

NGHIÊN CỨU ẢNH HƯỞNG CỦA HÀM LƯỢNG XI MĂNG VÀ MAGIÊ OXYT ĐẾN MỘT SỐ TÍNH CHẤT CỦA ĐẤT Bùn CỨNG HÓA TẠI TỈNH CÀ MAU

RESEARCH ON EFFECTS OF THE CEMENT AND MAGNESIUM OXIDE CONTENTS ON SOME CHARACTERISTICS OF STABILIZED DREDGING SOIL IN CA MAU PROVINCE

NGUYỄN QUANG PHÚ^{a*}

^aTrường đại học Thủy lợi

*Corresponding author: email: phuvlxd99@gmail.com

Article history: Received 28/4/2023, Revised 15/6/2023, Accepted 30/6/2023

<https://doi.org/10.59382/j-ibst.2023.vi.vol2-4>

Tóm tắt: Sử dụng hỗn hợp xi măng kết hợp với các phụ gia gồm (tro bay, xỉ lò cao và magiê oxyt) 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 + xỉ lò cao + magiê oxyt) để cứng hóa đất bùn ở các vùng nước lợ và nước mặn tại tỉnh Cà Mau thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long. Kết quả thí nghiệm cho thấy khi cứng hóa bùn nạo vét với hàm lượng 6% xi măng kết hợp với hỗn hợp xỉ lò cao, tro bay và MgO, thì độ sệt, góc ma sát trong, lực dính và cường độ nén của hỗn hợp bùn cứng hóa được cải thiện. Tỷ lệ hàm lượng MgO càng cao thì độ sệt càng giảm; góc ma sát trong, lực dính và cường độ nén của bùn cứng hóa càng lớn. Tuy nhiên, để cân đối với yêu cầu thiết kế đất bùn sau cứng hóa để ra thì nhận thấy: Với tỷ lệ 4% tro bay, 2% xỉ lò cao và 0,5% MgO đã đáp ứng yêu cầu thiết kế, chất lượng của hỗn hợp bùn sau cứng hóa đạt yêu cầu theo TCVN 8217:2009, tương đương với đất trạng thái dẻo cứng ($0.25 < I_L < 0.5$ thì $C_{tc} = 32 \div 57$ kPa và $\varphi = 11 \div 18^\circ$). Với chất lượng đất bùn cứng hóa như vậy sẽ đáp ứng được yêu cầu thay thế cát cho vật liệu đắp bờ bao, đê bao và các công việc khác tại Cà Mau nói riêng, toàn vùng đồng bằng sông Cửu Long nói chung.

Từ khóa: xi măng; Magiê oxyt; xỉ lò cao hoạt tính; tro bay; đất bùn cứng hóa.

Abstract: Using a mixture of cement combined with additives including (fly ash, blast furnace slag and magnesium oxide) to harden dredged silt as a substitute for sand is necessary in construction areas where sand resources are scarce nature. In the study, the mixtures (cement + fly ash + ground blast furnace slag + magnesium oxide) were used to harden mud in brackish and salt water areas in Ca Mau province of the Mekong Delta. The experimental results show that when hardening dredged sludge

with content of 6% Cement combined with a mixture of ground blast furnace slag, fly ash and MgO, the viscosity, internal friction angle, adhesive force and compressive strength of the mixture sludge solidification will improve. The higher the ratio of MgO content, the lower the viscosity; the greater the internal friction angle, adhesive force and compressive strength of the hardened sludge. However, in order to balance the design requirements of the sludge after hardening, it was found that: With the rate of 4% fly ash, 2% ground blast furnace slag and 0.5% MgO, the design requirements were met, the quality of the dredging soil after hardening meets the requirements according to TCVN 8217:2009, equivalent to the hard plastic state ($0.25 < I_L < 0.5$, $C_{tc} = 32 \div 57$ kPa and $\varphi = 11 \div 18^\circ$). With such hardening mud quality, it will meet the requirement of replacing sand for embankment, embankment and other works in Ca Mau in particular, and the whole Mekong Delta in general.

Keywords: cement; magnesium oxide; ground blast furnace slag; fly ash; stabilized dredging soil.

1. Đặt vấn đề

Với tốc độ xây dựng như hiện nay thì nguồn tài nguyên cát bị khai thác một cách cạn kiệt, đã đến mức báo động về việc thiếu cát cho xây dựng một cách trầm trọng. Hiện tượng khai thác tài nguyên cát quá mức dẫn đến sói mòn và sạt lở sông ngòi, làm mất cân bằng sinh thái. Trước tình hình cát ngày càng cạn kiệt, dẫn đến giá cát xây dựng biến động, nhiều ý kiến chuyên gia cho rằng, cần phải đưa ra giải pháp kịp thời, phù hợp để tiết kiệm và bảo vệ nguồn tài nguyên hữu hạn này.

Theo Quy hoạch tổng thể phát triển vật liệu xây dựng (VLXD) của Hiệp hội Xây dựng, nhu cầu cát

xây dựng của nước ta năm 2015 là 92 triệu m³/năm và năm 2020 tăng lên 130 triệu m³/năm. Trong những năm tiếp theo, nhu cầu xây dựng tăng rất nhanh, vì vậy để đáp ứng nhu cầu này về lâu dài rất khó, bởi cát là nguồn tài nguyên ít tái tạo.

Trong những năm gần đây tình hình khan hiếm cát xây dựng đã xảy ra trên toàn quốc do nhu cầu xây dựng phát triển rất nhanh, do tình hình giá cát tăng đột biến, để góp phần giải quyết việc bảo đảm cung cầu về cát xây dựng và bình ổn giá cát, Bộ Xây dựng đã đề xuất và kiến nghị với Thủ tướng Chính phủ một số giải pháp, trong đó: Các Bộ, Ngành và địa phương cần tăng cường triển khai thực hiện Quyết định số 452/QĐ-TTg ngày 12/4/2017 của Thủ tướng Chính phủ phê duyệt Đề án đẩy mạnh xử lý, sử dụng tro, xỉ, thạch cao của các nhà máy nhiệt điện, hóa chất, phân bón làm nguyên liệu sản xuất VLXD và trong công trình xây dựng; trong đó có việc sử dụng phế thải tro bay làm vật liệu san lấp thay thế cát tự nhiên.

Hội nghị về phát triển bền vững ĐBSCL thích ứng với biến đổi khí hậu ngày 26 và 27 tháng 9 năm 2017; Chính phủ đã ban hành nghị quyết về “*Phát triển bền vững ĐBSCL thích ứng với biến đổi khí hậu*”, theo Nghị quyết số 120/NQ-CP ngày 17/11/2017 của Chính phủ, trong đó có nội dung: “*Nghiên cứu tạo nguồn vật liệu mới thay thế, phục vụ san lấp, xây dựng (hạn chế việc lấy cát từ lòng sông để tôn nền). Quy hoạch và đầu tư các khu xử lý chất thải, nước thải tập trung, hiện đại; đẩy mạnh tái chế, tái sử dụng và sản xuất năng lượng từ rác*”. Do vậy, *giải pháp cứng hóa đất bùn nạo vét để thay thế cát san nền*

của vùng đồng bằng sông Cửu Long (ĐBSCL) là giải pháp có tính khả quan.

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) và magiê oxyt để cứng hóa đất bùn nạo vét tại tỉnh Cà Mau thuộc khu vực ĐBSCL. Thông qua các thí nghiệm, xác định được tỷ lệ vật liệu hợp lý để đất bùn sau cứng hóa có chất lượng đạt yêu cầu theo TCVN 8217:2009, tương đương với đất trạng thái dẻo cứng với các chỉ tiêu kỹ thuật như: độ sệt: $0.25 < I_L < 0.5$, lực dính $C_{tc} = 32 \div 57$ kPa, cường độ nén: $Q_u = 200 \div 400$ kPa và góc ma sát trong $\varphi = 11 \div 18^\circ$. Đất bùn sau khi được xử lý cứng hóa có thể ứng dụng trong san lấp mặt bằng, đắp bờ bao, đê bao thay thế cát tự nhiên. Trong nghiên cứu đã thí nghiệm với 02 loại đất bùn khác nhau tại tỉnh Cà Mau (*đất bùn thuộc vùng nước lợ và nước mặn*) với các tỷ lệ trộn xi măng, tro bay, xỉ lò cao và magiê oxyt khác nhau, thông qua thí nghiệm xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật của đất bùn cứng hóa thỏa mãn các yêu cầu kỹ thuật thiết kế.

2. Vật liệu sử dụng nghiên cứu

2.1 Đất bùn

Đất bùn thuộc vùng nước lợ và nước mặn được lấy ở tỉnh Cà Mau thuộc vùng đồng bằng sông Cửu Long. Tính 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_L | φ | C | |
| | W | γ_w | ρ_s | W_L | W_p | I_L | φ | C | |
| | % | 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 |

2.2 Xi măng

Đề tài sử dụng xi măng PCB40 Hà Tiên có sẵn ở tỉnh Cà Mau, thuộc 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.

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

Bảng 2. Tính chất của xi măng PCB40 Hà Tiên

| TT | Chỉ tiêu thí nghiệm | Đơn vị | Kết quả TNo |
|----|--------------------------------------|-------------------|-------------|
| 1 | Khối lượng riêng | g/cm ³ | 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 ² | 23 |
| | Giới hạn bền nén tuổi 28 ngày | N/mm ² | 44 |

2.3 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 TCVN 10302:2014.

Bảng 3. Tính chất của tro bay Duyên Hải

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

2.4 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/cm³; tỷ lệ diện tích bề mặt (độ mịn) 5020 cm²/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 ₂ | Al ₂ O ₃ | Fe ₂ O ₃ | SO ₃ | CaO | MgO | K ₂ O | Na ₂ O | MKN |
|-------------------|------------------|--------------------------------|--------------------------------|-----------------|-------|------|------------------|-------------------|------|
| % theo khối lượng | 35.18 | 16.26 | 0.25 | 0.15 | 39.95 | 5.95 | 0.31 | 0.18 | 0.01 |

2.5 Magiê oxit (MgO)

MgO được sử dụng trong nghiên cứu là MgO công nghiệp. Kết quả thí nghiệm các tính chất của

Magiê oxit sử dụng trong thí nghiệm được trình bày trong bảng 5 đạt yêu cầu kỹ thuật theo TCVN 7709:2007.

Bảng 5. Kết quả thí nghiệm tính chất của Magiê oxit

| TT | Các chỉ tiêu | Đơn vị | Kết quả TNo | Qui định TCVN 7709:2007 |
|----|-----------------------|--------|---------------|-------------------------|
| 1 | Hàm lượng MgO | % | 85,26 | ≥80 |
| 2 | Màu sắc | | Bột màu trắng | |
| 3 | Cỡ hạt qua sàng 0.5mm | % | 100 | 100 |
| 4 | Cỡ hạt qua sàng 0.075 | % | 62 | ≥50 |

3. Kết quả thí nghiệm và nhận xét

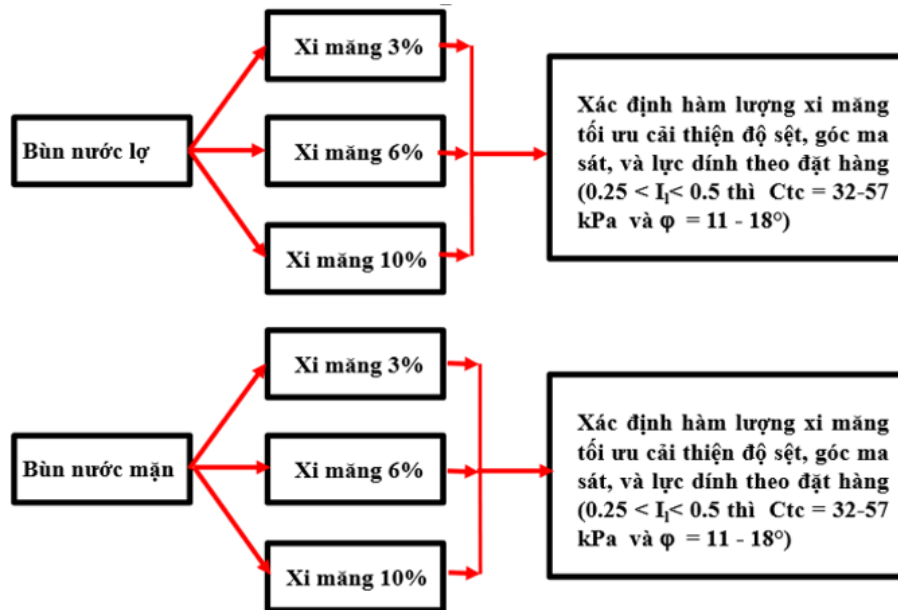
3.1 Ảnh hưởng của hàm lượng xi măng đến tính chất đất bùn sau cứng hóa

Trong nghiên cứu, đề tài khảo sát hàm lượng xi măng hợp lý để cứng hóa đất bùn nạo vét sao cho đảm bảo tối thiểu các yêu cầu kỹ thuật của bùn sau cứng hóa đạt được có thể ứng dụng trong san lấp

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

mặt bằng, đắp bờ bao, đê bao thay thế cát tự nhiên. Trên cơ sở đó để đánh giá hiệu quả và kết hợp với các loại phụ gia khác trong cứng hóa bùn, nhằm giảm

giá thành xây dựng. Xác định hàm lượng tối ưu khi sử dụng xi măng cho việc cứng hóa bùn với các mẫu thí nghiệm như sơ đồ sau:



Hình 1. Sơ đồ thiết kế cấp phối cứng hóa đất bùn sử dụng xi măng

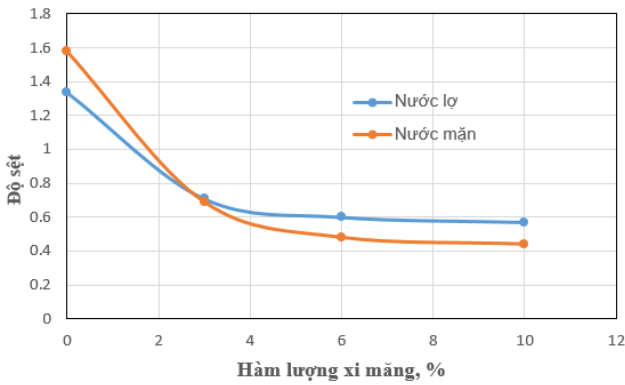
Hàm lượng xi măng được lựa chọn cho việc thiết kế cấp phối là từ 0 đến 10% khối lượng của đất bùn, việc lựa chọn này dựa trên các kiến nghị đối với nền đất yếu đề xuất của Hiệp hội Công binh Hoa Kỳ [5] kiến nghị chọn hàm lượng xi măng lớn nhất là 11% so với khối lượng đất khô. Tuy nhiên, bùn trầm tích nạo vét tại tỉnh Cà Mau không phù hợp theo các phân loại trên. Cũng như kiến nghị trên phù hợp với việc sử dụng vật liệu kết dính duy nhất là xi măng, còn trong đề tài nhằm nghiên cứu tìm ra một cấp phối sử dụng nhiều vật liệu kết dính tối ưu, nên việc lựa chọn

3 hàm lượng xi măng là 3%, 6% và 10% khối lượng bùn ở trạng thái tự nhiên để thí nghiệm.

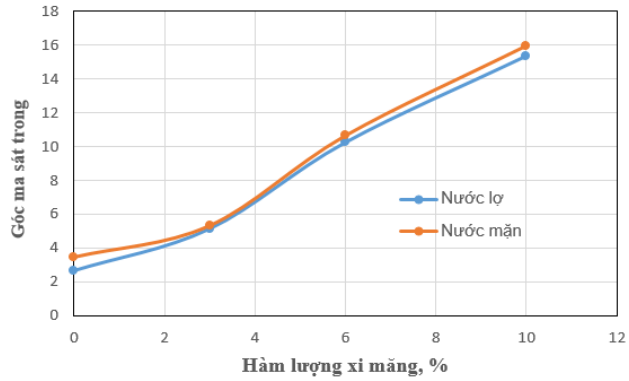
Tiến hành phối trộn các cấp phối thí nghiệm bùn nạo vét và các tỷ lệ xi măng như trên, đúc mẫu và bảo dưỡng mẫu theo TCVN. Thí nghiệm xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật của bùn cứng hóa chỉ sử dụng chất kết dính (CKD) là xi măng. Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của các cấp phối bùn cứng hóa bằng xi măng được tổng hợp trong bảng 6.

Bảng 6. Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng xi măng

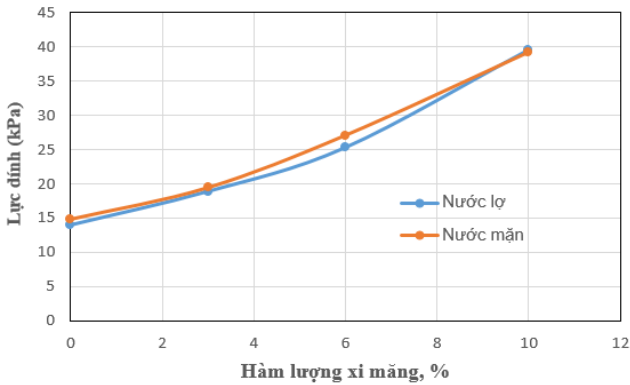
| Loại bùn | Ký hiệu mẫu | Xi măng | Độ ẩm tự nhiên | Giới hạn chảy | Giới hạn dẻo | Độ sệt | Góc ma sát trong | Lực dính | Cường độ |
|----------|-------------|---------|----------------|----------------|----------------|----------------|------------------|----------|----------------|
| | | | W | W _L | W _P | I _L | φ | C | Q _u |
| | | | % | % | % | | ° | kPa | kPa |
| Nước lợ | Đầu vào | 0 | 90.20 | 72.00 | 41.80 | 1.34 | 2.65 | 14.00 | |
| | X1 | 3 | 86.86 | 94.80 | 67.50 | 0.71 | 5.13 | 18.90 | 146.50 |
| | X2 | 6 | 86.89 | 98.86 | 68.60 | 0.60 | 10.25 | 25.30 | 293.00 |
| | X3 | 10 | 83.83 | 91.95 | 73.20 | 0.57 | 15.38 | 39.55 | 370.00 |
| Nước mặn | Đầu vào | 0 | 87.50 | 69.70 | 39.00 | 1.58 | 3.47 | 14.90 | |
| | X4 | 3 | 82.86 | 90.52 | 66.18 | 0.69 | 5.33 | 19.50 | 143.00 |
| | X5 | 6 | 83.84 | 100.53 | 68.20 | 0.48 | 10.66 | 27.10 | 286.00 |
| | X6 | 10 | 86.85 | 106.71 | 71.14 | 0.44 | 15.99 | 39.20 | 361.16 |



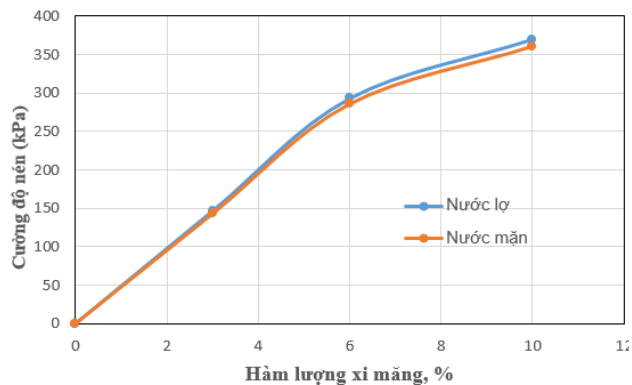
Hình 2. So sánh độ sệt theo hàm lượng XM với cấp phối bùn và xi măng



Hình 3. So sánh góc ma sát trong theo hàm lượng XM với cấp phối bùn và xi măng



Hình 4. So sánh lực dính theo hàm lượng XM với cấp phối bùn và xi măng



Hình 5. So sánh cường độ nén theo hàm lượng XM với cấp phối bùn và xi măng

*** Nhận xét:**

Từ các kết quả thí nghiệm như trên, có thể rút ra một số nhận xét như sau:

+ Bùn ở các vùng nước khác nhau gồm nước lợ và nước mặn có ảnh hưởng không lớn đến việc cứng hóa bùn bằng xi măng. Tuy nhiên, với các vùng nước mặn và lợ khi có độ pH <7.0 (đất thuộc vùng nước chua phèn) cần phải xem xét và nghiên cứu bổ sung các CKD khác kết hợp với xi măng để cứng hóa đất bùn;

+ Tăng hàm lượng xi măng thì độ sệt giảm, tuy nhiên khi hàm lượng xi măng đạt trên 6% thì sự thay đổi không nhiều;

+ Góc ma sát tăng trên 10° khi mà hàm lượng xi măng 6% và tăng lên 16° khi mà hàm lượng xi măng 10%;

+ Lực dính cải thiện lên trên 25 kPa khi hàm lượng xi măng 6% và đạt xấp xỉ 40 kPa khi hàm lượng xi măng tăng lên 10%;

+ Cường độ tăng đến 280 kPa khi hàm lượng xi măng 6% và đạt xấp xỉ 360 kPa khi hàm lượng xi măng tăng lên 10%.

Để dàng nhận thấy việc sử dụng xi măng đã cải thiện rõ rệt tính chất cơ lý cũng như các chỉ tiêu lực học của bùn cứng hóa. Tuy nhiên, xét theo tiêu chí của đề tài với độ sệt của bùn sau cứng hóa đạt trong

khoảng 0.25 đến 0.50 thì cần sử dụng đến 10% xi măng để đạt được độ sệt xấp xỉ giá trị này, khi mà bùn ở vùng nước lợ vẫn chưa đạt được chỉ tiêu độ sệt yêu cầu. Ngoài ra, khi sử dụng đến 10% xi măng khoảng 147 kg/m³ bùn tự nhiên sẽ làm tăng giá thành chi phí vật liệu cứng hóa. Trong khi đó việc sử dụng 6% hàm lượng xi măng đã cải thiện độ sệt tương đương với hàm lượng 10%, ngoài ra với hàm lượng xi măng sử dụng 6% thì góc ma sát trong được cải thiện tiệm cận với yêu cầu của đề tài là 11° và lực dính đạt khoảng 27 kPa so với yêu cầu tối thiểu là 32 kPa.

Do đó, trong đề tài lựa chọn sử dụng 6% hàm lượng xi măng kết hợp với các chất kết dính khác gồm các loại phụ gia khoáng hoạt tính (tro bay và xỉ lò cao hoạt tính) và MgO để tiến hành cải tạo bùn cứng hóa là khả thi. Mục đích nghiên cứu của đề tài cũng phù hợp theo các kết quả nghiên cứu của Hossain [6] và Makusa [7] sử dụng xi măng, tro bay và xỉ lò cao để dùng cứng hóa bùn làm đất san nền. Sử dụng tro bay và xỉ lò cao có thể kết hợp xi măng để đạt kết quả tốt trong cứng hóa đất bùn như kết quả của Åhnberg H. (2006) [8] và các kết quả của [9, 10].

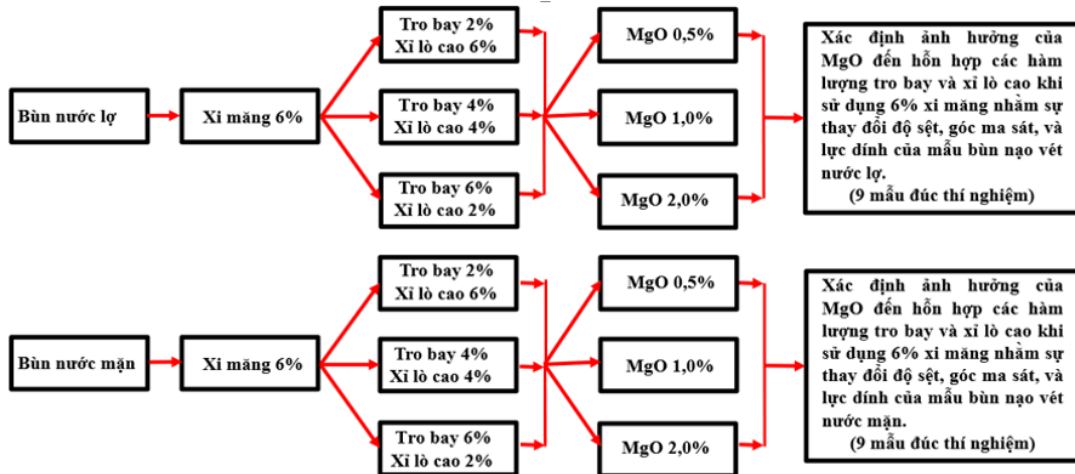
3.2 Ảnh hưởng của hàm lượng MgO đến tính chất đất bùn sau cứng hóa

Như các kết quả thí nghiệm theo [11, 12], thì đất bùn cứng hóa bằng hỗn hợp (xi măng + tro bay

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

+ xỉ lò cao) đã đáp ứng được các yêu cầu thiết kế đặt ra của bùn cứng hóa dùng trong san lấp mặt bằng hay đắp bờ bao, đê bao. Tuy nhiên, mục đích của đề tài là các kết quả nghiên cứu đất bùn cứng hóa phải có hệ số thấm rất thấp, cường độ chịu nén cao, loại đất bùn sau cứng hóa này *có thể thay thế cát tự nhiên trong việc san lấp mặt bằng, đắp bờ bao, đê bao và các công việc khác cho toàn*

vùng ĐBSCL. Vì vậy, đề tài tiếp tục nghiên cứu sử dụng magiê ôxyt (MgO) để phối trộn vật liệu và cứng hóa đất bùn. Trong thiết kế sử dụng hàm lượng MgO lần lượt là 0,5%; 1,0% và 2,0% để cứng hóa đất bùn nạo vét kết hợp với xi măng và phụ gia khoáng (tro bay và xỉ lò cao). Tỷ lệ các thành phần vật liệu chất kết dính được thể hiện như sơ đồ dưới đây.



Hình 6. Sơ đồ thiết kế cấp phối cứng hóa đất bùn sử dụng xi măng, tro bay, xỉ lò cao và MgO

Tiến hành phối trộn các cấp phối thí nghiệm bùn nạo vét như trên, đúc mẫu và bảo dưỡng mẫu theo TCVN. Thí nghiệm xác định một số chỉ tiêu kỹ thuật của bùn cứng hóa như: độ ẩm tự nhiên, góc ma sát

trong, lực dính, cường độ... Kết quả thí nghiệm một số chỉ tiêu kỹ thuật của các cấp phối bùn cứng hóa bằng xi măng, tro bay, xỉ lò cao và MgO được tổng hợp trong bảng 7.

Bảng 7. Kết quả thí nghiệm các tính chất của bùn cứng hóa sử dụng XM, TB, XLC và MgO

| Loại bùn | Ký hiệu mẫu | Xi măng | XLC | TB | MgO | Độ ẩm tự nhiên | Giới hạn chảy | Giới hạn dẻo | Độ sệt | Góc ma sát trong | Lực dính | Cường độ | |
|----------|----------------|---------|-----|----|-----|----------------|---------------|--------------|--------|------------------|----------|----------|-----|
| | | | | | | W | WL | WP | | φ | | C | Qu |
| | | | | | | % | % | % | | % | | ° | kPa |
| Nước lợ | L-X6X2TB6Mg0.5 | 6 | 2 | 6 | 0.5 | 71.48 | 78.75 | 66.28 | 0.42 | 14.40 | 31.66 | 328.53 | |
| | L-X6X4TB4Mg0.5 | 6 | 4 | 4 | 0.5 | 70.30 | 75.88 | 66.87 | 0.38 | 14.51 | 33.61 | 348.66 | |
| | L-X6X6TB2Mg0.5 | 6 | 6 | 2 | 0.5 | 69.80 | 77.17 | 65.30 | 0.38 | 17.39 | 37.60 | 373.68 | |
| | L-X6X2TB6Mg1 | 6 | 2 | 6 | 1 | 64.80 | 81.22 | 58.48 | 0.28 | 17.15 | 37.99 | 383.29 | |
| | L-X6X4TB4Mg1 | 6 | 4 | 4 | 1 | 64.10 | 73.83 | 60.79 | 0.25 | 16.49 | 42.02 | 406.77 | |
| | L-X6X6TB2Mg1 | 6 | 6 | 2 | 1 | 66.00 | 93.01 | 55.97 | 0.27 | 18.90 | 45.12 | 423.51 | |
| | L-X6X2TB6Mg2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 51.80 | 54.87 | 51.30 | 0.14 | 19.48 | 47.48 | 447.17 | |
| | L-X6X4TB4Mg2 | 6 | 4 | 4 | 2 | 53.48 | 70.65 | 50.66 | 0.14 | 17.18 | 50.42 | 474.56 | |
| | L-X6X6TB2Mg2 | 6 | 6 | 2 | 2 | 52.46 | 66.86 | 50.20 | 0.14 | 22.50 | 56.39 | 479.98 | |
| Nước mặn | M-X6X2TB6Mg0.5 | 6 | 2 | 6 | 0.5 | 75.40 | 86.20 | 70.86 | 0.30 | 16.14 | 34.88 | 328.04 | |
| | M-X6X4TB4Mg0.5 | 6 | 4 | 4 | 0.5 | 73.80 | 84.06 | 68.95 | 0.32 | 16.79 | 35.59 | 356.77 | |
| | M-X6X6TB2Mg0.5 | 6 | 6 | 2 | 0.5 | 72.40 | 79.60 | 69.00 | 0.32 | 17.61 | 38.94 | 370.66 | |
| | M-X6X2TB6Mg1 | 6 | 2 | 6 | 1 | 65.70 | 85.90 | 60.73 | 0.20 | 16.81 | 43.59 | 371.78 | |
| | M-X6X4TB4Mg1 | 6 | 4 | 4 | 1 | 66.30 | 90.51 | 59.10 | 0.23 | 19.99 | 44.48 | 404.34 | |
| | M-X6X6TB2Mg1 | 6 | 6 | 2 | 1 | 64.90 | 84.26 | 59.14 | 0.23 | 20.96 | 46.73 | 420.08 | |
| | M-X6X2TB6Mg2 | 6 | 2 | 6 | 2 | 54.30 | 78.96 | 51.60 | 0.10 | 18.27 | 52.31 | 433.75 | |
| | M-X6X4TB4Mg2 | 6 | 4 | 4 | 2 | 52.80 | 66.98 | 50.97 | 0.11 | 20.83 | 55.60 | 471.72 | |
| | M-X6X6TB2Mg2 | 6 | 6 | 2 | 2 | 53.50 | 69.27 | 51.20 | 0.13 | 23.82 | 58.42 | 476.09 | |

VẬT LIỆU XÂY DỰNG - MÔI TRƯỜNG

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) kết hợp với MgO ở trong bảng 7, tiến hành lựa chọn được 02 cấp phối: L-

X6X6TB2Mg2 và M-X6X6TB2Mg2 có cường độ nén tốt nhất để tiến hành thí nghiệm hệ số thấm và khối lượng thể tích. Kết quả thí nghiệm được trình bày trong bảng 8.

Bảng 8. Kết quả thí nghiệm hệ số thấm và khối lượng thể tích của các cấp phối lựa chọn

| <u>Ký hiệu mẫu</u> | <u>Hệ số thấm</u> | <u>Khối lượng thể tích</u> |
|--------------------|----------------------------------|----------------------------------|
| | $K_t \times 10^{-8} \text{ m/s}$ | $\rho_w \text{ (g/cm}^3\text{)}$ |
| L-X6X6TB2Mg2 | 3.20 | 1.49 |
| M-X6X6TB2Mg2 | 3.90 | 1.49 |

*** Nhận xét kết quả thí nghiệm:**

+ Khi cứng hóa bùn nạo vét với hàm lượng 6% xi măng kết hợp với hỗn hợp xỉ lò cao, tro bay và MgO, độ sệt của hỗn hợp cải thiện đáp ứng yêu cầu khi hàm lượng tro bay từ 2,0% ÷ 4% ($\geq 4,0\%$ sẽ thừa), hàm lượng xỉ lò cao chỉ cần $\leq 2,0\%$ ($\geq 2,0\%$ sẽ thừa) và tỷ lệ hàm lượng MgO càng cao thì độ sệt càng giảm;

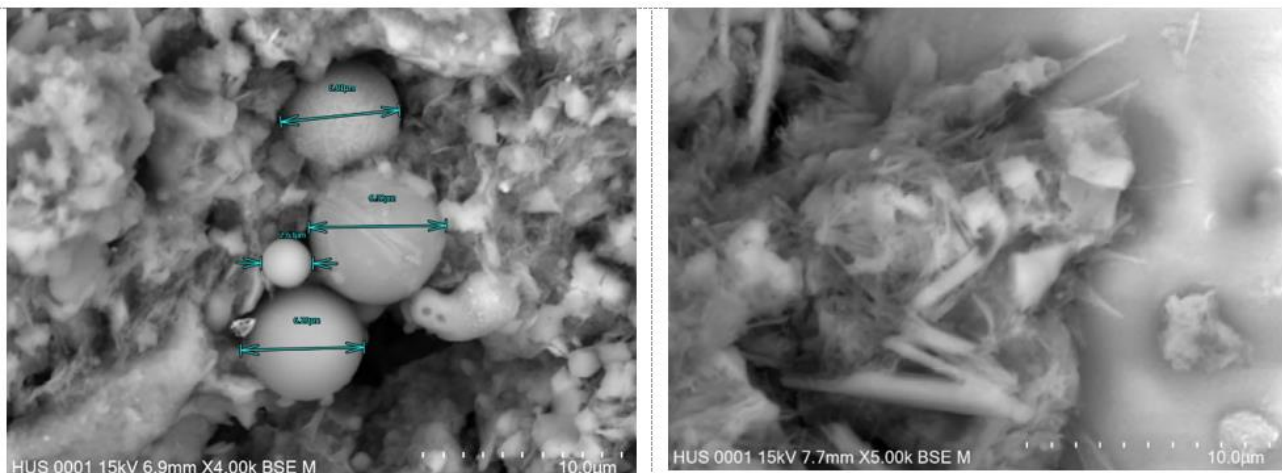
+ Khi cứng hóa bùn nạo vét với hàm lượng 6% xi măng kết hợp với hỗn hợp xỉ lò cao, tro bay và MgO, góc ma sát trong của hỗn hợp cải thiện đáp ứng yêu cầu khi hàm lượng tro bay $\leq 2,0\%$ ($> 2,0\%$ sẽ thừa), hàm lượng xỉ lò cao chỉ cần $\leq 2,0\%$ ($> 2,0\%$ sẽ thừa) và tỷ lệ hàm lượng MgO càng cao thì góc ma sát trong càng đảm bảo;

+ Khi cứng hóa bùn nạo vét với hàm lượng 6% xi măng kết hợp với hỗn hợp xỉ lò cao, tro bay và MgO, lực dính của hỗn hợp cải thiện đáp ứng yêu cầu khi hàm lượng tro bay $\leq 4,0\%$ ($> 4,0\%$ sẽ thừa), hàm lượng xỉ lò cao chỉ cần $\leq 2,0\%$ ($> 2,0\%$ sẽ thừa) và tỷ

lệ hàm lượng MgO càng cao thì lực dính càng đảm bảo;

+ Khi cứng hóa bùn nạo vét với hàm lượng 6% xi măng kết hợp với hỗn hợp xỉ lò cao, tro bay và MgO, độ sệt, góc ma sát trong, lực dính và cường độ nén của hỗn hợp được cải thiện. Tỷ lệ hàm lượng MgO càng cao thì độ sệt càng giảm, nhưng tỷ lệ hàm lượng MgO càng cao thì góc ma sát trong, lực dính và cường độ nén của bùn cứng hóa càng lớn. Tuy nhiên, để cân đối với yêu cầu thiết kế đất bùn sau cứng hóa đề ra thì nhận thấy: Với tỷ lệ 4% tro bay, 2% xỉ lò cao và 0,5% MgO đã đáp ứng yêu cầu thiết kế;

+ Từ kết quả về hệ số thấm và khối lượng thể tích của đất bùn cứng hóa sử dụng hỗn hợp (xi măng + tro bay + xỉ lò cao + MgO) cho hệ số thấm K_t rất thấp, chỉ từ $3,2 \div 3,9 \cdot 10^{-8} \text{ m/s}$ và khối lượng thể tích của bùn cứng hóa đạt $1,49 \text{ g/cm}^3$. Với chất lượng đất bùn cứng hóa như vậy sẽ đáp ứng được yêu cầu thay thế cho vật liệu đắp bờ bao, đê bao và các công việc khác tại Cà Mau nói riêng và toàn vùng đồng bằng sông Cửu Long.



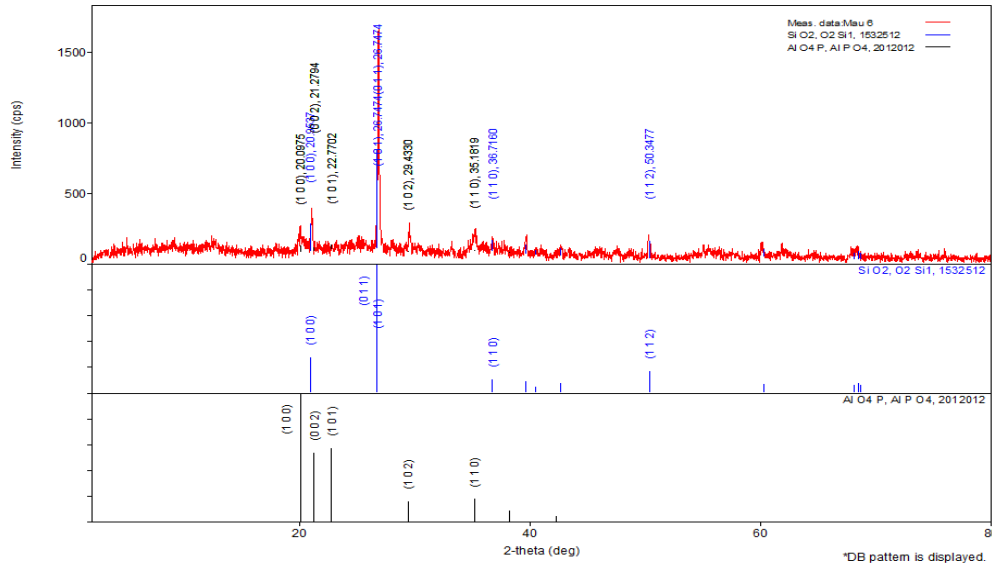
Hình 7. Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) mẫu bùn cứng hóa (Bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao + MgO)

Hình ảnh kính hiển vi điện tử quét (SEM) mẫu bùn cứng hóa (*Bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao + MgO*) cho thấy các tinh thể C-S-H, C-A-H và $Mg(OH)_2$ xuất hiện trên bề mặt và các khoảng trống là sản phẩm thủy hóa của xi măng, xỉ lò cao, tro bay kết hợp với MgO làm cho các cấu trúc được lấp đầy. Ngoài ra, tác dụng của MgO làm kích động hoạt tính của xỉ lò cao và tro bay vốn là các khoáng có tính axit; hình thành các sản phẩm kết dính thứ

cấp như $2MgO.SiO_2$; $MgO.Al_2O_3$; $CaO.MgO.SiO_2$ làm tăng độ đặc chắc của đất bùn sau cứng hóa.

Xuất hiện các tinh thể $CaCO_3$ màu trắng do phản ứng của CO_2 và $Ca(OH)_2$ 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.

Kết quả phân tích XRD (nhiều xạ tia X) mẫu bùn cứng hóa (*bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao + MgO*) được trình bày trong hình 8.



Hình 8. Kết quả phân tích nhiệt vi sai XRD mẫu bùn cứng hóa (*Bùn + xi măng + tro bay + xỉ lò cao + MgO*)

Kết quả phân tích XRD cho thấy có sự xuất hiện các hợp chất Bavenite là một aluminosilicat canxi beryllium và hợp chất Clintonite là một khoáng chất canxi, magiê, nhôm, sắt, silic.

4. Kết luận và kiến nghị

Sử dụng hỗn hợp (*xi măng + xỉ lò cao + tro bay + MgO*) để cứng hóa đất bùn, khi hàm lượng MgO tăng lên thì độ sệt giảm xuống; còn góc ma sát trong, lực dính và cường độ nén của đất bùn cứng hóa tăng lên khi hàm lượng MgO tăng từ 0,5 đến 2%. Tuy nhiên, để đảm bảo yêu cầu thiết kế đặt hàng đất bùn cứng hóa đáp ứng được yêu cầu thay thế cho vật liệu đắp bờ bao, đê bao tại vùng đồng bằng sông Cửu Long thì có thể lựa chọn cấp phối có hệ số thấm K_t thấp ($K_t = 3,2 \div 3,9.10^{-8}$ m/s).

Nghiên cứu đề xuất và áp dụng giải pháp vật liệu dùng để cứng hóa đất bùn nạo vét từ sông, kênh rạch, ao hồ tại tỉnh Cà Mau thuộc vùng ĐBSCL bằng các chất kết dính vô cơ như: Xi măng, tro bay, xỉ lò cao, MgO để làm vật liệu san lấp mặt bằng và đắp

nền đê bao, bờ bao thay thế cát. Chất lượng của hỗn hợp bùn sau cứng hóa đạt yêu cầu theo TCVN 8217:2009, tương đương với đất trạng thái dẻo cứng ($0.25 < I_L < 0.5$ thì $C_{tc} = 32 \div 57$ kPa và $\phi = 11 \div 18^\circ$).

Đề tài đã thử nghiệm công nghệ vật liệu và đề xuất các giải pháp tổ chức thi công cứng hóa đất bùn nạo vét từ sông, kênh rạch bằng các chất kết dính vô cơ (*Xi măng, tro bay, xỉ lò cao, MgO*) để làm vật liệu san lấp mặt bằng và đắp nền đê bao, bờ bao thay thế cát ở địa bàn tỉnh Cà Mau, nên kiến nghị có thể áp dụng cho các Tỉnh khác có điều kiện tương tự về vật liệu và hạ tầng tổ chức thi công. Tuy nhiên, cũng cần phải có các nghiên cứu thiết kế các cấp phối phù hợp với các chỉ tiêu cơ lý, khoáng hóa... của nguồn vật liệu đầu vào.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] TCVN 6260:2009. *Xi măng Pooc lăng hỗn hợp - Yêu cầu kỹ thuật.*
- [2] TCVN10302:2014. *Phụ gia hoạt tính tro bay dùng cho bê tông, vữa xây và xi măng.*

- [3] TCVN 11586:2016. *Xi hạt lò cao nghiền mịn dùng cho bê tông và vữa.*
- [4] TCVN 7709:2007. *Vật liệu chịu lửa - vữa manhêdi.*
- [5] USACE, US (2000), *Soil engineering and stabilization*, US Army Corps of Engineers Waterways Experiment Station, United States.
- [6] Hossain A.S. (2017). *Improvement of Dredged Sediments.*
- [7] Makusa G.P. (2013), *Stabilization-Solidification of High Water Content Dredged Sediments*, Luleå University of Technology.
- [8] Åhnberg H. (2006), *Strength of stabilised soils - A laboratory study on clays and organic soils stabilised with different types of binders.*
- [9] Liu Z., Cai C.S., Liu F. and et al., (2016). *Feasibility Study of Loess Stabilization with Fly Ash-Based Geopolymer.* Journal of Materials in Civil Engineering, 28(5), 4016003.
- [10] Yi Y., Li C., Liu S. and et al., (2010). *Alkali-Activated Ground-Granulated Blast Furnace Slag for Stabilization of Marine Soft Clay.* Journal of Materials in Civil Engineering, 11(4), 246-250.
- [11] Nguyễn Quang Phú (2022). *Nghiên cứu cứng hóa đất bùn nạo vét bằng xi măng và phụ gia khoáng.* Tạp chí Khoa học Công nghệ Xây dựng, số 3/2022.
- [12] Viện Thủy công - Viện KHTL VN (2022). "*Nghiên cứu công nghệ cứng hóa đất bùn nạo vét để sử dụng trong san lấp mặt bằng thay thế cát*", Mã số ĐTDL.CN-33/19-22.
- [13] 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.
- [14] 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.
- [15] 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.