 15	≤ 15	≤ 50	≤ 15	Không rõ	Không ảnh hưởng
Dầu mỡ (mg/L)	≤ 2	≤ 50	≤ 25	≤ 10	Không vẩn	Tránh có vẩn

Tại Vương quốc Anh, tiêu chuẩn EN 1008:2002 - Mixing water for concrete, được chấp nhận nguyên bản và chuyển dịch thành tiêu chuẩn quốc gia BS EN 1008:2002. Tiêu chuẩn này thay thế BS 3148:1980. Điểm mới nổi bật là cho phép sử dụng nước tái chế từ trạm trộn hoặc nước thải công nghiệp đã xử lý, với điều kiện phải chứng minh qua thử nghiệm về độ sụt, thời gian ninh kết và cường độ nén so với mẫu đối chứng. So với TCVN và GOST, EN 1008 linh hoạt hơn, tương đồng với ASTM trong việc khuyến khích sử dụng nguồn nước thay thế nhằm bảo vệ môi trường và tiết kiệm tài nguyên.

Tại Hoa Kỳ, tiêu chuẩn ASTM C1602/C1602M - Standard Specification for Mixing Water Used in the Production of Hydraulic Cement Concrete, ban hành lần đầu vào khoảng năm 2006 và được soát xét nhiều lần (2012, 2018, 2022). ASTM C1602 quy định chi tiết các giới hạn về Cl^- , SO_4^{2-} , chất hữu cơ, tổng chất rắn hòa tan và đặc biệt là tổng kiềm. Tiêu chuẩn phân biệt rõ giữa bê tông cốt thép thường (RC) và bê tông dự ứng lực (PC) với ngưỡng Cl^- khác nhau. Giống như EN 1008, ASTM C1602 cho phép sử dụng nước tái chế, nhưng yêu cầu nghiêm ngặt về kiểm tra ảnh hưởng của nước tới tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông, bao gồm so sánh thời gian ninh kết và cường độ nén theo các phép thử ASTM.

Tiêu chuẩn JIS A 5308:2019 - Ready-mixed concrete có phần quy định yêu cầu với nước trộn bê tông. Các lần soát xét 2003, 2009 và 2019 bổ sung nội dung liên quan đến quản lý môi trường trạm trộn và công nhận việc sử dụng nước rửa sau xử lý làm nước trộn cho bê tông. Cách tiếp cận của JIS mang tính thực hành cao, gắn trực tiếp với công tác quản lý sản xuất bê tông thương phẩm. Tương đồng với ASTM và EN, JIS cũng cho phép sử dụng nguồn nước tái chế có kiểm soát để sử dụng làm nước trộn cho bê tông.

Tại Nga, tiêu chuẩn GOST 23732-2011 - Water for concrete and mortars kế thừa bản GOST 23732-79 và duy trì triết lý kiểm soát chặt chẽ bằng giới hạn định lượng nghiêm ngặt. Điểm nổi bật là giới hạn ion Cl^- cho bê tông cốt thép được đặt rất thấp ($\leq 300 \text{ mg/L}$), khắt khe hơn hầu hết các hệ thống tiêu chuẩn khác. GOST cũng chú trọng đến chỉ tiêu dầu mỡ và một số yếu tố vi sinh, phù hợp với điều kiện khí hậu lạnh và yêu cầu độ bền lâu dài trong công trình hạ tầng. So với EN và

ASTM, GOST ít linh hoạt hơn. Cách tiếp cận này có sự tương đồng với TCVN truyền thống, tuy nhiên mức độ khắt khe của Nga cao hơn rõ rệt.

Tiêu chuẩn IS 456:2000 - Plain and Reinforced Concrete, Code of Practice là tiêu chuẩn khung về thiết kế và thi công bê tông, trong đó phần về nước trộn nhấn mạnh rằng nước uống được coi là phù hợp. Các giới hạn pH, Cl^- , SO_4^{2-} và tạp chất hữu cơ được quy định ở mức cơ bản, đồng thời tham chiếu đến hệ tiêu chuẩn thử nghiệm IS 3025.

Mặc dù khác nhau về cách tiếp cận, tất cả các tiêu chuẩn đều thống nhất một số nguyên tắc cơ bản là giới hạn hàm lượng Cl^- và SO_4^{2-} , kiểm soát chất hữu cơ và dầu mỡ (Bảng 1) và yêu cầu nước không gây ảnh hưởng đến quá trình ninh kết và cường độ của bê tông.

Trong bối cảnh hiện nay, khi nhu cầu tái sử dụng phế thải nói chung, nước thải nói riêng thì việc tham khảo và chuyển dịch tiêu chuẩn theo định hướng mới là cần thiết, vừa đảm bảo chất lượng bê tông, vừa phù hợp với định hướng phát triển bền vững, tiết kiệm tài nguyên.

3. KẾT QUẢ THÍ NGHIỆM

Nghiên cứu được thực hiện tại Viện Chuyên ngành bê tông với 3 loại nước trộn cho bê tông (Bảng 2, Bảng 3) được lấy từ nguồn nước sinh hoạt (mẫu A), nước trộn lẫn từ nước sinh hoạt và nước thu hồi (tỷ lệ 80:20) (mẫu B), nước thu hồi (mẫu C) (Hình 1). Các thí nghiệm được tiến hành theo EN 1008.



Hình 1: Thí nghiệm các chỉ tiêu hóa của nước

Bảng 2: Kết quả kiểm tra sơ bộ nước sử dụng trong thí nghiệm

STT	Chỉ tiêu	Kết quả thí nghiệm			Yêu cầu theo yêu cầu của EN1008
		Mẫu A	Mẫu B	Mẫu C	
1	Dầu và mỡ	Không có váng dầu hoặc váng mỡ	Không có váng dầu hoặc váng mỡ	Không có váng dầu hoặc váng mỡ	Không có váng dầu hoặc váng mỡ
2	Chất tẩy rửa	Không có bọt	Không có bọt	Bọt tan trong 1 phút	Bọt (nếu có) phải tan trong vòng 2 phút
3	Màu sắc	Không màu	Vàng nhạt	Vàng nhạt	Nước không màu hoặc màu sắc phải được đánh giá định tính là vàng nhạt hoặc nhạt hơn
4	Cặn lắng	0	1	3	Tối đa 4 cặn lắng
5	Mùi	Không có mùi	Không có mùi	Mùi nhẹ của xi măng	Không có mùi, ngoại trừ mùi được phép của nước sạch, mùi nhẹ của xi măng, hoặc nếu trong nước có xi lò cao thì có mùi nhẹ của hydrogen sulphide
6	pH	7,4	7,7	9,2	$\text{pH} \geq 4$
7	Chất mùn	Màu nâu vàng nhạt	Màu nâu vàng nhạt	Màu nâu vàng nhạt	Màu sắc, phải được đánh giá định tính, là nâu vàng hoặc nhạt hơn sau khi thêm NaOH

Bảng 3: Kết quả kiểm tra tính chất hóa học của nước

STT	Chỉ tiêu	Kết quả thí nghiệm, mg/L			Yêu cầu theo yêu cầu EN1008
		Mẫu A	Mẫu B	Mẫu C	
1	Hàm lượng ion Cl^-	17,5	23,0	32,2	< 1000 với bê tông có cốt thép
2	Hàm lượng SO_4^{2-}	19,4	20,1	39,7	< 2000

Xi măng sử dụng trong thí nghiệm là PCB40 có khối lượng riêng 3,07 g/cm³, bề mặt riêng 3.780 cm²/g, lượng sót trên sàng 0,09 mm là 1,1% và độ dẻo tiêu chuẩn 29,5%. Thời gian đông kết bắt đầu ở 160 phút và kết thúc ở 210 phút. Cường độ chịu uốn đạt 6,5 N/mm² sau 3 ngày và 9,7 N/mm² sau 28 ngày; cường độ chịu nén tương ứng là 30,9 N/mm² và 48,1 N/mm².

Cát sử dụng trong thí nghiệm có khối lượng riêng 2,66 g/cm³, khối lượng thể tích bão hòa nước 2,64 g/cm³ và khối lượng thể tích khô 2,62 g/cm³. Độ hút nước đạt 0,6%, khối lượng thể tích xốp 1.440 kg/m³ và mô đun độ lớn là 2,6. Lượng hạt lớn hơn 5 mm là 8,5%, hàm lượng bụi, bùn, sét chỉ 0,5%, và tạp chất hữu cơ (thử so màu) sáng hơn màu chuẩn, cho thấy mức độ sạch đạt yêu cầu kỹ thuật. Nhìn chung, các chỉ tiêu cơ lý của cát này phù hợp với quy định trong TCVN 7570:2006 về

cốt liệu mịn dùng cho bê tông và vữa, đảm bảo chất lượng cho các mục đích sử dụng trong nghiên cứu và sản xuất bê tông.

Cốt liệu lớn được sử dụng có khối lượng riêng 2,73 g/cm³, khối lượng thể tích bão hòa nước 2,71 g/cm³ và khối lượng thể tích khô 2,70 g/cm³. Độ hút nước đạt 0,4%, khối lượng thể tích xốp là 1.430 kg/m³ và độ rỗng 47,0%. Các thông số cơ lý đáp ứng yêu cầu kỹ thuật của cốt liệu thô dùng trong bê tông theo TCVN 7570:2006.

Đánh giá ảnh hưởng của các loại nước thí nghiệm đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông, kết quả Bảng 3 cho thấy thời gian đông kết của mẫu có nước thí nghiệm có ảnh hưởng đến thời gian đông kết và cường độ chịu nén của bê tông. Mặc dù các chỉ tiêu hóa học có chênh lệch giữa các mẫu nước nhưng mức độ ảnh hưởng đến cường độ nằm trong khoảng 5%.

Bảng 4: Ảnh hưởng của các loại nước thí nghiệm đến tính chất của hỗn hợp bê tông và bê tông.

STT	Chỉ tiêu	Kết quả thí nghiệm			Yêu cầu theo yêu cầu của EN1008
		Mẫu A	Mẫu B	Mẫu C	
1	Chênh lệch thời gian bắt đầu đông kết, phút	10	5	-5	Không chênh lệch quá 25% so với thời gian bắt đầu đông kết của mẫu đối chứng
	Chênh lệch thời gian kết thúc đông kết, phút	15	10	-5	Không được vượt quá 12 giờ và không chênh lệch quá 25% so với mẫu đối chứng
2	Cường độ chịu nén của tổ mẫu ở tuổi 7 ngày so với mẫu đối chứng, %	104	105	98	Không nhỏ hơn 90%

Kết quả này tương đồng với kết quả nghiên cứu [3, 4, 5], đã cho thấy tính khả thi của việc sử dụng nước thu hồi và nước trộn lẫn để làm nước trộn cho bê tông trong điều kiện Việt Nam.

Như vậy, việc biên soạn tiêu chuẩn nước trộn cho bê tông theo dựa trên tiêu chuẩn EN 1008 phù hợp định hướng hài hòa với tiêu chuẩn châu Âu EN 1992 Eurocode 2 mà Đề án hoàn thiện hệ thống tiêu chuẩn, quy chuẩn kỹ thuật xây dựng của Bộ Xây dựng đã xác định. Khi ban hành, dự thảo tiêu chuẩn sẽ mang lại hiệu quả kinh tế - kỹ thuật đáng kể nhờ thiết lập cơ sở pháp lý và chuẩn mực đánh giá cho việc sử dụng đa dạng nguồn nước, bao gồm cả nước thu hồi từ các quá trình sản xuất bê tông, nước trộn lẫn.

4. KẾT LUẬN

Nước thu hồi phát sinh từ quá trình sản xuất bê tông ở trạm trộn với sản lượng 60 - 90 m³/h vào khoảng 7 - 30 m³/ngày, tương đương 0,05 - 0,20 m³ cho mỗi 1 m³ bê tông thương phẩm, phụ thuộc quy mô trạm và chế độ rửa. Các nghiên cứu chỉ ra rằng khi đáp ứng giới hạn hoá học (đặc biệt Cl⁻, SO₄²⁻, kiềm) và kiểm soát chất rắn lơ lửng, việc dùng nước thu hồi làm nước trộn cho bê tông không gây bất lợi rõ rệt tới tính công tác, thời gian đông kết, cường độ và độ bền.

Trong điều kiện phòng thí nghiệm tại Việt Nam, khi tiến hành theo EN 1008, nghiên cứu đã cho thấy bê tông sử dụng nước thu hồi và nước trộn lẫn có cường độ dao động trong khoảng 98 - 105% so với đối chứng. Kết quả này cho thấy việc sử dụng nước thu hồi và nước trộn lẫn làm nước trộn cho bê tông khả thi về kỹ thuật, đồng thời mang lại hiệu quả kinh tế và môi trường.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] NRMCA (2012). Use of Recycled Water in Concrete Production. National Ready Mixed Concrete Association Publication, Silver Spring, USA.
- [2] EFCA (2013). Reuse of Wash Water in the Concrete Industry. European Federation of Concrete Admixtures Associations.
- [3] Sandrolini, F., et al. (2001). Reuse of wash water in the production of concrete. Materials and Structures.
- [4] Chatveera, B., & Lertwattanaruk, P. (2009). Use of sludge/wash water from ready-mixed concrete plants in concrete. Construction and Building Materials, 23(12), 4109-4115.
- [5] ASTM C1602/C1602M (2019). Mixing Water for Concrete. ASTM International.
- [6] BS EN 1008 (2002). Mixing water for concrete. British Standards Institution.
- [7] EN 206 (2013). Concrete - Specification, performance, production and conformity.
- [8] TCVN 4506:2012. Nước cho bê tông và vữa. Hà Nội: Bộ Khoa học và Công nghệ.
- [9] of Hydraulic Cement Concrete. West Conshohocken, PA: ASTM, 2018.
- [9] GOST 23732-2011. Water for concrete and mortars - Specifications. Moscow: Standartinform, 2011.
- [10] Japanese Standards Association. JIS A 5308:2019 - Ready-mixed concrete. Tokyo: JSA, 2019.
- [11] Bureau of Indian Standards. IS 456:2000 - Plain and Reinforced Concrete, Code of Practice. New Delhi: BIS, 2000.