

Nghiên cứu chế tạo cát nhân tạo từ bùn không độc hại nạo vét trong TP Hà Nội - nguyên lý chế tạo và các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hạt

Study on the production of artificial sand from non-hazardous dredged sludge in Hanoi city-principle and factor affecting the ability to granulate

> PHẠM TRI THỨC¹, PHAN HUY ĐÔNG², LÊ THỊ HỒNG LĨNH³

¹Bộ môn Kỹ thuật Xây dựng, Khoa Doanh trại, Học viện Hậu cần

²Bộ môn Cơ đất - Nền móng, Trường Đại học Xây dựng Hà Nội

³Tổng Công ty tư vấn xây dựng Việt Nam - CTCP

TÓM TẮT

Nghiên cứu tái chế bùn nạo vét từ hệ thống ao/hồ, sông, cửa biển thành vật liệu đắp thay thế cho cát tự nhiên đã được một số nước trên thế giới nghiên cứu và từng bước hoàn thiện công nghệ để đưa vào ứng dụng. Tuy nhiên, vấn đề này còn khá mới mẻ và chưa được ứng dụng ở Việt Nam. Bài báo này trình bày nguyên lý chế tạo và các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hạt của vật liệu đắp dạng hạt tái chế từ bùn nạo vét (Recycled Granular Fill Material: R-GFM). Từ các kết quả trộn thử nghiệm trong phòng, tác giả đề xuất sơ đồ nguyên lý chế tạo bùn thành vật liệu R-GFM. Đồng thời khảo sát một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hạt như: độ ẩm, thời gian bảo dưỡng và trộn lại, hàm lượng phụ gia xi măng và polyme. Trong các thí nghiệm bùn hồ Tây (B) là bùn không độc hại, được khống chế độ ẩm trong khoảng $[W_p; W_c]$, sau đó tiến hành trộn với phụ gia xi măng (X) và polyme (P). Sản phẩm sau trộn có dạng hạt, tuy nhiên do bùn có độ ẩm lớn nên các hạt vẫn có tính dẻo. Các kết quả nghiên cứu cho thấy độ ẩm khi trộn có ảnh hưởng đáng kể đến khả năng tạo hạt của vật liệu R-GFM, các mẫu R-GFM không thể tạo hạt ở lần trộn đầu tiên khi sử dụng bùn có độ ẩm ban đầu lớn hoặc bùn ở độ ẩm giới hạn chảy và chỉ có thể tạo hạt khi tiến hành bảo dưỡng và trộn lại. Khả năng tạo hạt được cải thiện đáng kể và có thể tạo hạt ngay từ lần trộn đầu tiên khi sử dụng bùn ở độ ẩm giới hạn dẻo, điều này hoàn toàn phù hợp với các kết quả nghiên cứu tại Nhật Bản. Đồng thời nội dung nghiên cứu đã làm rõ ảnh hưởng của phụ gia X và P đến sự hình thành các hạt rắn từ bùn sét, tùy theo hàm lượng phụ gia mà vật liệu R-GFM có cỡ hạt tương đương với cát sạn; sỏi sạn hoặc dăm cuội.

Từ khóa: Cát nhân tạo; vật liệu đắp (R-GFM); nguyên lý chế tạo.

ABSTRACTS

Recycling dredged sludge from lakes, rivers, and estuaries into granular fill material as a substitute for natural sand has been studied by several countries around the world and gradually improved. However, this is still a new issue and has not been applied in Vietnam. This paper presents the manufacturing process diagram for converting sludge into R-GFM. In addition, the authors investigated the effects of moisture content, curing and remixing time, and the content of cement and polymer additives on grain formation. In the experiments, non-toxic West Lake sludge (B) was used with moisture content controlled within the range of $[W_p; W_c]$. The sludge was then mixed with cement (X) and polymer (P) additives. The product after mixing had a granular shape, but the particles were still plastic because of the high moisture content of the sludge. The research results showed that the moisture content at mixing has a significant effect on the grain formation of R-GFM. R-GFM samples could not form grains in the first mixing when using sludge with high initial moisture content or sludge at the flow limit moisture content. However, the grain formation ability was.

Keywords: Artificial sand; recycled granular fill material (R-GFM); manufacturing principle.

1. GIỚI THIỆU

Hà Nội là thành phố lớn nhất cả nước, tập trung nhiều sông ngòi, ao hồ lớn. Hàng năm một khối lượng lớn bùn thải từ quá trình nạo vét được đổ tại các bãi chứa với diện tích chiếm chỗ đáng kể gây ô nhiễm môi trường và tốn kém trong xử lý đổ thải. Trong khi đó quá trình phát triển cơ sở hạ tầng đòi hỏi một lượng lớn vật liệu đắp, 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 đắp đến gần 5 triệu m³ [6]. 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.

Hiện nay, việc nghiên cứu tái chế bùn nạo vét thành vật liệu đắp đang được nhiều nước trên thế giới từng bước nghiên cứu ứng dụng vào thực tiễn, đi đầu là Nhật Bản với các giải pháp tái chế như trộn trước (premixing method), tái chế bùn thành vật liệu nhẹ (super Geo-Material lighweight soil) [13], các giải pháp này có thể tạo ra vật liệu có cường độ mong muốn trong thời gian ngắn. Tuy nhiên vật liệu sau trộn có tính đồng nhất kém, khó kiểm soát chất lượng, mặt bằng thi công lớn, yêu cầu vị trí san lấp không quá xa so với vị trí nạo vét.

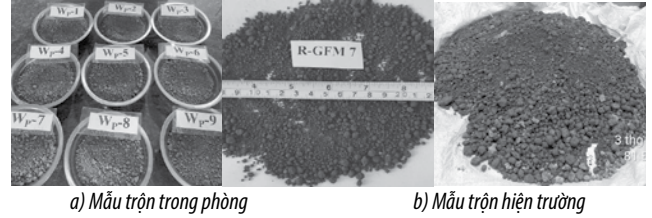
Trong những năm gần đây đã có những nghiên cứu tái chế bùn thành vật liệu dạng hạt [12], đây là cơ sở khoa học quan trọng để nghiên cứu chế tạo vật liệu R-GFM. Đối tượng nghiên cứu của bài báo này là vật liệu đắp dạng hạt (R-GFM) tái chế từ bùn không độc hại nạo vét từ ao/hồ trong thành phố Hà Nội (Hình 1). 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 xi măng PCB thương mại thông thường và polyme. Trong đó xi măng có chức năng phát triển cường độ, polyme hấp thụ nước, tạo thành các màng liên kết bao quanh các hạt sét nhỏ và xi măng tạo điều kiện thuận lợi cho quá trình thủy hóa xi măng, tạo thành hạt lớn có cường độ nhất định [3], [8], [12]; bùn được sử dụng trong tái chế là bùn không độc hại từ hồ Hoàn Kiếm, hồ Tây với nhu cầu nạo vét lớn khoảng 1,3 triệu m³, có thể tái sử dụng cho mục đích xây dựng [7].

Để chế tạo vật liệu R-GFM, cần một chương trình nghiên cứu toàn diện như: nghiên cứu nguyên lý chế tạo; khảo sát các yếu tố ảnh hưởng đến quá trình chế tạo; khảo sát các đặc tính kỹ thuật của vật liệu sau tái chế. Trong bài báo này, tác giả tiến hành các thí nghiệm sơ bộ trong phòng và đề xuất sơ đồ nguyên lý chế tạo, đồng thời khảo sát sơ bộ các yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hạt của

Bảng 1. Chỉ tiêu vật lý của các mẫu bùn [3]

Chỉ tiêu vật lý	Số hiệu mẫu (H)									
	H ₁	H ₂	H ₃	H ₄	H ₅	H ₆	H ₇	H ₈	H ₉	H ₁₀
Độ ẩm tự nhiên, W (%)	200,2	203,2	197,8	201,3	205,1	198,5	195,8	200,4	203,5	195,8
Giới hạn chảy, W _L (%)	88	88,6	85,2	83,8	84,7	82,5	87,6	88,3	82,7	82,2
Giới hạn dẻo, W _p (%)	59,3	57,8	58,4	52,7	54,5	56,8	60,1	55,9	58,2	57,4
Hàm lượng chất hữu cơ, (%)	4,8	5,3	7,15	6,2	7,9	7,05	6,5	5,8	8,75	6,29
pH	7,05	7,1	6,7	6,9	6,6	7,2	7,05	7,2	7,15	7
Khối lượng thể thích (γ)	1,21	1,25	1,29	1,24	1,22	1,27	1,25	1,32	1,45	1,36
Chỉ tiêu vật lý	Số hiệu mẫu (W)									
	W ₁	W ₂	W ₃	W ₄	W ₅	W ₆	W ₇	W ₈	W ₉	W ₁₀
Độ ẩm tự nhiên, W (%)	210,9	202,5	216,3	204,1	195,4	201,5	208,7	212,3	198,6	202,7
Giới hạn chảy, W _L (%)	92,1	87,5	91	90,2	85,6	88,2	87,9	89,3	88,7	90,6
Giới hạn dẻo, W _p (%)	60,68	64,82	62,42	62,12	63,5	65,8	61,1	68,3	62,5	64,1
Hàm lượng chất hữu cơ, (%)	7,2	6,5	7,1	5,75	6,1	4,9	5,6	7,1	6,35	6,45
pH	6,1	6,2	6	5,8	6,15	5,9	6,3	6,2	6,4	6,15
Khối lượng thể thích (γ)	1,18	1,23	1,26	1,34	1,35	1,39	1,5	1,57	1,42	1,39

các mẫu R-GFM.



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

2. VẬT LIỆU VÀ PHƯƠNG PHÁP THÍ NGHIỆM

2.1. Vật liệu

2.1.1. Bùn sét hồ Hoàn Kiếm, hồ Tây

Trong nghiên cứu này, các mẫu bùn hồ Hoàn Kiếm và hồ Tây lần lượt có ký hiệu là "H" và "W" được thu thập bằng phương pháp thủ công tại các vị trí khác nhau, độ sâu lấy mẫu từ -0,6m đến -1m tính từ cao trình đáy Hồ (Hình 2, Hình 3). Mẫu bùn sau đó được lưu trữ trong thùng kín để đảm bảo hạn chế tác động của môi trường bên ngoài.

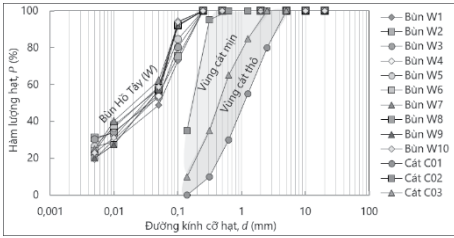
Bảng 1 tổng hợp một số tính chất vật lý của các mẫu bùn được thí nghiệm theo các tiêu chuẩn như TCVN 4196:2012, TCVN 4197:2012, TCVN 8726:2012; thành phần hạt của các mẫu bùn được thí nghiệm theo TCVN 8726:2012 (Hình 4, Hình 5); kết quả thí nghiệm thành phần kim loại nặng bằng phương pháp phổ phát xạ Plasma theo tiêu chuẩn TCNB-ICP 01/04 cho thấy bùn không chứa hàm lượng kim loại nặng vượt ngưỡng cho phép theo qui chuẩn quốc gia QCVN 07:2009/BTNMT (Hình 6, Hình 7) [3], [5], [14].



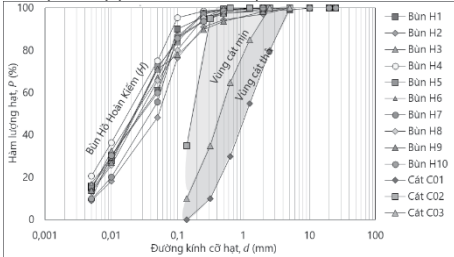
Hình 2. Công tác lấy mẫu bùn hồ Hoàn Kiếm



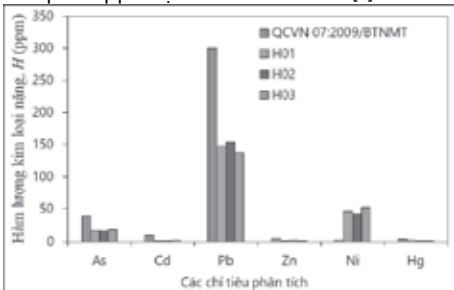
Hình 3. Công tác lấy mẫu bùn hồ Tây



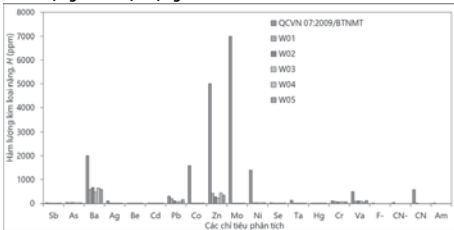
Hình 4. Thành phần cấp phối hạt bùn hồ Tây "W" [3]



Hình 5. Thành phần cấp phối hạt bùn hồ Hoàn Kiếm "H" [3]



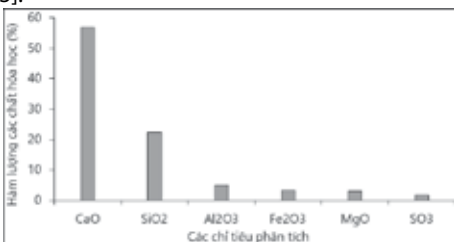
Hình 6. Hàm lượng kim loại nặng mẫu bùn hồ Hoàn Kiếm [5], [14]



Hình 7. Hàm lượng Kim loại nặng mẫu đất bùn hồ Tây [5], [14]

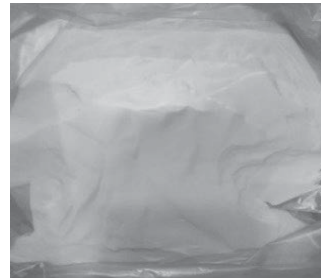
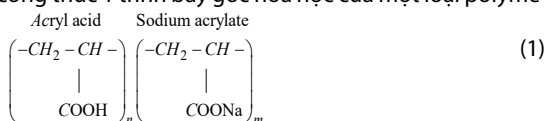
2.1.2. Phụ gia xi măng và polyme

Xi măng Portland thương mại thông thường được sử dụng làm phụ gia trong cải tạo bùn [1], [3], [9], [12]. Hình 8 thể hiện một số hợp chất hóa học chính có trong xi măng, được xác định theo TCVN 141:1998 [3].



Hình 8. Các chất hóa học chính trong mẫu xi măng [3]

Phụ gia polyme sử dụng trong nghiên cứu này là một loại polyme axit acrylic dạng bột, có tính dẻo dính và hút nước cao (Hình 9), công thức 1 trình bày gốc hóa học của một loại polyme tiêu biểu.



a) Mẫu polyme



b) Polyme hút nước

Hình 9. Mẫu polyme có tính dẻo và hút nước cao

2.2. Phương pháp thí nghiệm

Phương pháp trộn mẫu tham khảo phụ lục D tiêu chuẩn TCVN 9403-2012, phương pháp xác định độ ẩm theo tiêu chuẩn TCVN 4196:2012, phương pháp xác định thành phần hạt theo tiêu chuẩn TCVN 8726:2012.

Vật liệu trộn gồm có: bùn ướt, xi măng và polyme. Tiến hành chế bị mẫu ở các trạng thái độ ẩm ban đầu W_0 , độ ẩm giới hạn chảy W_L và độ ẩm giới hạn dẻo W_P để theo dõi ảnh hưởng của độ ẩm đến khả năng tạo hạt. Các cấp phối mẫu như Bảng 2.

Bảng 2. Cấp phối các mẫu R-GFM khảo sát ảnh hưởng của độ ẩm đến tạo hạt

Độ ẩm chế bị mẫu W_0 (%)	Khối lượng bùn ướt, B (%)	Tỷ lệ xi măng, X/B (%)	Tỷ lệ polyme, P/B (%)	Thời gian bảo dưỡng, t (ngày)
$W_0=W$	100	5; 7; 10; 15; 20	0; 0,1; 0,2; 0,4	28
$W_0=W_L$	100	5; 7; 10; 15; 20	0; 0,1; 0,2; 0,4	28
$W_0=W_P$	100	5; 7; 10; 15; 20	0; 0,1; 0,2; 0,4	28

Mẫu sau khi trộn được bảo quản trong thùng xốp kín để tránh tác động của môi trường bên ngoài, theo dõi sự thay đổi độ ẩm và khả năng tạo hạt sau 28 ngày. Tiếp tục xác định thành phần hạt cho các mẫu trộn ở độ ẩm giới hạn dẻo, vì đây là các mẫu có khả năng tạo hạt tốt nhất [11], [12].

3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

3.1. Nguyên lý chế tạo

Từ các kết quả trộn thử nghiệm trong phòng, qua nhiều lần hiệu chỉnh, tác giả đề xuất nguyên lý chế tạo bùn thành vật liệu R-GFM trong phòng thí nghiệm theo các bước như sau:

Bước 1: Lấy mẫu, thí nghiệm đặc tính lý, hóa, đánh giá khả năng tái chế bùn.

Sau khi lấy mẫu, bùn phải được làm các thí nghiệm xác định các đặc tính lý, hóa cơ bản. Từ đó đánh giá khả năng tái sử dụng thông qua việc xác định hàm lượng các kim loại nặng có trong các mẫu bùn làm cơ sở đánh giá ngưỡng chất thải nguy hại theo qui chuẩn quốc gia QCVN 07:2009/BTNMT.

Bước 2: Tách nước, kiểm soát độ ẩm của bùn trước khi trộn cấp phối mẫu.

Độ ẩm của bùn khi trộn mẫu có ảnh hưởng rất lớn đến cường độ và khả năng tạo hạt của vật liệu sau tái chế [13]. Do vậy, trước khi tái chế bùn thành vật liệu đắp, bùn phải được kiểm soát độ ẩm. Các kết quả nghiên cứu cho thấy độ ẩm tốt nhất của bùn khi trộn cấp phối nằm trong khoảng $[W_P; W_L]$, đây là khoảng độ ẩm tốt nhất đảm bảo cho xi măng thủy hóa, phát huy hết tác dụng [11], [12].

Sau khi tách nước ra khỏi bùn, độ ẩm để chế bị mẫu mong muốn sẽ được xác định bằng cách điều chỉnh lượng nước trong bùn

theo công thức:

$$\Delta n = \frac{m(W_2 - W_1)}{1 + W_1} \quad (2)$$

Trong đó: Δn là lượng nước cần bổ sung, W_1 là độ ẩm trạng thái ban đầu, W_2 : độ ẩm ở trạng thái chế bị mong muốn, thông thường $W_2 = [W_p; W_L]$;

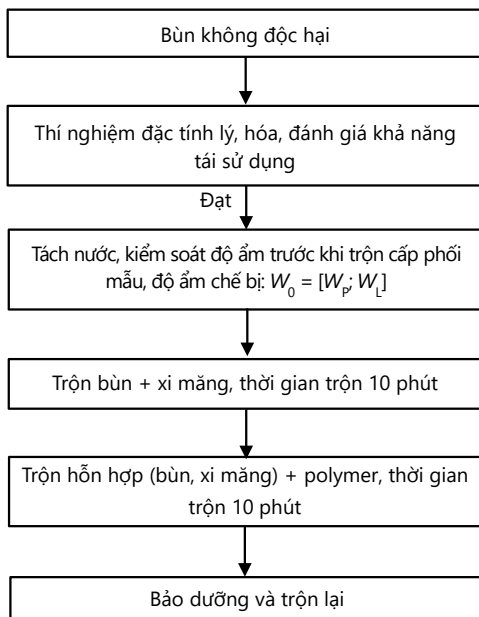
Bước 3: Trộn cấp phối bùn với phụ gia.

Phương pháp trộn có ảnh hưởng lớn đến sự phát triển cường độ của vật liệu sau tái chế. Các yếu tố ảnh hưởng của phương pháp trộn gồm: thiết bị trộn và trình tự trộn. Đối với các thí nghiệm trong phòng có thể loại bỏ ảnh hưởng của thiết bị trộn. Tuy nhiên khi trộn với khối lượng lớn ngoài hiện trường nên trộn loại thiết bị có khả năng làm tơi đều đất, đảm bảo tính đồng nhất. Theo các kết quả trộn thử trong phòng thì nên trộn bùn + xi măng trước, đảm bảo cho xi măng được trộn đều, hình thành cường độ của đất; sau đó tiếp tục trộn polyme, lúc này polyme sẽ hấp thụ nước tạo thành các màng keo dính, liên kết các hạt sét nhỏ tạo thành các cỡ hạt khác nhau, điều này giúp cho quá trình tạo hạt trở nên rõ rệt hơn [3], [8].

Bước 5: Bảo dưỡng và trộn lại.

Mục đích của việc bảo dưỡng là để xi măng và polyme thủy hóa và phát huy hết tác dụng. Tốc độ thủy hóa của xi măng diễn ra mạnh mẽ ở ngay những ngày đầu tiên sau khi trộn, sau đó diễn ra chậm hơn ở các ngày tiếp theo; tốc độ thủy hóa tối đa đạt khoảng 95% và đạt khoảng 85% trong 7 ngày đầu tiên, trong khi đó chỉ cần thời gian là 4 giờ để polyme có thể thủy hóa hoàn toàn [2]. Do vậy tác giả lựa chọn thời gian bảo dưỡng là 7 ngày sau khi trộn hỗn hợp (B:X:P). Sau 7 ngày bảo dưỡng, xi măng và polyme thủy hóa mạnh mẽ làm cho độ ẩm giảm đáng kể, tiến hành trộn lại để quá trình tạo hạt rõ ràng hơn.

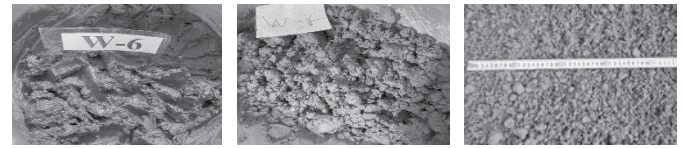
Hình 10 trình bày sơ đồ nguyên lý chế tạo vật liệu R-GFM trong phòng thí nghiệm:



Hình 10. Nguyên lý chế tạo bùn thành vật liệu R-GFM

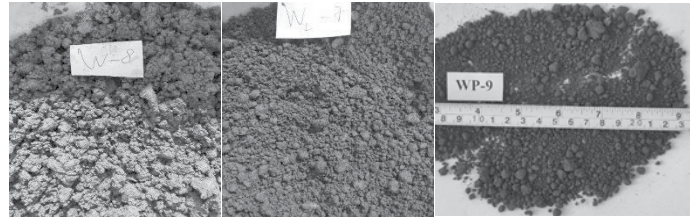
3.2. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của độ ẩm đến khả năng tạo hạt của vật liệu R-GFM

Hình 11 thể hiện hình ảnh ngay sau khi trộn của các mẫu R-GFM khi trộn ở các độ ẩm khác nhau của bùn, kết quả trộn cho thấy các mẫu R-GFM không thể tạo hạt khi trộn ở độ ẩm tự nhiên, mẫu có dạng vón cục khi trộn ở độ ẩm giới hạn chảy và chỉ có thể tạo hạt khi trộn mẫu ở độ ẩm giới hạn dẻo.



a) trộn ở độ ẩm ban đầu W b) trộn ở độ ẩm giới hạn chảy W_L c) trộn ở độ ẩm giới hạn dẻo W_p
 Hình 11. Hình ảnh tạo hạt ngay sau khi trộn các mẫu R-GFM ở thời điểm ngay sau khi trộn, $t = 0$ ngày

Hình 12 thể hiện hình ảnh tạo hạt sau 7 ngày bảo dưỡng và trộn lại, kết quả cho thấy khả năng tạo hạt của các mẫu R-GFM có sự thay đổi đáng kể. Với các mẫu chế bị ở độ ẩm ban đầu W cho hình ảnh dạng vón cục, chưa hình thành hạt rõ ràng; với các mẫu chế bị ở độ ẩm giới hạn chảy cho hình ảnh dạng hạt, đất sau trộn có độ ẩm lớn và tính dính cao; với các mẫu đất chế bị ở độ ẩm giới hạn dẻo cho hình ảnh tạo hạt rõ ràng, các hạt phân bố đều.

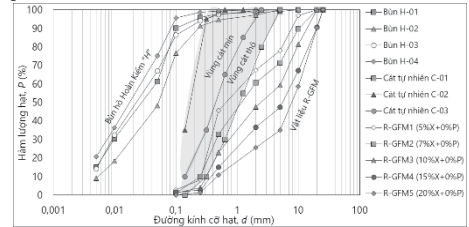


a) trộn ở độ ẩm ban đầu W b) trộn ở độ ẩm giới hạn chảy W_L c) trộn ở độ ẩm giới hạn dẻo W_p
 Hình 12. Hình ảnh tạo hạt các mẫu R-GFM sau khi bảo dưỡng và trộn lại ở thời điểm $t = 7$ ngày

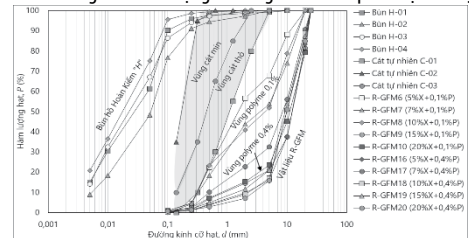
Các kết quả nghiên cứu ở trên cho thấy: độ ẩm của bùn tại thời điểm trộn mẫu có ảnh hưởng rất lớn đến khả năng tạo hạt, các mẫu có khả năng tạo hạt tốt nhất khi trộn ở độ ẩm trong khoảng $[W_p; W_L]$. Ngoài ra thời gian bảo dưỡng và trộn lại là một yếu tố giúp cho khả năng tạo hạt tốt hơn.

3.3. Kết quả khảo sát ảnh hưởng của hàm lượng phụ gia xi măng, polyme đến khả năng tạo hạt của vật liệu R-GFM

Hình 13 trình bày ảnh hưởng của phụ gia xi măng đến khả năng tạo hạt của vật liệu R-GFM, các đường cấp phối trên biểu đồ thể hiện vùng rõ rệt: vùng bùn tự nhiên, vùng cát tự nhiên, vùng vật liệu R-GFM. Kết quả cho thấy hàm lượng xi măng có ảnh hưởng đáng kể đến thành phần hạt, kích thước hạt tăng dần theo hàm lượng xi măng, đường cấp phối hạt có độ dốc lớn cho thấy cỡ hạt tương đối đồng đều. Điều này được lý giải do quá trình thủy hóa xi măng đã hấp thụ lượng nước trong bùn, các sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng CSH, CAH chiếm chỗ các lỗ rỗng tạo cấu nối liên kết các cụm cốt liệu hình thành kết cấu khung trong cấu trúc của mẫu đất [3], [10].

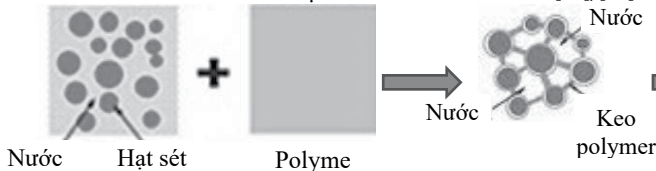


Hình 13. Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến thành phần hạt của vật liệu R-GFM



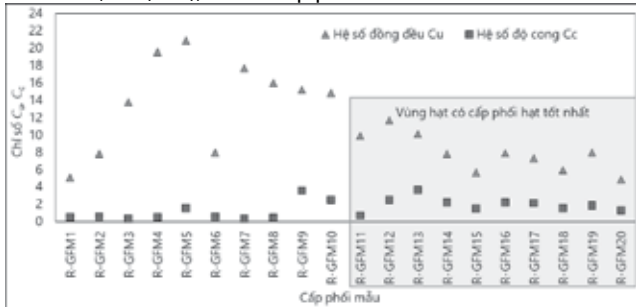
Hình 14. Ảnh hưởng của hàm lượng polyme đến thành phần hạt của vật liệu R-GFM

Hình 14, Hình 15 trình bày ảnh hưởng của polymer đến khả năng tạo hạt, với cùng hàm lượng xi măng thì khả năng tạo hạt tăng dần theo lượng polymer. Khi hàm lượng polymer 0,1% thì các cỡ hạt có đường kính $d > 2\text{mm}$ chiếm từ 35% đến 50% tương đương với cát sạn đến sỏi sạn. Khi lượng polymer 0,4% thì các cỡ hạt có đường kính $d > 5\text{mm}$ chiếm từ 40% đến 60% tương đương với dầm cuội [4]. Điều này được lý giải từ cơ chế tạo hạt của polymer, các hạt polymer dạng bột mịn ngậm nước và trở thành 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 như mô tả ở Hình 16 [11], [12].



Hình 16. Sơ chế tạo hạt của polymer

Hình 17 cho thấy khi không có polymer hoặc hàm lượng polymer nhỏ 0,1% thì cấp phối hạt xấu: chứa nhiều hạt cát nhỏ, ít hạt thô và hạt sạn. Khi hàm lượng polymer từ 0,2% đến 0,4% thì các chỉ số $C_u > 4$, $C_c = (1 \div 3)$, đất có cấp phối tốt hơn.



Hình 17. Chỉ số C_u , C_c của các cấp phối mẫu R-GFM

4. KẾT LUẬN

Từ các kết quả trộn thử trong phòng thí nghiệm, tác giả đã đề xuất trình tự các bước trong chế tạo vật liệu R-GFM, từ đó sơ đồ hóa nguyên lý chế tạo. Đồng thời đánh giá sơ bộ một số yếu tố ảnh hưởng đến khả năng tạo hạt của vật liệu R-GFM như: độ ẩm, thời gian bảo dưỡng và trộn lại, hàm lượng phụ gia. Kết quả nghiên cứu cho thấy:

Các mẫu R-GFM không thể tạo hạt khi trộn ở độ ẩm ban đầu hoặc độ ẩm giới hạn chảy của bùn. Khả năng tạo hạt được cải thiện và có thể tạo hạt rõ ràng khi trộn ở độ ẩm giới hạn dẻo.

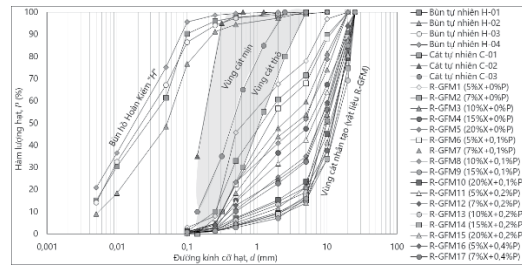
Khả năng tạo hạt của các mẫu trộn ở độ ẩm ban đầu và độ ẩm giới hạn chảy được cải thiện đáng kể khi tiến hành bảo dưỡng và trộn lại mẫu, thời gian bảo dưỡng càng dài thì khả năng tạo hạt càng được cải thiện.

Khả năng tạo hạt của các mẫu tỷ lệ thuận với hàm lượng xi măng và polymer. Khi hàm lượng xi măng $X = (5 \div 7)\%$, polymer $P = (0,1 \div 0,2)\%$ thì các mẫu R-GFM có cỡ hạt tương đương với cát sạn, khi hàm lượng xi măng $X = (10 \div 20)\%$, polymer $P = (0,2 \div 0,4)\%$ thì các mẫu R-GFM có cỡ hạt tương đương với sỏi sạn và dầm cuội.

Khi không có polymer hoặc hàm lượng polymer nhỏ, khoảng 0,1% thì các mẫu R-GFM có cấp phối hạt xấu. Cấp phối hạt được cải thiện đáng kể khi hàm lượng polymer $P = (0,2 \div 0,4)\%$, khi đó đất có cấp phối tốt hơn, thể hiện ở các chỉ số $C_u > 4$, $C_c = (1 \div 3)$.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

[1]. Bộ Khoa học và Công nghệ, TCVN 11832:2017 Gia cố nền đất yếu, Phương pháp gia cố toàn khối, Hà Nội, 2017, 4-9.
 [2]. Nguyễn Trọng Dũng, mô hình tính toán mức độ thủy hóa các chất kết dính thành



Hình 15. Biểu đồ thành phần hạt các mẫu R-GFM



phân trong hồ xi măng, Hội nghị toàn quốc khoa học trái đất và tài nguyên với phát triển bền vững, Hà Nội, 2018, 119-123.

[3]. Phạm, Tri Thức, Huy Đông Phan, and Thị Thanh Thủy Nguyễn, 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 TP Hà Nội, Proceedings of the International Conference - Celebrating 60 Years of IBST 493-500, doi: 10.59382/pro.intl.conibst.2023.ses3-13, 2023, 493-500.

[4]. Phan Hồng Quân, Cơ học Đất, Hà Nội, NXB Giáo dục Việt Nam, 2016, 23-45.

[5]. Phan Huy Đông, nghiên cứu một số đặc tính lý hóa của mẫu bùn nạo vét khu vực hà nội và đề xuất giải pháp tái chế bùn thành vật liệu thi công đắp nền, Tạp chí Xây dựng Việt Nam, số 9, Hà Nội, 2017, 263-266.

[6]. Phan Huy Đông, Nghiên cứu trên mô hình thực nghiệm xử lý bãi chôn lấp bùn nạo vét phục vụ cho công tác tái chế bùn, Tạp chí Xây dựng Việt Nam, Hà Nội, 2017.

[7]. Sở Tài Nguyên và Môi Trường Hà Nội, báo cáo đánh giá tác động môi trường dự án nạo vét bùn, bổ cập nước và xây dựng cột phun nước cho hồ tây, Hà Nội, 2017.

[8]. Trần Quốc, Đạt, Minh Nguyễn Thanh, and Dương Trọng Kiến, Đánh giá vai trò của phụ gia polyme trong việc gia cố đất bằng xi măng để nâng cao sức chịu tải nền đường sắt, Transport and Communications Science Journal 72(5):660-71. doi: 10.47869/tcsj.72.5.12, Hà Nội, 2021, 660-671.

[9]. Ayeledeen, Mohamed, Yuki Hara, Masaki Kitazume, and Abdelazim Negm, Unconfined Compressive Strength of Compacted Disturbed Cement-Stabilized Soft Clay, International Journal of Geosynthetics and Ground Engineering 2(4). doi: 10.1007/s40891-016-0064-4, 2016, 1-10.

[10]. Ding-Bao, Song, Chen Wen-Bo, Yin Zhen-Yu, Shi Xiu-Song, and Yin Jian-Hua, Recycling Dredged Mud Slurry Using Vacuum-Solidification Combined Method with Sustainable Alkali-Activated Binder, Geotextiles and Geomembranes 51(5). doi: 10.1016/j.geotextmem.2023.05.003, 2023.

[11]. Dong, Phan Huy, Kimitoshi Hayano, Yoshiaki Kikuchi, Hidenori Takahashi, and Yoshiyuki Morikawa, Deformation and Crushing of Particles of Cement Treat Granulate Soil, Soils and Foundations 51(4). doi: 10.3208/sandf.51.611, 2011, 611-624.

[12]. HAYANO, Kimitoshi, Hiromoto YAMAUCHI, Kota SASAKI, and Keisuke Fujishima, fundamental study on a new granulation method with the process of crumbling partially-cemented liquid muds, Journal of Japan Society of Civil Engineers, Ser. C (Geosphere Engineering) 70(4). doi: 10.2208/jscejge.70.424, 99-103.

[13]. M.Kitazume, The Pneumatic Flow Mixing Method, Tokyo, 2018, 24-55.

[14]. Thuc, Phạm Tri, and Phan Huy Dong, Reusability of Muds Dredged from Lakes in Hanoi City from Its Geotechnical Engineering Characteristics, Lecture Notes in Civil Engineering 54. doi: 10.1007/978-981-15-0802-8_128, Hà Nội, 2020, 805-810