

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA LOẠI XI MĂNG ĐẾN SỰ PHÁT TRIỂN CƯỜNG ĐỘ VÀ HÌNH THÀNH CẤU TRÚC VI MÔ CỦA VẬT LIỆU SAN LẤP TÁI CHẾ TỪ Bùn NẠO VÉT AO/HỒ TRONG THÀNH PHỐ HÀ NỘI

STUDYING THE INFLUENCE OF CEMENT TYPE ON THE STRENGTH DEVELOPMENT AND MICROSTRUCTURE FORMATION OF FILLING MATERIAL PRODUCED FROM DREDGED MUD IN URBAN POND/LAKE DREDGING IN HANOI CITY

Phạm Tri Thức¹, Phan Huy Đông², Nguyễn Thị Thanh Thủy³

¹ Khoa Công trình Doanh trại Học viện Hậu cần, ² Khoa Cầu đường, Đại học Xây dựng Hà Nội,

³ Viện Khoa học công nghệ xây dựng,

Email: ¹ trithuchvhc@gmail.com, ² dongph@huce.edu.vn, ³ thanh2829@gmail.com

DOI: <https://doi.org/10.59382/pro.intl.con-ibst.2023.ses3-13>

TÓM TẮT: Nghiên cứu tái chế bùn nạo vét từ hệ thống luồng cảng, cửa sông, cửa biển thành vật liệu đắp nền thay thế cho cát tự nhiên đã được một số nước trên thế giới đầu tư nghiên cứu và ứng dụng vào thực tiễn. Tại Việt Nam, một số kết quả nghiên cứu đặc tính lý, hoá bùn nạo vét cho thấy có thể tái chế bùn thành vật liệu san lấp từ nguồn nguyên liệu địa phương là xi măng PBC và polymer. Nhằm đánh giá ảnh hưởng của các thành phần hóa học trong xi măng đến sự phát triển cường độ và hình thành cấu trúc vi mô của vật liệu san lấp (vật liệu VSL), một loạt các thí nghiệm trong phòng đã được tiến hành khảo sát trên các loại xi măng khác nhau để đánh giá sự ảnh hưởng các hợp chất hóa học như: CaO, SO₃, Al₂O₃, đến cường độ của vật liệu VSL. Trong các thí nghiệm vật liệu chính là bùn Hồ Tây (B), xi măng PCB (X), polymer (P) với tỷ lệ cấp phối B:X:P khác nhau. Các kết quả nghiên cứu cho thấy cường độ của đất tỷ lệ nghịch với hàm lượng CaO và tỷ lệ thuận với hàm lượng Al₂O₃ và SO₃. Đồng thời, bằng thí nghiệm kính hiển vi điện tử quét (Scanning electron microscopy–SEM) đã đánh giá ảnh hưởng của X và P đến sự thay đổi cấu trúc vi mô của vật liệu VSL.

TỪ KHÓA: Vật liệu san lấp, tái chế bùn nạo vét, cấu trúc vi mô của đất.

ABSTRACTS: *There are many countries in the world have recycled dredged mud as filling material. In Vietnam, some studies show that dredged mud can be recycled as filling material from cement PCB. This study is aimed at discussing the effect of chemical composition in cement on strength and microstructure of filling material (VSL material). A series of laboratory tests for evaluating the influence of chemical composition in cement such as: CaO, SO₃, Al₂O₃ to strength of VSL material. In the tests, the main materials are West Lake mud, PCB cement and polymer with different ratios. The results show that soil strength is inversely proportional to CaO content and directly proportional to Al₂O₃, SO₃ content. Moreover, the Scanning electron microscopy–SEM test evaluated the influence of cement and polymer to change in the microstructure of VSL material.*

KEYWORDS: *filling material, recycle dredged mud; microstructure of soil.*

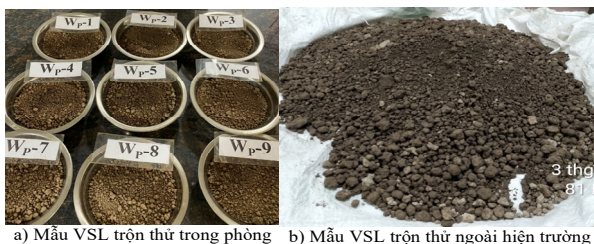
1. GIỚI THIỆU

Hà Nội là một trung tâm kinh tế, thủ đô của cả nước, nơi có tốc độ xây dựng, phát triển cơ sở hạ tầng nhanh, tập trung nhiều sông ngòi, ao hồ lớn. Hàng năm một khối lượng lớn bùn được tạo ra từ quá trình nạo vét sông ngòi, kênh, rạch. Bùn được đổ trực tiếp tại các bãi chứa với diện tích chiếm

chỗ đáng kể, thường được đặt ở khu vực ngoại thành Hà Nội như: Nguyên Khê–Đông Anh, Hà Đông, Văn Điển, Thị trấn Phùng, Sóc Sơn, các bãi chứa đều đã quá tải. Đồng thời chi phí xử lý các vấn đề môi trường sinh thái và hạ tầng kỹ thuật cho các bãi chứa rất lớn. Ngoài ra, một khối lượng không nhỏ được đổ thải bất hợp pháp, gây ô nhiễm, ảnh hưởng nghiêm trọng đến vệ sinh môi trường và cảnh

quan thành phố, trở thành vấn đề nhức nhối của xã hội. Mặt khác, với tốc độ phát triển về cơ sở hạ tầng như hiện nay, các hoạt động xây dựng đòi hỏi một lượng vật liệu san lấp lớn, thông thường là cát. Ví dụ như dự án xây dựng tổ hợp ga Ngọc Hồi tại khu vực Thanh Trì, Hà Nội với khối lượng cát san lấp đến gần 5 triệu m³; dự án Nhà máy Nhiệt điện Nam Định 1 yêu cầu khối lượng cát san lấp lên đến gần 6 triệu m³, ở Miền Nam: tổ hợp Nhà máy Nhiệt điện Sông Hậu cũng cần đến hàng triệu m³. Lượng cát này thường được khai thác từ các mỏ cát trong núi hoặc lòng sông đã tác động nghiêm trọng đến điều kiện địa chất, môi trường sinh thái, sạt lở đất và mất an toàn giao thông đường thủy. Hiện nay, vấn đề về môi trường trong thành phố ngày càng được chú trọng, sức ép từ các bãi chứa đã quá tải, nguồn vật liệu san lấp ngày càng hạn chế. Việc nghiên cứu chế tạo vật liệu VSL từ bùn nạo vét dùng để san lấp công trình, thay thế nguồn cát tự nhiên là một xu thế tất yếu đã và đang được nhiều nước trên thế giới đầu tư nghiên cứu và ứng dụng vào thực tiễn. Tại Việt Nam một số công nghệ tái chế bùn đã được nghiên cứu như: xử lý bùn thải sinh hoạt (bể phốt, công rãnh...) có hàm lượng hữu cơ cao thành phân bón nông nghiệp [1], hoặc đóng bánh khô để chôn lấp (dự án nhà máy xử lý nước) hoặc tái chế thành gạch nung, tái chế bùn thải công nghiệp thành cát cho cốt liệu bê tông [2].... Tuy nhiên đến thời điểm hiện tại chưa có một giải pháp tổng thể nào được áp dụng rộng rãi, phần lớn là do công nghệ xử lý thường ở qui mô nhỏ, phạm vi ứng dụng hẹp hoặc chi phí quá cao.

Đối tượng nghiên cứu của bài báo này là vật liệu san lấp (VSL) tái chế từ bùn không độc hại nạo vét Ao/Hồ trong thành phố Hà Nội. Do vậy quy trình công nghệ và sản phẩm sau tái chế cũng phải phù hợp với điều kiện Việt Nam như: các ao/hồ nội đô với quy mô nạo vét không lớn, vị trí nạo vét không tập trung, không bố trí được mặt bằng sản xuất tại chỗ với lượng lớn mà phải đưa về các bãi chứa tập trung, nơi đặt sẵn các nhà xưởng sản xuất; phụ gia cho quá trình tái chế là các vật liệu địa phương như xi măng PCB và polymer. Sản phẩm đầu ra là vật liệu VSL có dạng hạt (cát nhân tạo) phục vụ nhu cầu san lấp khi sửa chữa, cải tạo các công trình hạ tầng kỹ thuật trong thành phố (hình 1).



Hình 1. Các mẫu vật liệu VSL trộn thử trong phòng thí nghiệm và tại hiện trường

Có rất nhiều các yếu tố ảnh hưởng tới sự phát triển cường độ của sản phẩm sau tái chế như: ảnh hưởng của chủng loại phụ gia; ảnh hưởng của cấp phối hạt; ảnh hưởng của hàm lượng hợp chất hữu cơ; ảnh hưởng của độ pH; ảnh hưởng của độ ẩm; ảnh hưởng của điều kiện trộn; ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng, v.v. Trong đó loại phụ gia xi măng là một yếu tố quan trọng sẽ được thảo luận trong bài báo này, từ đó làm cơ sở lựa chọn loại xi măng địa phương phù hợp trong tái chế bùn thành vật liệu VSL. Xét về mặt đặc tính cơ - lý của đất, bản chất của sự thay đổi các đặc tính kỹ thuật của đất phụ thuộc vào sự thay đổi cấu trúc của nó. Thuật ngữ cấu trúc được sử dụng để chỉ sự sắp xếp hình học của các hạt khác nhau trong một khối vật liệu [3]. Việc tìm hiểu vi cấu trúc của vật liệu VSL theo các nhân tố tác động như hàm lượng xi măng, hàm lượng phụ gia polymer để làm sáng tỏ sự thay đổi đặc tính kỹ thuật của vật liệu VSL là cần thiết. Mục tiêu của bài báo là khảo sát ảnh hưởng của xi măng, polymer đến sự phát triển cường độ và sự hình thành vật liệu VSL. Các mẫu VSL được chế bị bằng cách trộn bùn, xi măng, polymer ở độ ẩm giới hạn dẻo, mẫu sau khi trộn có dạng hạt tuy nhiên vẫn còn mềm dính do chứa nước; để thuận tiện trong quá trình chế bị và bảo quản mẫu, bài báo lựa chọn thí nghiệm nén 1 trục nở hông để khảo sát cường độ của các mẫu VSL ở 28 ngày tuổi; cấu trúc vi mô của mẫu được quan sát bằng kính hiển vi điện tử quét (SEM). Cùng với kết quả thí nghiệm nén nở hông thì các hình ảnh SEM quan sát được sẽ làm rõ hơn tiến trình hình thành liên kết của các sản phẩm (CSH, CAH, CASH) từ quá trình thủy hóa xi măng làm tăng cường độ của đất.

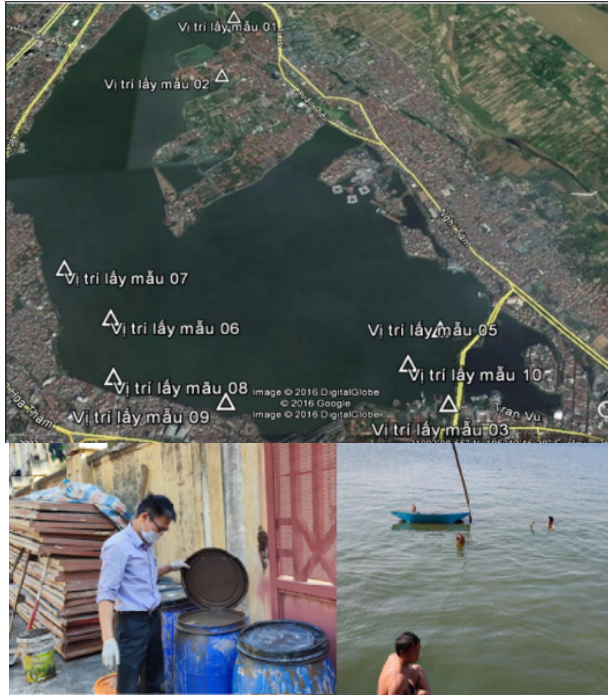
2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

2.1.1. Bùn sét Hồ Tây

Với diện tích rất lớn, công tác lấy mẫu rất khó để mô tả được đặc điểm chung đại diện cho toàn bộ bùn dưới lòng Hồ. Nhằm có cái nhìn tổng quan về loại bùn ở Hồ Tây, các mẫu bùn được ký hiệu bởi chữ cái “W” đã được thu thập tại các địa điểm khác nhau. Các mẫu bùn được lấy bằng phương pháp thủ công tại các vị trí khác nhau, độ sâu lấy mẫu từ 0m đến (-1m) tính từ cao trình đáy Hồ (hình 2). Một số đặc tính vật lý cơ bản của bùn được thể hiện ở bảng 1 và hình 3 [4] với hàm lượng hữu cơ nhỏ hơn 15% thuận lợi tái chế [4], [7]; độ ẩm tự nhiên của bùn rất lớn trên 200%, để tái chế hiệu quả cần khống chế độ ẩm trong khoảng [W_p; W_L], khi chế bị trộn cấp phối tại khoảng độ ẩm

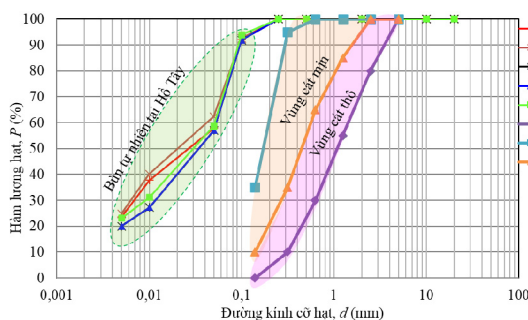
w_p thì cho khả năng tạo hạt nhanh chóng và phát triển cường độ tốt [4] [5] [6] [7]. Đồng thời phần lớn bùn ao/hồ trong Thành phố Hà Nội là bùn không độc hại, tức là bùn không chứa hàm lượng kim loại nặng vượt ngưỡng cho phép theo quy chuẩn quốc gia QCVN 07:2009/BTNMT, điều này đã được khẳng định trong các báo cáo [4] [5].



Hình 2. Công tác lấy mẫu bùn Hồ Tây

Bảng 1. Chỉ tiêu vật lý của mẫu bùn Hồ Tây [4]

Chỉ tiêu vật lý	Số hiệu mẫu	Mẫu bùn Hồ Tây				
	W_{1-1}	W_{1-2}	W_{1-3}	W_{1-4}	W_{1-5}	
Độ ẩm tự nhiên, w (%)	200,2	200,3	202,1	201,7	202,3	
Giới hạn chảy, w_L (%)	88	87,8	87,2	88,1	88,5	
Giới hạn dẻo, w_p (%)	59,3	58,5	52,1	55,7	52,6	
Hàm lượng chất hữu cơ, (%)	9	10,5	11,2	11,6	10,7	
pH	7,3	7,3	7,2	7,2	7,15	
Khối lượng thể thích (γ), (kg/m^3)	1,25	1,24	1,27	1,31	1,3	



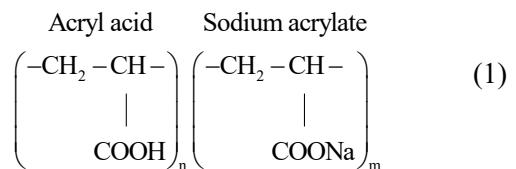
Hình 3. Thành phần cấp phối hạt bùn Hồ Tây [4]

2.1.2. Xi măng PCB

Xi măng Portland là vật liệu địa phương được sử dụng làm phụ gia trong cải tạo đất [5][6][7][8]. Trong quá trình hydrat hóa xi măng, canxi hydroxit $Ca(OH)_2$ được giải phóng. Sản phẩm hydrat hóa xi măng có độ bền cao, tăng dần theo thời gian, trong khi canxi hydroxit góp phần vào phản ứng pozzolanic. Một số hợp chất hóa học trong xi măng như CaO , SO_3 , Al_2O_3 rất quan trọng, có ảnh hưởng lớn đến sự ổn định của đất [6]. Hiện nay, Việt Nam chủ yếu sử dụng các loại XM PCB, gồm PCB30 và PCB40. Bài báo tiến hành khảo sát 9 loại XM PCB phổ biến trên thị trường hiện nay, đánh giá sự ảnh hưởng của từng loại xi măng đến sự phát triển cường độ của vật liệu VSL, từ đó lựa chọn loại XM phù hợp trong tái chế bùn thành vật liệu VSL.

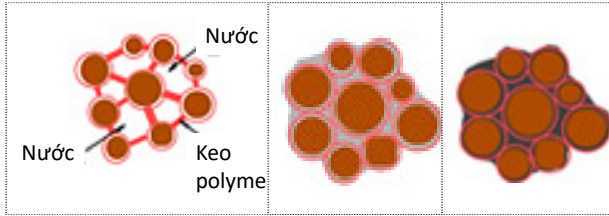
2.1.3. Polymer

Phụ gia polymer là một sản phẩm của quá trình hóa dầu và là một loại keo tổng hợp ở dạng bột, màu trắng, không mùi, có độ pH trung tính, là một trong những loại vật liệu mới nhằm cải thiện tính năng của các vật liệu truyền thống để tăng cường chất lượng của vật liệu. Có rất nhiều chủng loại polymer khác nhau, mỗi loại có các gốc hóa học riêng để sử dụng cho các mục đích khác nhau. Trong xây dựng, bột polymer được sử dụng khá rộng rãi cho nhiều mục đích như chế tạo vữa xây, vữa trát, keo dán gạch, keo ốp có yêu cầu độ bám dính cao, phụ gia tăng hoạt tính cho dung dịch bentonite trong công tác thi công cọc khoan nhồi, keo lắn cho bùn đất trong khi xử lý nước sạch,... bột polymer thương mại thường được đóng bao khối lượng 20 kg/bao. Nhằm cải thiện các đặc tính cơ, lý của vật liệu, các sản phẩm này thường kết hợp với vật liệu vô cơ truyền thống như xi măng, cao lanh, vôi. Công thức (1) trình bày gốc hóa học của một loại polymer tiêu biểu, có hoạt tính dẻo dính và hút nước cao.



Cơ chế bùn lỏng thành đất dạng hạt được mô tả tóm tắt trong hình 4, sau khi bùn sét dạng lỏng với độ ẩm cao được trộn lẫn với hỗn hợp keo tổng hợp polymer và xi măng. Khi sản phẩm polymer gặp nước, các hạt polymer ở dạng bột mịn sẽ ngâm nước và trở thành chất keo kết dính nhờ đó các hạt sét được dính kết với nhau, trong quá trình trộn các hạt đất mịn từ bùn lỏng sẽ tạo thành các hạt đất rời

có kích thước lớn hơn nhiều so với hạt sét. Thời gian hình thành keo dính kết khi hoạt chất polymer gặp nước trong khoảng thời gian 30 giây tới 60 giây. Trong khi đó, khi xi măng gặp nước sẽ diễn ra các phản ứng thủy hóa để hình thành chất kết rắn, thời gian phản ứng thông thường phải sau khi trộn 2 giờ, sau khi xi măng ninh kết và hóa cứng, các hạt đất sẽ đạt được cường độ nhất định.



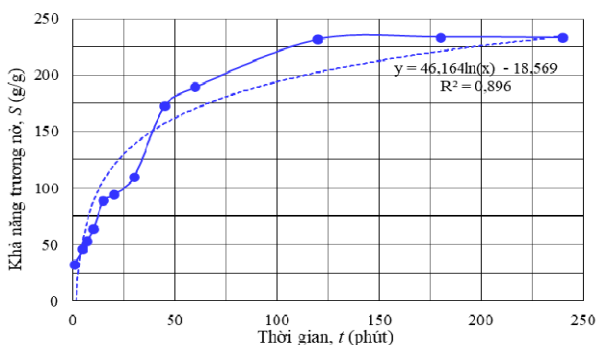
Hình 4. Cơ chế hình thành vật liệu dạng hạt từ bùn lỏng bằng polymer

Trong bài báo này, một loại polymer có tính năng đặc biệt dùng trong xây dựng được sử dụng phổ biến tại Nhật Bản, có độ hút nước mạnh (hình 5). Tác giả đã sử dụng phương pháp túi để tiến hành thí nghiệm đánh giá khả năng trương nở của mẫu. Kết quả cho thấy mức độ trương nở bão hòa sau 4h khoảng 230 lần (hình 6).



a) Mẫu polymer b) Polymer hút nước trương nở

Hình 5. Mẫu polymer trương nở mạnh sau khi hút nước



Hình 6. Khả năng trương nở của mẫu polymer

2.2. Phương pháp thí nghiệm

2.2.1. Tiêu chuẩn thí nghiệm

Phương pháp tạo mẫu vật liệu VSL tham khảo tiêu chuẩn ASTM D698 [9] và TCVN 9403:2012

[10]. Phương pháp thí nghiệm nén 1 trục nở hông tự do theo tiêu chuẩn ASTM D2166 [11], xác định hình ảnh vi cấu trúc mẫu đất và mẫu vật liệu VSL bằng kính hiển vi điện tử quét (Scanning electron microscopy – SEM), xác định tốc độ trương nở của polymer bằng phương pháp túi.

2.2.2. Chuẩn bị mẫu

Bùn sét tự nhiên từ Hồ Tây sau khi tách nước bằng lắng trọng lực có độ ẩm cao, giá trị trung bình: $w=201,3\%$, $w_L=87,9\%$, $w_P=55,6\%$. Thí nghiệm nén một trục nở hông được tiến hành với các cấp phối như sau: Bùn: 100%, Polymer: 0,2%, ứng với 9 loại xi măng PCB phổ biến ở địa phương với hàm lượng là: (5; 10; 15)% (bảng 2). Thí nghiệm SEM được thực hiện với mẫu bùn tự nhiên, sau đó tiến hành giữ nguyên hàm lượng $P=0,2\%$ và thay đổi hàm lượng xi măng $X=(5; 7; 10)\%$ để quan sát sự thay đổi cấu trúc do ảnh hưởng của hàm lượng xi măng; đồng thời giữ nguyên hàm lượng $X=10\%$ và thay đổi hàm lượng $P=(0,1; 0,2)\%$ để quan sát sự thay đổi cấu trúc do ảnh hưởng của hàm lượng polymer (bảng 3).

Bảng 2. Mẫu trong thí nghiệm nén 1 trục nở hông

Loại đất	Độ ẩm chế bị mẫu w_0 (%)	Hàm lượng xi măng, X (%)	Hàm lượng polymer, P (%)	Thời gian bảo dưỡng, t (ngày)
Bùn sét Hồ Tây	$w_0 = w_P$	5; 10; 15	0,2	28

Bảng 3. Mẫu trong thí nghiệm SEM

Loại đất	Độ ẩm chế bị mẫu w_0 (%)	Hàm lượng xi măng, X (%)	Hàm lượng polymer, P (%)	Thời gian bảo dưỡng, t (ngày)
Bùn sét Hồ Tây	$w_0 = w_P$	0	0	28
Bùn sét Hồ Tây	$w_0 = w_P$	5; 7; 10	0,2	28
Bùn sét Hồ Tây	$w_0 = w_P$	7	0,1; 0,2; 0,3	28

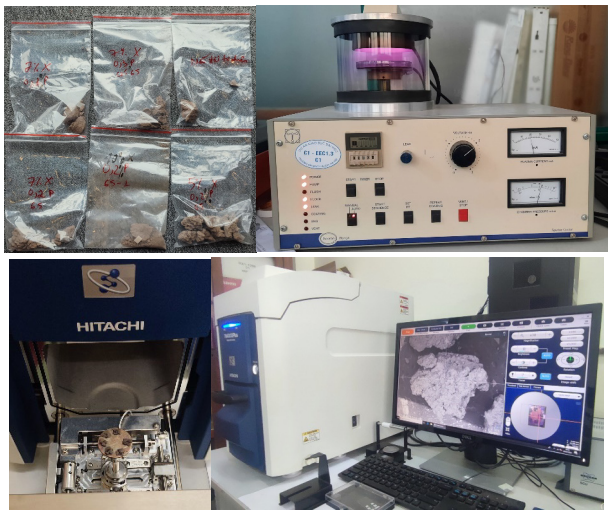
2.2.3. Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm nén 1 trục nở hông được tiến hành trên máy nén 1 trục tốc độ 1,27mm/phút. Mẫu bùn sau khi nạo vét được tách nước bằng phương pháp lắng trọng lực đến độ ẩm giới hạn dẻo w_P , tiến hành trộn bằng phương pháp thủ công các cấp phối mẫu như ở bảng 2, bảng 3. Sau khi xi măng thủy hóa hoàn toàn, tiến hành đúc mẫu và bảo quản trong thùng xốp kín, đến 28 ngày tuổi mẫu thực hiện nén mẫu như hình 7 [11].



Hình 7. Thí nghiệm nén nở hông các mẫu VSL

Thí nghiệm SEM: Thiết bị SEM sử dụng trong nghiên cứu là dòng máy Hitachi TM 4000 plus của Nhật Bản (Hình 8). Thiết bị có các thông số kỹ thuật: điện thế 500 V – 15 kV, độ phóng đại lên đến 5.000 lần, độ phân giải trong môi trường chân không thấp. Thí nghiệm SEM thực hiện trên 3 loại mẫu: Mẫu bùn lỏng sau khi nạo vét được tách nước và phơi khô gió, đóng rắn tự nhiên. Các mẫu cấp phối bùn, xi măng và polymer (B:X:P) với tỷ lệ lần lượt là X=7%, P=(0,1; 0,2; 0,3)%, P=0,2, X=(5; 7; 10)%. Các mẫu cấp phối được chế bị và bảo dưỡng sau 28 ngày ở trạng thái đầm chặt, có dạng hạt (cát nhân tạo). Để đảm bảo khả năng truyền điện trong môi trường chân không khi thực hiện thí nghiệm SEM, các mẫu phải được sấy khô đến khối lượng không đổi; các mẫu được phủ 1 lớp vàng mỏng (Au) từ 5 đến 10 phút bằng máy chuyên dụng để cho hình ảnh được tốt hơn; đặt mẫu đã phủ Au lên giá đỡ của thiết bị SEM. Điều chỉnh độ phân giải, độ phóng đại từ 50 đến 3000 lần, điện thế tăng tốc theo yêu cầu đến 10 kV. Tiến hành quan sát và lưu trữ hình ảnh vi cấu trúc của mẫu VSL trên màn hình máy tính đã được kết nối với thiết bị như hình 8.



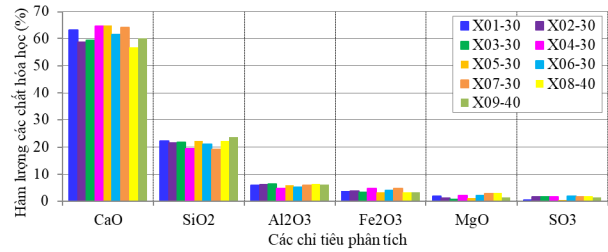
Hình 8. Thí nghiệm SEM đối với các mẫu VSL

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Ảnh hưởng của loại xi măng đến cường độ nén một trục nở hông

Hình 9 thể hiện một số thành phần hóa học chính trong xi măng, được xác định theo TCVN

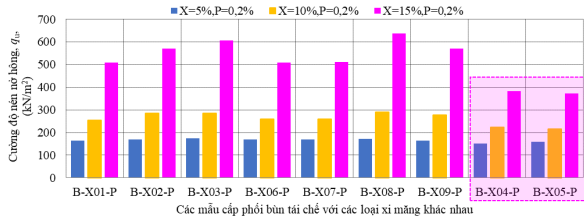
141:1998 [12]. Một số hợp chất hóa học trong xi măng như: CaO, SO₃, Al₂O₃ có ảnh hưởng lớn đến cường độ của vật liệu sau tái chế, xi măng có hàm lượng CaO thấp, hàm lượng SO₃ và Al₂O₃ cao thì có lợi trong việc phát triển cường độ của vật liệu sau tái chế [7].



Hình 9. Hàm lượng các chất hóa học chính trong các mẫu xi măng

Hình 10 thể hiện ảnh hưởng của loại xi măng đến cường độ nén một trục nở hông của vật liệu VSL ứng với từng loại xi măng với các cấp phối khác nhau. Có 3 cấp phối bùn, xi măng, polymer (B:X:P)=(100:5:0,2)%, (100:10:0,2)%, (100:15:0,2)% tương ứng với 9 loại xi măng địa phương được mã hóa từ X01 đến X09. Kết quả cho thấy, cường độ của mẫu VSL gần như không thay đổi khi hàm lượng xi măng dưới 5%, giá trị cường độ cũng không phụ thuộc vào loại xi măng, tức là không phụ thuộc vào các thành phần hóa học trong xi măng, điều này được lý giải do hàm lượng xi măng quá nhỏ, không đảm bảo sự phát triển cường độ cần thiết của đất, kết luận trên cũng phù hợp với các nghiên cứu của Kiazume và cộng sự [7]. Khi hàm lượng xi măng lớn hơn 5% (từ 10 đến 15%) thì cường độ của vật liệu VSL có sự thay đổi đáng kể tùy thuộc vào loại xi măng. Hàm lượng CaO trong xi măng càng cao thì cường độ vật liệu VSL càng giảm và ngược lại, thể hiện ở các mẫu xi măng X03, X08, X04, X05 do khi hàm lượng CaO lớn, một phần CaO tham gia vào quá trình thủy hóa xi măng, phần còn lại sẽ tồn tại ở dạng CaO tự do kém ổn định về thể tích làm cường độ đất giảm; hàm lượng Al₂O₃, SO₃ trong xi măng càng lớn thì cường độ của vật liệu VSL càng cao, thể hiện ở các mẫu xi măng X02, X03, X08, X09, điều này được lý giải do hình thành các sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng làm cho cấu trúc của đất trở nên đặc chắc hơn giúp tăng cường độ của đất. Điều này cũng được Kitazume và cộng sự làm rõ ở các kết quả nghiên cứu trên các mẫu đất sét nạo vét tại Nhật Bản có w_L là 60,7%, w_P là 29,1% và I_p là 31%, cho thấy hàm lượng CaO, SO₃, Al₂O₃ trong xi măng có ảnh hưởng lớn đến sự phát triển cường độ của đất. Trong đó cường độ

của đất giảm mạnh khi hàm lượng CaO tăng lên và cường độ không thay đổi khi lượng phụ gia khoảng 80 kg/m³. Cường độ của đất gần như không đổi nếu hàm lượng SO₃ trong phụ gia thấp hơn 9%, chỉ cần hàm lượng SO₃ tăng lên 9% thì cường độ của đất tăng lên nhanh chóng; cường độ của đất gần như không đổi với bất kể hàm lượng Al₂O₃ khi lượng phụ gia khoảng 80 kg/m³, khi lượng phụ gia được tăng lên 140 và 200 kg/m³, cường độ tăng gần như tuyến tính với hàm lượng Al₂O₃ [7].



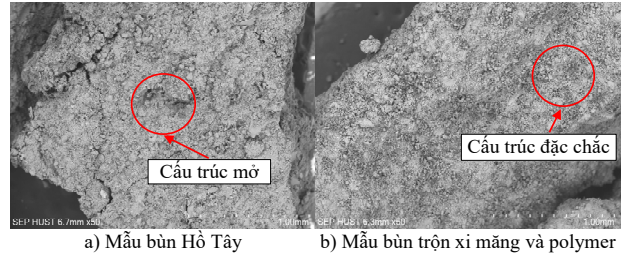
Hình 10. Ảnh hưởng của loại xi măng đến cường độ nén một trục nở hông của vật liệu VSL

3.2. Ảnh hưởng của xi măng đến sự hình thành vi cấu trúc của vật liệu VSL

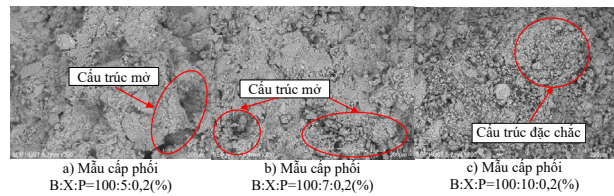
Kính hiển vi điện tử quét (SEM) là một phương pháp hiệu quả được sử dụng để phân tích cấu trúc của bề mặt vật liệu ở độ phóng đại cao hàng nghìn đến chục nghìn lần. Các kết quả nghiên cứu cho thấy đất chưa xử lý có cấu trúc mở, các khối phân tán để lại nhiều lỗ rỗng lớn [13]. Cấu trúc đất thay đổi đáng kể khi trộn với xi măng hoặc vôi, các lỗ rỗng trong đất sau xử lý bị chèn kín bởi các sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng. Các sản phẩm này như một tinh thể có chức năng liên kết các hạt đất lại với nhau tạo một kết cấu mới với lỗ rỗng rất nhỏ làm tăng cường độ của đất [14]. Các nghiên cứu cũng đã phát hiện các sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng CSH, CAH chiếm chỗ trong các lỗ rỗng tạo cầu nối liên kết các cụm cốt liệu hình thành dạng kết cấu khung khi quan sát cấu trúc vi mô của hai mẫu đất sét trộn vôi, xi măng tại lần lượt các hàm lượng 10%, 20% [15].

Kết quả thí nghiệm SEM cho thấy bề mặt của bùn tự nhiên ở trạng thái khô có cấu trúc mở, các hạt liên kết kém, phân tán, chứa nhiều lỗ rỗng. Ở cùng độ phóng đại 50 lần hình ảnh SEM cho thấy các mẫu vật liệu VSL có cấu trúc đặc chắc hơn (hình 11). Để quan sát ảnh hưởng của xi măng đến sự hình thành cấu trúc của VSL, tác giả tiến hành thí nghiệm SEM ở độ phóng đại thấp 200 lần trên các mẫu cấp phối với hàm lượng xi măng lần lượt là (5; 7; 10)%, polymer là 0,2%. Kết quả cho thấy cấu trúc mở (lỗ rỗng) giảm rõ rệt, cấu trúc đặc chắc tăng dần theo hàm lượng xi măng (hình 12), điều này được lý giải do các sản phẩm của quá trình

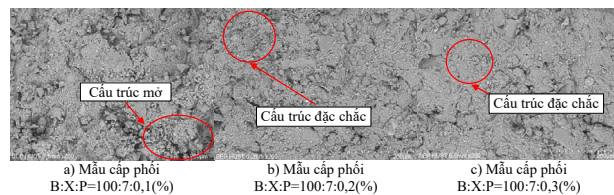
thủy hóa xi măng (CSH, CAH) tăng dần theo hàm lượng xi măng, lấp đầy các lỗ rỗng, liên kết các hạt đất tạo ra cấu trúc đặc chắc trong vật liệu VSL. Các hình ảnh SEM tương tự cũng thu được khi tăng dần hàm lượng polymer (0,1; 0,2; 0,3)%, xi măng là 7%, cấu trúc đặc chắc các mẫu VSL cũng phát triển rõ rệt khi tăng dần hàm lượng polymer (hình 13).



Hình 11. Hình ảnh SEM ở độ phóng đại thấp 50 lần của bùn Hồ Tây trước và sau khi tái chế



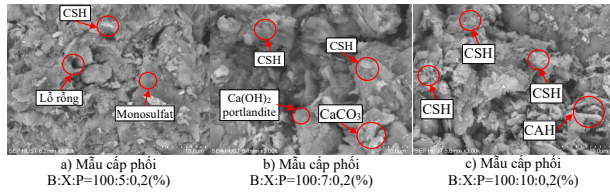
Hình 12. Hình ảnh SEM ở độ phóng đại 200 lần của mẫu VSL khi thay đổi hàm lượng xi măng



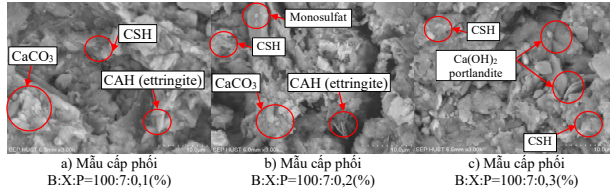
Hình 13. Hình ảnh SEM ở độ phóng đại 200 lần của mẫu VSL khi thay đổi hàm lượng polymer

Cấu trúc các thành phần có trong vật liệu VSL được thể hiện rõ trong hình ảnh SEM ở độ phóng đại lớn 3000 lần. Các hình ảnh cho thấy trong các mẫu VSL chứa các thành phần của quá trình thủy hóa xi măng, đó là: CSH xuất hiện nhiều ở tất cả các mẫu, tồn tại ở dạng gel, kết bông lại từng chùm; CAH còn gọi là ettringite có dạng que hình thoi, xuất hiện ít hơn như trên hình 14c, 15a, 15b; lượng CSH, CAH tăng lên đáng kể khi tăng hàm lượng xi măng, các sản phẩm này kết bông trên bề mặt mẫu VSL, các sản phẩm CSH đan xen liên kết nhau giống như tổ ong tạo nên kết cấu vững chắc của vật liệu VSL; một số hình ảnh bề mặt còn xuất hiện các tinh thể rắn màu trắng canxi (CaCO₃) như trên hình 14b, 15a, 15b. Hình 15b xuất hiện các tinh thể tấm mỏng hình lục giác được cho là monosulfat, là sản phẩm của một phần ettringite tác dụng với thạch cao tự do (CaSO₄ 2H₂O) có trong hỗn hợp [16]. Hình 15c cho thấy sản phẩm

Ca(OH)₂ còn gọi là portlandite xuất hiện ở dạng pha rắn có dạng khối đa giác đều chiếm chủ yếu trên bề mặt mẫu.



Hình 14. Hình ảnh SEM ở độ phóng đại 3000 lần mẫu VSL khi thay đổi hàm lượng xi măng



Hình 15. Hình ảnh SEM ở độ phóng đại 3000 lần mẫu VSL khi thay đổi hàm lượng polymer

Thông qua hình SEM ở độ phóng đại thấp 50 lần và 200 lần cho thấy sự phát triển cấu trúc đặc trác hơn theo tỷ lệ hàm lượng xi măng và polymer; đồng thời ở độ phóng đại cao 3000 lần thấy được sự hình thành, phát triển các sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng, khi tỷ lệ xi măng càng cao thì sản phẩm thủy hóa càng nhiều, đặc biệt các sản phẩm CSH, CAH chiếm phần lớn, có kết cấu bông/tổ ong góp phần tạo nên cấu trúc vững chắc làm gia tăng cường độ của mẫu. Các hình ảnh SEM của các mẫu VSL với các cấp phối khác nhau minh chứng rõ rệt cho sự tương đồng giữa sự phát triển cấu trúc vi mô với sự phát triển cường độ của mẫu.

4. KẾT LUẬN

Bài báo đã phân tích cấu trúc vi mô từ hình ảnh chụp trên thiết bị SEM, làm rõ mối tương quan giữa cấu trúc vi mô với sự hình thành và phát triển cường độ của các mẫu VSL. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

Bùn nạo vét có độ ẩm, giới hạn chảy, giới hạn dẻo lớn, thành phần hạt sét cao, do vậy khi hàm lượng xi măng dưới 5% thì hiệu quả về mặt cải thiện cường độ đất rất hạn chế; với hàm lượng xi măng từ 140 và 200 kg/m³ cường độ của đất được cải thiện đáng kể.

Hiệu quả về mặt cải thiện cường độ của vật liệu VSL cũng hạn chế với những loại xi măng có hàm lượng CaO cao, do quá trình hình thành các sản phẩm thủy hóa xi măng, lượng CaO dư sẽ trở thành CaO tự do kém ổn định về thể tích ảnh hưởng đến sự phát triển về cường độ của đất. Trong khi đó, hiệu quả về mặt cải thiện cường độ

sẽ tốt hơn với các loại xi măng có hàm lượng Al₂O₃, SO₃ lớn.

Đồng thời kết quả nghiên cứu cũng làm rõ sự phát triển cường độ của vật liệu VSL là do sự hình thành cấu trúc vi mô từ quá trình thủy hóa xi măng sinh ra các hợp chất CSH, CAH, CaCO₃, Ca(OH)₂, CaSO₄ 2H₂O, trong khi đó polymer có vai trò hấp thụ nước, tạo chất keo liên kết các hạt nhỏ hình thành các cỡ hạt khác nhau, góp phần tạo nên khung kết cấu đặc chắc của đất, được thể hiện trên các hình ảnh SEM với độ phóng đại lên đến 3000 lần.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] GS. TS Lâm Minh Triết (2010), “Nghiên cứu đề xuất công nghệ xử lý, tận dụng bùn thải và nước tách bùn từ các nhà máy cấp nước của TP Hồ Chí Minh”, Sở Khoa học và Công nghệ TPHCM, số CD11000067.
- [2]. GS.TS Nguyễn Văn Phước (2015), “Nghiên cứu phương án tái sử dụng bùn thải từ hệ thống xử lý nước, nước thải và xỉ thải”, Sở Khoa học và Công nghệ tỉnh Bình Dương.
- [3] Estabragh, A. R., Khatibi, M., Javadi, A. A. (2016). *Effect of cement on treatment of a clay soil contaminated with glycerol*. Journal of Materials in Civil Engineering, 28(4).
- [4] Phạm Tri Thục, Phan Huy Dong (2019) *Reusability of muds dredged from lakes in Hanoi City from its geotechnical engineering characteristics*, CIGOS 2019, Innovation for Sustainable Infrastructure, Lecture Notes in Civil Engineering page 805-810, Springer Nature Singapore Pte Ltd. 2020.
- [5] Phan Huy Dong (2017), *Study on some physical and chemical properties of sludge samples dredged in Hanoi and propose solutions for recycling sludge into materials*, Vietnam Construction Magazine, page 263-267.
- [6] M.Kitazume and K.Hayano (2007), *Strength properties and variance of cement-treated ground using the pneumatic flow mixing method*, Soil Stabilisation Division, Department of Geotechnical and Structural Engineering, Port and Airport Research Institute, Japan.
- [7] M.Kitazume (2016), *The Pneumatic Flow Mixing Method*, Tokyo Institute of Technology, Japan.
- [8] Phan Huy Dong, Kimitoshi Hayano (2012), *New solution to treat dredged sludge into grain-shaped backfill material used in construction*, Geotechnical Journal Vol.3, page 60-68.

- [9] ASTM D 698 (1998). *Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft³ (600 kN-m/m³))*. American Society for Testing and Materials, Americ.
- [10] TCVN 9403:2012. *Quy trình gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng*. Bộ Khoa học và Công nghệ Việt Nam.
- [11] ASTM D 2166. *Standard Test Method for Unconfined Compressive Strength of Cohesive Soil*.
- [12] TCVN 141:1998. *Xi măng - phương pháp phân tích hóa học*. Bộ Khoa học, Công nghệ và Môi trường Việt Nam.
- [13] Mengue, E., Mroueh, H., Lancelot, L., Eko, R. M. (2017). *Physicochemical and consolidation properties of compacted lateritic soil treated with cement*. Soils and Foundations, 57(1):60–79.
- [14] Mousavi, S. E., Wong, L. S. (2016). *Permeability characteristics of compacted and stabilized clay with cement, peat ash and silica sand*. Civil Engineering Infrastructures Journal.
- [15] Onitsuka, K., Modmoltin, C., Kouno, M., Negami, T. (2003). *Effect of organic matter on lime and cement stabilized ariake clays*. Doboku Gakkai Ronbunshu, 2003(729):1–13.
- [16] Nontananandh, S., Thakon, Y., Sanupong, B. (2005). *Scanning electron microscopic investigation of cement stabilized soil*. National conference on civil engineering, Citeseer, 10:23–2.