

Ảnh hưởng điều kiện bảo dưỡng đến tính chất cơ lý và tính thấm nước của bê tông sử dụng tro mía

Đặng Quốc Việt^{1,2,*}, Đoàn Thế Long³, Vũ Quang Thuận¹, Đặng Bảo Lợi⁴, Lương Thị Bích¹, Châu Ngọc Vinh⁵

TÓM TẮT

Ngày nay, cùng với sự phát triển không ngừng của hạ tầng kỹ thuật, nhu cầu sử dụng bê tông ngày càng tăng mạnh. Tuy nhiên, với xu hướng phát triển bền vững thì càng có nhiều nghiên cứu liên quan đến việc áp dụng các phế thải trong công nghiệp và nông nghiệp trong việc sản xuất bê tông. Bài báo đánh giá khả năng áp dụng nguồn phế thải tro mía nhằm thay thế xi măng trong việc chế tạo bê tông có xem xét đến ảnh hưởng của điều kiện bảo dưỡng. Hàm lượng tro mía được sử dụng để thay thế cho xi măng là 5%. Các tính chất cơ lý và tính thấm nước của bê tông được nghiên cứu đến 56 ngày. Kết quả nghiên cứu cho thấy, vận tốc xung siêu âm và cường độ chịu nén của bê tông giảm khi dùng xi măng thay thế tro mía so với cấp phối đối chứng trước 28 ngày tuổi đối với cả hai điều kiện bảo dưỡng trong nước ngọt và không khí. Nhưng ở 56 ngày tuổi, bê tông sử dụng tro mía khi được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt có vận tốc xung siêu âm, cường độ chịu nén, tính thấm nước, và thể tích lỗ rỗng hở tăng nhẹ với cấp phối đối chứng. Bên cạnh đó, việc bảo dưỡng bê tông trong không khí làm giảm đáng kể đến vận tốc xung siêu âm, cường độ chịu nén và tăng tính thấm nước của bê tông, đặc biệt là bê tông có chứa tro mía. Kết quả là bê tông bảo dưỡng trong điều kiện không khí có hiệu quả thấp hơn bê tông được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt, đặc biệt là bê tông có chứa thành phần tro mía.

Từ khoá: Điều kiện bảo dưỡng, Tro mía, Cường độ chịu nén, Độ thấm nước, Hệ số độ hút nước mao dẫn

¹Khoa Hạ tầng Kỹ thuật – Công nghệ, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, 24 Nguyễn Du, phường 7, TP Tuy Hoà, tỉnh Phú Yên, Việt Nam

²Nhóm Nghiên cứu Đổi mới Công nghệ và Khoa học Dữ liệu phục vụ mục tiêu Phát triển Bền vững, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, 24 Nguyễn Du, phường 7, TP Tuy Hoà, tỉnh Phú Yên, Việt Nam

³Phòng Quản lý Chất lượng Công trình Giao thông, Sở Giao thông tỉnh Phú Yên, 72 Lê Duẩn, phường 7, TP Tuy Hoà, tỉnh Phú Yên, Việt Nam

⁴Khoa Xây dựng, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, 24 Nguyễn Du, phường 7, TP Tuy Hoà, tỉnh Phú Yên, Việt Nam

⁵Khoa Kỹ thuật môi trường xây dựng, Trường Đại học Michigan, Ann Arbor, MI 48109, Hoa Kỳ

Liên hệ

Đặng Quốc Việt, Khoa Hạ tầng Kỹ thuật – Công nghệ, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, 24 Nguyễn Du, phường 7, TP Tuy Hoà, tỉnh Phú Yên, Việt Nam

Nhóm Nghiên cứu Đổi mới Công nghệ và Khoa học Dữ liệu phục vụ mục tiêu Phát triển Bền vững, Trường Đại học Xây dựng Miền Trung, 24 Nguyễn Du, phường 7, TP Tuy Hoà, tỉnh Phú Yên, Việt Nam

Email: dangquocviet@muce.edu.vn

GIỚI THIỆU

Ngày nay, nhu cầu sử dụng xi măng ngày càng phổ biến và tăng mạnh. Theo thống kê thì nhu cầu sử dụng bê tông hằng năm trên toàn thế giới khoảng 25 tỉ tấn^{1,2}. Do đó, lượng xi măng sử dụng cho việc sản xuất bê tông cũng tăng theo với ước tính vào khoảng 3.5 tỉ tấn mỗi năm^{2,3}. Ở Việt Nam, tổng sản lượng xi măng tiêu thụ trong thị trường nước ta ước được đạt khoảng 62.68 triệu tấn trong năm 2022⁴. Trong quá trình sản xuất xi măng, một lượng lớn khí CO₂ được thải ra gây ô nhiễm môi trường, gây ra hiệu ứng nhà kính và hiện tượng nóng lên toàn cầu. Một số báo cáo cho rằng khoảng 9% tổng phát thải khí nhà kính trên toàn cầu là do quá trình sản xuất xi măng⁵. Trong khi đó, xi măng lại là một trong những thành phần chính của bê tông và góp phần tạo sự liên kết của các cốt liệu cũng như là khả năng chịu tải trọng cho bê tông. Bên cạnh đó, việc tìm ra các vật liệu xây dựng mới tiết kiệm chi phí cũng như thân thiện với môi trường đang là mối quan tâm lớn của các nhà nghiên cứu trong và ngoài nước trong nền công nghiệp xây dựng. Một trong những giải pháp đó là thay thế một phần xi măng nhưng vẫn có thể đảm bảo được các đặc tính kỹ thuật của bê tông bằng cách tận dụng các sản

phẩm phụ từ các ngành sản xuất công nghiệp như tro bay, xỉ lò cao, muội si lic hay là các ngành sản xuất nông nghiệp như tro trấu, sơ dừa, tro mía nhờ vào đặc tính Pozzolans của nó^{5,6}.

Nghiên cứu về ảnh hưởng của tro mía đối với tính năng cơ học của vữa và bê tông đã được báo cáo nhiều trên thế giới^{2,7-16}, và kết quả cho thấy rằng tro mía có thể được áp dụng để thay thế một phần xi măng trong việc sản xuất bê tông nhờ vào đặc tính pozzolan của nó. Các hỗn hợp bê tông có hàm lượng tro mía thay thế trong khoảng 5-10% khối lượng xi măng thường cho thấy cường độ nén cao hơn hoặc tương đương. Cường độ nén của bê tông chỉ bằng 95, 85, và 80% so với cấp phối đối chứng khi thay thế khối lượng xi măng bằng 20, 25, và 30% tro mía ở 28 ngày tuổi¹⁶. Trong khi đó, Ganesan và cộng sự⁹ đã báo cáo cường độ chịu nén của cấp phối sử dụng 10% tro mía thay thế xi măng thì cho thấy cường độ chịu nén cao hơn so với cấp phối đối chứng. Bên cạnh đó, Parisa và cộng sự¹⁷ báo cáo rằng tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro mía chỉ nên từ 5 – 10% để đảm bảo cường độ chịu nén và cường độ chịu uốn của mẫu bê tông tối thiểu bằng so với cấp phối đối chứng trong khi xem xét ảnh hưởng của nhiệt độ. Các nghiên cứu khác^{12,18} đã chỉ ra rằng việc bổ sung tro mía chưa xử lý (thỏ hoặc như nhận

Trích dẫn bài báo này: Việt D Q, Long D T, Thuận V Q, Lợi D B, Bích L T, Vinh C N. Ảnh hưởng điều kiện bảo dưỡng đến tính chất cơ lý và tính thấm nước của bê tông sử dụng tro mía. *Sci. Tech. Dev. J. - Eng. Tech.* 2025; 7(2):2267-2283.

Lịch sử

- Ngày nhận: 04-3-2024
- Ngày sửa đổi: 23-5-2024
- Ngày chấp nhận:
- Ngày đăng: 30-9-2024

DOI :

<https://doi.org/10.32508/stdjet.v7i2.1347>



Bản quyền

© ĐHQG Tp.HCM. Đây là bài báo công bố mở được phát hành theo các điều khoản của the Creative Commons Attribution 4.0 International license.



được sau khi nung) hoặc đã xử lý một phần, ngay cả ở hàm lượng thấp (10%), ảnh hưởng tiêu cực đến cường độ nén của bê tông xi măng. Mức giảm sức mạnh được báo cáo nằm trong khoảng từ 1.7 đến 40% từ 3 đến 28 ngày. Tuy nhiên, khi thời gian bảo dưỡng tăng lên (chẳng hạn như 90 và 180 ngày), ảnh hưởng của việc không xử lý tro mía đến sự suy giảm cường độ bê tông được cải thiện. Maldonado Garcia và cộng sự¹⁸ đã kiểm tra tác động của quá trình bảo dưỡng dài hạn lên đến 600 ngày đối với cường độ nén của mẫu vữa có tro mía đã được xử lý một phần và báo cáo rằng khi kéo dài thời gian bảo dưỡng thì cường độ nén của mẫu được tăng lên. Tại Việt Nam, tác giả Vũ Quang Thuận và cộng sự¹⁹ nghiên cứu áp dụng tro mía trong việc thay thế xi măng để chế tạo bê tông bọt khí sử dụng cát và nước biển. Kết quả thí nghiệm cho thấy rằng cường độ của bê tông bọt khí chứa 5-10% hàm lượng tro mía cao hơn hoặc tương đương với cấp phối đối chứng ở 91 ngày tuổi. Ngoài ra, tác giả Lê Đức Hiến và Sheen Yeong-Nain²⁰ nghiên cứu thay thế xi măng với hàm lượng tro mía lên đến 20% và kết luận rằng nếu tỷ lệ thay thế từ 10% khối lượng trở lên thì sẽ làm cho tính công tác của bê tông giảm nhanh. Tăng dần tỷ lệ tro mía trong hỗn hợp dẫn đến giảm dần cường độ chịu kéo, nén ở tất cả các thời điểm thí nghiệm. Nhìn chung, ảnh hưởng của tro mía đến cường độ nén của bê tông là khác nhau phụ thuộc vào các đặc tính cơ và hoá học của tro mía được sử dụng trong các nghiên cứu khác nhau. Hiệu suất của tro mía phụ thuộc vào mức độ hoạt động của phản ứng pozzolanic, tức là bị ảnh hưởng bởi hàm lượng carbon còn lại thông qua hàm lượng mất khi nung) hàm lượng oxit pozzolanic vô định hình, và độ mịn. Sự thay đổi của ba thuộc tính này dẫn đến các kết quả khác nhau về cường độ chịu nén của bê tông khi dùng tro mía thay thế một phần cho xi măng.

Bảo dưỡng là một trong những yếu tố quan trọng nhất giúp nâng cao khả năng giữ nước của bê tông, từ đó giúp cải thiện vi cấu trúc và tính chất của bê tông²¹⁻²³. Bảo dưỡng bê tông là quá trình giữ ẩm thường xuyên cho bê tông trong điều kiện tác động của các yếu tố khí hậu môi trường. Nếu được bảo dưỡng tốt, bê tông sẽ phát triển các đặc tính thỏa đáng bằng cách thúc đẩy tối ưu quá trình thủy hóa xi măng ngay sau khi vữa được đổ. Bê tông nếu được bảo dưỡng đúng cách trong khoảng thời gian nhất định thì sẽ cải thiện độ bền và độ cứng bề mặt và ít thấm hơn. Do đó, việc ngăn ngừa mất mát độ ẩm cũng rất quan trọng đối với sự phát triển cường độ và cũng để ngăn ngừa co ngót dẻo, giảm tính thấm và tăng khả năng chống mài mòn của bê tông. Benli và các cộng sự²³ đã nghiên cứu ảnh hưởng của bốn chế độ bảo dưỡng khác nhau, cụ thể là; bằng nước máy, bằng cách phủ bao ướt, để trong

không khí, và bọc bằng sáp parafin lỏng và các thời gian bảo dưỡng khác nhau (3, 7, 28, 56 và 180 ngày) đến các tính chất cơ học của vữa xi măng có dùng tro bay và muội silic. Kết quả tốt nhất về cường độ nén ở cuối 180 ngày được xác định với cấp phối thêm 10% tro bay ở khi bảo dưỡng trong nước và với 10% tro bay cộng với 6% muội silic khi bảo dưỡng bằng cách phủ bao ướt. Trong báo cáo bởi Bingol và Tohumcu²⁴, ảnh hưởng của các chế độ bảo dưỡng khác nhau là bảo dưỡng không khí, bảo dưỡng nước và bảo dưỡng hơi nước lên đặc tính cường độ nén của bê tông với các tỷ lệ thay thế muội silic và tro bay khác nhau đã được nghiên cứu. Họ chỉ ra rằng giá trị cường độ nén cao nhất thu được từ các mẫu được xử lý tiêu chuẩn (được bảo dưỡng trong nước trong 28 ngày). Việc tăng thời gian xử lý nước làm tăng cường độ nén. Việc bảo dưỡng bằng không khí làm cho cường độ nén giảm và đạt được giá trị cường độ thấp nhất cho tất cả các nhóm từ mẫu được xử lý bằng không khí. Ở Việt Nam, tác giả Nguyễn Hùng Cường và cộng sự²⁵ đã tiến hành thí nghiệm với các tổ mẫu có thời gian bảo dưỡng ban đầu khác nhau từ 0 giờ đến 7 giờ tính từ thời điểm hoàn thiện xong bề mặt mẫu, trong 3 điều kiện thời tiết khác nhau: khô hanh, nóng ẩm và nắng nóng (điều kiện thời tiết trong thực nghiệm tác động đến quá trình đóng rắn của mẫu bê tông tối thiểu trong 12 giờ đầu đóng rắn, sau thời gian đó có thể chu kỳ khí hậu sẽ kéo dài ở các ngày tiếp theo, hoặc thay đổi dần và chuyển sang chu kỳ thời tiết khác). Kết quả nén mẫu cho thấy trong cả 2 điều kiện thời tiết khô hanh và nóng ẩm, mẫu bê tông của cả 2 cấp phối có thời gian bảo dưỡng ban đầu là 1 giờ có cường độ nén 28 ngày là cao nhất.

Việt Nam nói chung và Phú Yên nói riêng, cụ thể là khu vực phía tây thuộc các huyện Sơn Hoà, Sông Hinh, là nơi có sản lượng mía hàng năm được sản xuất rất lớn, ước lượng sản lượng mía đưa vào chế biến là trên 8,76 triệu tấn trong năm 2022-2023²⁶. Số lượng tro mía được thải ra cũng chiếm một tỷ lệ đáng kể. Do đó, việc nghiên cứu áp dụng tro mía để thay thế một phần cho xi măng sẽ góp phần đáng kể vào việc giảm lượng xi măng. Đồng thời, việc này cũng góp phần giải quyết vấn đề bụi mịn bay trong không khí gây ra các vấn đề về sức khoẻ và ô nhiễm môi trường khi lượng tro mía được tập kết lâu dài bên ngoài hay là được rải và trộn trực tiếp với đất. Ngoài ra trong thực tế, không phải lúc nào cũng bê tông sau khi chế tạo cũng có thể được bảo dưỡng tốt và hoàn toàn vì nhiều lý do, chẳng hạn như khiếm khuyết của con người, độ kín nước của ván khuôn hay do điều kiện thi công. Kết quả là bê tông phải tiếp xúc trực tiếp với môi trường bên ngoài sau khi đã đóng rắn. Kết quả là bê tông bị mất nước, dẫn đến tình trạng bị khô, ảnh

hường lớn đến tính chất của bê tông. Điều này dẫn đến tất yếu là các tính chất của bê tông sẽ không được tối ưu hoá vì do quá trình thủy hoá của xi măng bị ảnh hưởng. Ở Việt Nam, việc nghiên cứu ứng dụng tro mía vào việc sản xuất bê tông còn đang rất hạn chế, đặc biệt là có đồng thời xem xét ảnh hưởng của chế độ bảo dưỡng đến tính chất của bê tông. Điển hình như kết quả nghiên cứu của tác giả Lê Đức Hiến và cộng sự²⁷ cho thấy hỗn hợp kiểm hoạt hóa chứa 90% xi lò cao và 10% tro mía có cường độ và khối lượng thể tích lớn nhất và có độ hút nước thấp nhất trong số các hỗn hợp thí nghiệm. Ngoài ra, Vũ và cộng sự¹⁹ đã báo cáo rằng khi thay thế 5% xi măng bằng tro mía thì các tính chất cơ lý của bê tông bọt được bảo dưỡng trong nước ngọt thì được cải thiện hơn so với bê tông đối chứng và để đảm bảo các tính chất cơ lý của bê tông bọt thì tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro mía không nên vượt quá 10%. Do đó, nghiên cứu này xem xét ảnh hưởng của việc thay thế xi măng bằng tro mía cũng như là ảnh hưởng của việc bảo dưỡng bê tông bằng nước ngọt truyền thống và trong không khí đến cường độ chịu nén và tính thấm nước của bê tông nhằm đáp ứng xu thế xây dựng phát triển xã hội xanh và bền vững hiện nay.

VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

Vật liệu sử dụng

Mục tiêu của nghiên cứu là nhằm hướng đến áp dụng vào các công trình thực tế sử dụng các khối bê tông đúc sẵn trong việc xây dựng các kè bảo vệ bờ biển đang và sẽ triển khai trên địa bàn tỉnh. Do đó, để đảm bảo về hiệu quả kinh tế và tận dụng vật liệu hiện có trên địa bàn tỉnh Phú Yên, đề tài chọn sử dụng xi măng PCB40 Long Sơn (PCB) để tiến hành thực nghiệm. Xi măng poóc lăng hỗn hợp PCB40 được làm theo TCVN 6260:2009²⁸. Trong khi đó, tro mía sử dụng trong nghiên cứu được lấy từ nhà máy đường KCP thuộc địa bàn tỉnh Phú Yên. Tro mía có được sau khi được dùng để đun nồi hơi nước nhằm sản xuất điện tại nhà máy ở nhiệt độ tầm khoảng nhiệt độ 600 – 800°C độ. Đường kính hạt trung bình là 66.46 μm. Độ hoạt tính cường độ so với xi măng của tro mía ở 28 ngày (theo thí nghiệm dựa vào cường độ, strength activity index (SAI)) là 93.6%. Theo ASTM C618 thì khi SAI lớn hơn 75% thì có thể xem là vật liệu tiềm năng cho phản ứng pozzolanic. Hình ảnh và thành phần hoá học của chất kết dính được sử dụng trong nghiên cứu được thể hiện ở Hình 1 và Bảng 1.

Cát (kí hiệu là C) được sử dụng để chế tạo bê tông là loại cát vàng, được khai thác tại sông Đà Rằng, thôn Phước Bình Bắc, xã Hòa Thành, Thị xã Đông Hòa,

tỉnh Phú Yên. Trong khi đó, đá dăm (kí hiệu là Đ) dùng để chế tạo bê tông có kích thước hạt lớn nhất là 20 mm, được lấy từ mỏ đá tại thôn Phú Thạnh, xã An Chấn, huyện Tuy An, tỉnh Phú Yên. Các chỉ tiêu cơ lý của cát, đá dăm và thành phần hạt được thể hiện qua Bảng 2 và 3 và Hình 2.

Nước được sử dụng để đúc mẫu là nước máy (TW) được cấp từ hệ thống nước sạch của tỉnh Phú Yên. Ngoài ra, Phụ gia siêu dẻo được sử dụng là Lotus R301M (kí hiệu R301M) được sử dụng để điều chỉnh độ sụt theo thiết kế.

Thiết kế cấp phối bê tông

Cấp phối bê tông được thiết kế cho các công trình xây dựng ven biển hiện tại hay được áp dụng tại khu vực tỉnh Phú Yên như bờ kè biển, đê chắn sóng nên cường độ của bê tông tối thiểu là 45 Mpa tại 28 ngày tuổi. Căn cứ vào số liệu của các vật liệu đầu vào cũng như là yêu cầu về độ sụt của bê tông dành cho các dự án này, cấp phối bê tông đã được tính toán với các thông số như độ sụt chọn là 10 ± 2 cm, tỷ lệ nước trên xi măng (N/X) chọn là 0.37, và tỷ số cát trên xi măng (C/X) là 0.429. Các nghiên cứu trước đây^{17,19} đã chỉ ra rằng tỷ lệ thay thế xi măng bằng tro mía chỉ nên từ 5 – 10% để đảm bảo các tính chất cơ lý của mẫu bê tông tối thiểu bằng so với cấp phối đối chứng. Do đó, tro mía được sử dụng để thay thế một phần hàm lượng xi măng với tỷ lệ 5.0% nhằm đảm bảo cường độ của các cấp bê tông đạt được theo mong muốn ở 28 ngày tuổi. Lượng phụ gia siêu dẻo với hàm lượng là 0.8% được dùng để đảm bảo độ sụt theo mong muốn. Bảng 4 thể hiện thành phần cấp phối của bê tông trong nghiên cứu này.

Trong đó, mẫu PCB là ký hiệu cho loại cấp phối bê tông sử dụng 100% xi măng trong thành phần chất kết dính (cấp phối đối chứng so sánh); mẫu SCBA là ký hiệu cho loại cấp phối bê tông sử dụng đúng theo thành phần cấp phối bê tông của mẫu PCB nhưng thay thế xi măng bằng tro mía với hàm lượng 5%.

Quy trình chế tạo mẫu và dưỡng hộ

Trước khi tiến hành trộn hỗn hợp các cấp phối bê tông, khối lượng cần thiết của vật liệu được tính toán cho từng mẻ trộn dựa vào thể tích của máy trộn. Sau đó, các thành phần của bê tông bao gồm chất kết dính (xi măng và tro mía), đá dăm, cát, nước và phụ gia siêu dẻo R301M được cân định lượng trước theo đúng tỷ lệ của mẻ trộn. Quy trình trộn bê tông như sau: đầu tiên, hỗn hợp chất kết dính (xi măng và tro mía) được trộn khô trong 1 phút. Sau đó, cát được thêm vào hỗn hợp chất kết dính và máy trộn thêm trong 3 phút để đạt được hỗn hợp khô đồng đều. Tiếp theo, đá dăm sẽ



a) Xi măng

b) Tro mía

Hình 1: Xi măng và tro mía được sử dụng trong đề tài

Bảng 1: Thành phần hoá học của xi măng và tro mía

Vật liệu	Thành phần hoá học (% theo khối lượng)								LMKN (%)	Khối lượng riêng (g/cm ³)	Tỷ diện tích bề mặt riêng (cm ² /g)
	CaO	SiO ₂	Al ₂ O ₃	Fe ₂ O ₃	MgO	SO ₃	Na ₂ O	K ₂ O			
Xi măng	66.34	21.86	5.31	3.43	0.72	0.30	0.22	1.05	0.75	3.09	348
Tro mía	2.80	65.44	4.46	1.35	2.25	0.00	0.56	4.70	17.36	1.36	176.5

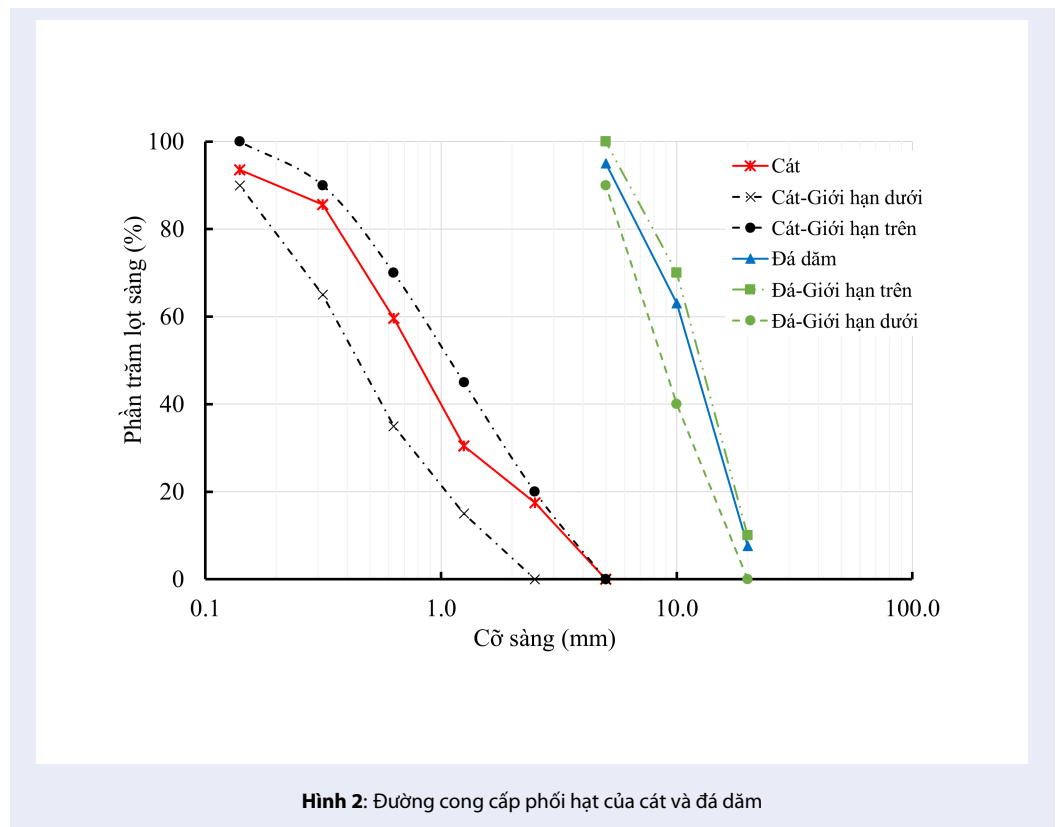
LMKN: Lượng mất khi nung

Bảng 2: Thành phần chỉ tiêu cơ lý của cát

Tính chất cơ lý	Đơn vị tính	Giá trị
Khối lượng riêng	g/cm ³	2.721
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1449
Hàm lượng bụi bùn sét	%	1.26
Độ hút nước của cát	%	1.08
Modul độ lớn		2.87

Bảng 3: Các chỉ tiêu kỹ thuật của đá dăm

Chỉ tiêu kỹ thuật	Đơn vị tính	Giá trị	
Khối lượng riêng	g/cm ³	2.798	
Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1420	
Độ nén đập trong xi lanh	Khô	%	8.65
	Bão hòa		10.65
Hàm lượng hạt thoi dẹt	%	25.03	
Hàm lượng bụi, bùn, sét	%	1.66	
Độ mài mòn Los Angeles	%	24.36	



Hình 2: Đường cong cấp phối hạt của cát và đá dăm

Bảng 4: Cấp phối bê tông (kg/m³)

Số TT	Tên cấp phối	Nước ngọt	Chất kết dính		Cốt liệu		Phụ gia siêu dẻo
			Xi măng	Tro mía	Cát	Đá dăm	
1	PCB	173	472.5	-	792.0	1053.0	3.6
2	SCBA	173	448.9	24.1	792.0	1053.0	4.0

được thêm vào để trộn tiếp trong 3 phút. Cuối cùng, cho từ từ hỗn hợp nước có chứa phụ gia siêu dẻo đã được hoà tan sẵn vào hỗn hợp và máy trộn thêm trong 3 phút để đảm bảo hỗn hợp bao gồm chất kết dính, đá, cát và nước có chứa phụ gia siêu dẻo tạo thành hỗn hợp đồng nhất.

Sau khi trộn, bê tông tươi được đổ vào khuôn thép. Sau khi hỗn hợp bê tông bắt đầu ninh kết, dùng bay và bàn xoa đã được làm ẩm để hoàn thiện lớp bề mặt bê tông. Sau đó, bề mặt mẫu được bao phủ bởi màng nhựa để nước không bị bốc hơi và mẫu được bảo dưỡng ở nhiệt độ trong phòng thí nghiệm, xem Hình 3. Các mẫu bê tông được tháo dỡ sau 24 giờ và sau đó được chia thành 2 nhóm: 1 nhóm được bảo dưỡng trong nước và 1 nhóm được bảo dưỡng trong không khí cho đến ngày thí nghiệm. Việc bảo dưỡng mẫu được thể hiện qua Hình 4.

Thí nghiệm xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của bê tông

Vận tốc xung siêu âm và cường độ chịu nén của bê tông được xác định theo tiêu chuẩn theo TCVN 9357:2012 và TCVN 3118:2022^{29,30}. Thí nghiệm được tiến hành trên mẫu lập phương có kích thước 15×15×15 cm ở các độ tuổi khác nhau, cụ thể là 7, 28, và 56 ngày. Kết quả thí nghiệm là giá trị trung bình của 3 mẫu thử. Ghi chú là để giảm thiểu ảnh hưởng của sự chênh lệch độ ẩm đến kết quả thí nghiệm, tất cả các mẫu ngâm trong nước ngọt đều được lấy ra khỏi bể và để khô ít nhất 6 giờ trước khi tiến hành thí nghiệm.

Độ thấm nước của bê tông được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C642³¹. Thí nghiệm được tiến hành trên mẫu lập phương có kích thước 10×10×10 cm ở độ tuổi 28 và 56 ngày. Kết quả thí nghiệm là giá



a) Để trong không khí



b) Ngâm trong nước

Hình 4: Bảo dưỡng mẫu bê tông trong không khí (a) và nước ngọt (b)



Hình 3: Mẫu bê tông sau khi đúc.

trị trung bình của 3 mẫu thử. Quá trình thí nghiệm được tiến hành như sau: Đầu tiên, khối lượng mẫu bê tông khô được xác định sau khi đặt trong tủ sấy ở nhiệt độ $100 \pm 5^{\circ}\text{C}$ trong 24 giờ (Hình 5a); Sau khi được ngâm trong nước trong 48 giờ, mẫu được đun sôi trong bể dưỡng nhiệt ở 90°C trong 5h (Hình 5b) và khối lượng mẫu sau khi ngâm nước được xác định sau khi để nước nguội đến nhiệt độ phòng sau hơn 14h; Cuối cùng, khối lượng mẫu cân trong nước được xác định (Hình 5c). Độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của mẫu được xác định theo công thức (1) và (2)

sau:

$$R = \frac{m_1 - m_0}{m_0} \times 100 \quad (1)$$

$$P = \frac{m_1 - m_2}{m_1 - m_2} \times 100 \quad (2)$$

Trong đó:

R là độ thấm nước của bê tông, %;

P là thể tích lỗ rỗng của bê tông, %;

m_1 là khối lượng của mẫu sau khi ngâm nước và đun sôi, g;

m_0 là khối lượng mẫu ở trạng thái khô, g;

m_2 là khối lượng mẫu khi cân trong nước, g;

Trong khi đó, độ hút nước do mao dẫn của bê tông được thực hiện theo tiêu chuẩn ASTM C 1585-13³².

Thí nghiệm được tiến hành trên mẫu lập phương có kích thước 10x10x10 cm ở độ tuổi 28 và 56 ngày. Kết quả thí nghiệm là giá trị trung bình của 3 mẫu thử. Tại thời điểm thí nghiệm, bề mặt các mẫu bê tông được làm sạch. Sau đó, 4 mặt bên của mẫu được quét dung dịch sika chống thấm chuyên dụng nhằm đảm bảo cho nước chỉ thấm một chiều vào mẫu từ bề mặt tiếp xúc với nước. Sau đó, mẫu được để trong tủ sấy ở nhiệt độ 60°C . Sau 48h, mẫu được làm nguội đến nhiệt độ phòng bằng cách để trong thùng nhựa kín tối thiểu 14h. Trước khi tiến hành thí nghiệm, mặt trên của mẫu được bọc bằng lớp màng nhựa mỏng để nước không bị bốc hơi hay thoát ra ngoài trong suốt quá trình thí nghiệm. Hình 6 thể hiện thí nghiệm xác định độ mao dẫn của bê tông. Trước khi bắt đầu thí nghiệm, tiến hành đo khối lượng mẫu bê tông sau khi đã xử lý chống thấm; sau đó, mẫu được cho vào khay có chứa nước và bề mặt mẫu chỉ ngập trong nước khoảng từ 3 đến 5 mm. Tại các thời điểm $t = 1, 2, 5, 10, 20, 30$ phút và 1, 2, 3, 4, 5, 6 giờ, mẫu được cân nhằm xác định độ tăng khối lượng theo thời gian. Lượng



a) Đặt trong tủ sấy



b) Ngâm trong nước



c) Cân xác định khối lượng trong nước

Hình 5: Thí nghiệm xác định độ thấm nước của bê tông.

nước hút do mao dẫn tích lũy của mẫu được xác định theo công thức (3); và hệ số độ hút nước mao dẫn được xác định dựa vào quan hệ giữa lượng nước hút mao dẫn tích lũy và căn bậc hai của khoảng thời gian thí nghiệm theo công thức (4) sau:

$$I = \frac{m_t - m_0}{A * d} \quad (3)$$

$$S = \frac{I}{\sqrt{t}} \quad (4)$$

Trong đó:

I là lượng nước hút mao dẫn tích lũy, g;

S là hệ số độ hút nước mao dẫn, $g/s^{1/2}$;

m_0 là Khối lượng mẫu ban đầu sau khi xử lý chống thấm xung quanh, g;

m_t là Khối lượng của mẫu sau khi ngâm nước ở các thời điểm $t = 1, 2, 5, 10, 20, 30$ phút và $1, 2, 3, 4, 5, 6$ giờ, g;

A là Diện tích mặt mẫu tiếp xúc với nước, mm^2 ;

d là Khối lượng riêng của nước, $0.001g/mm^3$;

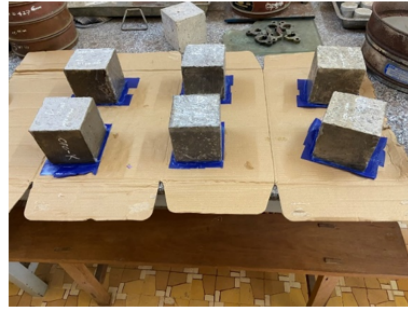
t là thời gian thí nghiệm, s;

Ngoài ra, tại 56 ngày tuổi, mẫu của các cấp phối trong 2 điều kiện bảo dưỡng được lựa chọn cẩn thận với kích thước khoảng 5 mm để tiến hành thí nghiệm xác định hình ảnh vi cấu trúc SEM (Scanning electron Microscopy). Mẫu sau khi được chọn sẽ ngâm trong axeton để ngăn chặn quá trình tiếp tục thủy hoá của xi măng và quá trình cacbonat hóa cho đến khi có thể tiến hành thí nghiệm. Trước khi thử nghiệm, mẫu được sấy khô trong bình hút ẩm chân không trong 24 giờ. Các mẫu sau đó được phủ một lớp bạch kim để cho hình ảnh cấu trúc rõ ràng. Điện áp gia tốc 15 kV và điều chỉnh độ phóng đại đến 1000 lần để quan sát sự khác biệt về cấu trúc vi mô giữa các mẫu.

KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Vận tốc xung siêu âm

Chỉ số vận tốc xung siêu âm được xem như là một chỉ tiêu để đánh giá độ đồng nhất của bê tông, và thường



a) Mẫu được xử lý chống thấm



b) Mẫu được để trong thùng nhựa kín



c) Mẫu đang tiến hành thí nghiệm

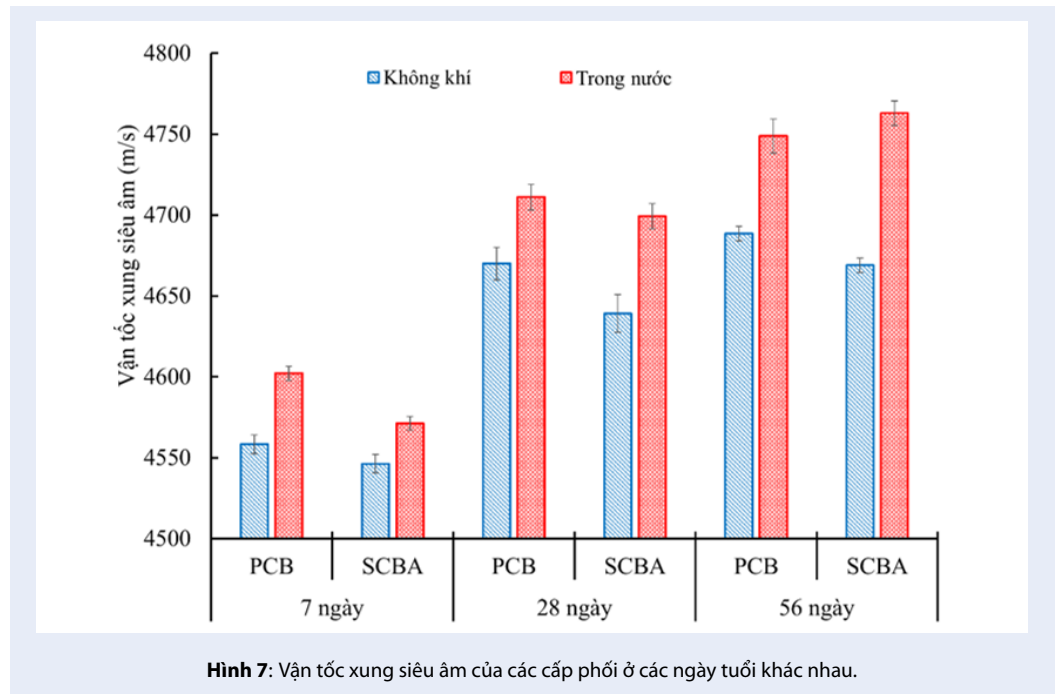
Hình 6: Thí nghiệm xác định độ hút nước mao dẫn của bê tông.

liên quan đến tính chất cơ lý của bê tông. Thông thường, bê tông càng đặc chắc thì cho kết quả vận tốc xung siêu âm càng lớn. Kết quả vận tốc xung siêu âm của tất cả các cấp phối ở hai điều kiện bảo dưỡng và các ngày tuổi khác nhau được thể hiện qua Hình 7. Vận tốc xung siêu âm đo được cho tất cả các hỗn hợp nằm trong khoảng từ 4546 đến 4763 m/s. Madandoust and Mousavi³³ đã đề xuất chung cho việc phân loại chất lượng bê tông như sau: bê tông có chất lượng được xem là “rất tốt”, “tốt”, “ngghi ngờ”, “kém” và “rất kém” tương ứng với giá trị vận tốc xung siêu âm tương ứng từ 4500 m/s trở lên, 3500–4500 m/s, 3000–3500 m/s, 2000–3000 m/s, và 2000 m/s trở xuống. Theo đó, tất cả hỗn hợp bê tông đều có chất lượng rất tốt ở tất cả các ngày tuổi và trong cả hai điều kiện bảo dưỡng. Từ Hình 7, vận tốc xung siêu âm của hai cấp phối đều tăng theo thời gian bất kể điều kiện bảo dưỡng trong nước hay ngoài không khí. Điều này có được là do nhờ vào sự đóng góp của các sản phẩm được tạo ra từ quá trình thủy hoá của hệ chất kết dính đã làm giảm độ rỗng của bê tông¹⁹. Bên cạnh đó, việc thay thế xi măng bằng SCBA đã làm giảm vận tốc xung siêu âm của bê tông trước 28 ngày tuổi trong cả hai điều kiện bảo dưỡng so với cấp phối đối chứng PCB. Điều này chứng tỏ việc dùng SCBA đã làm tăng độ rỗng của bê tông trước 28 ngày. Tuy nhiên ở tuổi 56 ngày, vận

tốc xung siêu âm của cấp phối bê tông chứa SCBA bảo dưỡng trong nước ngọt thì lại tăng nhẹ so với cấp phối đối chứng. Cụ thể, vận tốc xung siêu âm của cấp phối bê tông chứa SCBA và PCB bảo dưỡng trong nước ngọt ở 56 ngày là 4763 m/s và 4749 m/s. Trong khi đó, vận tốc xung siêu âm của cấp phối bê tông chứa SCBA bảo dưỡng trong không khí thì vẫn thấp hơn so với cấp phối đối chứng ở tuổi 56 ngày. Như vậy, điều này chứng tỏ việc bảo dưỡng bê tông trong không khí đã ảnh hưởng đến quá trình thủy hoá của hệ chất kết dính của bê tông.

Cường độ chịu nén của bê tông

Kết quả cường độ chịu nén của tất cả các cấp phối ở các ngày tuổi khác nhau trong hai điều kiện bảo dưỡng được thể hiện qua Hình 8. Từ Hình 8, ta thấy rằng cường độ chịu nén của tất cả các cấp phối đều tăng dần theo thời gian từ 7 ngày cho đến 56 ngày bất kể là trong cấp phối có dùng tro mía thay thế cho xi măng hay là bảo dưỡng trong nước ngọt và không khí. Sự gia tăng cường độ chịu nén theo thời gian này có thể là kết quả của quá trình thủy hoá của xi măng^{19,34–37}. Bên cạnh đó, cường độ chịu nén của bê tông sử dụng tro mía để thay thế cho xi măng (SCBA) ở 7 và 28 ngày tuổi thấp hơn so với cấp phối đối chứng trong cả hai điều kiện bảo dưỡng. Cụ thể, việc thay



Hình 7: Vận tốc xung siêu âm của các cấp phối ở các ngày tuổi khác nhau.

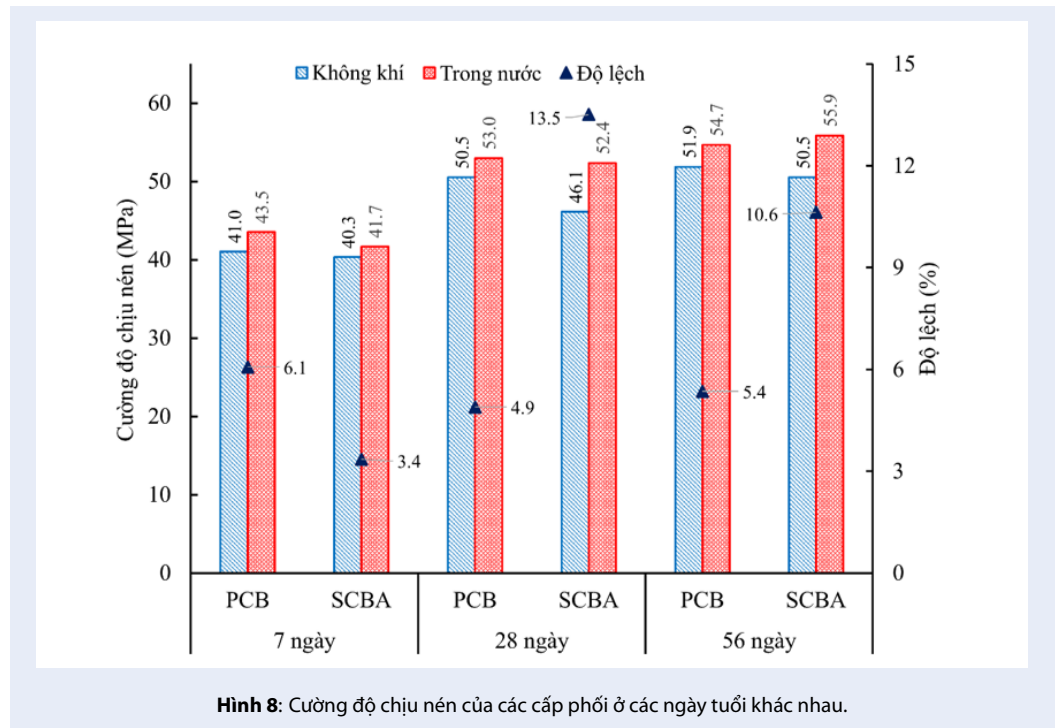
thể 5% xi măng bằng tro mía làm giảm 1.2 và 8.7% cường độ nén của mẫu bê tông SCBA ở 28 ngày tuổi, tương ứng trong điều kiện bảo dưỡng nước ngọt và không khí so với mẫu đối chứng PCB. Nguyên nhân được cho là do khi thay thế xi măng bằng tro mía, hàm lượng xi măng bị giảm đi, nên kết quả là các sản phẩm tạo thành từ quá trình thủy hoá của xi măng như calcium silica hydrate (C-S-H) và portlandite (CH) cũng giảm theo^{19,38}. Kết quả là làm ảnh hưởng đến quá trình phản ứng pozzolanic của tro mía – Đây là quá trình phản ứng của SiO₂ vô định hình có trong tro mía với thành phần CH trong bê tông để tạo thành C-S-H. Đồng thời, mức độ hoạt tính của tro mía xảy ra chậm hơn xi măng ở trước 28 ngày tuổi, xem mục 2.1 về chỉ số SAI của tro mía. Do đó, cường độ chịu nén của bê tông chứa tro mía bị giảm nhẹ so với mẫu đối chứng ở các ngày tuổi ban đầu (7 và 28 ngày tuổi). Tuy nhiên, đến 56 ngày tuổi, sự thay thế xi măng bằng 5 tro mía góp phần làm tăng nhẹ về cường độ chịu nén của bê tông 2.2% so với cấp phối PCB trong điều kiện bảo dưỡng nước ngọt. Kết quả này có được là nhờ lượng C-S-H được tạo thành nhiều hơn từ phản ứng pozzolanic của tro mía nên đã đóng góp vào sự tăng cường độ chịu nén của bê tông¹⁹.

Nhưng ngược lại, từ Hình 8, ta thấy rằng bảo dưỡng bê tông trong không khí ảnh hưởng lớn đến cường độ chịu nén của bê tông đặc biệt là bê tông có chứa tro mía. Cụ thể, độ giảm về cường độ chịu nén của cấp phối PCB bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt và

không khí ở 28 và 56 ngày là 4.9 và 5.4%. Trong khi đó, độ giảm đối với cấp phối SCBA là 13.5 và 10.6% tương ứng 28 và 56 ngày. Bên cạnh đó, cường độ chịu nén của cấp phối bê tông SCBA cũng thấp hơn cấp phối PCB ở 56 ngày tuổi trong điều kiện bảo dưỡng không khí. Việc giảm cường độ chịu nén khi bê tông bảo dưỡng ở trong không khí sau khi tháo khuôn là do một phần lượng nước bị bốc hơi nên không đủ để cho xi măng thủy hoá hoàn toàn nhằm tạo ra các sản phẩm thủy hoá đóng góp vào sự gia tăng cường độ của bê tông^{23,36,39,40}. Kết quả là lượng CH tạo ra trong bê tông bảo dưỡng không khí không đủ nhiều để cho các phản ứng pozzolanic của tro mía. Kết quả là lượng C-S-H hình thành ít hơn, ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ chịu nén của bê tông. Đồng thời, việc bê tông tiếp xúc với môi trường không khí ở tuổi sớm ngày thì cường độ chịu nén của bê tông còn bị ảnh hưởng bởi do quá trình co ngót khô và co ngót do cacbonat (dry and carbonation shrinkages)^{36,41,42}. Ảnh hưởng của các quá trình co ngót này đã tạo ra các vết nứt trong bê tông, dẫn đến kết quả cường độ chịu nén của bê tông bị giảm.

Độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của bê tông

Độ thấm nước của các cấp phối bê tông trong hai điều kiện bảo dưỡng được thể hiện ở Hình 9. Nhìn chung, độ thấm nước của tất cả các cấp phối đều giảm từ 28 đến 56 ngày bất kể điều kiện bảo dưỡng hay là trong



Hình 8: Cường độ chịu nén của các cấp phối ở các ngày tuổi khác nhau.

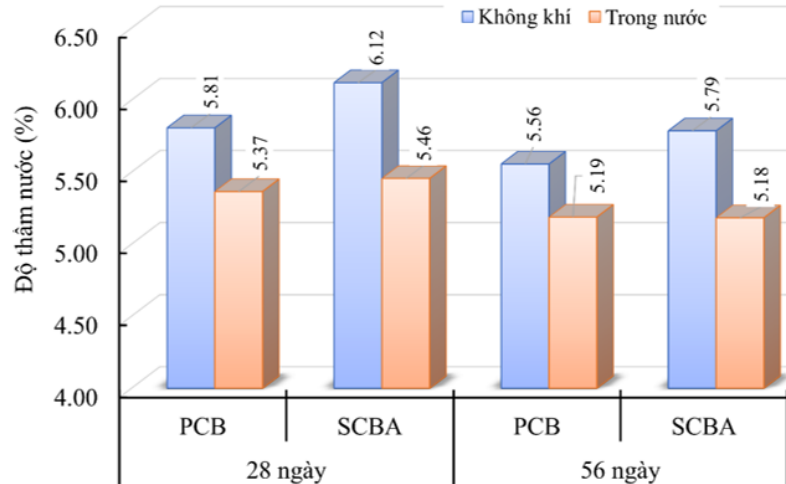
cấp phối có dùng tro mía thay thế cho xi măng. Điều này là do các sản phẩm được tạo thành từ quá trình thủy hoá của xi măng và phản ứng pozzolanic đã đóng góp vào sự tắc nghẽn của các lỗ rỗng trong ma trận bê tông^{19,41}. Ngoài ra, độ thấm nước của các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện không khí cao hơn các cấp phối bảo dưỡng trong nước ngọt bất kể ngày tuổi hay là trong thành phần chất kết dính có tro mía hoặc không. Xu hướng này cũng xảy ra tương tự đối với kết quả thể tích lỗ rỗng hở, xem Hình 10. Tức là, thể tích lỗ rỗng hở của các cấp phối cũng giảm theo thời gian từ 28 đến 56 ngày tuổi. Ngoài ra, thể tích lỗ rỗng hở của các cấp phối trong điều kiện bảo dưỡng không khí lại cao hơn so với cấp phối tương ứng được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt.

Sự chênh lệch về độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của các cấp phối so với cấp phối PCB bảo dưỡng trong nước ngọt (cấp phối đối chứng) được thể hiện qua Hình 11. Ta thấy rằng, điều kiện bảo dưỡng ảnh hưởng lớn đến thể tích lỗ rỗng hở và độ thấm nước của bê tông, đặc biệt là cấp phối có chứa SCBA. Cụ thể, trong điều kiện bảo dưỡng nước ngọt thì cấp phối SCBA có độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở ở 56 ngày tuổi tương đương với cấp phối đối chứng. Nhưng ngược lại, trong điều kiện bảo dưỡng không khí thì độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của cấp phối SCBA cao hơn cấp phối đối chứng lần lượt là 11.5 và 13.3% ở 56 ngày tuổi. Xu hướng này cũng xảy

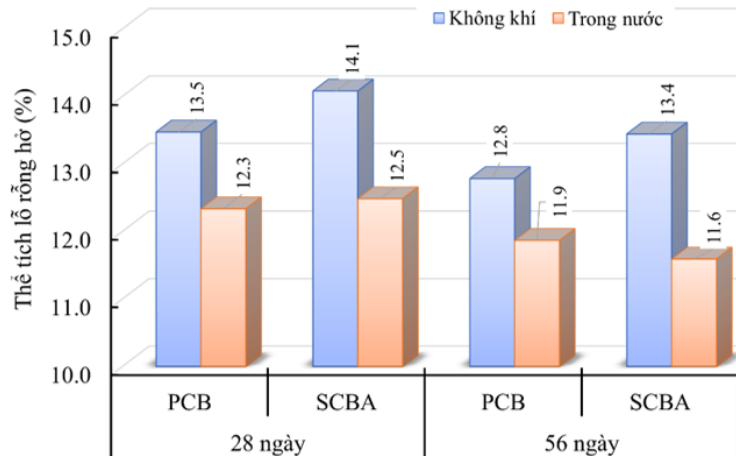
ra tương tự đối với cấp phối PCB, cụ thể độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của cấp phối PCB bảo dưỡng trong không khí cao hơn 7.1 và 9.2% so với cấp phối PCB bảo dưỡng trong nước ngọt ở 56 ngày tuổi. Như được giải thích ở phần 3.2, một phần nguyên nhân do không đủ nước để cho quá trình thủy hoá của xi măng được xảy ra hoàn toàn khi bê tông tiếp xúc với môi trường bên ngoài trong giai đoạn ban đầu. Một phần nguyên nhân khác đến từ ảnh hưởng của quá trình co ngót (khô và carbonat) đã phát sinh các vết nứt trong bê tông nên kết quả là độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của cấp phối bảo dưỡng trong không khí cao hơn so với bảo dưỡng trong nước ngọt^{36,41,42}.

Độ hút nước mao dẫn của bê tông

Hình 12 thể hiện tương quan điển hình giữa lượng nước hút do mao dẫn tích lũy và thời gian của các cấp phối bê tông ở 56 ngày tuổi. Từ Hình 12, ta cũng thấy được rằng lượng nước hút do mao dẫn tích lũy theo thời gian của các cấp phối bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt thấp hơn các cấp phối bảo dưỡng trong điều kiện không khí. Đồng thời, dựa vào mối tương quan giữa lượng nước hút do mao dẫn tích lũy và thời gian, hệ số độ hút nước do mao dẫn được xác định và thể hiện ở Hình 13. Trong khi hệ số độ hút nước mao dẫn của các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt giảm từ 28 đến 56 ngày thì ngược lại, hệ số độ hút nước mao dẫn của các cấp phối được



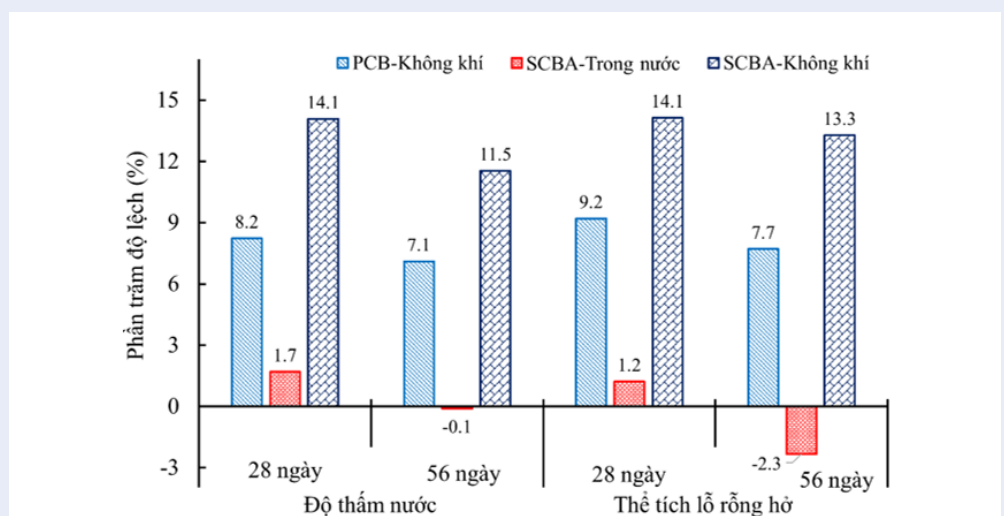
Hình 9: . Độ thấm nước của các cấp phối bê tông ở các ngày tuổi khác nhau.



Hình 10: Thể tích lỗ rỗng hở của các cấp phối bê tông ở các ngày tuổi khác nhau.

bảo dưỡng trong điều kiện không khí lại tăng bất kể là trong cấp phối có dùng tro mía thay thế cho xi măng hay không. Đồng thời, hệ số độ hút nước mao dẫn của các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện không khí cao hơn so với các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt bất kể ngày tuổi. Cụ thể, hệ số độ hút nước mao dẫn của cấp phối PCB và SCBA được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt giảm tương ứng là 6.0 và 9.4% từ 28 đến 56 ngày tuổi; trong khi đó, hệ số độ hút nước mao dẫn của cấp phối PCB và SCBA được bảo dưỡng trong điều kiện không khí tăng tương ứng là 45.3 và 22.5% từ 28 đến 56 ngày tuổi. Ngoài ra

trong điều kiện bảo dưỡng nước ngọt, hệ số độ hút nước mao dẫn của cấp phối SCBA thấp hơn cấp phối PCB 6.6% ở 56 ngày tuổi; trong khi ở điều kiện bảo dưỡng không khí thì cấp phối SCBA có hệ số độ hút nước mao dẫn cao hơn cấp phối PCB 40.7%. Nguyên nhân là việc bảo dưỡng trong nước ngọt đã tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thủy hoá của xi măng và phản ứng pozzolanic của tro mía diễn ra nhiều hơn, kết quả là tạo ra được nhiều sản phẩm như C-S-H góp phần vào việc giảm độ hút nước mao dẫn của bê tông^{19,41}. Trong khi đó, bảo dưỡng bê tông trong không khí không chỉ ảnh hưởng đến quá trình thủy



Hình 11: Chênh lệch về độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của các cấp phối so với cấp phối PCB bảo dưỡng trong nước ngọt.

hoá và pozzolanic mà còn tạo điều kiện thuận lợi cho việc phát sinh các vết nứt trong bê tông do co ngót (co ngót khô và carbonat). Kết quả là làm tăng hệ số độ hút nước mao dẫn của bê tông. Tác giả Dang và cộng sự⁴¹ đã nói rằng hệ số độ hút nước mao dẫn có thể được xem là một chỉ số để đánh giá độ bền hóa học vì nó liên quan trực tiếp đến khả năng chống chịu của bê tông trước sự xâm nhập của các tác nhân gây hại bên ngoài như các ion clo hay sulfate. Do đó hệ số độ hút nước mao dẫn tăng cũng đồng nghĩa với việc tuổi thọ của bê tông sẽ giảm.

Quan hệ giữa cường độ chịu nén, vận tốc xung siêu âm, tính thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của bê tông

Tương quan giữa thể tích lỗ rỗng hở, cường độ chịu nén và vận tốc xung siêu âm ở 28 và 56 ngày được thể hiện qua Hình 14. Từ Hình 14, ta thấy cả hai chỉ số cường độ chịu nén và vận tốc xung siêu âm đều có mối tương quan nghịch với thể tích lỗ rỗng hở của bê tông với hệ số tương quan R² tương ứng là 0.94 và 0.96. Điều này chứng tỏ rằng bê tông có thể tích lỗ rỗng hở càng nhỏ thì cường độ chịu nén và vận tốc xung siêu âm càng cao.

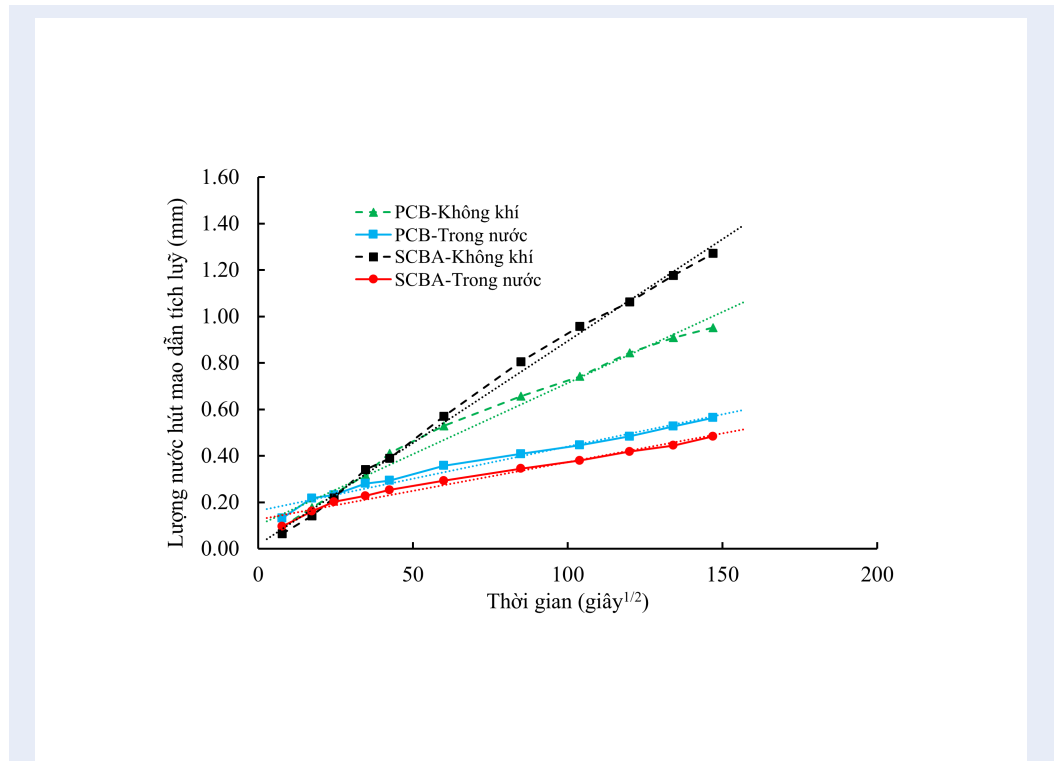
Hình 15 trình bày mối tương quan giữa thể tích lỗ rỗng hở với độ thấm nước và hệ số độ hút nước mao dẫn của bê tông. Độ thấm nước của bê tông có mối tương quan thuận với thể tích lỗ rỗng hở với hệ số tương quan R² = 0.98, tức bê tông có thể tích lỗ rỗng hở càng lớn thì nước càng dễ thấm xâm nhập vào bên trong thông qua các lỗ rỗng liên kết với nhau không phụ thuộc vào điều kiện bảo dưỡng hay sử dụng tro

mía. Trong khi đó, điều kiện bảo dưỡng không khí đã ảnh hưởng rất lớn đến tương quan giữa hệ số độ hút nước mao dẫn và thể tích lỗ rỗng hở. Dang và cộng sự^{36,41} đã nói rằng hệ số độ hút nước mao dẫn phản ánh khả năng hút nước do lực hút mao dẫn của vật liệu và bị chi phối rất lớn bởi tính chất hay chất lượng của bề mặt của vật liệu. Khi bảo dưỡng bê tông trong điều kiện không khí thì sự hình thành các vết nứt do quá trình co ngót nên đã thúc đẩy sự xâm nhập của nước vào bê tông bằng lực hút mao dẫn và kết quả là làm tăng hệ số độ hút nước mao dẫn của bê tông. Kết quả này hoàn toàn phù hợp với kết luận của Dang và cộng sự^{36,41} khi báo cáo rằng quá trình co ngót do carbonat mặc dù làm giảm thể tích lỗ rỗng hở của bê tông nhưng lại làm tăng hệ số độ hút nước mao dẫn của bê tông. Bên cạnh đó, để minh chứng cho giải thích này, mẫu bê tông của các cấp phối ở 2 điều kiện bảo dưỡng được thu thập và thí nghiệm xác định hình ảnh vi cấu trúc với độ phân giải × 1000 bằng thiết bị JSM-IT200 (USA). Từ Hình 16, ta rõ ràng thấy được các vết nứt hình thành trên bề mặt của mẫu bê tông bảo dưỡng trong điều kiện không khí (Hình 16 c và d). Trong khi đó thì các mẫu bê tông bảo dưỡng trong điều kiện ngâm nước ngọt thì không có vết nứt (Hình 16 a và b).

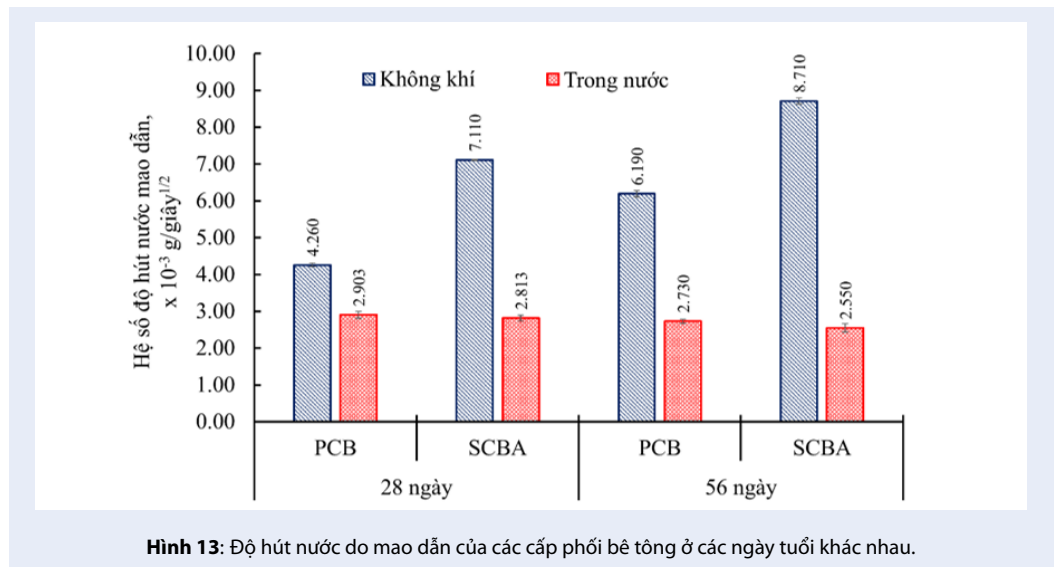
KẾT LUẬN

Một số kết luận sau được rút ra từ kết quả thí nghiệm như sau:

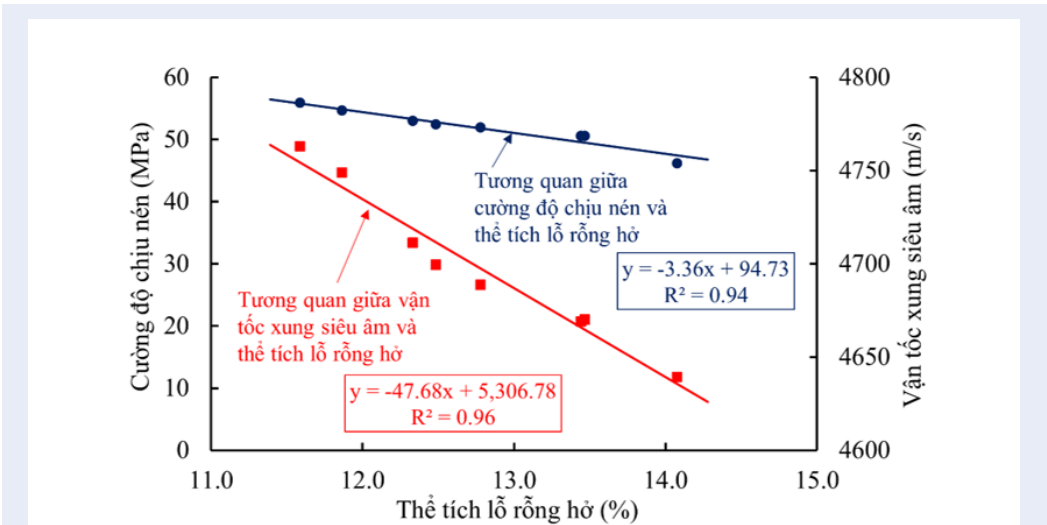
- Sự thay thế xi măng bằng tro mía làm giảm vận tốc xung siêu âm và cường độ chịu nén của bê



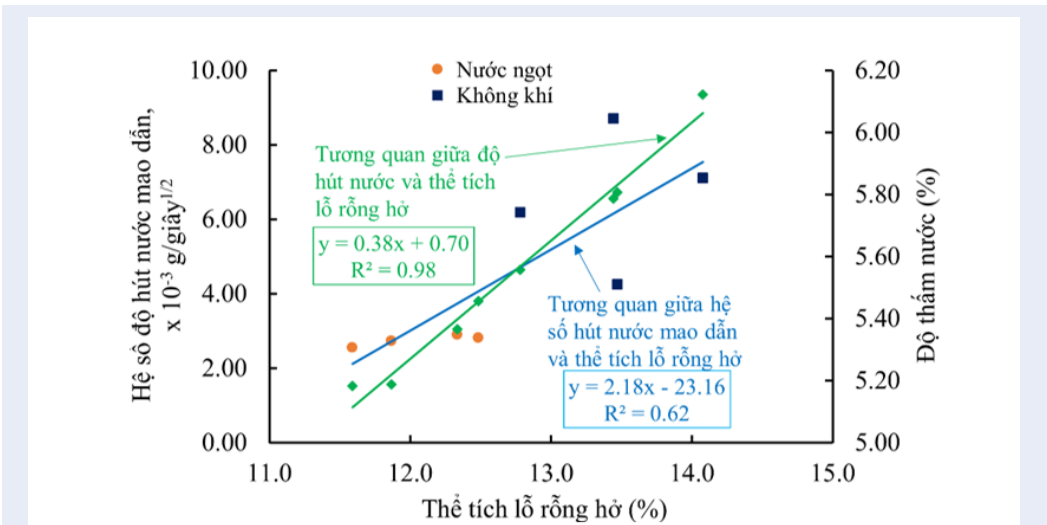
Hình 12: Tương quan điển hình giữa lượng hút nước do mao dẫn và thời gian của các cặp phối bê tông ở 56 ngày tuổi.



Hình 13: Độ hút nước do mao dẫn của các cặp phối bê tông ở các ngày tuổi khác nhau.



Hình 14: Tương quan giữa giữa cường độ chịu nén và vận tốc xung siêu âm với thể tích lỗ rỗng hở.



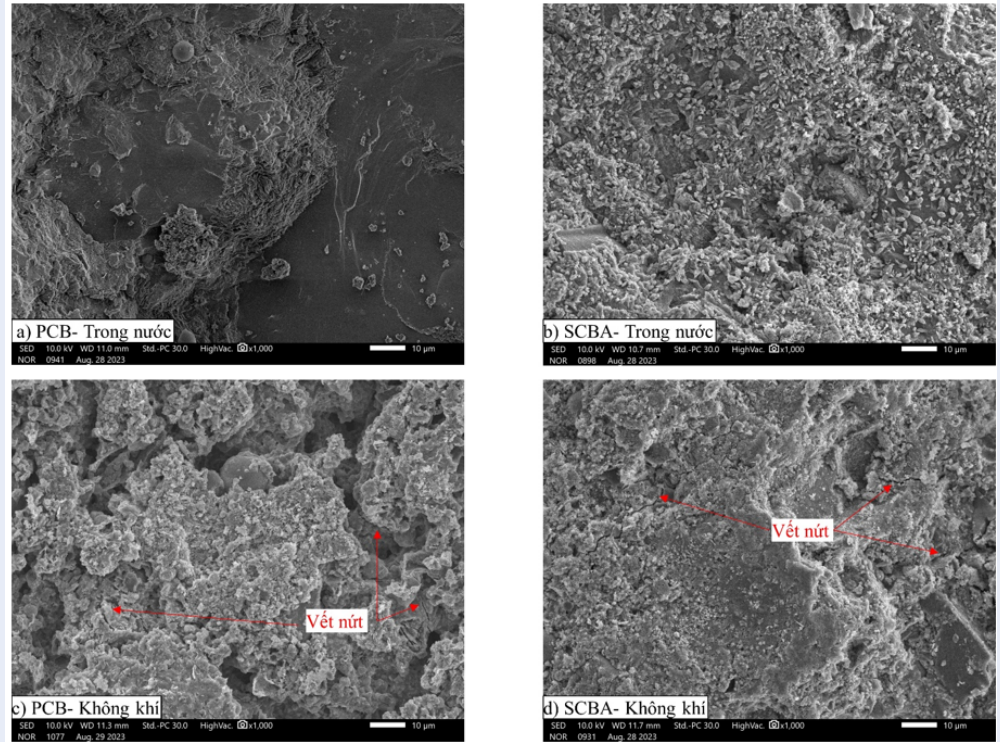
Hình 15: Tương quan giữa giữa hệ số độ hút nước mao dẫn và độ thấm nước với thể tích lỗ rỗng hở.

tông trước 28 ngày tuổi bất kể điều kiện bảo dưỡng. Nhưng ở 56 ngày tuổi, thì cấp phối chứa tro mía được bảo dưỡng trong nước ngọt thì có vận tốc xung siêu âm và cường độ chịu nén tăng nhẹ so với cấp phối đối chứng.

- Bảo dưỡng bê tông trong không khí làm giảm vận tốc xung siêu âm và cường độ chịu nén của bê tông, đặc biệt là bê tông có sử dụng tro mía so với bê tông được bảo dưỡng trong nước ngọt.
- Độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của bê tông sử dụng tro mía tương đương với cấp phối đối chứng ở 56 ngày tuổi khi được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt. Nhưng trong điều

kiện không khí, độ thấm nước và thể tích lỗ rỗng hở của cấp phối kể cả có chứa tro mía hay không đều cao hơn cấp phối đối chứng bảo dưỡng trong nước ngọt bất kể ngày tuổi.

- Hệ số độ hút nước mao dẫn của các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt giảm từ 28 đến 56 ngày thì ngược lại, hệ số độ hút nước mao dẫn của các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện không khí lại tăng bất kể là trong cấp phối có dùng tro mía thay thế cho xi măng hay không. Đồng thời, hệ số độ hút nước mao dẫn của các cấp phối được bảo dưỡng trong điều kiện không khí cao hơn so với các cấp phối được



Hình 16: Hình ảnh vi cấu trúc của các cấp phối ở 56 ngày tuổi với độ phân giải ×1000.

bảo dưỡng trong điều kiện nước ngọt bất kể ngày tuổi.

Nhìn chung, việc tận dụng tro mía để thay thế xi măng trong việc chế tạo bê tông mang tính khả thi vì vẫn có thể đảm bảo được các tính chất cơ lý của bê tông so với cấp phối đối chứng. Điều này góp phần làm giảm hàm lượng xi măng sử dụng, qua đó giảm phát thải khí CO₂ ra môi trường. Tuy nhiên, việc ứng dụng trong mìa trong sản xuất bê tông cần phải xem xét đến điều kiện bảo dưỡng của bê tông. Hay nói cách khác là nên kéo dài thời gian bảo dưỡng bê tông trong điều kiện hợp lý (nước ngọt). Ngoài ra, để có thêm minh chứng về ảnh hưởng của tro mía hay điều kiện bảo dưỡng đến tính chất của bê tông, kiến nghị cần có các nghiên cứu tiếp theo về đánh giá đến sự thay đổi theo thời gian lâu hơn (sau 56 ngày). Đồng thời, cần nghiên cứu về ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng kể từ khi đúc mẫu đến khi bắt đầu chịu tác động của các yếu tố bên ngoài như không khí hay nhiệt độ đến các tính chất cơ lý của bê tông. Để từ đó có tổng hợp đánh giá chi tiết hơn về ảnh hưởng của tro mía hay điều kiện bảo dưỡng đến các tính chất của bê tông.

XUNG ĐỘT LỢI ÍCH

Nhóm tác giả không có xung đột lợi ích.

ĐÓNG GÓP CỦA CÁC TÁC GIẢ

Đặng Quốc Việt: Chủ trì nghiên cứu, phát thảo ý tưởng, viết bản thảo, phân tích và kiểm tra bài báo; Đoàn Thế Long: Thực nghiệm thí nghiệm, phân tích số liệu và kiểm tra bài báo; Vũ Quang Thuận: Thực nghiệm thí nghiệm và kiểm tra bài báo; Đặng Bảo Lợi: Kiểm tra và chỉnh sửa bài báo; Lương Thị Bích: Phân tích và kiểm tra bài báo; Châu Ngọc Vinh: Kiểm tra và chỉnh sửa bài báo.

LỜI CẢM ƠN

Nhóm tác giả xin gửi lời cảm ơn đến Trường Đại học Xây dựng Miền Trung đã giúp đỡ và hỗ trợ kinh phí cho việc thực hiện nghiên cứu này. Nhóm tác giả cũng xin cảm ơn phòng thí nghiệm, các bạn sinh viên D17, D18 khoa Hạ tầng Kỹ thuật – Công nghệ trường Đại học Xây dựng Miền Trung đã hỗ trợ để thực hiện các thí nghiệm trong nghiên cứu này.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

1. Xiao J, Qiang C, Nanni A, Zhang K. Use of sea-sand and seawater in concrete construction: Current status and future opportunities. *Constr Build Mater.* 2017;155:1101-1111; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.130>.

2. Amran YH, Soto MG, Alyousef R, El-Zeadani M, Alabduljabbar H, Aune V. Performance investigation of high-proportion Saudi-fly-ash-based concrete. *Results Eng*. 2020;6:100118; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2020.100118>.
3. Fennell PS, Davis SJ, Mohammed A. Decarbonizing cement production. *Joule*. 2021;5(6):1305-1311; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.joule.2021.04.011>.
4. Tiêu thụ xi măng nội địa năm 2022 đạt 63 triệu tấn, xấp xỉ năm 2021; Available from: <https://baodautu.vn/tieu-thu-xi-mang-noi-dia-nam-2022-dat-63-trieu-tan-xap-xi-nam-2021-d182685.html>.
5. Andrade Neto JS, de França MJS, de Amorim Júnior NS, Ribeiro DV. Effects of adding sugarcane bagasse ash on the properties and durability of concrete. *Constr Build Mater*. 2021;266:120959; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.120959>.
6. Ngô Văn Toàn. Nghiên cứu chế tạo bê tông cường độ cao sử dụng cát mịn và phụ gia khoáng hỗn hợp từ xỉ lò cao hoạt hóa và tro trấu. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng*. 2014;4:36-45;.
7. Khawaja SA, Javed U, Zafar T, Riaz M, Zafar MS, Khan MK. Eco-friendly incorporation of sugarcane bagasse ash as partial replacement of sand in foam concrete. *Cleaner Eng Technol*. 2021;4:100164; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.clet.2021.100164>.
8. Shafiq N, Hussein AAE, Nuruddin MF, Al Mattarneh H. Effects of sugarcane bagasse ash on the properties of concrete. *Proc Inst Civ Eng*. 2018;171(2):123-132; Available from: <https://doi.org/10.1680/jensu.15.00014>.
9. Ganesan K, Rajagopal K, Thangavel K. Evaluation of bagasse ash as supplementary cementitious material. *Cem Concr Compos*. 2007;29(6):515-524; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cemconcomp.2007.03.001>.
10. Srinivasan R, Sathiya K. Experimental study on bagasse ash in concrete. *Int J Serv Learn Eng Humanit Eng Soc Entrep*. 2010;5(2):60-66; Available from: <https://doi.org/10.24908/ijlsle.v5i2.2992>.
11. Klathae T, Tanawuttiphong N, Tangchirapat W, Chindaprasirt P, Sukontasukkul P, Jaturapitakkul C. Heat evolution, strengths, and drying shrinkage of concrete containing high volume ground bagasse ash with different LOIs. *Constr Build Mater*. 2020;258:119443; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.119443>.
12. Arenas-Piedrahita JC, Montes-García P, Mendoza-Rangel JM, López Calvo HZ, Valdez-Tamez PL, Martínez-Reyes J. Mechanical and durability properties of mortars prepared with untreated sugarcane bagasse ash and untreated fly ash. *Constr Build Mater*. 2016;105:69-81; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.12.047>.
13. Chindaprasirt P, Kroehong W, Damrongwiriyanupap N, Suriyo W, Jaturapitakkul C. Mechanical properties, chloride resistance and microstructure of Portland fly ash cement concrete containing high volume bagasse ash. *J Build Eng*. 2020;31:101415; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.jobe.2020.101415>.
14. Zareei SA, Ameri F, Bahrami N. Microstructure, strength, and durability of eco-friendly concretes containing sugarcane bagasse ash. *Constr Build Mater*. 2018;184:258-268; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.06.153>.
15. Kazmi SMS, Munir MJ, Patnaikuni I, Wu YF. Pozzolanic reaction of sugarcane bagasse ash and its role in controlling alkali silica reaction. *Constr Build Mater*. 2017;148:231-240; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.05.025>.
16. Praveenkumar S, Sankarasubramanian G, Sindhu S. Strength, permeability and microstructure characterization of pulverized bagasse ash in cement mortars. *Constr Build Mater*. 2020;238:117691; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2019.117691>.
17. Setayesh Gar P, Suresh N, Bindiganavile V. Sugar cane bagasse ash as a pozzolanic admixture in concrete for resistance to sustained elevated temperatures. *Constr Build Mater*. 2017;153:929-936; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.07.107>.
18. Maldonado García MA, Hernández Toledo UI, Montes García P, Valdez Tamez PL. The influence of untreated sugarcane bagasse ash on the microstructural and mechanical properties of mortars. *Materiales de Construcción*. 2018;68(329):6; Available from: <https://doi.org/10.3989/mc.2018.13716>.
19. Thuan VQ, Lanh HS, Tuan HQ, Quan LD, Dang VQ. Effect of sugarcane bagasse ash on compressive strength and water absorption of foam concrete using sea sand and seawater. *VNUHCM J Eng Technol*. 2023;6(3);.
20. Đức HL, Sheen YN. Một số đặc tính kỹ thuật của bê tông sử dụng tro bã mía đã xử lý thay thế một phần xi măng. *Tạp Chí Xây Dựng*. 2022;73(6):630-646; Available from: <https://doi.org/10.47869/tcsj.73.6.3>.
21. Xue B, Pei J, Sheng Y, Li R. Effect of curing compounds on the properties and microstructure of cement compounds. *Constr Build Mater*. 2015;101:410-416; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2015.10.124>.
22. Ismail S, Kwan WH, Ramli M. Mechanical strength and durability properties of concrete containing treated recycled concrete aggregates under different curing conditions. *Constr Build Mater*. 2017;155:296-306; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.08.076>.
23. Benli A, Karataş M, Bakir Y. An experimental study of different curing regimes on the mechanical properties and sorptivity of self-compacting mortars with fly ash and silica fume. *Constr Build Mater*. 2017;144:552-562; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2017.03.228>.
24. Bingöl AF, Tohumcu İ. Effects of different curing regimes on the compressive strength properties of self-compacting concrete incorporating fly ash and silica fume. *Mater Des*. 2013;51:12-18; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.matdes.2013.03.106>.
25. Nguyễn HC, Hồ NK, Bùi ĐĐ. Kỹ thuật bảo dưỡng bê tông tự lèn hiệu quả trong điều kiện khí hậu Việt Nam. *Tạp Chí Khoa Học Công Nghệ Xây Dựng*. 2019;13:133-145 ;PMID: 29370147. Available from: [https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13\(5V\)-15](https://doi.org/10.31814/stce.nuce2019-13(5V)-15).
26. Sản lượng đường sẽ tiếp tục tăng trong vụ 2022/2023; Available from: <https://nongnghiep.vn/san-luong-duong-se-tiep-tuc-tang-trong-vu-2022-2023-d335370.html>.
27. Hiền LD. Thời gian ninh kết, cường độ chịu nén và co ngót của vật liệu kiểm hoạt hóa xỉ lò cao nghiên mịn-tro bã mía. Available from: <https://stce.huce.edu.vn/index.php/vn/article/view/2222/1183>. Accessed April 3, 2023; Available from: [https://doi.org/10.31814/stce.huce\(nuce\)2022-16\(1V\)-11](https://doi.org/10.31814/stce.huce(nuce)2022-16(1V)-11).
28. TCVN 6260:2009. Xi măng poóc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật;.
29. TCVN 8862:2011. Quy trình thí nghiệm xác định cường độ kéo khí ép chèn của vật liệu hạt liên kết bằng các chất kết dính;.
30. TCVN 3118:2022. Bê tông - Phương pháp xác định cường độ nén;.
31. ASTM C642-13, Standard test method for density, absorption, and voids in hardened concrete, ASTM International, West Conshohocken, PA (2013) 1-3; Available from: <https://doi.org/10.1520/C0642-13.5>.
32. ASTM C1585-13, Test method for measurement of rate of absorption of water by hydraulic-cement concretes, ASTM International, 2013;.
33. Madandoust R, Mousavi SY. Fresh and hardened properties of self-compacting concrete containing metakaolin. *Constr Build Mater*. 2012;35:752-60; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.04.109>.
34. Dang VQ, Ogawa Y, Bui PT, Kawai K. Effects of chloride ion in sea sand on properties of fresh and hardened concrete incorporating supplementary cementitious materials. *J Sustain Cem Based Mater*. 2022;11:439-51; Available from: <https://doi.org/10.1080/21650373.2021.1992683>.
35. Sang NT, Quan TM, Dang VQ, Ho LS, George RC. Applicabil-

- ity of concrete containing the binary and ternary system of binder materials under natural marine environment. *J Appl Sci Eng.* 2022;25:881-91;.
36. Dang QV, Okada A, Ogawa Y, Kawai K. Influence of chloride ion in sea sand on mechanical properties of fly ash concrete exposed to accelerated carbonation. In: Reddy JN, Wang CM, Luong VH, Le AT, editors. *ICSCEA 2019*. Singapore: Springer; 2020. p. 521-29; Available from: https://doi.org/10.1007/978-981-15-5144-4_48.
 37. Vu TB, Dang VQ, Ngo QA, Ho LS. Influence of some factors on the mechanical properties of cement-treated clay for shallow mixing in Vietnam: A comparative study. *Results Eng.* 2023;17:101011; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.rineng.2023.101011>.
 38. Jagadesh P, Ramachandramurthy A, Murugesan R. Evaluation of mechanical properties of Sugar Cane Bagasse Ash concrete. *Constr Build Mater.* 2018;176:608-17; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2018.05.037>.
 39. Dang VQ, Ogawa Y, Kawai K. Mechanical properties and carbonation resistance of sea sand concrete containing ground granulated blast furnace slag under accelerated carbonation; 2019;.
 40. Morandea A, Thiéry M, Dangla P. Impact of accelerated carbonation on OPC cement paste blended with fly ash. *Cem Concr Res.* 2015;67:226-36; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2014.10.003>.
 41. Dang VQ, Ogawa Y, Bui PT, Kawai K. Effects of chloride ions on the durability and mechanical properties of sea sand concrete incorporating supplementary cementitious materials under an accelerated carbonation condition. *Constr Build Mater.* 2021;274:122016; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2020.122016>.
 42. Chen JJ, Thomas JJ, Jennings HM. Decalcification shrinkage of cement paste. *Cem Concr Res.* 2006;36:801-9; Available from: <https://doi.org/10.1016/j.cemconres.2005.11.003>.

Effect of curing conditions on mechanical properties and sorption characteristics of concrete using sugarcane bagasse ash

Viet Quoc Dang^{1,2,*}, Long The Doan³, Thuan Quang Vu¹, Loi Dang Bao⁴, Bich Luong Thi¹, Vinh Chau Ngoc⁵

ABSTRACT

With the significant development in infrastructure and buildings, the demand for concrete is gradually increasing. However, with the trend of sustainable development, there are more and more researchers focusing on the application of industrial and agricultural by-products in concrete production. This study aims to evaluate the applicability of sugarcane bagasse ash (SCBA) in cement replacement considering the curing conditions. The cement was partially replaced by 5% of SCBA. The mechanical properties and sorption characteristics of concrete were investigated for up to 56 days. The results show that the ultrasonic pulse velocity and compressive strength of concrete specimens containing SCBA were lower than the reference concrete before 28 days, regardless of curing conditions. However, the ultrasonic pulse velocity, compressive strength, sorption characteristics, and apparent porosity of concrete incorporating SCBA were slightly higher than those of the reference concrete under tap water curing at 56 days. Additionally, ambient air curing significantly reduced the ultrasonic pulse velocity and compressive strength, as well as increased the sorption characteristics of concrete, especially concrete containing SCBA. As a consequence, the concrete specimens cured under ambient air condition showed lower performance than those under tap water condition.

Key words: Curing conditions, sugarcane bagasse ash, compressive strength, water penetration, sorptivity coefficient

¹Faculty of Infrastructural Engineering-Technology, Mien Trung University of Civil Engineering (MUCE), 24 Nguyen Du Street, Ward 7, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Vietnam

²Lab of Innovative Technology and Bigdata for Sustainable Development, Mien Trung University of Civil Engineering (MUCE), 24 Nguyen Du Street, Ward 7, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Vietnam

³Quality Management Department of Transport Construction, Phu Yen Department of Transportation, Vietnam, 72 Le Duan Street, Ward 7, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Vietnam

⁴Faculty of Civil Engineering, Mien Trung University of Civil Engineering (MUCE), 24 Nguyen Du Street, Ward 7, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Vietnam

⁵Department of Civil and Environmental Engineering, University of Michigan, Ann Arbor, MI 48109, USA

Correspondence

Viet Quoc Dang, Faculty of Infrastructural Engineering-Technology, Mien Trung University of Civil Engineering (MUCE), 24 Nguyen Du Street, Ward 7, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Vietnam

Lab of Innovative Technology and Bigdata for Sustainable Development, Mien Trung University of Civil Engineering (MUCE), 24 Nguyen Du Street, Ward 7, Tuy Hoa City, Phu Yen Province, Vietnam

Email: dangquocviet@muce.edu.vn

Cite this article : Dang V Q, Doan L T, Vu T Q, Bao L D, Thi B L, Ngoc V C. **Effect of curing conditions on mechanical properties and sorption characteristics of concrete using sugarcane bagasse ash.** *Sci. Tech. Dev. J. – Engineering and Technology* 2024, 7(2):2267-2283.