

THIẾT KẾ CẤP PHỐI HỖN HỢP SILICA-SOL - XI MĂNG ĐỂ XỬ LÝ KHẨN CẤP SỰ CỐ THẨM NỀN CÁT CÔNG TRÌNH THỦY LỢI

Nguyễn Văn Chính, Nguyễn Quang Bình,
Nguyễn Thanh Tuấn, Nguyễn Thị Mai Phương
Viện Thủy Công – Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam

Tóm tắt: Trong bài báo này, tác giả đã thiết kế thành phần cấp phối Silica-Sol – Xi măng đổ vào Cát vàng để nghiên cứu khả năng chống thấm khẩn cấp và điều kiện làm việc lâu dài của màng chống thấm nền cát công trình thủy lợi. Kết quả thí nghiệm trong phòng cho thấy khi tỷ lệ Silicate-Xi măng (S/C) đạt 40% - 60%, tỷ lệ nước - Xi măng (W/C) lấy trong khoảng 50% - 70%, tỷ lệ hỗn hợp Silica-Sol- Xi măng (S-S-C) so với Cát khuyến cáo dùng trong khoảng 30% - 50% sẽ đảm bảo về điều kiện thi công và hiệu quả chống thấm khẩn cấp khi dùng giải pháp KPHC. Kết quả nghiên cứu của bài báo sẽ góp phần quan trọng củng cố cơ sở lý luận cho giải pháp KPHC để triển khai áp dụng rộng rãi trong thời gian tới.

Từ khóa: Chống thấm khẩn cấp, Khoan phụt hóa chất, Cấp phối Silica-Sol – Xi măng, Chống thấm công trình thủy lợi.

Summary: In this paper, the author designed the Silica-Sol - Cement mixed with construction sand to study the emergency waterproofing ability and long-term working conditions of the sand-based waterproofing membrane for irrigation works. The laboratory experiment results show that when the ratio of Silicate-cement (S/C) reaches 40% to 60%, the ratio of water-cement (W/C) is taken in the range of 50% to 70%, and the mixture of silica-sol-Cement (S-S-C) and sand which is recommended to use in the range of 30% - 50% to ensure construction conditions and emergency waterproofing by chemical grouting solutions. The research results of this paper will make an important contribution to strengthening the theoretical basis for the widespread application of chemical grouting solutions.

Keyword: Emergency waterproof, Chemical grouting, Silica-sol - Cement mixture, Waterproofing of irrigation works.

1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Khoan phụt hóa chất (KPHC) là hoạt động bơm dung dịch hóa chất vào một lớp đất, đá để cải tạo các đặc tính cơ lý của nó. Dung dịch hóa chất ở đây được định nghĩa là chất lỏng thuần nhất không chứa các thành phần hạt lơ lửng. Các mảng ứng dụng chính của KPHC bao gồm: (1) Ngăn, bịt dòng thấm, dòng chảy trong nền công trình; (2) Tăng sức chịu tải của đất, đá; (3) Sửa chữa các khuyết tật công trình. Một ưu điểm lớn của phương pháp KPHC so với các

phương pháp KPXM là tác dụng ngăn cản dòng thấm trong đất, đá, không chỉ giới hạn ở các dòng thấm có lưu lượng nhỏ mà cả với các dòng thấm, dòng chảy có lưu lượng lớn. Do cần một thời gian tương đối dài để ninh kết, vữa xi măng có nguy cơ bị rửa trôi nếu dòng thấm có lưu lượng lớn. Khi đó, với khả năng điều tiết thời gian keo hóa nhanh hoặc chậm, công nghệ KPHC là giải pháp ưu việt hơn hẳn các công nghệ KPXM. Tuy nhiên giá thành KPHC tương đối cao so với với KPXM, vì vậy với những

Ngày nhận bài: 20/5/2022

Ngày thông qua phản biện: 26/6/2022

Ngày duyệt đăng: 08/7/2022

công trình có khối lượng khoan phụt lớn, cần cân nhắc phạm vi áp dụng của từng phương pháp để nâng cao hiệu quả xử lý cả về mặt kỹ thuật lẫn kinh tế [1]–[9].

US Army Corps of Engineers (1995) [5], thí nghiệm KPHC đầu tiên được ghi nhận do một kỹ sư châu Âu tên là Jeziorsky thực hiện năm 1886, hóa chất chính được sử dụng là thủy tinh lỏng (TTL). Tuy nhiên, đến năm 1925, KPHC mới được quy trình hóa nhờ công của H. J. Joosten [10], một kỹ sư Hà Lan, Joosten đã bơm TTL vào một hố khoan và bơm canxi clorua với áp lực cao vào hố bên cạnh để hai hóa chất trộn lẫn trong đất và tạo keo. Kể từ thí nghiệm sơ khai của Joosten đến tận ngày nay, TTL vẫn được coi là vật liệu chủ đạo của KPHC.

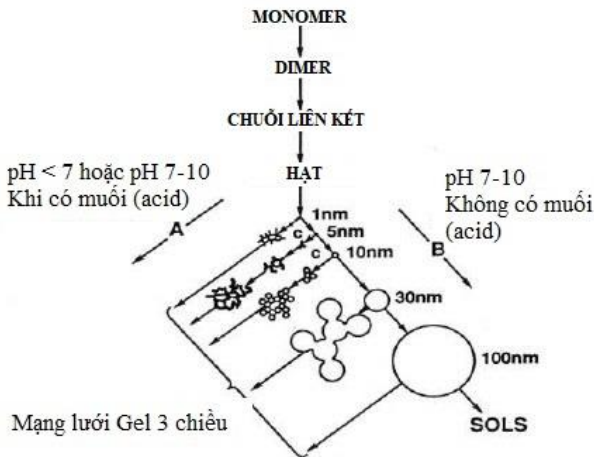
Ở Việt Nam, các phương pháp khoan phụt truyền thống như khoan phụt thuần áp (Pressure grouting), khoan phụt ép đất (Compact grouting), khoan phụt thấm thấu (Permeable grouting), khoan phụt kiểu tia - tạo cọc đất xi măng (Jet grouting) đã được áp dụng triển khai rộng rãi và thu được nhiều hiệu quả trong chống thấm – xử lý gia cố nền công trình [4]. Tuy nhiên, đứng trước yêu cầu và thách thức trong việc xử lý chống thấm khẩn cấp công trình thủy lợi, đặc biệt đối với nền cát có hệ số thấm lớn và dòng thấm áp lực cao thì các công nghệ truyền thống chưa đáp ứng được bởi sự bị rửa trôi vật liệu ngay khi được bơm phụt xuống nền. Với ưu thế ở khả năng không ché thời gian đóng rắn từ vài phút cho tới vài giờ, đồng thời tính bền vững theo thời gian thì công nghệ KPHC cần được triển khai áp dụng tại Việt Nam trong thời gian tới. Tuy nhiên, ở Việt Nam chưa có nghiên cứu cụ thể nào về công nghệ KPHC trong chống thấm khẩn cấp sự cố thấm của công trình thủy lợi, đặc biệt đối với nền cát, vì vậy cần có các nghiên cứu chuyên sâu về vấn đề này để xây dựng cơ sở khoa học và luận chứng cho công nghệ

KPHC.

Trong bài báo này, cơ sở khoa học của vữa có nguồn gốc Silicate trong lĩnh vực xử lý chống thấm gia cố nền sẽ được giới thiệu. Tác giả nghiên cứu cấp phối thành phần hỗn hợp Silica-Sol – Xi măng được đổ vào Cát đáp ứng yêu cầu chống thấm khẩn cấp và điều kiện làm việc lâu dài của màng chống thấm cho công trình thủy lợi. Cấp phối của hỗn hợp sẽ phụ thuộc vào các tham số chính như: nồng độ Axit tham gia phản ứng tạo ra Silica-Sol, nồng độ TTL, tỷ trọng Silica-Sol so với Xi măng, hàm lượng nước sử dụng và tỷ lệ hỗn hợp Silica-Sol – Xi măng được bơm vào trong cát.

2. CƠ SỞ KHOA HỌC CỦA VỮA CÓ NGUỒN GỐC SILICATE

Trong lĩnh vực xử lý chống thấm gia cố đất, nền, khi nói đến TTL tức là nói đến dung dịch Natri silicat ($\text{Na}_2\text{O } n\text{SiO}_2$). Dung dịch TTL có tỷ trọng $1.4 \div 1.42 \text{ g/cm}^3$, có độ pH là 8-12 nên dung dịch có tính kiềm và tan trong nước. Kích thước của các hạt lớn nhất chỉ khoảng 500 nm. Silica-sol là dung dịch chứa các hạt Colloidal silica có mật độ tập trung nhưng kích thước của các hạt vẫn giữ trong mức giới hạn. Thông thường Silica có mật độ chừng 40% và kích thước các hạt chừng 20 nm. Chúng ổn định trong dung dịch chứa nước nhờ có các cation Na_2O . Việc tạo ra Silica-sol bằng cách trộn Sodium Silicate với nước và với một Axit. Khi đó dung dịch sẽ bắt đầu quá trình trao đổi ion và tính kiềm trong dung dịch sẽ giảm xuống nhanh chóng. Ở trạng thái này, các phân tử Axit sẽ tóm bắt các nanomer ion silicate. Chúng sẽ tiếp tục liên kết, biến đổi (kết nối các hạt lại với nhau) để tạo ra dung dịch Silica-sol khi độ pH, nhiệt độ và áp suất thay đổi. Có thể điều khiển quá trình polyme hóa của chúng để tạo ra sản phẩm Silica-sol theo yêu cầu sử dụng như Hình 1 dưới đây.



Hình 1: Quá trình Polyme hóa để thành Silica-Sol

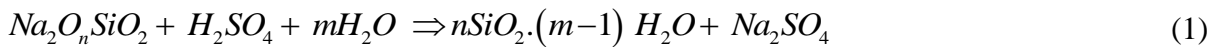
Với việc cho thêm Axit hoặc muối, các hạt huyền phù sẽ kết nối tạo thành Gel (A). Còn trong môi trường alkali (kiềm), các hạt sẽ kết nối và tạo ra các hạt to hơn nhưng không tạo Gel được (B) [11].

Một phân tử monomer SiO_4 bắt đầu tiến về phía các phân tử khác tạo ra hạt kép (dimer) tức là monomer có 2 phần tử giống nhau. Quá trình kết hợp tiếp diễn sau đó tạo ra chuỗi liên kết và hình thành các hạt. Sau khi hình thành các hạt, có 2 khả năng tạo ra sản phẩm mới khác nhau.

Khi mật độ các hạt monomer cao, trường hợp pH nhỏ hơn 7 hoặc trường hợp pH = 7 ÷ 10 nhưng không có muối (hoặc Axit) thì các hạt kết nối và to ra về kích thước (B).

Còn nếu trong môi trường có muối (hoặc Axit) và pH = 7 ÷ 10 thì các hạt sẽ không hình thành được và tạo Gel (A). Quá trình (A) là quá trình mà chúng ta tạo ra vật liệu phụt như mong muốn, tức là chúng ta phải thêm muối (hoặc Axit) vào dung dịch. Nhưng muốn sản phẩm có độ bền bề mặt cao thì các hạt tạo Gel phải nhỏ và ngược lại.

Phản ứng của TTL với Axit Sunfuric:



Axit silicic ban đầu được tạo ra dưới dạng các hạt Gel $SiO_2 \cdot 2nH_2O$

Quá trình ngưng tụ: Khi nồng độ các hạt Gel tăng lên thì từ trạng thái sol, dung dịch Gel sẽ chuyển sang trạng thái Gel.

Trong đó: m – số phân tử nước

n- modun silicat

Dung dịch natri silicat có thành phần là $Na_2O \cdot nSiO_2$ trong đó n là modun silicat.

$$n = \frac{SiO_2}{Na_2O} \quad (2)$$

Khi trộn dung dịch Natri silicate với dung dịch Axit hoặc dung dịch muối vô cơ thì được gọi là Silica-sol. Khi phụt dung dịch Silica-sol vào đất đá nền, quá trình tạo keo sẽ đẩy nước ra khỏi các hạt đất và làm tăng tính chống thấm cho đất và cứng hóa. Vật liệu phụt này sẽ làm tăng tính dính của đất

đá, làm giảm hệ số thấm và làm đất đá cứng hơn, thời gian Gel hóa có thể điều chỉnh được.

Thời gian Gel (thời gian đông lại) là khoảng thời gian giữa đầu pha trộn của các thành phần đến thời gian hình thành Gel. Trong lĩnh vực khoan phụt vừa hóa học, kiểm soát thời gian tạo Gel có tầm quan trọng: nó ảnh hưởng đến khả năng bơm phụt hay sử dụng vừa vào các mục đích khác nhau. Có thể nói thời gian Gel là một tính năng đặc biệt của vừa hóa học, tùy theo mục đích cụ thể mà công dụng của nó chính là kích hoạt hoặc ức chế vừa. Các chất khác nhau, sẽ khiến cho tốc độ phản ứng xảy ra khác nhau. Tùy theo từng yêu cầu cụ thể mà có thể sử dụng các chất phản ứng khác nhau để tạo thành vừa hóa học.

Dựa vào các cơ sở lý luận kể trên, việc thiết kế cấp phối hỗn hợp vật liệu KPHC là cần

thiết để đảm bảo các yêu cầu về tính công tác trong thi công, thời gian Gel nhanh chóng và đảm bảo khả năng gia cố nền công trình.

3. THIẾT KẾ THÀNH PHẦN HỖN HỢP SILICA-SOL + XI MĂNG ĐỔ VÀO CÁT

LÀM VẬT LIỆU CHỐNG THẨM

3.1. Vật liệu thí nghiệm

a. Dung dịch Silicate

Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu của dung dịch Natri Silicate như bảng sau:

Bảng 1: Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu của dung dịch Natri Silicate

TT	Tên chỉ tiêu	ĐVT	Kết quả	Phương pháp thí nghiệm
1	Độ pH		12,1	TCVN 8826:2011
2	Khối lượng riêng	g/cm ³	1,41	TCVN 8826:2011
3	Độ nhớt	giây	88	ASTM D6910
3	Hàm lượng SiO ₂	%	28,05	TCVN 9911:2013
4	Hàm lượng Na ₂ O	%	5,32	ICP-MS

b. Xi măng Poocăng

Trong phạm vi của nghiên cứu này, xi măng PCB40 Bút Sơn do nhà máy xi măng Bút Sơn sản xuất được sử dụng. Kết quả được trình bày

tại Bảng 2. Căn cứ vào TCVN 2682:2009 “Xi măng Poocăng – Yêu cầu kỹ thuật” và TCVN 6260:2009 “Xi măng Poocăng hỗn hợp – Yêu cầu kỹ thuật”.

Bảng 2: Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu của xi măng

TT	Tên chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm	Yêu cầu
1	Độ nghiền mịn: <i>Phần còn lại trên sàng 0,09mm</i> <i>Bề mặt riêng (P.P Blaine)</i>	%	2.1	≤10
		cm ² /g	3210	≥2800
2	Thời gian đông kết Bắt đầu Kết thúc	Phút	110	≥ 45
		Phút	180	≤ 420
3	Giới hạn bền nén 3 ngày 28 ngày	N/mm ²	21.4	≥ 18
		N/mm ²	44.5	≥ 40
4	Độ ổn định thể tích	mm	0.75	≤ 10
5	Độ dẻo tiêu chuẩn	%	27.0	
6	Hàm lượng SO ₃	%	1,92	≤ 3.5
7	Khối lượng riêng	g/cm ³	3.00	

c. Cát vàng

Sử dụng loại cát Sông Hồng (cát vàng). Cát

trước khi trộn hỗn hợp vữa được lấy mẫu thí nghiệm theo TCVN 7572:2006. Kết quả thí

thí nghiệm như sau:

Bảng 3: Kết quả thí nghiệm các chỉ tiêu của cát tự nhiên

STT	Chỉ tiêu	Đơn vị	Kết quả thí nghiệm
1	Khối lượng riêng	g/cm ³	2,67
2	Khối lượng thể tích xốp	kg/m ³	1417
3	Khối lượng ở trạng thái bão hòa kiệt nước	kg/m ³	1672
4	Khối lượng thể tích chặt	kg/m ³	1559
5	Hàm lượng bụi bùn sét bản	%	0,3
6	Mô đun độ lớn		2,61
7	Hàm lượng mica	%	0,3
8	Hàm lượng hữu cơ	màu chuẩn	Sáng hơn
9	Độ rỗng n	%	47
10	Hệ số thấm	cm/s	4,5 x 10 ⁻³

3.2. Thiết kế thành phần cấp phối Silica-Sol

a. Lựa chọn nồng độ Axit tham gia phản ứng

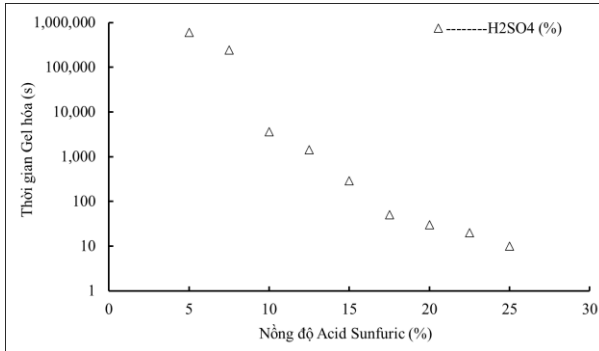
Để có thể quan sát được ngưỡng Gel tụ một cách đơn giản, chính xác, các chất tham gia phản ứng phải có những thông số nhất định. Yêu cầu đặt ra: Thời gian Gel tụ phải đủ đảm bảo để quan sát, lượng hóa chất sử dụng phải đảm bảo tính tiết kiệm. Để giải quyết yêu cầu trên chúng tôi tiến hành như sau:

Chúng tôi tiến hành thí nghiệm 09 tổ hợp Silica-Sol với nồng độ axit H₂SO₄ có các giá trị sau: 5%, 7.5%, 10%, 12.5%, 15%, 17.5%, 20%, 22.5% và 25% phản ứng với TTL có tỷ trọng 1.20 (g/cm³), thể tích của mỗi dung dịch là 100ml. Thời gian Gel được tính từ thời điểm trộn dung dịch vào với nhau và kết thúc khi Gel tụ. Kết quả được trình bày ở Bảng 4.

Bảng 4: Thời gian Gel của các tổ hợp hỗn hợp có nồng độ Axit Sunfuric khác nhau

STT	Thể tích TTL (ml)	Thể tích Axit H ₂ SO ₄ 70% (ml)	Thể tích nước sạch (ml)	Nồng độ Axit	Thời gian gel (giây)
1	100	7.143	92.857	5.0%	604,800
2	100	10.714	89.286	7.5%	241,920
3	100	14.286	85.714	10.0%	3,600
4	100	17.857	82.143	12.5%	1,440
5	100	21.429	78.571	15.0%	288
6	100	25.000	75.000	17.5%	50.0
7	100	28.571	71.429	20.0%	30.0
8	100	32.143	67.857	22.5%	20.0
9	100	35.714	64.286	25.0%	10.0

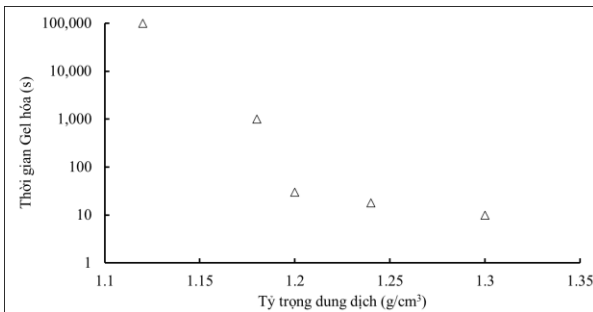
Thông qua dữ liệu phân tích ở Bảng 4, mối quan hệ giữa nồng độ Axit Sunfuric và thời gian Gel



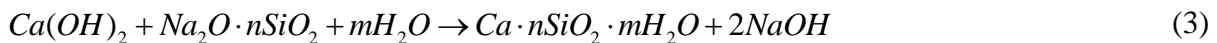
Hình 2: Biểu đồ quan hệ giữa thời gian tạo Gel và H_2SO_4 có nồng độ % khác nhau

b. Lựa chọn tỷ trọng dung dịch TTL

Tiến hành thí nghiệm với axit H_2SO_4 làm chất phản ứng, nồng độ lựa chọn là 20% phản ứng với TTL có tỷ trọng 1,12; 1,18; 1,20; 1,24; 1,30 (g/cm^3), thể tích của mỗi dung dịch là 100ml. Thời gian Gel được tính từ thời điểm trộn dung dịch vào với nhau và kết thúc khi đóng rắn. Kết quả được trình bày ở Hình 3.



Hình 3: Quan hệ giữa thời gian tạo Gel trong phản ứng giữa H_2SO_4 với TTL có tỷ trọng khác nhau



Bản thân sự đông tụ và đông cứng của xi măng chủ yếu là do sự kết tủa của các chất keo sền sệt từ quá trình thủy hóa xi măng, và canxi hydroxit

hóa của hỗn hợp Silica-Sol được miêu tả tại Hình 2.

Từ các kết quả thu được, để đảm bảo các yêu cầu đặt ra chúng tôi quyết định chọn axit H_2SO_4 làm chất phản ứng, nồng độ lựa chọn là 20% và thí nghiệm với TTL có tỷ trọng là $1.2 (g/cm^3)$.

3.3. Thiết kế thành phần cấp phối Silica-Sol – Xi măng Pooc-lăng kết hợp với Cát

Khoan phụt Silica-Sol có thể bị nước tạm thời, nhưng để tạo thành kết cấu chống thấm lâu dài, vĩnh cửu thì cần phải bổ sung chất kết dính như xi măng Pooc-lăng. Xi măng Pooc-lăng được xem là một chất thủy lực với độ kết dính đặc biệt. Nhưng cần nghiên cứu làm rõ ứng xử của vữa xi măng khi trộn với Silica-sol như thế nào; và các chỉ tiêu cơ lý của hỗn hợp vữa Silica-sol + Xi măng có bền theo thời gian hay không.

Việc thiết kế cấp phối hỗn hợp khoan phụt nhằm xác định tỷ lệ giữa các vật liệu cấu thành (xi măng, hỗn hợp dung dịch Silica-Sol) từ đó thành lập một cấp phối hợp lý, mà theo đó khi thi công đạt được các chỉ tiêu kỹ thuật của vật liệu khoan phụt, đồng thời đảm bảo hiệu quả kinh tế.

Phản ứng hóa học giữa xi măng và thủy tinh là:

được tạo ra trong quá trình thủy hóa tricalcium silicate.



Kể từ khi canxi hydroxit được hình thành dần dần, phản ứng giữa canxi hydroxit và nước thủy tinh liên tục được thực hiện do sự hình thành vữa canxi hydroxit. Phản ứng giữa thủy tinh và canxi hydroxit diễn ra nhanh hơn. Khi phản ứng diễn ra ngày càng nhiều chất keo được tạo thành, độ bền cũng ngày càng cao.

a. Tỷ trọng Xi măng Pooc-lăng và Nước TTL

Hiệu suất của vữa Silica-Sol – Xi măng phụ thuộc vào tỷ lệ nước-xi măng, mô đun nước thủy tinh và nồng độ của vữa xi măng, và tỷ lệ thủy tinh nước với xi măng. Theo mối quan hệ giữa hàm lượng thủy tinh nước trong vữa và thời gian đông kết, khi lượng thủy tinh thêm vào thường nằm trong khoảng từ 25% đến 60% thể tích của vữa Silica-Sol – Xi măng, thời gian đông kết ngắn và ổn định. Để nghiên cứu ảnh hưởng của các hàm lượng xi măng - nước thủy tinh khác nhau đến thời gian đông kết và các tính chất của hỗn hợp vữa. Tỷ lệ S/C được lựa chọn nghiên cứu lần lượt là: 0,1 : 1; 0,2 : 1; 0,3 : 1; 0,4 : 1; 0,5 : 1 (tương ứng với tỷ lệ 10%, 20%, 30%, 40% và 50% so với khối lượng xi măng).

b. Tỷ trọng Nước và Xi măng

Lượng nước trong vữa kiểm soát nhiều đặc tính tươi và cứng của vữa bao gồm khả năng làm việc, cường độ nén, tính thấm và kín nước, độ bền và thời tiết, co ngót khô và khả năng nứt. Vì những lý do này, việc hạn chế và kiểm soát lượng nước trong vữa là quan trọng đối với cả khả năng thi công và tuổi thọ của công trình. Tỷ lệ giữa lượng nước (trừ đi lượng nước được hấp thụ bởi cốt liệu) với lượng xi măng theo trọng

lượng trong vữa được gọi là tỷ lệ nước-xi măng và thường được gọi là tỷ lệ W/C. Để nghiên cứu ảnh hưởng của tỷ lệ W/C tới cường độ kháng nén và hệ số của các mẫu vữa Silica-sol – Xi măng, trong nghiên cứu này, các tỷ lệ W/C được thiết lập là 0.4: 1, 0.5: 1, 0.7: 1, 1.0: 1; 1.2: 1. Từ đó có cơ sở lựa chọn cấp phối phù hợp nhất cho các thí nghiệm tiếp theo, cũng như có cơ sở đưa vào sản xuất thực tế.

c. Thiết kế thành phần cấp phối Silica-Sol – Xi măng Pooc-lăng đổ vào Cát

Trong mục này, tác giả sẽ nghiên cứu thực nghiệm trong phòng tính chất ổn định và khả năng chống thấm của hỗn hợp Xilica-Sol – Xi măng khi kết hợp với cát. Tỷ lệ Xilica-Sol – Xi măng sử dụng so với Cát được lựa chọn lần lượt là 30%, 50% và 70%.

4. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

4.1. Phương pháp thí nghiệm

Các mẫu thí nghiệm sau khi chế bị được dưỡng hộ trong điều kiện tiêu chuẩn trước khi tháo ván khuôn, tiếp tục dưỡng hộ cho đến tuổi ngày thí nghiệm. Ở nghiên cứu này, các mẫu được thí nghiệm các chỉ tiêu về thời gian keo hóa được xác định theo phương pháp của Stavland, thí nghiệm xác định cường độ kháng nén áp dụng theo TCVN 3121:11 – 2003, xác định hệ số thấm của hỗn hợp được thực hiện theo TCVN 8219-2009.

4.2. Kết quả nghiên cứu thiết kế thành phần cấp phối Silica-Sol-Xi măng

a. Tỷ lệ Silica-sol – Xi măng

Bảng 5: Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm cho mẫu vữa Silica-sol – Xi măng sử dụng hàm lượng S/C khác nhau (W/C = 0.5 :1, sử dụng PCB40) – Cấp phối cho 1m³ vữa

Tỷ lệ S/C	Xi măng	Nước	DD axit	TTL	Thời gian keo tụ	Cường độ kháng nén Rn (MPa)			Hệ số thấm (K x10 ⁻⁵ cm/s)		
	kg	kg	kg	kg	giây	R3	R7	R28	R3	R7	R28
10%	1020.23	561.80	33.08	102.02	360	4.23	5.38	6.21	0.85	0.57	0.46
20%	891.25	535.93	57.79	178.25	305	4.56	6.17	6.59	0.72	0.45	0.37
30%	791.23	515.86	76.96	237.37	225	5.64	7.17	8.28	0.69	0.35	0.28
40%	711.39	499.84	92.26	284.55	15	7.04	8.96	10.35	0.38	0.14	0.09
50%	646.18	486.77	104.75	323.09	9	6.52	8.82	9.41	0.55	0.17	0.12

Thời gian keo hóa của các mẫu thí nghiệm giảm dần khi tăng hàm lượng TTL so với xi măng. Việc quyết định sử dụng hàm lượng của TTL phụ thuộc vào yêu cầu điều chỉnh thời gian keo hóa thiết kế của vật liệu bơm phụt. Có thể thấy rằng thời gian keo của hỗn hợp Silica-sol - Xi măng thay đổi từ 9 đến 360 s. Khi tỷ lệ nước-xi măng không đổi (W/C = 0.5:1), cùng với sự tăng của tỷ lệ khối lượng nước thủy tinh-xi măng (S/C), thời gian keo của hỗn hợp giảm dần. Mức giảm mạnh nhất tại ngưỡng S/C lớn hơn 0.4.

Từ kết quả tại Bảng 5 cho thấy cường độ nén tăng mạnh và hệ số thấm giảm mạnh khi tỷ lệ

S/C lớn hơn 0.4. Các nghiên cứu D. B. Wu [2] và cộng sự đã chỉ rằng, hàm lượng S/C tối ưu nhất nằm trong khoảng 40 – 60%. Để đảm bảo các yêu cầu kỹ thuật, điều kiện thi công và hiệu quả kinh tế, tỷ lệ S/C = 40% được chọn cho các nghiên cứu tiếp theo của đề tài này.

b. Tỷ lệ Nước - Xi măng

Tiến hành thí nghiệm kiểm tra thời gian đông kết keo hóa, cường độ nén và hệ số thấm của mẫu sau chế bị và bảo dưỡng trong điều kiện phòng thí nghiệm. Kết quả thí nghiệm được thể hiện trong Bảng 6 dưới đây cho mẫu vữa sử dụng xi măng PCB40 có xét tới ảnh hưởng của hàm lượng W/C.

Bảng 6: Bảng tổng hợp kết quả thí nghiệm cho mẫu vữa Silica-sol - Xi măng sử dụng hàm lượng W/C khác nhau (S/C = 0.4, sử dụng PCB40)

Tỷ lệ W/C	Xi măng	Nước	DD axit	TTL	Thời gian keo hóa	Cường độ nén (MPa)			Hệ số thấm (K x10 ⁻⁵ cm/s)		
	kg	kg	kg	kg	giây	R3	R7	R28	R3	R7	R28
40%	765.87	461.54	99.32	306.35	8	8.65	10.08	11.79	0.30	0.12	0.07
50%	711.39	499.84	92.26	284.55	15	7.04	8.96	10.35	0.38	0.14	0.09
70%	622.78	562.14	80.77	249.11	540	6.05	8.15	10.16	0.48	0.18	0.09
100%	524.74	631.07	68.05	209.90	1200	4.72	6.38	6.99	0.60	0.23	0.18
120%	474.90	666.11	61.59	189.96	1800	2.94	4.19	6.03	0.92	0.72	0.19

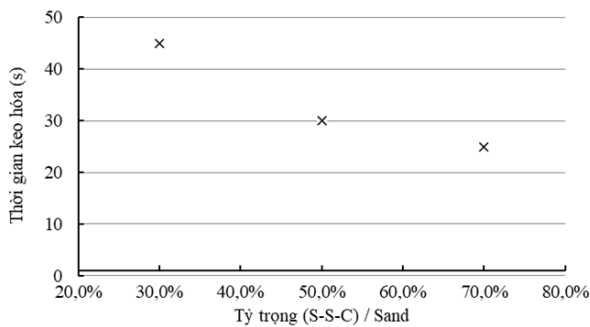
Thời gian keo hóa của các mẫu thí nghiệm tăng dần khi tăng hàm lượng W/C. Việc quyết định sử

dụng hàm lượng của TTL phụ thuộc vào yêu cầu điều chỉnh thời gian keo hóa thiết kế của vật liệu bơm phụt. Có thể thấy từ Bảng 6 cho thấy thời gian keo của hỗn hợp Silica-sol - Xi măng thay đổi từ 8 đến 1800s. Khi tỷ lệ TTL-xi măng không đổi ($S/C = 0.4:1$), cùng với sự tăng của tỷ lệ khối lượng nước -xi măng (W/C), thời gian keo hóa của hỗn hợp tăng dần. Thời gian keo hóa tốt nhất tại ngưỡng W/C lớn hơn $0.4 - 0.5$.

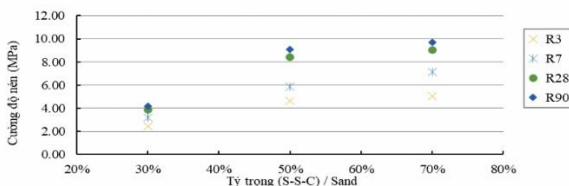
4.3. Kết quả nghiên cứu thiết kế hàm lượng Silica-Sol-Xi măng đổ vào Cát

Tiến hành thí nghiệm xác định cường độ kháng nén R_n và hệ số thấm K của mẫu ở 3, 7, 28 và 90 ngày tuổi ở trạng thái bão hòa.

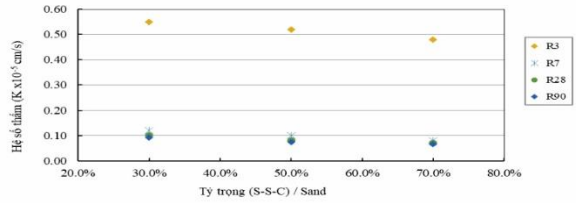
Đường quan hệ giữa $(S-S-C) / Sand$ khác nhau và thời gian keo hóa, cường độ kháng nén, hệ số thấm của mẫu vữa sử dụng xi măng PCB40 được biểu diễn từ hình 4 đến hình 6 dưới đây:



Hình 4: Quan hệ giữa thời gian tạo keo và các các tỷ lệ $(S-S-C) / Sand$ khác nhau ($S/C = 0.4, W/C = 0.5$; sử dụng PCB40)



Hình 5: Quan hệ giữa cường độ nén và các các tỷ lệ $(S-S-C) / Sand$ khác nhau ($S/C = 0.4, W/C = 0.5$; sử dụng PCB40)



Hình 6: Quan hệ giữa hệ số thấm và các các tỷ lệ $(S-S-C) / Sand$ khác nhau

Kết quả thí nghiệm cho thấy, khi tỷ lệ $(S-S-C) / Sand$ tăng lên, cường độ kháng nén tăng, có thể đạt tới 10.45 Mpa và hệ số thấm đạt $0.07 \times 10^{-5} \text{ cm/s}$ khi $(S-S-C) / Sand = 0.7$.

Trong phạm vi nghiên cứu này, tác giả giới hạn việc tìm mối quan hệ tỷ lệ giữa hỗn hợp Silica-Sol – Xi măng được bơm vào nền cát (tương ứng tỷ lệ $(S-S-C) / Sand$) và các tham số: thời gian keo hóa, cường độ kháng nén R_n và hệ số thấm K . Các kết quả thể hiện mối tương quan giữa chúng và cho chúng ta nhìn nhận về khả năng chống thấm cho nền cát của hỗn hợp Silica-Sol – Xi măng. Để tìm được cấp phối tối ưu, cần có các nghiên cứu thí nghiệm sâu hơn về công nghệ khoan phụt hóa chất này trong thời gian tới bằng những đề tài chuyên sâu và giải pháp công nghệ thi công cụ thể.

5. KẾT LUẬN VÀ KIẾN NGHỊ

Từ các kết quả trên, tác giả đề xuất thành phần cấp phối hỗn hợp Silica-Sol – Xi măng như sau:

- Để sử dụng vữa hóa chất có nguồn gốc từ TTL hiệu quả tỷ lệ (% về khối lượng) của dung dịch TTL nên lấy trong phạm vi 40% - 60%.
- Trong phản ứng tạo keo silic từ TTL có tỷ trọng $\gamma > 1.2 \text{ g/cm}^3$ với axit photphoric, khi nồng độ của axit $> 10\%$ thời gian tạo gel xảy ra tức thì.
- Tỷ lệ nước – xi măng (W/C) nên lấy trong khoảng 0.5 – 0.7 để đảm bảo điều kiện thi công và khả năng chống thấm khẩn cấp.
- Để đảm bảo điều kiện thi công và hiệu quả

chống thấm khẩn cấp nền cát công trình thủy lợi, Tỷ lệ giữa hỗn hợp (Silica-Sol-Xi măng) và Cát được khuyến cáo dùng trong khoảng 30% - 50%. Để có được cấp phối cụ thể cho từng vị trí công trình, cần có những thực nghiệm tại hiện trường để đưa ra những công thức kinh nghiệm tìm ra cấp phối tối ưu với từng mục đích của công trình.

Kết quả nghiên cứu của bài báo sẽ góp phần quan trọng củng cố cơ sở lý luận cho giải pháp KPHC để triển khai áp dụng rộng rãi trong thời gian tới. Tuy nhiên để triển khai ứng dụng đại trà tại Việt Nam cần những nghiên cứu chuyên sâu hơn về công nghệ khoan phụt, quy trình thi công, vật liệu khoan phụt.

TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1] N. C. Thái and B. V. Trường, *Khoan phụt chống thấm Công trình thủy lợi*. Nhà xuất bản xây dựng, 2020.
- [2] D. B. Wu, W. Wan, and X. Jiang, "The Basic of Performance of Cement-Silicate," *J. Hunan Institute Eng.*, vol. 23, no. 1, 2013.
- [3] C. Kutzner, *Grouting of Rock and Soil*. Germany, 1996.
- [4] N. Q. Dũng, "Công nghệ khoan phụt hóa chất để chống thấm," Hà Nội: Viện Khoa học Thủy lợi Việt Nam, 2019.
- [5] US Army Corps of Engineers, "Chemical Grouting," *Washington, USA*, 1995.
- [6] R. H. Karol, *Chemical Grouting And Soil Stabilization*. Marcel Dekker, 2003.
- [7] W. Clifton, "CHEMICAL GROUTS FOR POTENTIAL USE IN BUREAU OF RECLAMATION PROJECTS."
- [8] V. N. Binh and D. T. Quynh, "Use of Sodium Silicate in Combination with Cement for Improving Peat Soil in Mekong River Delta - Vietnam," *Int. J. Innov. Technol. Explor. Eng.*, vol. 10, no. 4, pp. 52–56, 2021, doi: 10.35940/ijitee.d8442.0210421.
- [9] V. B. Thao, "Công nghệ khoan phụt nút nê thủy lực chống thấm đập đất," *Vietnam Acad. Water Resour.*, no. July, 2020.
- [10] Robert and Bowen, "Grouting in Engineering Practice," *Appl. Sci. Publ.*, 1975.
- [11] R. K. Iler, *The Chemistry of Silica*. John Wiley & Sons, USA, 1979.