

# NGHIÊN CỨU CỨNG HÓA ĐẤT Bùn NẠO VẾT BẰNG XI MĂNG VÀ PHỤ GIA KHOÁNG

## RESEARCH TO HARD THE DREDGING SOIL USING THE CEMENT AND MINERAL ADDITIVES

NGUYỄN QUANG PHÚ<sup>1</sup>

<sup>1</sup>Trường đại học Thủy lợi

Email: [phuvlxd99@gmail.com](mailto:phuvlxd99@gmail.com)

**Tóm tắt:** Sử dụng hỗn hợp xi măng kết hợp với các phụ gia khoáng (tro bay và xỉ lò cao) để cứng hóa đất bùn nạo vét làm vật liệu thay thế cát là cần thiết tại những vùng xây dựng khan hiếm về nguồn cát tự nhiên. Trong nghiên cứu sử dụng các hỗn hợp gồm (xi măng + tro bay), (xi măng + xỉ lò cao) và (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) để cứng hóa đất bùn ở các vùng nước khác nhau gồm nước lợ và nước mặn tại tỉnh Cà Mau thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long. Đất bùn cứng hóa đáp ứng được các yêu cầu kỹ thuật để thay thế cát trong san lấp mặt bằng. Kết quả thí nghiệm cho thấy sử dụng phương pháp cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (6% xi măng + (2%, 4% và 6%) xỉ lò cao + (2%, 4% và 6%) tro bay) cho hệ số thấm của đất bùn cứng hóa rất thấp,  $K_t = 4.1 \times 10^{-8}$  đến  $5.5 \times 10^{-8}$  m/s, cường độ của đất bùn cứng hóa tăng từ 12.2% đến 15.4% so với mẫu đất bùn cứng hóa bằng xi măng. Đất bùn sau cứng hóa có thể sử dụng cho mục đích xây dựng như làm vật liệu thay thế cát để san lấp mặt bằng và đắp bờ bao trong các công trình thủy lợi và nuôi trồng thủy sản tại vùng đồng bằng sông Cửu Long.

**Từ khóa:** Xi măng; xỉ lò cao hoạt tính; tro bay; đất bùn cứng hóa.

**Abstract:** Using the mixture of cement combined with mineral additives (fly ash and granulated blast furnace slag) to harden the dredged mud as a substitute for sand is essential in construction areas where natural sand is scarce. In the study, the mixtures of (cement + fly ash), (cement + granulated blast furnace slag) and (cement + granulated blast furnace slag + fly ash) were used to harden mud in the different water bodies including brackish, fresh and salt water in Ca Mau province in the Mekong Delta region. The stabilized dredging soil meets the technical requirements to replace the sand in ground filling. Experimental results show that using the method of hardening mud with a mixture (6% cement + (2%, 4% và 6%) blast furnace slag + (2%, 4% và 6%) fly ash) to get very low permeability coefficient of

hardened mud,  $K_t = 4.1 \times 10^{-8}$  to  $5.5 \times 10^{-8}$  m/s, the strength of the dredging soil after hardening increased from 12.2% to 15.4% compared with that of the cement solidified sample. The hardened mud can be used for construction purposes as a substitute for sand for leveling and embankment in irrigation and aquaculture projects in the Mekong Delta region.

**Keywords:** Cement; Blast furnace slag; Fly ash; Stabilized dredging soil.

### 1. Đặt vấn đề

Hàng năm với việc đảm bảo giao thông thủy, nhu cầu cấp và tiêu nước, thì toàn vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) phải thực hiện công tác nạo vét khơi thông dòng chảy với khối lượng rất lớn đến vài chục triệu m<sup>3</sup>. Đất bùn nạo vét cần tập kết, lưu bãi trữ ngày càng tạo ra áp lực cần phải giải quyết. Trong khi đó, đất bùn này có thể tái sử dụng thành nguồn vật liệu san lấp có ích và giúp phát triển bền vững, làm tăng nguồn vật liệu đắp và san lấp nền tại chỗ, đảm bảo nguồn cung ứng vật liệu cho các công trình xây dựng, từ đó có thể giảm giá thành xây dựng và góp phần bảo vệ môi trường.

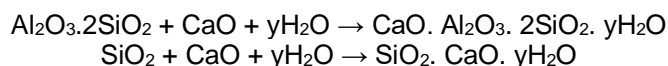
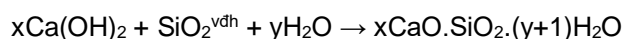
Cứng hóa đất bùn nạo vét là một giải pháp nhằm nâng cao các chỉ tiêu cơ lý của đất bùn để đảm bảo một số điều kiện xây dựng công trình như sử dụng trong việc thi công san lấp nền đường, đắp bờ bao quanh các khu nuôi trồng thủy sản, các khu vực thiếu cát mịn để san lấp mặt bằng,... Việc sử dụng các chất phụ gia trộn với đất bùn để cải thiện lực dính, cường độ và tăng khả năng chống thấm nhằm thay thế vật liệu trong san lấp nền và đắp bờ bao là rất cần thiết.

Trong những năm gần đây tình hình khan hiếm cát xây dựng đã xảy ra trên toàn quốc, đẩy giá cát tăng đột biến do nhu cầu xây dựng tăng cao, như đầu năm 2017. Giải pháp cứng hóa đất bùn nạo vét để thay thế cát san nền và cát đắp của vùng ĐBSCL được nghiên cứu trên cơ sở đánh giá những lợi thế áp dụng đối với vùng ĐBSCL: (1) Hệ thống giao

thông thủy và hệ thống kênh mương thủy lợi lớn mà hàng năm phải nạo vét để đảm bảo an toàn phòng lũ; (2) Trữ lượng cát san nền tại vùng ĐBSCL ngày càng cạn kiệt, nếu tiếp tục khai thác sẽ kéo theo hiện tượng xói lở bờ sông, bờ biển của toàn vùng, gây mất an toàn. Việc nghiên cứu cứng hóa đất bùn nạo vét không những mang giá trị khoa học mà còn mang ý nghĩa chính trị rất lớn, góp phần không nhỏ trong việc phòng chống xói lở tại vùng ĐBSCL. Bên cạnh đó, khi đất bùn được cứng hóa sẽ thay thế cát tự nhiên, giải quyết vấn đề khan hiếm cát cho san lấp nền và đắp bờ đê bao trong xây dựng tại các tỉnh thuộc vùng ĐBSCL.

Trong thực tế có nhiều giải pháp để xử lý đất bùn nạo vét cho mục đích xây dựng, như đóng rắn đất bùn bằng phương pháp gia nhiệt hay khô cứng [2, 3]; cứng hóa đất bùn bằng các chất kết dính vô cơ như các phụ gia khoáng gồm puzzolan thiên nhiên, tro bay, xỉ lò cao, xi măng...[4, 5]; sử dụng các chất kết dính hữu cơ hay polyme cũng đã được áp dụng nhiều nơi trên thế giới cho việc gia cố đất [6, 7]. Bên cạnh đó còn có một số giải pháp kỹ thuật để cứng hóa đất bùn nạo vét như sử dụng thiết bị thoát nước và hút chân không, giải pháp thoát nước tự nhiên, giải pháp trộn chất kết dính vào bùn bằng hệ thống bơm khí nén, sử dụng hệ thống trạm trộn đất bùn nạo vét với vật liệu kết dính.

Như vậy là  $\text{SiO}_2$  vô định hình phản ứng với  $\text{Ca(OH)}_2$  để tạo thành silicat thủy hóa. Chất này, sau một thời gian dài sẽ biến thành silicat thủy hóa kết



Các thành phần thủy hóa ổn định này sau một thời gian sẽ trở thành các thành phần thủy hóa kết tinh và rắn chắc.

### 3. Mô hình vật liệu phục vụ nghiên cứu

#### 3.1. Đất bùn

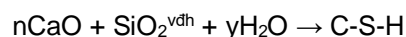
Đất bùn thuộc vùng nước lợ và nước mặn được lấy ở tỉnh Cà Mau thuộc vùng ĐBSCL. Tính

Trong đề tài nghiên cứu sử dụng giải pháp vật liệu gồm xi măng kết hợp với phụ gia khoáng hoạt tính (tro bay và xỉ lò cao) để cứng hóa đất bùn nạo vét tại tỉnh Cà Mau thuộc khu vực ĐBSCL. Trong nghiên cứu đã thí nghiệm với 02 loại đất bùn khác nhau (đất bùn thuộc vùng nước lợ và nước mặn) với các tỷ lệ trộn tro bay và xỉ lò cao khác nhau, thông qua thí nghiệm xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa.

### 2. Cơ sở lý thuyết gia cố đất bùn bằng chất kết dính

Để gia cố đất bùn có thể sử dụng nhiều loại chất kết dính như: xi măng Poocăng, vôi kết hợp với các chất phụ gia như: tro bay, xỉ lò cao, các loại puzzolan tự nhiên hay nhân tạo. Tuy nhiên xi măng vẫn là chất kết dính được sử dụng nhiều và rộng rãi nhất.

Cơ chế của việc cứng hóa và cải tạo đất bằng xi măng Poocăng là hiện tượng keo tụ thông qua các phản ứng trao đổi cation và tạo ra các keo C-S-H thông qua các phản ứng puzzolan trong môi trường đất bùn:



Sau khi trộn với nước các chất liên kết hỗn hợp (như vôi - tro bay, vôi - Puzzolan...) sẽ sinh ra phản ứng sau:

Với chất liên kết vôi - sét khi trộn với nước sẽ có hai phản ứng sau đây sinh ra các thành phần thủy hóa ổn định:

chất cơ lý gồm độ ẩm tự nhiên, khối lượng tự nhiên, khối lượng riêng của bùn khô, các chỉ tiêu Atterberg (giới hạn chảy, giới hạn dẻo, độ sệt), chỉ tiêu lực học (góc ma sát trong, lực dính) của 02 mẫu bùn sử dụng để thí nghiệm cứng hóa được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 1. Chỉ tiêu cơ lý của mẫu bùn thí nghiệm

| Ký hiệu mẫu  | Độ ẩm tự nhiên | Khối lượng thể tích tự nhiên | Khối lượng riêng | Giới hạn Atterberg |              |        | Chỉ tiêu lực học |          | Ký hiệu |
|--------------|----------------|------------------------------|------------------|--------------------|--------------|--------|------------------|----------|---------|
|              |                |                              |                  | Giới hạn chảy      | Giới hạn dẻo | Độ sệt | Góc ma sát trong | Lực dính |         |
|              |                |                              |                  | $W_l$              | $W_p$        | $I_s$  | $J_u$            | $C_u$    |         |
|              | %              | $g/cm^3$                     | $g/cm^3$         | %                  | %            |        | độ               | kPa      |         |
| Bùn nước lợ  | 82.2           | 1.47                         | 2.53             | 72.0               | 41.8         | 1.38   | 2°39'            | 14.0     | BL      |
| Bùn nước mặn | 87.5           | 1.49                         | 2.52             | 69.7               | 39.0         | 1.46   | 3°28'            | 14.9     | BM      |

**3.2. Xi măng**

Đề tài sử dụng xi măng PCB40 Hà Tiên có sẵn ở khu vực ĐBSCL để thiết kế, kết quả thí

nghiệm một số tính chất của xi măng như trong Bảng 2. Xi măng đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 6260:2009.

**Bảng 2. Tính chất của xi măng**

| TT | Chỉ tiêu thí nghiệm                  | Đơn vị            | Kết quả |
|----|--------------------------------------|-------------------|---------|
| 1  | Khối lượng riêng                     | g/cm <sup>3</sup> | 3.10    |
| 2  | Độ mịn (lượng sót trên sàng 0,09 mm) | %                 | 3.65    |
| 3  | Lượng nước tiêu chuẩn                | %                 | 27.5    |
| 4  | Thời gian bắt đầu đông kết           | phút              | 119     |
|    | Thời gian kết thúc đông kết          | phút              | 185     |
| 5  | Độ ổn định thể tích                  | mm                | 3.0     |
| 6  | Giới hạn bền nén tuổi 3 ngày         | N/mm <sup>2</sup> | 23      |
|    | Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày        | N/mm <sup>2</sup> | 44      |

**3.3. Tro bay**

Phụ gia khoáng tro bay của nhà máy nhiệt điện Duyên Hải được sử dụng trong nghiên

cứu. Kết quả thí nghiệm một số tính chất của tro bay ở Bảng 3 đạt yêu cầu theo TCVN1032:2014.

**Bảng 3. Tính chất của tro bay Duyên Hải**

| STT | Chỉ tiêu thí nghiệm                      | Đơn vị            | Kết quả thí nghiệm |
|-----|--|-------------------|--------------------|
| 1   | Độ ẩm                                    | %                 | 0.28               |
| 2   | Khối lượng thể tích xốp                  | kg/m <sup>3</sup> | 944                |
| 3   | Khối lượng riêng                         | g/cm <sup>3</sup> | 2.24               |
| 4   | Hàm lượng mất khi nung                   | %                 | 6.48               |
| 5   | Hàm lượng SiO <sub>2</sub>               | %                 | 56.02              |
| 6   | Hàm lượng Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %                 | 6.61               |
| 7   | Hàm lượng Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | %                 | 22.47              |
| 8   | Hàm lượng SO <sub>3</sub>                | %                 | 0.22               |

**3.4. Xi lò cao hoạt tính**

Trong đề tài sử dụng xỉ lò cao hoạt tính nghiên mìn Hòa Phát, khối lượng riêng 2,90 g/cm<sup>3</sup>; tỷ lệ diện tích bề mặt (độ mịn) 5020 cm<sup>2</sup>/g; chỉ số hoạt tính

cường độ ở tuổi 28 ngày đạt trên 96%; thành phần hóa học cơ bản thể hiện ở Bảng 4 dưới đây. Xi lò cao hoạt tính có các chỉ tiêu cơ lý thỏa mãn TCVN 11586:2016.

**Bảng 4. Thành phần hoá học của xỉ lò cao hoạt tính**

| Thành phần        | SiO <sub>2</sub> | Al <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | Fe <sub>2</sub> O <sub>3</sub> | SO <sub>3</sub> | CaO   | MgO  | K <sub>2</sub> O | Na <sub>2</sub> O | MKN  |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|------|------------------|-------------------|------|
| % theo khối lượng | 35.18            | 16.26                          | 0.25                           | 0.15            | 39.95 | 5.95 | 0.31             | 0.18              | 0.01 |

**3.5. Thiết kế cấp phối đất bùn cứng hóa**

Hàm lượng xi măng được lựa chọn để tiến hành các thí nghiệm với tro bay và xỉ lò cao là 6% khối lượng bùn tự nhiên. Để đảm bảo một số yêu cầu về chỉ tiêu kỹ thuật, hàm lượng tối đa tro bay và xỉ lò cao được phối trộn là 6% khối lượng bùn tươi theo nghiên cứu của Wang và nnk [8], Yadu và nnk [9].

Cấp phối các loại vật liệu thí nghiệm với 2 loại bùn và số lượng cấp phối được tóm tắt trong Bảng 5 bao gồm:

06 cấp phối: 2 loại bùn x 3 hàm lượng tro bay (2%, 4% và 6%): XTB1, XTB2, XTB3, XTB4, XTB5 và XTB6.

06 cấp phối: 2 loại bùn x 3 hàm lượng xỉ lò cao (2%, 4% và 6%): XXLC1, XXLC2, XXLC3, XXLC4, XXLC5 và XXLC6.

06 cấp phối: 2 loại bùn x 3 hàm lượng (tro bay + xỉ lò cao): (2% và 6%), (4% và 4%) và (2% và 6%): XTBXLC1, XTBXLC2, XTBXLC3, XTBXLC4, XTBXLC5 và XTBXLC6.

**Bảng 5. Cấp phối các loại vật liệu thí nghiệm**

| Loại bùn | Ký hiệu mẫu | XM (%) | Xi (%) | Tro bay (%) | Ký hiệu mẫu | XM (%) | Xi (%) | Tro bay (%) | Ký hiệu mẫu | XM (%) | Xi (%) | Tro bay (%) |
|----------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|-------------|--------|--------|-------------|
| Nước lợ  | XTB1        | 6      | 0      | 2           | XXLC1       | 6      | 2      | 0           | XTBXLC1     | 6      | 2      | 6           |
|          | XTB2        | 6      | 0      | 4           | XXLC2       | 6      | 4      | 0           | XTBXLC2     | 6      | 4      | 4           |
|          | XTB3        | 6      | 0      | 6           | XXLC3       | 6      | 6      | 0           | XTBXLC3     | 6      | 6      | 2           |
| Nước mặn | XTB4        | 6      | 0      | 2           | XXLC4       | 6      | 2      | 0           | XTBXLC4     | 6      | 2      | 6           |
|          | XTB5        | 6      | 0      | 4           | XXLC5       | 6      | 4      | 0           | XTBXLC5     | 6      | 4      | 4           |
|          | XTB6        | 6      | 0      | 6           | XXLC6       | 6      | 6      | 0           | XTBXLC6     | 6      | 6      | 2           |

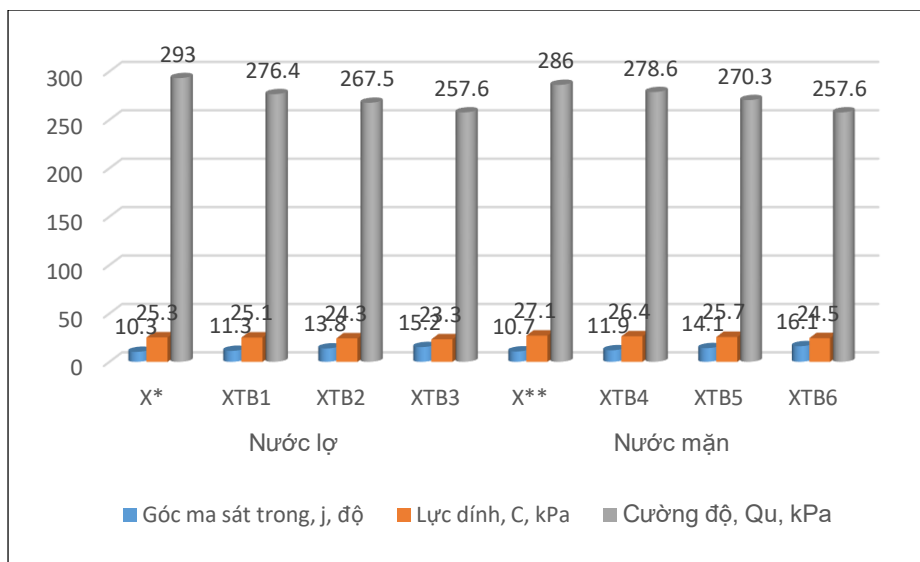
Phối trộn các mẫu thí nghiệm trong bảng 5 theo đúng tiêu chuẩn, xác định các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn sau khi xử lý cứng hóa bằng tro bay, xỉ lò cao và kết hợp tro bay với xỉ lò cao như: độ ẩm tự nhiên, góc ma sát trong, lực dính, cường độ... Trong thí nghiệm sử dụng mẫu đối chứng (*xử lý cứng hóa đất bùn bằng 6% xỉ măng*): ký hiệu là X\* tương ứng với bùn nước lợ và X\*\* tương ứng với bùn nước mặn để so sánh các kết quả thí nghiệm dưới đây.

**4. Kết quả thí nghiệm và nhận xét**

Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của 06 cấp phối bùn, xỉ măng và tro bay được tổng hợp trong Bảng 6. Kết quả thí nghiệm của 06 cấp phối bùn, xỉ măng và xỉ lò cao hoạt tính được tổng hợp trong Bảng 7. Kết quả thí nghiệm của 06 cấp phối bùn, xỉ măng và kết hợp tro bay với xỉ lò cao hoạt tính được tổng hợp trong Bảng 8 dưới đây.

**Bảng 6. Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM và tro bay**

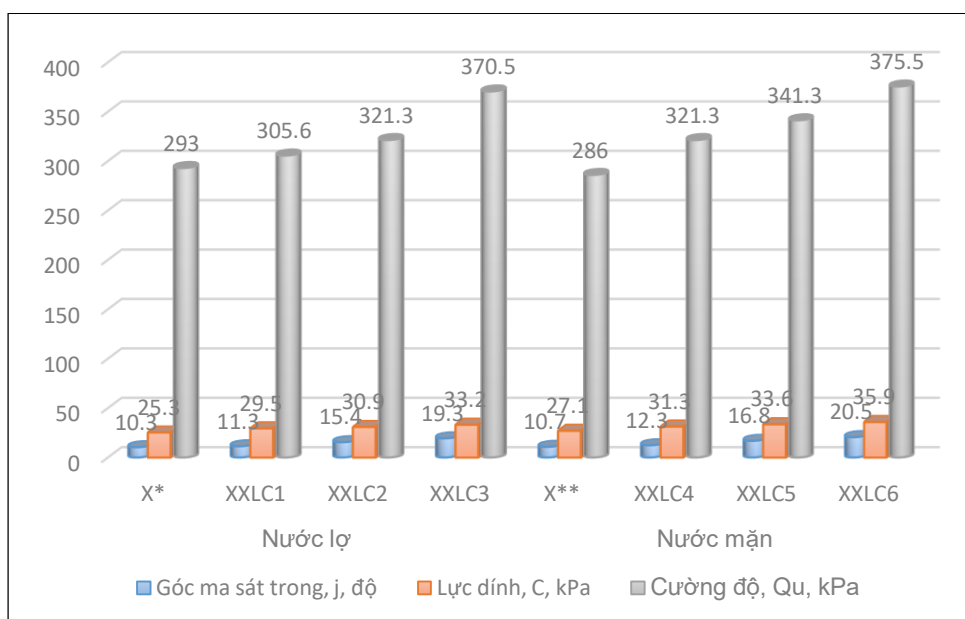
| Loại bùn | Ký hiệu mẫu | Xi măng (%) | Tro bay (%) | Độ ẩm tự nhiên | Giới hạn chảy  | Giới hạn dẻo   | Độ sệt         | Góc ma sát trong | Lực dính    | Cường độ       |
|----------|-------------|-------------|-------------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------------|----------------|
|          |             |             |             | W              | W <sub>L</sub> | W <sub>P</sub> | I <sub>s</sub> | φ                | C           | Q <sub>u</sub> |
|          |             |             |             | %              | %              | %              | %              | °                | kPa         | kPa            |
| Nước lợ  | <b>X*</b>   | <b>6</b>    | <b>0</b>    | <b>86.9</b>    | <b>98.9</b>    | <b>68.6</b>    | <b>0.6</b>     | <b>10.3</b>      | <b>25.3</b> | <b>293.0</b>   |
|          | XTB1        | 6           | 2           | 85.8           | 100.0          | 69.2           | 0.5            | 11.3             | 25.1        | 276.4          |
|          | XTB2        | 6           | 4           | 83.9           | 95.9           | 72.3           | 0.5            | 13.8             | 24.3        | 267.5          |
|          | XTB3        | 6           | 6           | 83.9           | 96.7           | 74.3           | 0.4            | 15.2             | 23.3        | 257.6          |
| Nước mặn | <b>X**</b>  | <b>6</b>    | <b>0</b>    | <b>83.8</b>    | <b>100.5</b>   | <b>68.2</b>    | <b>0.5</b>     | <b>10.7</b>      | <b>27.1</b> | <b>286.0</b>   |
|          | XTB4        | 6           | 2           | 85.9           | 108.9          | 69.2           | 0.4            | 11.9             | 26.4        | 278.6          |
|          | XTB5        | 6           | 4           | 85.8           | 112.2          | 70.3           | 0.4            | 14.1             | 25.7        | 270.3          |
|          | XTB6        | 6           | 6           | 86.9           | 117.1          | 72.5           | 0.3            | 16.1             | 24.5        | 257.6          |



**Hình 1. Biểu đồ so sánh góc ma sát trong, lực dính và cường độ của các mẫu đất bùn cứng hóa bằng XM+TB**

**Bảng 7. Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM và xỉ lò cao**

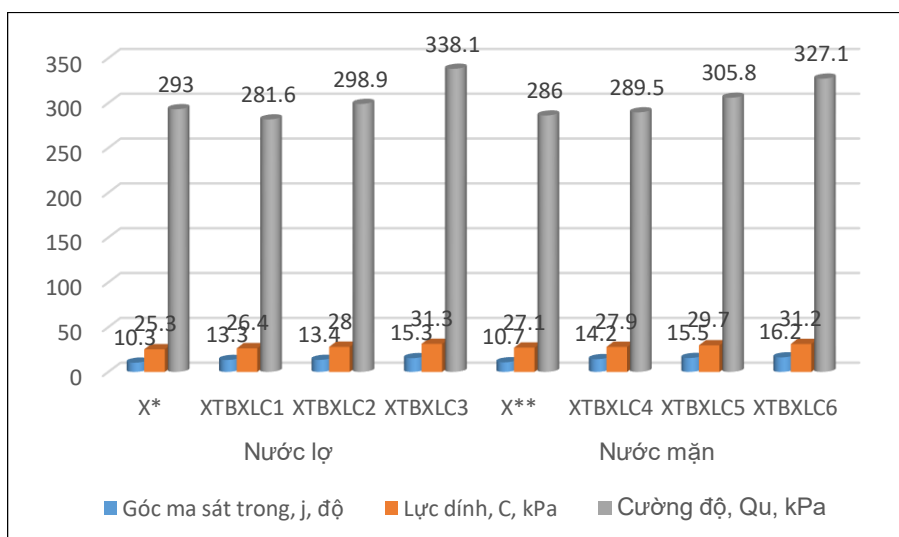
| Loại bùn | Ký hiệu mẫu | Xi măng  | Xỉ lò cao | Độ ẩm tự nhiên | Giới hạn chảy  | Giới hạn dẻo   | Độ sệt         | Góc ma sát trong | Lực dính    | Cường độ       |
|----------|-------------|----------|-----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------------|----------------|
|          |             |          |           | W              | W <sub>L</sub> | W <sub>P</sub> | I <sub>s</sub> | φ                | C           | Q <sub>u</sub> |
|          |             |          |           | %              | %              | %              |                | °                | kPa         | kPa            |
| Nước lợ  | <b>X*</b>   | <b>6</b> | <b>0</b>  | <b>86.9</b>    | <b>98.9</b>    | <b>68.6</b>    | <b>0.6</b>     | <b>10.3</b>      | <b>25.3</b> | <b>293.0</b>   |
|          | XXLC1       | 6        | 2         | 82.2           | 93.6           | 67.1           | 0.6            | 11.3             | 29.5        | 305.6          |
|          | XXLC2       | 6        | 4         | 82.2           | 101.3          | 68.1           | 0.4            | 15.4             | 30.9        | 321.3          |
|          | XXLC3       | 6        | 6         | 82.2           | 102.8          | 70.1           | 0.4            | 19.3             | 33.2        | 370.5          |
| Nước mặn | <b>X**</b>  | <b>6</b> | <b>0</b>  | <b>83.8</b>    | <b>100.5</b>   | <b>68.2</b>    | <b>0.5</b>     | <b>10.7</b>      | <b>27.1</b> | <b>286.0</b>   |
|          | XXLC4       | 6        | 2         | 87.5           | 103.0          | 76.3           | 0.4            | 12.3             | 31.3        | 321.3          |
|          | XXLC5       | 6        | 4         | 87.5           | 103.6          | 76.8           | 0.4            | 16.8             | 33.6        | 341.3          |
|          | XXLC6       | 6        | 6         | 87.5           | 105.1          | 78.0           | 0.4            | 20.5             | 35.9        | 375.5          |



**Hình 2. Biểu đồ so sánh góc ma sát trong, lực dính và cường độ của các mẫu đất bùn cứng hóa bằng XM+XLC**

**Bảng 8. Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM, tro bay và xỉ lò cao**

| Loại bùn | Ký hiệu mẫu | Xi măng  | Xỉ lò cao | Tro bay  | Độ ẩm tự nhiên | Giới hạn chảy  | Giới hạn dẻo   | Độ sệt         | Góc ma sát trong | Lực dính    | Cường độ       |
|----------|-------------|----------|-----------|----------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|-------------|----------------|
|          |             |          |           |          | W              | W <sub>L</sub> | W <sub>P</sub> | I <sub>s</sub> | φ                | C           | Q <sub>u</sub> |
|          |             |          |           |          | %              | %              | %              |                | độ               | kPa         | kPa            |
| Nước lợ  | <b>X*</b>   | <b>6</b> | <b>0</b>  | <b>0</b> | <b>86.9</b>    | <b>98.9</b>    | <b>68.6</b>    | <b>0.6</b>     | <b>10.3</b>      | <b>25.3</b> | <b>293.0</b>   |
|          | XTBXLC1     | 6        | 2         | 6        | 82.2           | 93.7           | 70.7           | 0.5            | 13.3             | 26.4        | 281.6          |
|          | XTBXLC2     | 6        | 4         | 4        | 82.2           | 96.4           | 70.2           | 0.5            | 13.4             | 28.0        | 298.9          |
|          | XTBXLC3     | 6        | 6         | 2        | 82.2           | 97.2           | 69.7           | 0.5            | 15.3             | 31.3        | 338.1          |
| Nước mặn | <b>X**</b>  | <b>6</b> | <b>0</b>  | <b>0</b> | <b>83.8</b>    | <b>100.5</b>   | <b>68.2</b>    | <b>0.5</b>     | <b>10.7</b>      | <b>27.1</b> | <b>286.0</b>   |
|          | XTBXLC4     | 6        | 2         | 6        | 87.5           | 109.8          | 74.4           | 0.4            | 14.2             | 27.9        | 289.5          |
|          | XTBXLC5     | 6        | 4         | 4        | 87.5           | 109.8          | 73.6           | 0.4            | 15.5             | 29.7        | 305.8          |
|          | XTBXLC6     | 6        | 6         | 2        | 87.5           | 109.7          | 73.6           | 0.4            | 16.2             | 31.2        | 327.1          |



**Hình 3.** Biểu đồ so sánh góc ma sát trong, lực dính và cường độ của các mẫu đất bùn cứng hóa bằng XM+TB+XLC

Từ kết quả thí nghiệm các tính chất của đất bùn cứng hóa bằng xi măng và phụ gia khoáng (tro bay, xỉ lò cao) ở trong Bảng 6, 7 và 8, tiến hành lựa chọn được 02 cấp phối: XTB3 và XTB6 có trong các cấp phối xi măng và tro bay (6% XM và 6% TB), tương tự với các cấp phối xi măng và

xỉ lò cao là: XXLC3 và XXLC6 (6% XM và 6% XLC); cấp phối xi măng, tro bay và xỉ lò cao là: XTBXLC3 và XTBXLC6 (6% XM + 6% XLC + 2% TB) để tiến hành thí nghiệm hệ số thấm và khối lượng thể tích, kết quả thí nghiệm được trình bày trong Bảng 9.

**Bảng 9.** Kết quả thí nghiệm hệ số thấm và khối lượng thể tích của các cấp phối lựa chọn

| Ký hiệu mẫu | Hệ số thấm, Kt, $\times 10^{-8}$ m/s | Khối lượng thể tích, $g/cm^3$ |
|-------------|--------------------------------------|-------------------------------|
| XTB3        | 7.30                                 | 1.45                          |
| XTB6        | 6.60                                 | 1.45                          |
| XXLC3       | 6.30                                 | 1.46                          |
| XXLC6       | 6.10                                 | 1.45                          |
| XTBXLC3     | 5.50                                 | 1.47                          |
| XTBXLC6     | 4.10                                 | 1.48                          |

Từ các kết quả thí nghiệm ở Bảng 6, 7, 8 nhận thấy:

+ Đất bùn ở các vùng nước khác nhau gồm nước lợ và nước mặn không ảnh hưởng quá lớn đến việc cứng hóa bùn bằng (xi măng + tro bay), (xi măng + xỉ lò cao) và (xi măng + xỉ lò cao + tro bay);

+ Sử dụng phương pháp cứng hóa bùn bằng hỗn hợp (xi măng + tro bay): Làm giảm cường độ, lực dính so với khi chỉ sử dụng riêng 6% hàm lượng xi măng (cấp phối X\*), điều này là do tro bay không tự thủy phân thủy hóa được trong bùn, các phản ứng pozzolanic khó diễn ra nếu chưa có sự thủy phân thủy hóa của xi măng (thành phần khoáng vật  $C_3S$  của xi măng) để tạo ra  $Ca(OH)_2$ .

Độ sệt có được cải thiện tuy nhiên kể cả với 6% tro bay thì độ sệt cải thiện không lớn đối với cả hai loại bùn khi mà bùn nước lợ có độ sệt đáp ứng sát

yêu cầu tối thiểu 0.5 của đề tài đặt ra. Góc ma sát trong được cải thiện với tất cả các hàm lượng tro bay sử dụng.

Cường độ của đất bùn cứng hóa bằng 6% xi măng kết hợp với 2%, 4% và 6% tro bay sẽ giảm so với mẫu đối chứng (không sử dụng tro bay, chỉ sử dụng 6% xi măng: mẫu X\*) lần lượt là 5.75, 8.7 và 12.08% với đất bùn nước lợ; 2.59, 5.49 và 9.93% với đất bùn nước mặn (so với mẫu X\*\*).

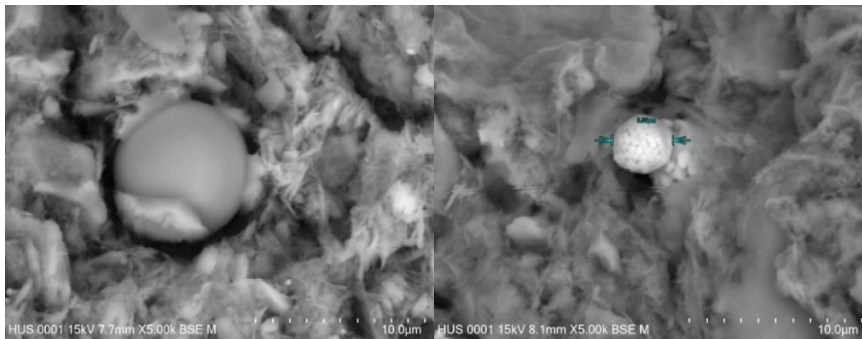
+ Sử dụng phương pháp cứng hóa bùn bằng (xi măng + xỉ lò cao): Sử dụng 6% xi măng với các hàm lượng xỉ lò cao giúp cải thiện các chỉ tiêu cơ lý của bùn cứng hóa. Cụ thể là làm giảm độ sệt, đáp ứng được yêu cầu độ sệt cho phép nhỏ hơn 0.5 khi sử dụng 6% xỉ lò cao, góc ma sát vượt yêu cầu đề ra (đạt từ  $11^\circ$  đến  $18^\circ$ ), lực dính đạt được lớn hơn 32 kPa, cường độ chịu

nén đạt 370.5 đến 375.5 kPa. Cường độ của đất bùn cứng hóa bằng 6% xi măng kết hợp với 2%, 4% và 6% xỉ lò cao sẽ làm tăng cường độ so với mẫu đối chứng (không sử dụng xỉ lò cao, chỉ sử dụng 6% xi măng: mẫu X\*) lần lượt là 4.3, 9.66 và 26.45% với đất bùn nước lợ; 12.34, 19.34 và 31.29% với đất bùn nước mặn (so với mẫu X\*\*);

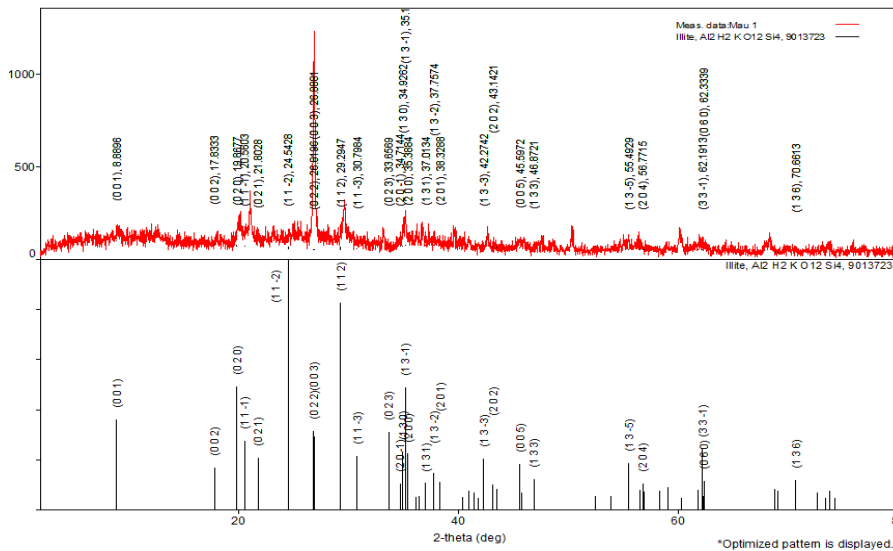
+ Sử dụng phương pháp cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay): Việc sử dụng tro bay vào hỗn hợp có tác dụng cải thiện độ sệt rở rệt so với khi chỉ sử dụng xi măng và xỉ lò cao, tuy nhiên tro bay cản trở quá trình thủy hóa của xỉ lò cao và xi măng do đó cường độ chịu nén và lực dính khi sử dụng 6% tro bay không đạt được như việc sử dụng hỗn hợp chỉ có (xi măng + xỉ lò cao). Cường độ của đất bùn cứng hóa bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) chỉ tăng so với mẫu đối chứng khi hàm lượng tro bay nhỏ hơn 6%;

+ Từ kết quả thí nghiệm hệ số thấm ở Bảng 9 cho thấy việc sử dụng phương pháp cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) cho hệ số thấm của đất bùn được cứng hóa là thấp nhất,  $K_f = 4.1 \times 10^{-8}$  đến  $5.5 \times 10^{-8}$  m/s. Như vậy, đất bùn sau khi được cứng hóa bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) thỏa mãn các điều kiện làm đất đắp san lấp nền hay đắp bờ bao thay thế cát cho các khu vực ĐBSCL.

Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) mẫu bùn cứng hóa (Bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao) cho thấy các tinh thể C-S-H là sản phẩm thủy hóa của xi măng, xỉ lò cao và tro bay, cấu trúc được lấp đầy. Xuất hiện các tinh thể  $CaCO_3$  màu trắng do phản ứng của  $CO_2$  và CaO là sản phẩm thủy hóa của xi măng khi khoáng vật của xi măng thủy phân thủy hóa và hình thành quá trình cacbonat hóa.



**Hình 4. Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) mẫu bùn cứng hóa (Bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao)**



**Hình 5. Kết quả phân tích nhiệt vi sai XRD mẫu bùn cứng hóa (Bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao)**

Kết quả phân tích XRD (nhiều xạ tia X) mẫu bùn cứng hóa (bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao) được trình bày trong Hình 2. Kết quả phân tích XRD cho

thấy chủ yếu là các khoáng vật trong đất sét (K,  $H_2O$ , Al, Mg, Fe, Si, Al, OH). Các khoáng tạo ra từ phản ứng thủy hóa của xi măng và phụ gia khoáng chưa

xuất hiện rõ ràng do tỷ lệ các thành phần vật liệu xi măng và phụ gia khoáng không lớn trong hỗn hợp bùn cứng hóa.

### 5. Kết luận và kiến nghị

Cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + tro bay) làm giảm cường độ, lực dính so với mẫu chỉ sử dụng xi măng (mẫu đối chứng  $X^*$  và  $X^{**}$ ). Cứng hóa đất bùn bằng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao) làm tăng cường độ, lực dính so với mẫu chỉ sử dụng xi măng. Khi sử dụng hỗn hợp (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) với hàm lượng xỉ lò cao bằng hoặc nhiều hơn hàm lượng tro bay, thì cường độ của đất bùn cứng hóa tăng lên. Đặc biệt là hệ số thấm của đất bùn cứng hóa giảm khá nhiều so với đất bùn cứng hóa chỉ sử dụng phụ gia khoáng là tro bay, giảm từ  $6.7 \times 10^{-8}$  m/s xuống còn  $4.1 \times 10^{-8}$  m/s.

Cần tiếp tục khảo sát và thí nghiệm sự kết hợp với các phụ gia hóa học như MgO hoặc  $\text{CaSO}_4 \cdot 2\text{H}_2\text{O}$  cùng hỗn hợp (xi măng + tro bay), (xi măng + xỉ lò cao) và (xi măng + xỉ lò cao + tro bay) để cải thiện các tính chất cơ lý của đất bùn cứng hóa, đáp ứng các chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa phục vụ cho mục đích xây dựng như làm vật liệu thay thế cát để san lấp mặt bằng và đắp bờ bao trong các công trình thủy lợi và nuôi trồng thủy sản tại vùng ĐBSCL.

Với những kết quả nghiên cứu còn hạn chế cho giải pháp cứng hóa đất bùn, nhưng có thể thấy hiệu quả đáng kể và tính khả thi trong xử lý, tái sử dụng nguồn vật liệu bùn thải. Tuy nhiên, vẫn cần các nghiên cứu tiếp tục và thí nghiệm nhiều hơn nữa với nhiều điều kiện, cấp phối và chất kết dính khác nhau để có thể đánh giá hiệu quả và khả năng làm việc lâu dài của vật liệu bùn cứng hóa.

### TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] D. N. Little and N. Syam (2006), "Introduction to Soil Stabilization, Understanding the Basics of Soil Stabilization: An Overview of Materials and Techniques," *Caterpillar*, vol. 7, no. January, pp. 1-16.
- [2] D. Wang, N. E. Abriak, and R. Zentar (2013), "Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash," *Eng. Geol.*, vol. 166, pp. 90-99.
- [3] F. Al-Ajmi, H. Abdalla, M. Abdelghaffar, and J. Almatawah (2016), "Strength Behavior of Mud Brick in Building Construction," *Open J. Civ. Eng.*, vol. 6, no. 3, p. 482.
- [4] M. D. Liu and S. Pemberton (2010), "A study of the strength of lime treated soft clays," *Int. Symp. Exhib. Geotech. Geosynth. Eng. Challenges Oppor. Clim. Chang.*, no. December, pp. 245-251.
- [5] Y. Yi, C. Li, S. Liu, and M. Asce (2010), "Alkali-Activated Ground-Granulated Blast Furnace Slag for Stabilization of Marine Soft Clay," *J. Materail Civ. Eng.*, vol. 11, no. 4, pp. 246-250.
- [6] S. Rezaeimalek, A. Nasouri, J. Huang, S. Bin-Shafique, and S. T. Gilazghi (2017), "Comparison of short-term and long-term performances for polymer-stabilized sand and clay," *J. Traffic Transp. Eng. (English Ed.)*, vol. 4, no. 2, pp. 145-155.
- [7] S. Soleimani, S. Rajaei, P. Jiao, A. Sabz, and S. Soheilinia (2018), "New prediction models for unconfined compressive strength of geopolymer stabilized soil using multi-gen genetic programming," *Measurement*, vol. 113, pp. 99-107.
- [8] Wang D., Abriak N.E., and Zentar R. (2013). *Strength and deformation properties of Dunkirk marine sediments solidified with cement, lime and fly ash. Engineering Geology*, 166, 90-99.
- [9] Yadu L. and Tripathi R.K. (2013). *Effects of Granulated Blast Furnace Slag in the Engineering Behaviour of Stabilized Soft Soil. Procedia Engineering*, 51, 125-131.
- [10] Hadi M.N.S., Farhan N.A., and Sheikh M.N. (2017). *Design of geopolymer concrete with GGBFS at ambient curing condition using Taguchi method. Construction and Building Materials*, 140, 424-431.
- [11] Huang Y. and Lin Z.S. (2010). *Investigation on phosphogypsum-steel slag-granulated blast-furnace slag-limestone cement. Construction and Building Materials*, 24, 1296-1301.
- [12]. K. T. Rukenya, K. J. Wambua, K. Charles, and T. George (2017), "Soil Stabilization Using Rice Husk Ash and Natural Lime as an Alternative to Cutting and Filling in Road Construction," *J. Constr. Eng. Manag.*, vol. 143, no. 5, p. 4016127, May.
- [13]. S. Alsafi, N. Farzadnia, A. Asadi, and B. K. Huat (2017), "Collapsibility potential of gypseous soil stabilized with fly ash geopolymer; characterization and assessment," *Constr. Build. Mater.*, vol. 137, pp. 390-409.
- [14]. Yi Y., Liska M., and Al-Tabbaa A. (2014). *Properties of Two Model Soils Stabilized with Different Blends and Contents of GGBS, MgO, Lime, and PC. Journal of Materials in Civil Engineering*, 26(2), 267-274.
- [15]. Wang D., Zhu J., and He F. (2019). *CO<sub>2</sub> carbonation-induced improvement in strength and microstructure of reactive MgO-CaO-fly ash-solidified soils. Construction and Building Materials*.

Ngày nhận bài: 28/10/2022.

Ngày nhận bài sửa: 16/11/2022.

Ngày chấp nhận đăng: 17/11/2022.



