

Nghiên cứu chế tạo bê tông rỗng

Lê Văn Lộc^{1*}, Nguyễn Huy Cường², Huỳnh Phú Hào³, Trần Văn Mom⁴, Trương Văn An⁵, Trần Văn Bình⁶, Cao Hồng Hải⁷, Trần Lý Trường Giang⁸, Hồ Văn Pha⁹, Tăng Phước Lộc¹⁰, Lê Ngọc Đĩnh¹¹, Hồ Trung Tính¹¹

¹ Sở Lao động Thương binh và Xã hội Đồng Tháp, tỉnh Đồng Tháp

² Ban Quản lý dự án và Phát triển quỹ đất, Quận Ô Môn, Thành phố Cần Thơ

³ Trường trung cấp nghề Thới Lai, Thành phố Cần Thơ

⁴ Đội Quản lý trật tự đô thị thị xã Long Mỹ, tỉnh Hậu Giang

⁵ Sở Xây dựng Hậu Giang, tỉnh Hậu Giang

⁶ Phòng Kinh tế và Hạ tầng huyện Vị Thủy, tỉnh Hậu Giang

⁷ Ban QLDA-ĐTXD huyện Châu Thành A, tỉnh Hậu Giang

⁸ Trung tâm Phát triển hạ tầng Khu kinh tế-Ban Quản lý khu kinh tế tỉnh Kiên Giang

⁹ Trung tâm phát triển quỹ đất huyện Long Mỹ, tỉnh Hậu Giang

¹⁰ Công ty TNHH XD & TM TRAVICO

¹¹ Ban QLDA-ĐTXD quận Ô Môn, Thành phố Cần Thơ

TỪ KHOÁ

Bê tông rỗng
Bề mặt thấm
Độ rỗng
Thoát nước mưa
Hệ số thấm

TÓM TẮT

Bê tông rỗng (PC) được chế tạo từ hỗn hợp vật liệu đá mi, cát nghiền, xi măng, nước và phụ gia SP. Sử dụng phương pháp thể tích tuyệt đối và phương pháp kết khối, với tỷ lệ nước trên chất kết dính là 0.28 và độ sụt được khống chế trong khoảng $0 \div 1$ cm, nghiên cứu thiết kế các cấp phối với các độ rỗng khác nhau nhằm mục đích đánh giá ảnh hưởng của độ rỗng đến trọng lượng riêng, cường độ chịu nén và tốc độ thoát nước của PC. Từ đó đề xuất cấp phối tối ưu PC ưu để chế tạo, ứng dụng cho các công trình công cộng, điển hình là các công trình công viên, đường đi trên bờ kè, ...

KEYWORDS

Pervious concrete
Pervious pave
Porosity
Drainage
Permeability coefficient

ABSTRACT

Pervious concrete (PC) is made from a mixture of flint, crushed sand, cement, water and SP additives. Using the absolute volume method and the agglomeration method, with the water to binder ratio of 0.28 and the slump controlled in the range of $0 \div 1$ cm. Research and design grades with different porosity are used, which aims to evaluate the effect of porosity on specific gravity, compressive strength and drainage rate of hollow concrete. From there, it is proposed to optimally mix hollow concrete for fabrication and application for public works, typically park works, roads on embankments, etc.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, tình trạng biến đổi khí hậu đang có diễn biến rất phức tạp, ngày càng xuất hiện nhiều hiện tượng thời tiết cực đoan, đặc biệt là tình hình ngập lụt ở khu vực Đồng bằng Sông Cửu Long (ĐBSCL). Do vậy, các giải pháp thoát nước, hạn chế ngập úng tại các khu đô thị đang được quan tâm nghiên cứu mạnh mẽ. Đối với các công trình đô thị hiện nay việc thoát nước sau khi mưa lũ kéo dài, triều cường lên, những vùng nước lớn đọng lại hay hiện tượng ngập lụt xuất hiện khắp các con đường do các cống, rãnh không kịp thoát nước gây khó khăn cho lưu thông, tình trạng này kéo dài có thể gây ô nhiễm nguồn nước mưa, nước ngầm đòi hỏi phải có biện pháp thay thế bê tông thông thường trong tương lai.

Ngoài ra, độ bền lâu thực tế của kết cấu BTCT phụ thuộc vào mức độ xâm thực của môi trường và chất lượng vật liệu sử dụng thể hiện ở

cường độ bê tông, mác chống thấm, khả năng chống ăn mòn, chủng loại xi măng, phụ gia, khả năng thoát nước, loại cốt thép, chất lượng thiết kế, thi công và biện pháp quản lý, sử dụng công trình... Trong môi trường không có tính xâm thực, kết cấu BTCT có thể làm việc bền vững trên 100 năm. Tuy nhiên đối với các công trình bị ngập úng, hiện tượng ăn mòn cốt thép và bê tông dẫn đến làm nứt vỡ và phá huỷ kết cấu bê tông và BTCT có thể xuất hiện sau 10 - 30 năm sử dụng [1]. Nguyên nhân chính của thực trạng này là do tác động xâm thực mạnh, ngập thường xuyên của môi trường biển đối với BT và BTCT ở hai dạng chính gồm tác dụng về mặt hóa học và cơ học như gây ăn mòn và xói mòn kết cấu, đặc biệt khi có tác dụng của nước lũ ứ đọng trong thời gian dài.

Để khắc phục tình trạng hư hại BT và BTCT của các công trình đô thị thường xuyên bị ngập lụt, một số biện pháp thường được áp dụng như tăng chiều dày lớp bê tông bảo vệ cốt thép, tăng mác bê tông so với quy phạm, sử dụng phụ gia (khoáng, hóa), bọc lớp vật liệu chống

*Liên hệ tác giả: levanloc@gmail.com

Nhận ngày 15/07/2024, sửa xong ngày 13/08/2024, chấp nhận đăng ngày 15/08/2024

Link DOI: <https://doi.org/10.54772/jomc.04.2024.766>

thấm hoặc thay thế cốt thép thành cốt phi kim, . . . Xét về mặt tương tác thì đây là cách giải quyết khá bị động và mang tính phòng bị, Nó chỉ giúp tăng khả năng chống chịu của bê tông lên một mức độ nào đó mà không giải quyết triệt để vấn đề. Một cách giải quyết vấn đề ngập lụt và ùn ứ nước ngập ở các công trình đô thị là tăng khả năng thoát nước của bê tông, giúp bê tông có khả năng chịu được tác động của nước lũ xâm thực bằng cách sử dụng bê tông có khả năng thoát nước tốt như PC.

Theo Viện bê tông Mỹ (ACI), PC là loại bê tông không có độ sụt hoặc độ sụt thấp 0 – 1 cm, và là bê tông có cấu trúc lỗ rỗng hở liên tục, có độ rỗng (15-35 %) thành phần tương tự như bê tông thông thường sử dụng xi măng pooc lăng, cốt liệu lớn, một lượng nhỏ hoặc không cốt liệu nhỏ, nước và phụ gia. PC sau khi hình thành từ hỗn hợp vật liệu, bê tông sẽ có hệ thống lỗ rỗng thông nhau cho phép nước chảy qua dễ dàng. Về tính chất kỹ thuật, công nghệ thi công và bảo dưỡng PC đã được nghiên cứu một cách rộng rãi và được sử dụng phổ biến theo các tiêu chuẩn hiện hành. Một số vấn đề đã được đánh giá như ảnh hưởng của lỗ rỗng đến tính thấm của PC [2], quan hệ giữa độ rỗng và cường độ trong PC [3], khả năng sử dụng cốt liệu tái chế như như bê tông nghiền, tường xây nghiền làm PC thoát nước [4], tính chất của thoát nước sử dụng cốt liệu tái chế và chất kết dính geopolymere [5].

Độ rỗng của bê tông có thể thay đổi từ 15 % đến 35 % (rất gần với đá đổ đồng tự nhiên), cường độ nén từ 2,8 MPa đến 28 MPa (tương tự bê tông thường) [6]. Tốc độ thoát nước của PC thay đổi tùy theo kích thước cốt liệu và khối lượng thể tích của hỗn hợp bê tông, và thường vào khoảng từ 81 đến 730 lít/phút/m [7]. Khi gặp bề mặt kết cấu bê tông thông thường đặc chắc, sóng sẽ bị phản xạ ngược lại.

Ở Việt Nam, PC bước đầu đã được nghiên cứu đánh giá khả năng thoát nước của cấu kiện PC [6], PC còn được chế tạo bằng cách sử dụng phụ phẩm trong quá trình nghiền đá xây dựng nhằm mục đích tăng khả năng thoát nước [Nguyễn Đăng Hanh và ctv, 2020]. Ngoài ra, nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng đến tính chất của PC thoát nước với Các cấp phối thiết kế có hệ số thoát nước từ 2,4 đến 9,8 mm/s, tương ứng với tổng độ rỗng từ 28,5 % đến 48,4 %, trong khi đó cường độ nén giảm từ 14,8 MPa xuống 4,5 MPa. Mối quan hệ giữa hệ số thoát nước, độ rỗng và đặc tính cơ học cũng đã được nghiên cứu [8].

Thiết kế cấp phối PC được tính toán theo nguyên lý kết khối tiếp xúc, nguyên lý thể tích tuyệt đối và sử dụng phương pháp thử và sai lặp lại để đưa ra cấp phối tối ưu cho thi công thực tế. Phương pháp thiết kế dựa trên chỉ dẫn của Báo cáo về PC (ACI Committee 522, 2010) [9]. Việc thiết kế cấp phối cho PC yêu cầu đạt được sự cân bằng giữa độ rỗng, cường độ, hàm lượng vữa và khả năng thi công.

Trong quá trình thiết kế cấp phối PC, tỷ lệ giữa nước và chất kết dính (N/CKD) là một yếu tố quan trọng cần xem xét để đạt được cường độ mong muốn và cấu trúc rỗng trong PC. Tỷ lệ N/CKD đối với PC tương đối thấp, thường nằm trong khoảng 0,27 đến 0,4 [10]. Đồng thời việc điều chỉnh lượng nước trong thiết kế PC là một việc làm khó khăn. Nếu lượng nước dư thừa sẽ dẫn đến hiện tượng vữa chảy tràn xuống dưới

đáy ngay cả khi được đầm nhẹ và làm tắc nghẽn hệ thống lỗ rỗng bên dưới. Ngược lại, nếu lượng nước quá thấp sẽ gây khó khăn trong quá trình trộn bê tông và có xu hướng làm vón cục bê tông trong máy trộn, ngăn cản sự phân bố đều của vữa, do đó làm giảm cường độ và độ bền của bê tông.

Nghiên cứu chế tạo PC từ nguồn vật liệu ở khu vực để ứng dụng vào các công trình xây dựng theo với các tiêu chí về độ linh động, cường độ và khối lượng thể tích, độ rỗng, độ thoát nước đã được đánh giá theo các tiêu chuẩn liên quan.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1. Vật liệu sử dụng

Bảng 1. Tính chất của vật liệu sản xuất cốt liệu và PC.

Vật liệu	Khối lượng riêng (kg/m ³)	Khối lượng thể tích (kg/m ³)	Độ hút nước (%)
Đá mi	3047	1709	1.68
Cát nghiền	2886	1852	1.52
Xi măng	2890	-	-

AGG trong nghiên cứu được sản xuất từ nguồn nguyên liệu chính là xi măng PC40 (2890 kg/m³). Đá mi có kích cỡ hạt từ 5 - 12.5 mm và cát nghiền có kích cỡ hạt là 0.3 - 9.5 mm với khối lượng riêng và khối lượng thể tích xấp xỉ được cho ở Bảng 1. Phụ gia sử dụng là phụ gia siêu dẻo ViscoCrete và nước sử dụng là nước máy lấy tại nơi làm thí nghiệm.

2.2. Thiết kế cấp phối bê tông

Trong nghiên cứu này, thành phần cốt liệu chính là đá mi làm khung chịu lực cho PC, cát nghiền được thêm vào với hàm lượng rất ít để vừa giúp tăng cường độ cho bê tông, vừa đảm bảo không bịt kín các lỗ rỗng của PC. Theo khuyến cáo của (ACI Committee 522, 2010) [9], lượng cát được thêm vào PC (nếu có) nhiều nhất là 20 % để đảm bảo tính năng của PC nêu trên. Nghiên cứu này sử dụng lượng cố định 5 % cát nghiền so với hỗn hợp đá mi và cát nghiền cho tất cả các cấp phối để thiết kế.

PC được sản xuất sử dụng tỷ lệ nước/chất kết dính (N/CKD) cố định là 0,28 nhằm đánh giá ảnh hưởng của độ rỗng trong bê tông đến các tính chất khác của PC, nghiên cứu thiết kế tổng cộng sáu cấp phối bao gồm năm cấp phối với độ rỗng trong bê tông thay đổi lần lượt ở các mức 10 %, 15 %, 20 %, 25 % và 30 % (theo thể tích của bê tông) được ký hiệu lần lượt là RDC, R10, PC15, R20, R25, R30 và một cấp phối đối chứng với độ rỗng thiết kế 0 %, ký hiệu RDC (Bảng 2). Điều chỉnh lượng phụ gia SP để tất cả các cấp phối có cùng độ sụt và đạt trong khoảng 0 – 1 cm để có thể dễ dàng so sánh các tính chất giữa các cấp phối.

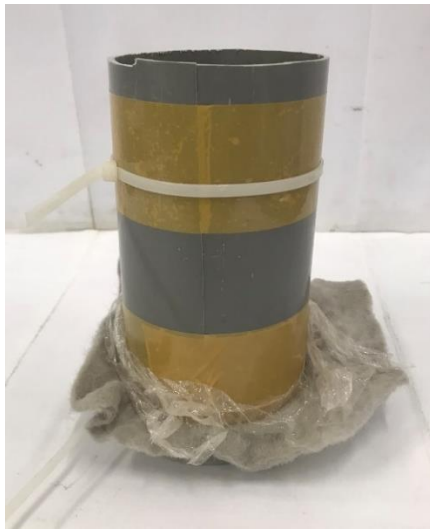
Bảng 2. Cấp phối PC (Đơn vị: kg/m³).

STT	Cấp phối	N/CKD	V _p (m ³)	V _v (m ³)	Xi măng	Đá mi	Cát nghiền	Nước	SP (%)
1	RĐC	0,28	0,351	0,00	559	1440	76	0,157	0,50
2	R10	0,28	0,281	0,10	448	1440	76	0,125	0,65
3	R15	0,28	0,246	0,15	392	1440	76	0,110	0,70
4	R20	0,28	0,211	0,20	336	1440	76	0,094	0,90
5	R25	0,28	0,176	0,25	280	1440	76	0,079	0,95
6	R30	0,28	0,141	0,30	225	1440	76	0,063	1,10

2.3. Quy trình chế tạo bê tông rỗng

Nghiên cứu đánh giá các chỉ tiêu trên loại mẫu trụ có kích thước D90 x H150 mm với khuôn chế tạo mẫu tự chế bằng ống nhựa D90 mm được bịt kín một đầu và đầu còn lại hở để đổ bê tông (Hình 1. a). PC được trộn bằng máy trộn bê tông cưỡng bức (Hình 1. b)

Đầu tiên trộn toàn bộ đá mi, cát nghiền, xi măng và một phần nước (khoảng 10 %) trong 2 phút nhằm tạo một lớp xi măng bao phủ đồng đều bề mặt các hạt cốt liệu đá. Tiếp theo, cho toàn bộ lượng nước còn lại và bật máy trộn với tốc độ nhanh trong thời gian 3 phút. Dừng máy và vét thành máy trộn khoảng 30 giây. Kiểm tra độ đồng đều và điều chỉnh lượng phụ gia cho bê tông đạt được độ nhớt yêu cầu (Hình 2.).



Hình 1. (a) Mẫu hình trụ D90xH150; (b) Máy trộn bê tông.



Hình 2. (a) Mẫu bê tông tươi; (b) Đám bê tông vào mẫu trụ D90 x H150 mm.

Tiến hành đo độ sụt của hỗn hợp, nếu đạt trong khoảng 0 – 1 cm thì đạt yêu cầu, nếu chưa đạt thì tiếp tục điều chỉnh bằng lượng phụ gia thích hợp thêm vào. Tiếp tục cho máy trộn tốc độ nhanh thêm 2 phút nữa trước khi đổ bê tông vào khuôn [11].

Sau khi trộn xong, tiến hành đổ bê tông vào khuôn đã được gia công trước đó (không cần bôi chất bôi trơn lên thành khuôn vì bê tông không dính bám tốt với nhựa nên có thể dễ dàng tháo ra). Chia làm 3 lớp và đầm 2 lần trên mỗi vị trí bằng đầm Proctor tiêu chuẩn (Hình 2. b). Sau khi đầm xong, xử lý bề mặt mẫu và hoàn thiện bề mặt. Tiếp theo, các mẫu bê tông được đánh dấu, ký hiệu và bảo dưỡng trong điều kiện nhiệt độ phòng và phủ một lớp màng bọc bên trên để tránh mất nước trong bê tông trong vòng 24 giờ. Sau 24 giờ, tháo màng bọc bên trên và đáy khuôn bên dưới, mang mẫu ngâm trong nước chờ đến ngày thí nghiệm đánh giá (Chú ý nước ngâm mẫu phải là nước sạch, ít bụi bẩn để tránh bụi chui vào lỗ rỗng của PC, ảnh hưởng đến kết quả thí nghiệm). Những mẫu kiểm tra cường độ nén được bảo dưỡng đến 7, 28 ngày; những mẫu kiểm tra độ rỗng, độ thoát nước được bảo dưỡng đến 28 ngày.

2.4. Các tính chất của bê tông

Sau khi thiết kế cấp phối cho bê tông thực hiện đổ mẫu và bảo dưỡng [12]. Các thí nghiệm kiểm tra các tính chất của bê tông bao gồm: Độ sụt [13], khối lượng thể tích [14], cường độ chịu nén [15].

Ngoài ra, bê tông còn được kiểm tra độ rỗng [16] và hệ số thấm [5] mẫu thí nghiệm có kích thước 150x150x150 mm, mô hình được thiết kế Hình 3. và công thức tính hệ số thấm như sau:

$$k = \frac{Q.L}{H.A.t} \quad (1)$$

Trong đó:

k - Hệ số thấm (mm/s);

Q - Lượng nước thấm qua mẫu trong thời gian t (ml);

L - Chiều cao của mẫu (mm);

H - Chiều cao cột nước (mm);

A - Diện tích tiết diện của mẫu (mm²);

t - Thời gian thấm của lượng nước cho vào, $t = t_2 - t_1$, (s).



Hình 3. Sơ đồ mô hình thí nghiệm hệ số thấm của PC.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Tính chất của cốt liệu

3.1.1. Độ sụt và khối lượng thể tích của bê tông rỗng

Độ sụt là một yếu tố quan trọng khi chế tạo PC vì đây là loại bê tông không có độ sụt nên việc kiểm soát rất khó khăn. Độ sụt của PC gần như bằng 0 (Hình 4.) do phương pháp thiết kế loại bê tông này là giữ nguyên lượng cốt liệu và giảm lượng vữa trong bê tông đến khi lượng vữa chỉ còn vừa đủ bao phủ bề mặt của cốt liệu để tạo ra lỗ rỗng cùng với tỷ lệ N/CKD rất nhỏ (0.28) đã làm cho độ linh động của hỗn hợp bê tông giảm đi đáng kể.



Hình 4. Độ sụt của bê tông.

Trong nghiên cứu, việc kiểm soát độ sụt được thực hiện bằng cách điều chỉnh lượng SP cho vào hỗn hợp bê tông khi chế tạo mẫu, đảm bảo hạn chế tác động của chúng đến các tính chất khác của bê tông, giúp cho việc so sánh và đánh giá chính xác hơn các tính chất cơ lý của bê tông với các cấp phối khác nhau. Khi lượng nước và SP quá ít, khi đo độ sụt, hỗn hợp bê tông không sụt xuống từ từ mà bị đổ, chứng tỏ hỗn hợp bê tông bị khô và thiếu kết dính với nhau, cần phải tiếp tục cho thêm SP vào để tăng độ nhớt của hỗn hợp. Mặt khác, khi cho SP vào hỗn hợp bê tông với một lượng quá nhiều sẽ làm cho hỗn hợp bị hiện tượng chảy vữa hay còn gọi là hiện tượng bê tông bị phân tầng. Kết quả độ sụt và khối lượng thể tích tươi của bê tông được thể hiện ở Hình 4. Cho thấy lượng SP cho vào bê tông tăng dần theo độ rỗng của chúng, cấp phối có độ rỗng tăng thì độ nhớt của hỗn hợp bê tông giảm [17].

Bảng 3. Độ sụt và khối lượng thể tích của PC.

Cấp phối	Độ sụt (cm)	Khối lượng thể tích tươi (kg/m ³)
RĐC	0,4	2209
R10	0,5	2165
R15	0,3	2027
R20	0,2	,970
R25	0,3	1943
R30	0,2	1918

PC là loại bê tông có trọng lượng nhẹ (so với bê tông thông thường). Đối với khối lượng thể tích bê tông tươi của hỗn hợp bê tông Bảng 3. Cho thấy khối lượng thể tích ướt giảm dần khi độ rỗng tăng. Bê tông với độ rỗng thiết kế từ 20% đến 30% có KLTT bê tông tươi dưới 2000 kg/m³, đặc tính này giống với nghiên cứu [18]. Cùng một lượng cốt liệu, việc giảm lượng vữa phối trộn trong bê tông được cho là nguyên nhân gây nên hiện tượng giảm khối lượng thể tích ướt của hỗn hợp bê tông [19].

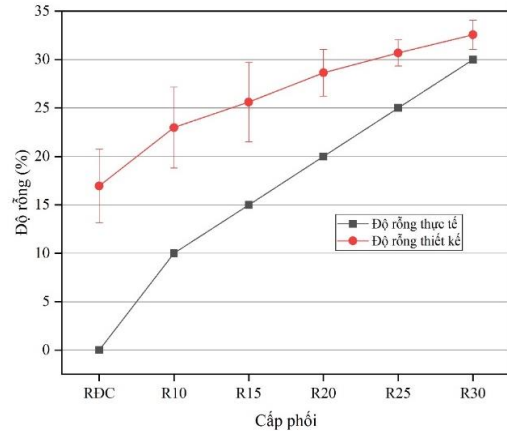
3.1.2. Độ rỗng của bê tông

Độ rỗng là một tính chất rất quan trọng của PC. Khả năng thoát nước của PC phụ thuộc chủ yếu vào độ rỗng, tính liên tục và sự quanh co của hệ thống lỗ rỗng bên trong bê tông. Vì vậy, nghiên cứu này tập trung vào việc khảo sát trên các cấp phối có độ rỗng khác nhau nhằm đánh giá sự tác động của chúng đến các tính chất khác của PC.

Bảng 4. Độ rỗng của PC.

Cấp phối	Độ rỗng (%)
RĐC	16,96
R10	22,98
R15	25,62
R20	28,65
R25	30,69
R30	32,57

Việc kiểm soát độ rỗng phải được thực hiện một cách chặt chẽ, xuyên suốt từ quá trình thiết kế đến chế tạo mẫu. Các tác nhân ảnh hưởng đến độ rỗng có thể kể đến là độ rỗng cốt liệu, hàm lượng vữa, công đầm nén bê tông, độ đồng đều của hỗn hợp khi trộn,... Nghiên cứu này cho thấy, kết quả thí nghiệm độ rỗng của PC có độ sai lệch rất lớn so với độ rỗng thiết kế ban đầu, nhưng sự sai lệch này giảm dần khi độ rỗng tăng đến 30 % trong cấp phối bê tông R30.



Hình 5. So sánh giữa độ rỗng thiết kế và độ rỗng thực tế của PC.

Số liệu từ Bảng 4, Hình 5 so sánh giữa độ rỗng thiết kế và thực tế cho thấy tất cả các cấp phối PC trong nghiên cứu có độ rỗng từ 16,96 đến 32,57 % đều đạt yêu cầu về PC theo tiêu chuẩn ACI 522 (15-35 %). Riêng đối với cấp phối đối chứng với độ rỗng thiết kế 0 % nhưng độ rỗng thực tế lệch khá xa (16,96 %). Điều này cho thấy, bê tông với độ rỗng thiết kế càng nhỏ thì càng khó khăn trong việc kiểm soát sự chênh lệch độ rỗng giữa thực tế và thiết kế. Nguyên nhân được nhận định là do loại cốt liệu được thiết kế khác với loại cốt liệu trong quy trình tính toán cấp phối theo chỉ dẫn của (ACI Committee 522, 2010) [9]. Ngoài ra, hình dạng cốt liệu và sự sắp xếp của chúng trong mỗi mỗi bê tông không giống nhau, sự phân bố các lỗ rỗng trong cấu trúc PC của mỗi mẫu, những sai số trong quá trình thí nghiệm,...Nguyên nhân thứ hai là do phương pháp đo độ rỗng hồ được áp dụng trong nghiên cứu này không thể tiếp cận được với tất cả hệ thống lỗ rỗng của bê tông. Nước chỉ xâm nhập vào các lỗ rỗng hở, còn những lỗ rỗng kín, nước không đi vào được và phần không gian chứa không khí này đã làm giảm khối lượng của PC khi cân mẫu trong nước.

Kết quả cho thấy các lỗ rỗng này hầu như không liên tục như các cấp phối còn lại. Giải thích cho hiện tượng này, ta có thể đưa ra nhận định rằng việc đầm chặt bằng đầm Proctor trên bê tông gần như không có độ linh động khó có thể làm cho hỗn hợp bê tông lèn chặt lại với nhau và thu hẹp các khoảng trống bên trong bê tông ở các mẫu bê tông có độ rỗng thiết kế từ 10 % đến 30 % và không thể làm cho hỗn hợp đặc hoàn toàn như bê tông thường ở các mẫu bê tông đối chứng với độ rỗng thiết kế 0 %. Hơn nữa, đầm Proctor với tiết diện có đường kính 50 mm trong khi khuôn đúc mẫu có đường kính 90 mm đã gây khó khăn trong việc di chuyển đầu đầm xung quanh thành khuôn.

Khi đầm, các hạt cốt liệu bị chen ra ngoài thành khuôn làm giảm tính lèn chặt của bê tông. Đồng thời, khi đổ mẫu, với quan điểm đầm chặt hai điểm trên mỗi vị trí là chưa phù hợp với hình dạng mẫu trụ tròn, loại cốt liệu và cấp phối trong nghiên cứu này.

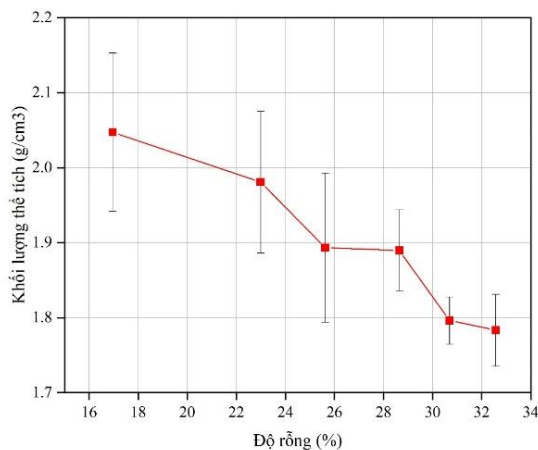
3.1.3. Khối lượng thể tích khô của bê tông

Khối lượng thể tích khô của PC được trình bày trong 5. Cho thấy khối lượng thể tích của bê tông khi đóng rắn giảm đáng kể so hỗn hợp bê tông ướt, do lượng nước bên trong bê tông chiếm trọng lượng đáng kể đồng thời khi mẫu đã đóng rắn, độ lèn chặt và sự sắp xếp cấu trúc bê tông khác hoàn toàn so với bê tông ở dạng hỗn hợp ướt.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm KLTT khô của PC.

Cấp phối	Khối lượng thể tích khô (kg/m ³)
RĐC	2,047
R10	1,980
R15	1893
R20	1889
R25	1796
R30	1783

Số liệu từ kết quả thí nghiệm cho thấy PC có KLTT khô nhỏ hơn nhiều so với loại bê tông truyền thống. Ở các loại bê tông truyền thống, đại lượng này đạt giá trị trong khoảng 2300 – 2500 kg/m³ trong khi loại PC trong nghiên cứu này đều có KLTT khô nhỏ hơn 2100 kg/m³ (mẫu lớn nhất đạt giá trị 2047 kg/m³). Tính chất này của PC rất có lợi khi ứng dụng vào công trình thực tiễn, chúng giúp giảm đáng kể tải trọng bản thân của công trình từ đó giảm giá thành xây dựng [20].

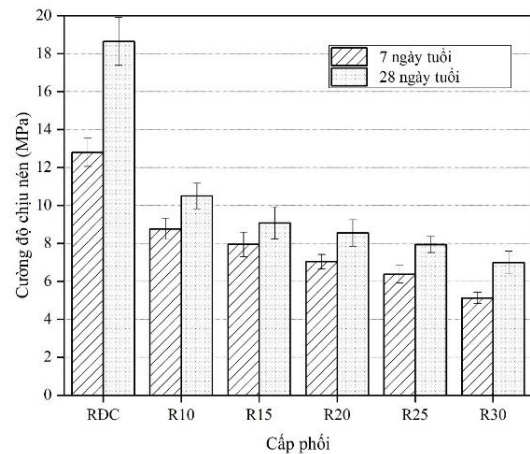


Hình 6. Tương quan giữa khối lượng thể tích và độ rỗng của PC.

Hình 6. Thể hiện độ rỗng của PC càng tăng thì khối lượng thể tích khô của bê tông càng giảm. Ngoài ra, độ lệch giữa các kết quả thí nghiệm trên những mẫu có cùng cấp phối là rất lớn. Nguyên nhân của sự sai lệch này phụ thuộc chủ yếu vào sự chênh lệch độ rỗng ở các mẫu thí nghiệm.

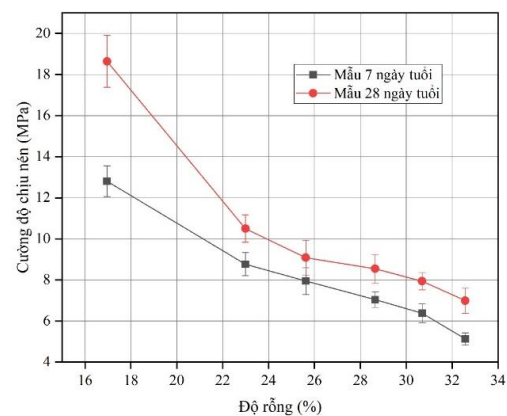
3.1.4. Cường độ chịu nén

Cường độ chịu nén của PC được trình bày ở Hình 7. Nhìn chung PC có cường độ tương đối thấp, dao động trong khoảng 6,99 MPa đến 18,64 MPa. Đây là kết quả nằm trong phạm vi điển hình ở PC có độ rỗng tương ứng được báo cáo trong (ACI Committee 522, 2010). Các hạt cốt liệu liên kết với nhau thông qua một lớp vữa mỏng bao phủ bên ngoài bề mặt (nguyên lý kết khối tiếp xúc), liên kết này yếu hơn rất nhiều so với bê tông thường với hàm lượng vữa cao.



Hình 7. Cường độ chịu nén của PC.

Mục tiêu của nghiên cứu này ứng dụng PC cho công trình công cộng có tải trọng nhỏ như đường đi bộ, khu công viên trên bờ kè nên việc sử dụng loại bê tông này là khả thi.



Hình 8. Tương quan giữa cường độ chịu nén và độ rỗng của PC.

Hình 8. Thể hiện mối tương quan giữa cường độ chịu nén với độ rỗng của PC cho thấy các cấp phối PC có độ rỗng càng cao thì giá trị cường độ bê tông ở 7 ngày tuổi và 28 ngày tuổi càng gần nhau. Nguyên nhân là do các cấp phối có độ rỗng lớn chứa lượng vữa bên trong nhỏ nên hàm lượng xi măng ít làm cho phản ứng hydrat hóa xi măng xảy ra nhanh hơn. Ngược lại, các cấp phối có độ rỗng thấp thì hàm lượng vữa

bên trong cao và số phản ứng hydrat hóa lớn nên xảy ra một cách chậm chạp từ đó sự chênh lệch cường độ giữa các ngày tuổi của chúng cũng lớn hơn [3].

Đối với cấp phối bê tông đối chứng, cường độ vượt lên đến 18,64 MPa ở 28 ngày tuổi. Kết quả này khá tương đồng với nghiên cứu của [21]. Với tỷ lệ N/CKD thấp (0,28) cùng với việc thiết kế hàm lượng vữa cao (không giảm lượng vữa để hạn chế lỗ rỗng) đã làm cho bê tông được lèn chặt và phát triển nhanh, dẫn đến khả năng chịu lực của bê tông tăng mạnh so với các cấp phối còn lại.

Khi bê tông có độ rỗng 22,98 % thì cường độ chịu nén của bê tông đạt 10,5 MPa ở 28 ngày tuổi, giảm khoảng 44 % so với cường độ của mẫu đối chứng. Giá trị cường độ này giảm lần lượt 51 %, 54 %, 57 %, 63 % khi độ rỗng tăng lên 25,62 %, 28,65 %, 30,69 %, 32,57 % tương ứng.

PC có độ rỗng càng cao thì cường độ chịu nén của PC càng nhỏ. Điều này có nghĩa là việc tăng độ rỗng bên trong PC đã làm giảm đáng kể cường độ chịu nén của chúng. Nguyên nhân do lượng vữa kết dính giữa các viên cốt liệu giảm làm cho lực liên kết giữa chúng giảm theo từ đó làm giảm cường độ, vì vậy khi mẫu bắt đầu bị phá hoại, ta thấy các vết nứt hình thành trên bề mặt của mẫu chạy dọc giữa các khe hở, đi ngang qua các lỗ rỗng của bê tông (Hình 9). Đây cũng chính là nhược điểm của loại bê tông này, vì thế PC thường được ứng dụng vào các kết cấu không đòi hỏi cường độ bê tông cao.



Hình 9. Mẫu PC bị phá hoại khi thí nghiệm nén mẫu.

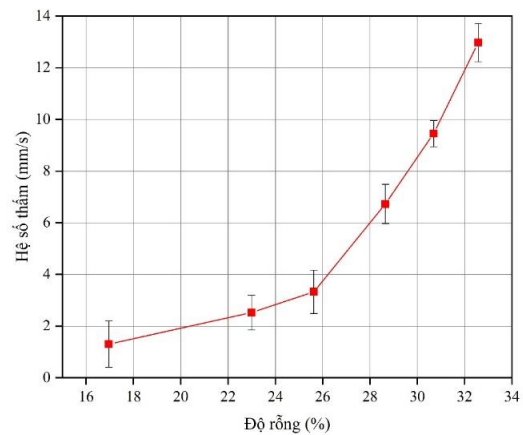
3.1.5. Độ thoát nước

Độ thoát nước được đánh giá thông qua chỉ tiêu đặc trưng là hệ số thấm. Đây là chỉ tiêu được đặt biệt chú trọng khi chế tạo, PC Kết quả kiểm tra hệ số thấm thông qua thử nghiệm bằng mô hình thoát nước ở Hình 6 dựa theo chỉ dẫn của Sata et al., 2013 được trình bày ở 6. Nhìn chung, các cấp phối PC có hệ số thấm rất lớn, dao động trong khoảng từ 1,306 – 12,972 mm/s, giá trị này cao hơn phạm vi điển hình về khả năng thoát nước của PC ở các nghiên cứu trước Zaetang, Yuwadee; Wongsas, Ampol; Sata, 2013 và Lê Thái Bình, 2013.

Bảng 6. Độ thoát nước của PC.

Cấp phối	Hệ số thấm (mm/s)
RĐC	1,306
R10	2,522
R15	3,328
R20	6,729
R25	9,453
R30	12,972

Hình 10 cho thấy các mối quan hệ giữa sóng siêu âm vận tốc (vf) và khoảng cách giữa các dao động (l) trong phương pháp trực diện. Như đã thấy trong hình, sóng siêu âm vận tốc theo phương pháp trực diện có xu hướng giảm khi khoảng cách giữa các dao động tăng lên. Xu hướng này không phải như vậy đáng chú ý (chênh lệch là 1,3 % -7,6 %) đối với các trường hợp dưới VP = 0 %, 15 % và 25 %, trong khi chênh lệch là 22,3 % cho VP = 35 %. Nguyên nhân của xu hướng này một phần là do đầu thu thấp hơn điện áp do tắt dần và các tác dụng khác [22]. Trong trường hợp PC có độ xốp lớn, chẳng hạn như VP = 35 %, với độ xốp rất nhỏ lượng hồ xi măng, con đường ngắn nhất qua PC nhiều lâu hơn những cái khác và sự suy giảm của sóng siêu âm giữa các bộ dao động lớn hơn.



Hình 10. Tương quan giữa độ rỗng và độ thoát nước của PC.

Tương quan giữa độ rỗng và độ thoát nước của PC với ảnh hưởng của độ rỗng đến hệ số thấm của PC trong nghiên cứu này được trình bày ở Hình 10. Độ rỗng của PC là một trong những yếu tố chính ảnh hưởng đến hệ số thấm của bê tông. Dựa vào biểu đồ ta có thể thấy, khi độ rỗng tăng thì hệ số thấm của bê tông có xu hướng tăng theo. Kết luận này hoàn toàn tương đồng với nghiên cứu của [23]. Điều này có nghĩa là hệ số thấm của PC tỷ lệ thuận với độ rỗng của chúng, tuy nhiên đây không phải mối quan hệ tuyến tính. Hệ số thấm tăng vọt khi độ rỗng lớn hơn 25 %. Cụ thể, khi độ rỗng tăng từ 16,96 % đến 25,62 % (tăng 51,1 %) thì hệ số thấm tăng tương ứng từ 1,31 mm/s đến 3,33 mm/s, tăng 154 %; nhưng khi giá trị độ rỗng tăng từ 25,62 % lên 32,57 % (tăng 27,1 %) thì hệ số thấm tăng từ 3,33 mm/s lên 12,97 mm/s, tăng 289 %. Nguyên nhân của xu hướng này được cho là do khi độ rỗng của bê tông càng lớn sẽ càng

làm tăng các tính chất như kích thước, hình dáng các lỗ rỗng trên bề mặt bê tông và làm tăng tính liên tục, tính quanh co cùng sự phân bố của hệ thống lỗ rỗng bên trong PC. Đây là những yếu tố chủ yếu ảnh hưởng trực tiếp đến dòng chảy và làm cho mối quan hệ giữa độ rỗng và hệ số thấm là mối quan hệ phi tuyến [24].

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu trên, việc sản xuất loại PC cũng như khả năng ứng dụng của loại bê tông này trong các công trình xây dựng nói chung và các kết cấu công trình công cộng (đường đi bộ, khu công viên...) trên bờ kè nói riêng là rất khả thi. Có thể đưa ra các kết luận sau:

(1) Độ sụt nằm trong khoảng 0 – 1 theo yêu cầu thiết kế. Việc giảm lượng vữa đã làm giảm đáng kể trọng lượng của chúng, đặc tính này giúp làm giảm tải trọng bản thân của công trình.

(2) Tất cả các cấp phối PC trong nghiên cứu có độ rỗng từ 16,96 – 32,57 % đều đạt yêu cầu về PC theo tiêu chuẩn ACI 522 (15-35 %). Riêng đối với cấp phối đối chứng với độ rỗng thiết kế 0 % nhưng độ rỗng thực tế lệch khá xa (16,96 %) so với các cấp phối còn lại.

(3) Khối lượng thể tích khô của PC nằm trong khoảng 1,783 đến 2,047 g/cm³. Việc giảm lượng vữa đã làm giảm đáng kể trọng lượng của chúng, đặc tính này giúp làm giảm tải trọng bản thân của công trình.

(4) Ở tuổi 28 ngày, cường độ chịu nén của các mẫu PC đạt giá trị trong khoảng 7,0 – 18,64 Mpa. Khi bê tông có độ rỗng 22,98 % thì cường độ chịu nén của bê tông đạt 10,5 MPa ở 28 ngày tuổi, giảm khoảng 44 % so với cường độ của mẫu đối chứng. Giá trị cường độ này giảm lần lượt 51 %, 54 %, 57 %, 63 % khi độ rỗng tăng lên 25,62 %, 28,65 %, 30,69 %, 32,57 % tương ứng. Từ đó có thể thay thế gạch lát vỉa hè và mặt đường đi bộ như mục tiêu nghiên cứu đã đề ra.

(5) Hệ số thấm đạt giá trị 1,31 - 12,97 mm/s với hệ số thấm của PC tỷ lệ thuận với độ rỗng và khi độ rỗng tăng từ 16,96 % đến 25,62 % (tăng 51,1 %) thì hệ số thấm tăng tương ứng từ 1,31 mm/s đến 3,33 mm/s, tăng 154 %; nhưng khi giá trị độ rỗng tăng từ 25,62 % lên 32,57 % (tăng 27,1 %) thì hệ số thấm tăng từ 3,33 mm/s lên 12,97 mm/s, tăng 289 %. Tuy nhiên, tất cả các cấp phối bê tông được sản xuất trong nghiên cứu đều được phân loại là PC theo tiêu chuẩn ACI 522.

Kết quả nghiên cứu bước đầu khẳng định tiềm năng của việc ứng dụng PC trong xây dựng các công trình như vỉa hè đường đi bộ, khu công viên... và công trình bị đô thị nói chung.

Tài liệu tham khảo

[1]. Ngô Kim Tuấn, Phan Quang Minh, Nguyễn Hoàng Giang, Nguyễn Tiến Dũng. Nghiên cứu ảnh hưởng của cốt liệu tái chế từ phế thải xây dựng đến tính chất của bê tông rỗng thoát nước. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, ĐHXDHN, 2021, 15 (6V): 58–69.

[2]. Lian, C., Zhuge, Y., Beecham, S. (2011). The relationship between porosity and strength for porous concrete. *Construction and Building Materials*, 25(11):4294–4298

[3]. Alalea Kia, Hong S. Wong, C. R. C. (2017). *Clogging in permeable concrete: A*

review (pp. 221–233).

[4]. Bhutta, M. A. R., Hasanah, N., Farhayu, N., Hussin, M. W., bin Md Tahir, M., Mirza, J. (2013). Prop-erties of porous concrete from waste crushed concrete (recycled aggregate). *Construction and Building Materials*, 47:1243–1248

[5]. Sata, V., Wongsas, A., & Chindaprasirt, P. (2013). Properties of pervious geopolymer concrete using recycled aggregates. *In Construction and Building Materials* (Vol. 42, pp. 33–39). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2012.12.046>

[6]. Lê Hải Trung, Nguyễn Văn Tuấn, Trần Thanh Tùng, Đặng Thị Linh, Nguyễn Trường Duy, Bạch Dương. Thí nghiệm đánh giá khả năng giảm sóng của cấu kiện bê tông rỗng. *Tap chí Khoa học Công nghệ Xây dựng*, NUCE 2021. 15 (3V): 44–54.

[7]. Dong, N. V., Hanh, P. H., Tuan, N. V., Minh, P. Q., Phuong, N. V. (2019). The effect of mineral admix-ture on the properties of the binder towards using in making pervious concrete. *Lecture Notes in Civil Engineering, Springer Singapore*, 367–372

[8]. Nguyễn Đăng Hanh, Nguyễn Thanh Sang, Trần Việt Hùng, Thái Minh Quân, Đào Phúc Lâm. Nghiên cứu sử dụng phụ phẩm trong quá trình nghiền đá xây dựng để chế tạo bê tông rỗng có khả năng thoát nước. *Tap chí Khoa học Công nghệ*. 2020, 07 : 30–33.

[9]. ACI Committee 522. (2010). Report on Pervious Concrete. American Concrete Institute.

[10]. Obla, K. H. (2010). Pervious concrete - An overview. *In Indian Concrete Journal* (Vol. 84, Issue 8, pp. 9–18).

[11]. Vũ Việt Hưng. (2019). Nghiên cứu sử dụng bê tông xi măng rỗng thoát nước mặt cho đường nội bộ và vỉa hè đường. *Tap Chí Xây Dựng Việt Nam*, 124.

[12]. [Tiêu chuẩn TCVN 8828:2011 “Bê tông - Yêu cầu bảo dưỡng ẩm tự nhiên”.

[13]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 12209:2018 “Bê tông tự lèn - Yêu cầu kỹ thuật và phương pháp thử”.

[14]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3108:1993 “Bê tông tươi - Phương pháp xác định khối lượng thể tích”.

[15]. Tiêu chuẩn quốc gia TCVN 3118:1993 “Bê tông nặng - Phương pháp xác định cường độ nén”.

[16]. ASTM C1754/C1754M-12. (2012). *Standard Test Method for Density and Void Content of Hardened Pervious Concrete*.

[17]. Chen, Y., Wang, K., Wang, X., & Zhou, W. (2013). Strength, fracture and fatigue of pervious concrete. *In Construction and Building Materials* (Vol. 42, pp. 97–104). <https://doi.org/10.1016/j.conbuildmat.2013.01.006>

[18]. Ann Marie Mulligan. (2005). *Attainable Compressive Strength Of Pervious Concrete Paving Systems*.

[19]. Liu, H., Luo, G., Wang, L., Wang, W., Li, W., & Gong, Y. (2018). Laboratory evaluation of eco-friendly pervious concrete pavement material containing silica fume. *In Applied Sciences (Switzerland)* (Vol. 9, Issue 1, p. 73). <https://doi.org/10.3390/app9010073>

[20]. Hạnh, N. Đ., Sang, N. T., Hùng, T. V., Quân, T. M., & Lâm, Đ. P. (2020). *Nghiên cứu sử dụng phụ phẩm trong quá trình nghiền đá xây dựng để chế tạo bê tông rỗng có khả năng thoát nước*. 07, 30–33.

[21]. Zaetang, Yuwadee; Wongsas, Ampol; Sata, V. C. (2013). Use of lightweight aggregates in pervious concrete. *Construction and Building Materials*, 48. [https://doi.org/\[doi 10.1016_j.conbuildmat.2013.07.077\]](https://doi.org/[doi 10.1016_j.conbuildmat.2013.07.077)

[22]. Lê Thái Bình. (2013). Nghiên cứu ứng dụng bê tông thấm nước trong các công trình xây dựng ở Việt Nam. *Tuyển Tập Hội Nghị Khoa Học Thường Niên*, 51–53.

[23]. Meininger, R. C. (n.d.). No-Fines Pervious Concrete for Paving. *Concrete International*, 10(8).

[24]. Chánh, N. V., Duy, N. H., Phạm, H., Huân, N., Kỳ, K., Xây, T., Học, T. Đ., Khoa, B., Hồ, T., Minh, C., & Nam, V. (n.d.). *Kỹ thuật bê tông rỗng dùng xây dựng lề đường và công trình công cộng* (pp. 102–107).