NGHIÊN CỨU THỰC NGHIỆM ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG XI MĂNG VÀ KHỐI LƯỢNG THỂ TÍCH ĐẾN SỰ PHÁT TRIỂN CƯỜNG ĐỘ CHỊU NÉN CỦA GẠCH ĐẤT-XI MĂNG KHÔNG NUNG

EXPERIMENTAL STUDY ON THE INFLUENCE OF CEMENT CONTENT AND DENSITY ON THE DEVELOPMENT OF COMPRESSIVE STRENGTH OF CEMENT-STABILIZED COMPRESSED EARTH BLOCKS

ĐÀO NGỌC KHÁNH VY[a,*], **ĐẶNG VŨ HIỆP**[a], **NGUYỄN TRUNG HIẾU**[b]
[a]Trường Đại học Kiến trúc Hà Nội
[b]Trường Đại học Xây dựng Hà Nội
*Tác giả đại diện: *Email*: vydnk@hau.edu.vn
Ngày nhận 08/9/2025, Ngày sửa 23/9/2025, Chấp nhận 25/9/2025
https://doi.org/10.59382/j-ibst.2025.vi.vol3-7

Tóm tắt: *Bài báo này trình bày nghiên cứu thực nghiệm về ảnh hưởng của hàm lượng xi măng và khối lượng thể tích đến sự phát triển cường độ chịu nén theo thời gian của gạch đất – xi măng không nung (Cement Stabilized Compressed Earth Block – CSCEB). Nghiên cứu được thực hiện trên 09 cấp phối vật liệu, với ba tỷ lệ xi măng bổ sung lần lượt là 0%, 10% và 15% theo khối lượng, kết hợp với ba giá trị khối lượng thể tích mục tiêu (thể hiện độ chặt của mẫu thí nghiệm) lần lượt bằng 1,8; 2,0 và 2,2T/m^3. Thí nghiệm xác định cường độ chịu nén của CSCEB được tiến hành trên các mẫu lập phương kích thước 50 x 50 x 50 mm ở 7, 14, 28 và 56 ngày tuổi. Kết quả thu được cho thấy: (1) sự phát triển cường độ của CSCEB chế tạo theo các cấp phối nghiên cứu diễn ra chủ yếu trong vòng 28 ngày đầu; (2) mức độ tăng cường độ chịu nén của CSCEB ở các mốc thời gian tỷ lệ thuận với hàm lượng xi măng bổ sung và khối lượng thể tích. Những kết quả thu được từ nghiên cứu này là cơ sở cho việc áp dụng CSCEB trong thực tế xây dựng hướng tới mục tiêu phát triển xanh, giảm phát thải CO_2.*

Từ khóa: *Gạch đất - xi măng không nung, Cường độ chịu nén, Hàm lượng xi măng, Khối lượng thể tích, Ngày tuổi*

Abstract: *This paper presents an experimental study that investigates the impact of cement content and density on the development of compressive strength over time in Cement-Stabilized Compressed Earth Blocks (CSCEB). The research analyzes 09 mix designs encompassing three distinct cement contents: 0%, 10%, and 15% by weight. These variations were combined with three target dry densities, which represent different levels of compaction for the specimens, set at 1,8; 2,0 and 2,2T/m³. Compressive strength tests were administered on cube specimens with dimensions of 50 × 50 × 50 mm at curing ages of 7, 14, 28, and 56 days. The findings of this study indicate that: (1) the development of compressive strength in CSCEBs primarily occurs within the initial 28 days; and (2) the increase in compressive strength at varying curing ages is directly proportional to the cement content and density. These findings provide a scientific basis for the practical application of CSCEBs in sustainable construction initiatives, supporting the promotion of green building practices and the reduction of CO_2 emissions.*

Keywords: *Cement-stabilized compressed earth block, Compressive strength, Cement content, Density, Curing age.*

1. Giới thiệu

Trong bối cảnh phát triển bền vững, ngành Xây dựng đang tìm kiếm các giải pháp thay thế vật liệu truyền thống nhằm giảm thiểu tác động tiêu cực đến môi trường. Gạch đất xi măng không nung (Cement Stabilized Compressed Earth Block – CSCEB) là một loại vật liệu xây dựng tiềm năng, có khả năng thay thế gạch đất nung nhờ vào các ưu điểm như giảm phát thải CO_2, tiết kiệm năng lượng sản xuất và tận dụng nguyên liệu sẵn có[1]. Không giống gạch đất nung, gạch đất xi măng không nung được sản xuất mà không cần nung ở nhiệt độ cao, thay vào đó, xi măng được sử dụng làm chất kết dính, trộn với đất, nén chặt và bảo dưỡng để phát triển cường độ.

Một trong những yếu tố quan trọng ảnh hưởng đến tính chất cơ học của CSCEB là hàm lượng xi măng, đóng vai trò như một chất kết dính giúp tăng cường độ bền và khả năng chịu lực của gạch. Theo Walker[2] sự gia tăng hàm lượng xi măng trong CSCEB dẫn đến sự cải thiện đáng kể cường độ chịu

nén (CĐCN) của vật liệu. Nghiên cứu của Zakham[3] chỉ ra rằng nếu tăng hàm lượng xi măng từ 0% lên 10% có thể tăng hơn 130% cường độ chịu nén. Tương tự, trong tài liệu của Islam và Elani [4, 5], hàm lượng xi măng từ 7-10% thêm vào vật liệu đất làm tăng cường độ, đáp ứng các tiêu chuẩn quốc tế khác nhau. Điều này cho thấy mối quan hệ tỷ lệ thuận giữa hàm lượng chất kết dính và khả năng chịu lực của CSCEB.

Khối lượng thể tích (KLTT) là một yếu tố quan trọng khác ảnh hưởng trực tiếp đến cường độ chịu nén của CSCEB. Do quá trình sản xuất chưa được tiêu chuẩn hóa, áp lực nén khác nhau từ các loại máy ép và khuôn tạo ra các mức độ nén chặt và mật độ khô khác nhau giữa các mẫu. Khi KLTT tăng, cường độ chịu nén thường tăng theo do sự giảm độ rỗng, giúp các hạt đất tiếp xúc chặt chẽ hơn. Trong trường hợp có sử dụng xi măng, sự tiếp xúc gần này tạo điều kiện cho sản phẩm thủy hóa xi măng bám dính hiệu quả hơn, hình thành cấu trúc đặc chắc và bền vững hơn. Kết quả là mẫu đạt khả năng chịu lực cao hơn và cải thiện đáng kể tính ổn định cơ học [6-9].

Ngoài ra, thời gian bảo dưỡng cũng có tác động đáng kể đến sự phát triển cường độ của CSCEB. CĐCN của CSCEB tăng theo thời gian đóng rắn do phản ứng thủy hóa của xi măng diễn ra theo thời gian, nhưng tốc độ tăng cường độ chậm lại trong thời gian nhất định [10, 11]. Nghiên cứu khác của Nshimiyimana cho thấy cường độ nén được cải thiện theo thời gian đóng rắn, đạt giá trị tối ưu sau 28 ngày [11].

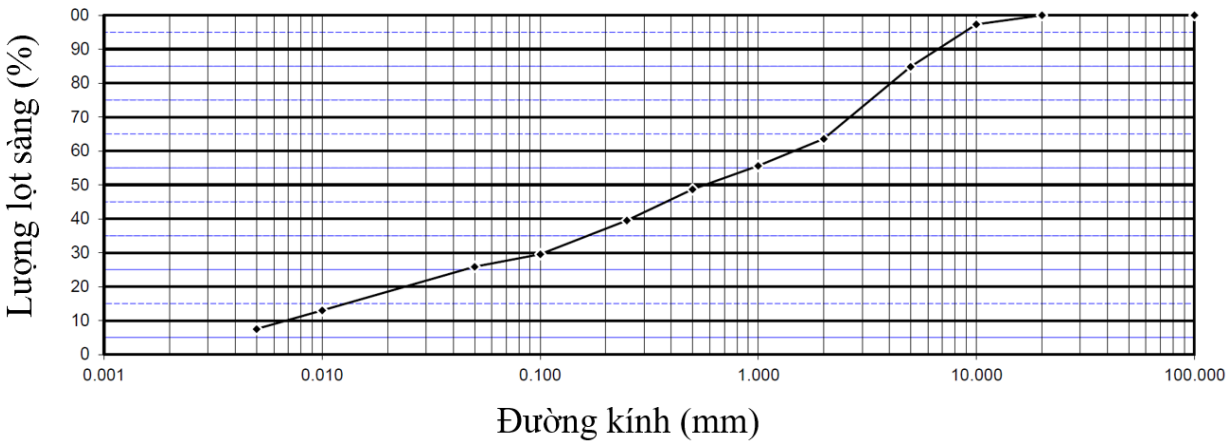
Như vậy, dựa trên các kết quả nghiên cứu cho thấy một số thông số chính ảnh hưởng đến sự phát triển cường độ của CSCEB bao gồm: cấp phối vật liệu chế tạo (loại vật liệu đất, hàm lượng xi măng bổ sung), khối lượng thể tích (thể hiện cho độ đặc chắc của mẫu) và điều kiện bảo dưỡng [9, 12].

Nội dung bài báo này trình bày một nghiên cứu thực nghiệm về sự phát triển của CSCEB được chế tạo từ nguồn vật liệu đất đồi tại khu vực miền núi phía Bắc Việt Nam, với hàm lượng sét trong đất bằng 7,5%. Kết quả thu được từ nghiên cứu là cơ sở cho việc chế tạo gạch đất xi măng không nung ứng dụng trong xây dựng nhà ở tại các địa bàn vùng núi phía Bắc, vốn gặp khó khăn trong việc vận chuyển vật liệu do điều kiện địa hình. Nghiên cứu thực nghiệm được tiến hành tại Phòng Thí nghiệm và Kiểm định công trình, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội.

2. Vật liệu và phương pháp thí nghiệm

2.1 Vật liệu chế tạo

Vật liệu sử dụng để chế tạo CSCEB bao gồm 3 thành phần chính: đất, xi măng và nước. Nguyên liệu đất được lấy từ xã Tân Minh, huyện Đà Bắc, tỉnh Hòa Bình, là loại đất á sét màu xám vàng có nguồn gốc từ đất đồi không có khả năng canh tác. Các đặc tính cơ lý của đất được trình bày chi tiết trong Bảng 1 và Hình 1. Xi măng sử dụng là loại PC30 Nam Sơn, đáp ứng đầy đủ các yêu cầu kỹ thuật theo tiêu chuẩn TCVN 6260:2020, với các thông số kỹ thuật được thể hiện trong Bảng 2. Nước dùng cho quá trình trộn và bảo dưỡng mẫu thí nghiệm tuân thủ các yêu cầu quy định trong tiêu chuẩn TCVN 4506:2012, đảm bảo chất lượng và tính ổn định của các mẫu trong suốt quá trình thực hiện thí nghiệm.



Hình 1. *Thành phần hạt của đất chế tạo*

Bảng 1. *Tính chất của đất chế tạo CSCEB*

Đường kính hạt, mm	<0.005	0.01-0.005	0.05-0.01	0.1-0.05	0.25-0.1	0.5-0.25	1-0.5	2-1	5-2	10-5	>10
Lượng lọt sàng, %	7.5	12.97	25.83	29.57	39.5	48.67	55.59	63.55	84.8	97.32	100
Hàm lượng, %	7.5	5.47	12.86	3.74	9.93	9.17	6.92	7.96	21.25	12.52	2.68
Phân loại	Sét	Bụi		Cát						Sỏi, sạn	
Tên đất	Á sét xám vàng, nâu vàng, lẫn dăm sạn										
Tính chất	Giới hạn chảy: 73.66% Giới hạn dẻo: 33.48% Khối lượng thể tích khô lớn nhất: 1884 kg/m^3 Độ ẩm tối ưu: 11.01%										

Bảng 2. *Tính chất cơ lý của xi măng PCB30 Nam Sơn*

Độ mịn Blaine, cm^2/g	Độ dẻo tiêu chuẩn,%	Thời gian đông kết		Cường độ chịu nén MPa	
		Bắt đầu	Kết thúc	3 ngày	28 ngày
3020	29.5	95	360	17.5	34.6

2.2 Cấp phối vật liệu chế tạo CSCEB

CSCEB được chế tạo từ các vật liệu đất đồi (đã được nghiền mịn và sàng qua sàng có kích thước nhỏ hơn 5mm), xi măng, nước và thông qua công nghệ ép tĩnh để tạo hình. Kết quả khảo sát sơ bộ kết hợp với dữ liệu từ các tài liệu tham khảo cho thấy đất nguyên liệu có hàm lượng sét 7,5%, nằm trong khoảng tối ưu để sử dụng xi măng làm chất gia cố [2, 9, 12, 13]. Trên cơ sở đó, nghiên cứu tiến hành lựa chọn các tỷ lệ xi măng 0%, 10% và 15% theo khối lượng của CSCEB để đánh giá ảnh hưởng của thành phần vật liệu này đến cường độ chịu nén của CSCEB. Lượng nước sử dụng trong chế tạo mẫu được lựa chọn bằng 11% dựa trên kết quả thí nghiệm xác định độ chặt tiêu chuẩn của vật liệu đất chế tạo CSCEB. Trong nghiên cứu này, dựa trên cơ sở cường độ chịu nén của CSCEB phụ thuộc vào độ chặt hay chính là khối lượng thể tích (KLTT) của hỗn hợp vật liệu chế tạo, 03 giá trị KLTT lần lượt bằng 1,8 T/m^3; 2,0 T/m^3 và 2,2 T/m^3 được lựa chọn để chế tạo các mẫu CSCEB thí nghiệm. Các giá trị KLTT này được kiểm soát thông qua khối lượng vật liệu trước khi ép (bằng phương pháp cân). Trên Bảng 3 trình bày 09 cấp phối vật liệu được lựa chọn cho nghiên cứu này. Ký hiệu cấp phối vật liệu bao gồm các thông số về hàm lượng xi măng bổ sung và khối lượng thể tích. Ví dụ cấp phối S-10-2.0 thể hiện cấp phối chế tạo từ 10% hàm lượng xi măng và có KLTT bằng 2,0T/m^3.

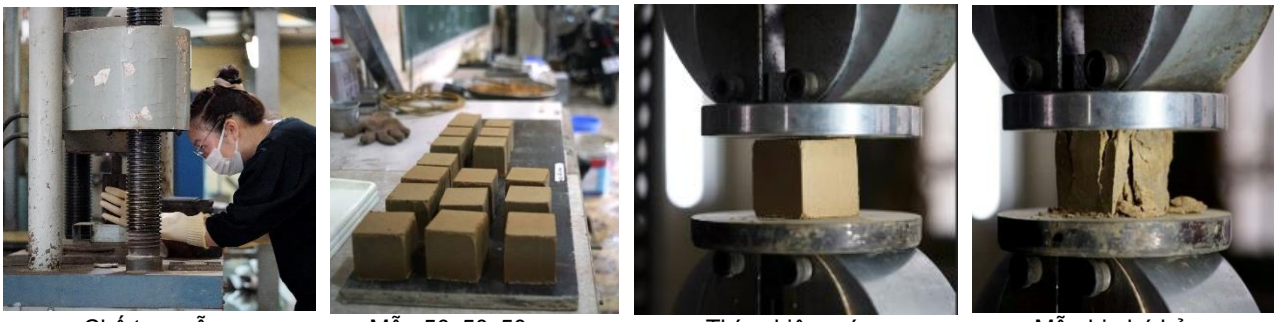
Bảng 3. *Cấp phối thiết kế dùng trong thí nghiệm*

Ký hiệu cấp phối	Tỷ lệ thành phần vật liệu, % theo khối lượng					Khối lượng vật liệu tính cho 1 m^3, kg			KLTT, T/m^3	Số lượng mẫu/ngày tuổi
	Đất	XM	Nước	Tổng	XM /(Đất+XM)	Đất	XM	Nước		
S 0-1.8	90,1	0,0	9,9	100	0	1622	0	178	1,8	3
S 10-1.8	81,1	9,0	9,9	100	10	1459	162	178	1,8	3
S 15-1.8	76,6	13,5	9,9	100	15	1378	243	178	1,8	3
S 0-2.0	90,1	0,0	9,9	100	0	1802	0	198	2,0	3
S 10-2.0	81,1	9,0	9,9	100	10	1622	180	198	2,0	3
S 15-2.0	76,6	13,5	9,9	100	15	1532	270	198	2,0	3
S 0-2.2	90,1	0,0	9,9	100	0	1982	0	218	2,2	3
S 10-2.2	81,1	9,0	9,9	100	10	1784	198	218	2,2	3
S 15-2.2	76,6	13,5	9,9	100	15	1685	297	218	2,2	3

2.3 Chế tạo mẫu và chương trình thí nghiệm

Hiện nay chưa có tiêu chuẩn cụ thể quy định về kích thước mẫu thí nghiệm nhằm xác định đặc trưng cơ học của CSCEB. Do đó, dựa trên kích thước hạt của vật liệu và tham khảo các nghiên cứu trước đây, nghiên cứu này lựa chọn mẫu lập phương có kích thước 50 × 50 × 50 mm để đảm bảo tính đại diện và kiểm soát tốt quá trình thí nghiệm. Hỗn hợp đất, xi măng và nước được phối trộn theo tỷ lệ cấp phối đã xác định cho đến khi đạt độ ẩm tối ưu. Sau đó, hỗn hợp được cho vào khuôn thép hình lập phương và nén bằng máy ép thủy lực đến khi đạt kích thước mẫu chuẩn. Các mẫu thí nghiệm được bảo dưỡng trong điều kiện tự nhiên tại phòng thí nghiệm cho đến khi đạt

độ tuổi yêu cầu. Thí nghiệm nén được tiến hành để xác định cường độ chịu nén của mẫu ở các mốc tuổi 7, 14, 28 và 56 ngày, sử dụng máy nén thủy lực tiêu chuẩn. Với mỗi cấp phối vật liệu và tại mỗi mốc tuổi thí nghiệm, 03 mẫu được thử nghiệm để đảm bảo tính đại diện và độ tin cậy thống kê của kết quả.



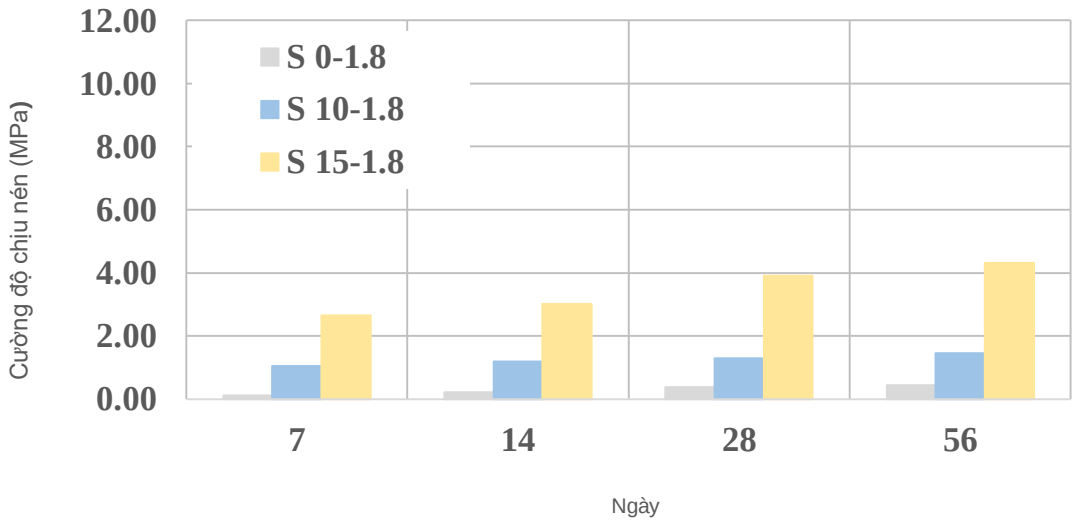
Chế tạo mẫu | Mẫu 50x50x50mm | Thí nghiệm nén | Mẫu bị phá hủy

Hình 2. *Chế tạo mẫu và thí nghiệm nén*

3. Kết quả và thảo luận

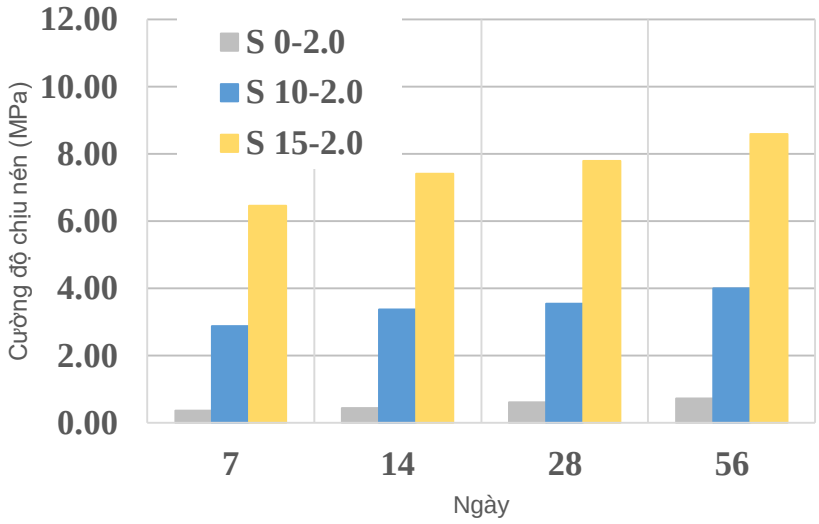
3.1 Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB

Sự phát triển cường độ theo thời gian là yếu tố rất quan trọng trong nghiên cứu đặc tính cơ học của đất được gia cố bằng xi măng [14-16]. Theo Befikadu [10], sự gia tăng này là do phản ứng ion giữa clorua trong xi măng và các ion kim loại trong đất sét tạo ra các kết tụ bền vững. Đồng thời, quá trình hydrat hóa của xi măng diễn ra liên tục, cùng sự hỗ trợ của clorua giúp ổn định cấu trúc, làm tăng cường độ của vật liệu theo thời gian. Kết quả thí nghiệm có thể nhận thấy rằng hàm lượng xi măng đóng vai trò quyết định đối với khả năng chịu lực của vật liệu, đồng thời ảnh hưởng này thay đổi tùy thuộc vào khối lượng thể tích. Khi so sánh giữa các mức xi măng 0%, 10% và 15%, xu hướng chung cho thấy cường độ chịu nén tăng đáng kể khi hàm lượng xi măng tăng, và mức gia tăng này càng rõ rệt khi khối lượng thể tích của mẫu cao hơn. Đối với nhóm mẫu có KLTT 1,8T/m³ (Hình 3), CĐCN phụ thuộc rõ rệt vào hàm lượng xi măng và thời gian bảo dưỡng. Ở mọi mốc tuổi, sự gia tăng hàm lượng xi măng cải thiện cường độ chịu nén một cách đáng kể, mặc dù giá trị tuyệt đối vẫn còn thấp. Tại 7 ngày, CĐCN chỉ đạt 0.11 MPa với mẫu không xi măng, trong khi tăng lên 1.04 MPa với 10% xi măng và 2.65 MPa với 15% xi măng. Đến 28 ngày, CĐCN của mẫu 10% đạt 1.29 MPa và mẫu 15% đạt 3.90 MPa, cao gấp 3.5 lần so với 10% và 10.5 lần so với mẫu đối chứng. Sau giai đoạn 28 đến 56 ngày, CĐCN vẫn tăng thêm khoảng 12% cho mẫu 10% (1.45 MPa) và khoảng 11% cho mẫu 15% (4.31 MPa). Điều này cho thấy ở mật độ khối thấp, xi măng đóng vai trò then chốt trong việc tạo liên kết giữa các hạt đất, lấp đầy các lỗ rỗng và hình thành một mạng lưới cấu trúc bền chắc.



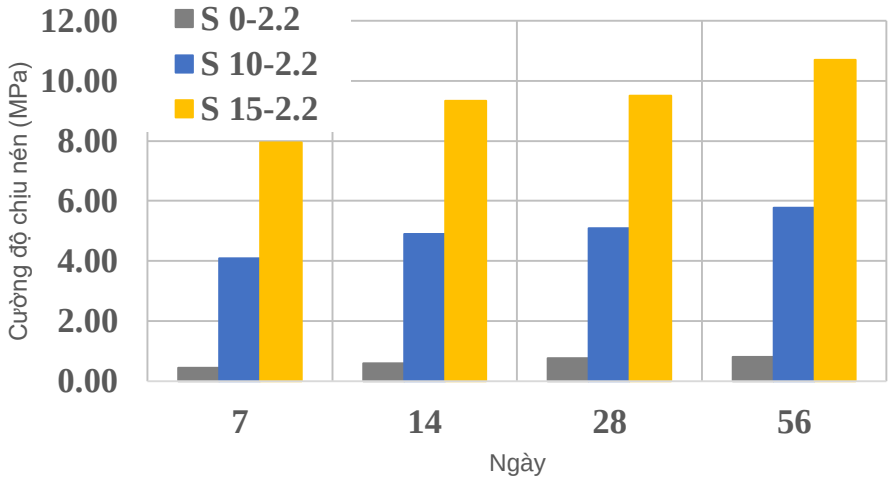
Hình 3. *Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB có KLTT 1,8T/m³*

Khi tăng khối lượng thể tích lên 2,0T/m³ (Hình 4), tác động của xi măng đến sự phát triển cường độ trở nên rõ rệt hơn. Ở 7 ngày, CĐCN của mẫu không xi măng đạt 0.37 MPa, trong khi mẫu 10% xi măng đạt 2.89 MPa và mẫu 15% xi măng đạt 6.47 MPa, tăng lần lượt 7.8 lần và 17.5 lần so với mẫu đối chứng. Đến 28 ngày, mẫu 10% đạt 3.55 MPa và mẫu 15% đạt 7.80 MPa, tương ứng cao hơn 5.8 lần và 12.8 lần so với mẫu không ổn định. Sau giai đoạn 28 đến 56 ngày, mức tăng tiếp tục duy trì nhưng tốc độ chậm hơn, đạt 4.01 MPa cho mẫu 10% và 8.60 MPa cho mẫu 15%, tương ứng tăng khoảng 13% và 10%. Kết quả này chứng minh rằng khi mật độ khối tăng, hiệu quả của xi măng được phát huy tốt hơn nhờ sự giảm đáng kể thể tích rỗng và tăng cường khả năng tiếp xúc giữa các hạt đất, từ đó hỗ trợ quá trình thủy hóa diễn ra hiệu quả hơn.



Hình 4. *Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB có KLTT 2,0T/m³*

Đối với nhóm mẫu có KLTT 2,2T/m³ (Hình 5), sự kết hợp giữa mật độ cao và hàm lượng xi măng lớn tạo ra sự cải thiện cường độ vượt trội. Tại 7 ngày, mẫu không xi măng đạt 0.43 MPa, trong khi mẫu 10% đạt 4.08 MPa và mẫu 15% đạt 7.94 MPa, tăng lần lượt 9.5 lần và 18.5 lần so với mẫu đối chứng. Đến 28 ngày, CĐCN của mẫu 10% tăng lên 5.09 MPa, trong khi mẫu 15% đạt 9.51 MPa, cao gấp 6.7 lần và 12.5 lần so với mẫu không ổn định. Từ 28 đến 56 ngày, CĐCN tiếp tục tăng nhẹ, đạt 5.76 MPa với mẫu 10% và 10.69 MPa với mẫu 15%, tăng thêm khoảng 13% và 12% so với 28 ngày. Điều này cho thấy mật độ vật liệu cao giúp tối đa hóa hiệu quả của xi măng, giảm độ rỗng, tăng khả năng liên kết giữa các hạt đất và tối ưu hóa cường độ nén, phù hợp cho các ứng dụng yêu cầu khả năng chịu lực cao.

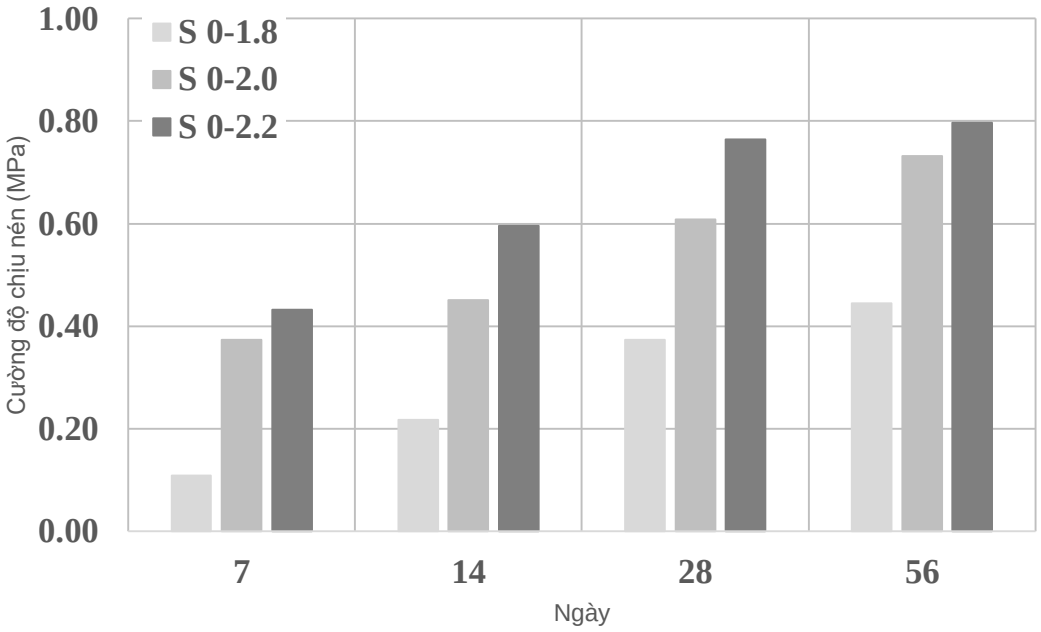


Hình 5. *Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB có KLTT 2,2T/m³*

Xét theo quá trình phát triển cường độ theo thời gian, cả ba nhóm KLTT đều thể hiện tốc độ tăng nhanh trong 28 ngày đầu. Trung bình, ở 7 ngày, CĐCN đạt 70–80% giá trị 28 ngày, ở 14 ngày đạt 85–95%, chứng tỏ quá trình thủy hóa xi măng diễn ra mạnh mẽ trong giai đoạn đầu. Từ 28 đến 56 ngày, tốc độ tăng chậm lại nhưng vẫn ghi nhận mức gia tăng thêm khoảng 10–14%, đặc biệt rõ rệt ở các mẫu có 15% xi măng.

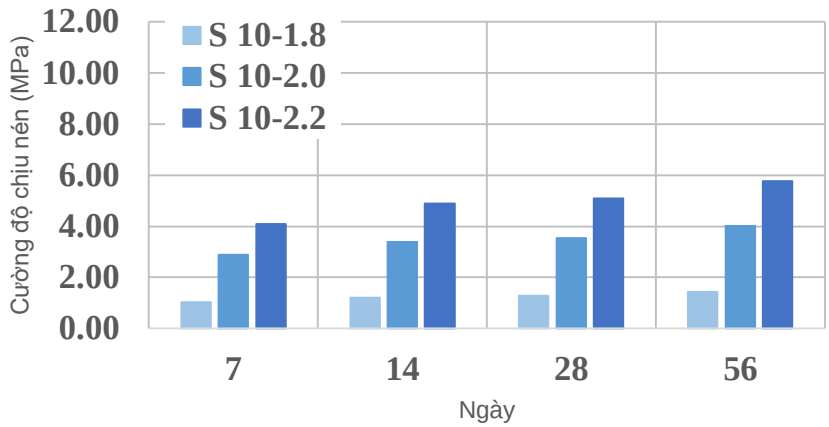
3.2 Ảnh hưởng của khối lượng thể tích đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB

Dựa trên kết quả thí nghiệm, có thể thấy rằng khối lượng thể tích của CSCEB (1,8; 2,0; 2,2 T/m³) có ảnh hưởng rõ rệt đến sự phát triển cường độ chịu nén theo thời gian. Với cùng một hàm lượng xi măng, các mẫu có khối lượng thể tích cao hơn luôn đạt giá trị cường độ lớn hơn và tốc độ phát triển cường độ cũng nhanh hơn. Điều này chứng tỏ rằng độ đặc chắc của vật liệu đóng vai trò quan trọng trong việc hình thành cấu trúc chịu lực, đồng thời thúc đẩy quá trình phát triển cường độ theo tuổi mẫu. Ở nhóm mẫu không sử dụng xi măng (Hình 6), cường độ chịu nén tăng chậm và phụ thuộc nhiều vào khối lượng thể tích. Tại tuổi 7 ngày, mẫu S0-2.2 đạt khoảng 0,43 MPa, cao hơn đáng kể so với S0-2.0 (0,37 MPa) và gấp gần bốn lần S0-1.8 (0,11 MPa). Đến 28 ngày, sự khác biệt này tiếp tục gia tăng khi mẫu S0-2.2 đạt 0,76 MPa, cao gấp đôi so với S0-1.8 (0,37 MPa). Tuy nhiên, từ 28 đến 56 ngày, tốc độ tăng cường độ của nhóm này chậm lại và đạt giá trị tương đối ổn định, cho thấy rằng cơ chế phát triển cường độ chủ yếu đến từ sự nén chặt của hạt đất hơn là các phản ứng kết dính.



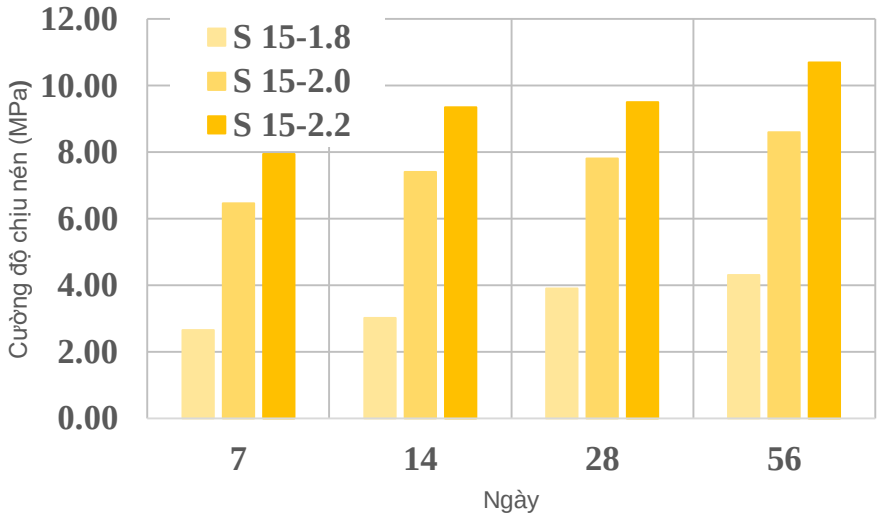
Hình 6. *Ảnh hưởng của KLTT đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB khi hàm lượng xi măng bằng 0%*

Khi bổ sung 10% xi măng (Hình 7), sự phát triển cường độ chịu nén trở nên rõ rệt hơn và phụ thuộc mạnh vào khối lượng thể tích. Ở tuổi 7 ngày, mẫu S10-2.2 đạt khoảng 4,08 MPa, cao gấp 1,4 lần so với S10-2.0 (2,89 MPa) và gấp gần bốn lần so với S10-1.8 (1,04 MPa). Đến 28 ngày, mẫu S10-2.2 đạt 5,09 MPa, cao hơn 43% so với S10-2.0 (3,55 MPa) và gần gấp bốn lần S10-1.8 (1,29 MPa). Như vậy, mẫu S10-2.0 đã đạt ngưỡng M35 theo TCVN 6477:2016, cho thấy chỉ cần 10% xi măng kết hợp với KLTT lớn hơn 2,0T/m³ là đủ để sản xuất gạch CSCEB dùng trong tường chịu lực. Sau 56 ngày, mẫu S10-2.2 tiếp tục đạt 5,76 MPa, cho thấy sự phát triển cường độ diễn ra mạnh trong giai đoạn đầu và ổn định dần ở giai đoạn sau. Kết quả này phản ánh sự kết hợp giữa mật độ khối cao và hàm lượng xi măng vừa đủ giúp thúc đẩy quá trình thủy hóa, lấp đầy các lỗ rỗng và hình thành mạng lưới ma trận đất – xi măng bền chắc hơn.



Hình 7. *Ảnh hưởng của KLTT đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB khi hàm lượng xi măng bằng 10%*

Với hàm lượng xi măng 15% (Hình 8), sự phát triển cường độ chịu nén càng thể hiện rõ sự chi phối của khối lượng thể tích. Tại 7 ngày, mẫu S15-2.2 đạt 7,94 MPa, cao gấp 1,2 lần so với S15-2.0 (6,47 MPa) và gấp gần ba lần S15-1.8 (2,65 MPa). Đến 28 ngày, mẫu S15-2.2 đạt 9,51 MPa, cao hơn 22% so với S15-2.0 (7,8 MPa) và gấp 2,4 lần S15-1.8 (3,9 MPa). Sau 56 ngày, mẫu S15-2.2 tiếp tục đạt 10,69 MPa, vượt trội so với S15-2.0 (8,6 MPa) và S15-1.8 (4,31 MPa). Kết quả này cho thấy rằng, khi mật độ khối cao và hàm lượng xi măng lớn, sự phát triển cường độ diễn ra nhanh, mạnh và bền vững hơn do phản ứng thủy hóa xi măng được tối ưu, đồng thời cấu trúc đất được liên kết chặt chẽ hơn.



Hình 8. *Ảnh hưởng của KLTT đến sự phát triển cường độ chịu nén của CSCEB khi hàm lượng xi măng bằng 15%*

Tổng hợp các kết quả cho thấy, khi tăng khối lượng thể tích từ 1,8 lên 2,2 T/m³, cường độ chịu nén tăng trung bình khoảng 2 lần đối với mẫu không xi măng, từ 3 đến 4 lần đối với mẫu chứa 10% xi măng và hơn 2 lần đối với mẫu chứa 15% xi măng. Đồng thời, tốc độ phát triển cường độ cũng tăng lên rõ rệt ở các mẫu có mật độ cao, đặc biệt trong giai đoạn từ 7 đến 28 ngày, do sự giảm thể tích rỗng và tăng diện tích tiếp xúc giữa các hạt đất, giúp quá trình thủy hóa diễn ra hiệu quả hơn. Như vậy, khối lượng thể tích không chỉ quyết định cường độ chịu nén cuối cùng mà còn ảnh hưởng trực tiếp đến động thái phát triển cường độ của CSCEB theo thời gian.

4. Kết luận

Kết quả nghiên cứu thực nghiệm cho thấy hàm lượng xi măng, khối lượng thể tích và thời gian bảo dưỡng là ba yếu tố quan trọng ảnh hưởng trực tiếp đến CĐCN của CSCEB:

- Sự phát triển cường độ theo thời gian diễn ra chủ yếu trong 28 ngày đầu; trung bình tại 7 ngày, CĐCN đạt khoảng 70–80% giá trị 28 ngày và đến 14 ngày đạt 85–95%, phản ánh quá trình đóng rắn nhanh và sự ổn định cơ học của vật liệu trong giai đoạn đầu. Sau 28 ngày, CĐCN tiếp tục tăng nhưng với tốc độ chậm hơn, đạt thêm khoảng 10–14% tại 56 ngày, cho

thấy phản ứng thủy hóa của xi măng vẫn tiếp tục diễn ra trong giai đoạn dài hạn, đặc biệt rõ ở các mẫu có hàm lượng xi măng cao;

- Hàm lượng xi măng có ảnh hưởng trực tiếp và tỷ lệ thuận đến khả năng chịu lực của CSCEB. Khi tăng tỷ lệ xi măng, CĐCN tăng đáng kể ở mọi mức khối lượng thể tích và thời gian bảo dưỡng, cụ thể ở KLTT 2200 kg/m³, CĐCN tại 28 ngày tăng từ 0.76 MPa (0% xi măng) lên 5.09 MPa (10%) và 9.51 MPa (15%), tương ứng cao hơn 6.7 lần và 12.5 lần so với mẫu đối chứng. Sự gia tăng này chủ yếu do xi măng giúp lấp đầy các lỗ rỗng, tăng liên kết giữa các hạt đất, hình thành cấu trúc đặc chắc hơn và nâng cao khả năng chịu lực của vật liệu;
- Khối lượng thể tích cũng đóng vai trò quan trọng trong việc cải thiện CĐCN. Với cùng hàm lượng xi măng, mẫu có KLTT cao hơn luôn đạt CĐCN lớn hơn. Ở mẫu chứa 10% xi măng, khi tăng KLTT từ 1800 kg/m³ lên 2200 kg/m³, CĐCN tại 28 ngày tăng từ 1.29 MPa lên 5.09 MPa, tức tăng gấp 3.9 lần. Với 15% xi măng, giá trị này tăng từ 3.90 MPa lên 9.51 MPa, tức tăng gấp 2.4 lần. Mẫu 15%-2.2 đạt giá trị CĐCN cao nhất 10.69 MPa tại 56 ngày, cho thấy sự kết hợp hàm lượng xi măng cao và KLTT lớn giúp tối ưu hóa quá trình thủy hóa, giảm độ rỗng, tăng mật độ hạt và cải thiện đáng kể khả năng chịu lực của vật liệu.

Kết quả nghiên cứu khẳng định: để sản xuất gạch CSCEB đạt M35 phù hợp cho xây tường chịu lực nhà thấp tầng, cần lựa chọn cấp phối có hàm lượng xi măng tối thiểu 10%, KLTT ≥1800 kg/m³ và thời gian bảo dưỡng tối thiểu 28 ngày nhằm đảm bảo sự phát triển đầy đủ cường độ và độ bền lâu dài của vật liệu.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1] Morel J-C, Mesbah A, et al. (2001). *Building houses with local materials: means to drastically reduce the environmental impact of construction*. Building environment,36(10): 1119-26.

[2] Walker P (1995). *Strength, durability and shrinkage characteristics of cement stabilised soil blocks*. Cement concrete composites,17(4): 301-10.

[3] Zakham N, Ammari A, et al. (2020). *The effect of cement content on the thermo-mechanical performance of compressed earth block*. International Review of Civil Engineering,11(6): 249-54.

[4] Islam MS, Elahi TE, et al. (2020). *Effectiveness of fly ash and cement for compressed stabilized earth block construction*. Construction Building Materials,255: 119392.

[5] Elahi TE, Shahriar AR, Islam MS (2021). *Engineering characteristics of compressed earth blocks stabilized with cement and fly ash*. Construction Building Materials, 277: 122367.

[6] Reddy BV (2012). *13-Stabilised soil blocks for structural masonry in earth construction*. Woodhead Publishing, https://doi.org/10.1533/9780857096166.3.324.

[7] Reddy VJ (2003). *Characteristics of stabilized mud blocks using ash-modified soils*. Indian Concrete Journal,77(2): 903-11.

[8] Doat P, Guillaud H, et al. (1995). *Compressed Earth Blocks: Volume II: Manual of Design and Construction*. CRAterre (International Centre on Earthen Architecture), Villefontaine, France.

[9] Đào Ngọc Khánh Vy, Nguyễn Trung Hiếu, nnk. (2025). *Nghiên cứu ảnh hưởng của khối lượng thể tích đến cường độ chịu nén đối với gạch đất- xi măng không nung dùng trong xây dựng nhà ở vùng núi phía Bắc*. Tạp chí Xây dựng - Bộ Xây dựng, 4(2025): 100-3.

[10] Befikadu Zewudie B (2023). *Experimental Study on the Production and Mechanical Behavior of Compressed Lime-Cement-Stabilized Interlock Soil Blocks*. Advances in Materials Science Engineering, (1): 2933398.

[11] Nshimiyimana P (2020). *Effect of the type of clay earthen materials and substitution materials on the physico-mechanical properties and durability of compressed earth blocks*. Liège University.

[12] Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Công Thắng và nnk (2024). *Nghiên cứu đánh giá một số tính chất của gạch đất không nung gia cố xi măng*. Tạp chí Vật liệu và Xây dựng, 14(05): 30-5.

[13] Nguyễn Trung Hiếu, Nguyễn Văn Tuấn (2023). *Nghiên cứu giải pháp và công nghệ xây dựng nhà ở cho đồng bào dân tộc vùng núi phía Bắc sử dụng các vật liệu tại chỗ*. Bộ Xây dựng, RD 49-22.

[14] Sitton JD, Zeinali Y, et al. (2018). *Effect of mix design on compressed earth block strength*. Construction and Building Materials,158: 124-31.

[15] Abessolo D, Biwolé, A. B., Bayiha, N., Yebga, B. N., Ebosso, J. P., & Fokwa (2022). *Study of the influence of cement rate and cure time on the physical, mechanical and hygroscopic properties of cement stabilized compressed earth blocks (CEB)*. Colloque du quarantenaire de l'ENSET de l'Université de Douala, Cameroun: 1-12.

[16] Ashraf MA, Rahman SS, et al. (2018). *Determination of optimum cement content for stabilization of soft soil and durability analysis of soil stabilized with cement*. American Journal of Civil Engineering,6(1): 39-43.