

# Nghiên cứu hệ số thấm của đất cát san lấp trộn xi măng

■ **ThS. NCS. LƯƠNG THỊ BÍCH; NGUYỄN DUY PHONG; PGS. TS. TRẦN NGUYỄN HOÀNG HÙNG**

*Trường Đại học Bách khoa TP. Hồ Chí Minh*

**TÓM TẮT:** Công nghệ đất trộn xi măng (SCM) được nghiên cứu và ứng dụng phổ biến cho các mục đích như xử lý nền đất yếu, gia cố đê, tường vây hồ đào... Các nghiên cứu đất trộn xi măng (soilcrete) chủ yếu về các đặc trưng cơ học như cường độ, mô-đun biến dạng và biến dạng. Hệ số thấm của soilcrete ( $k_s$ ) bước đầu được nghiên cứu cho sét trộn xi măng, nhưng cát trộn xi măng chưa được nghiên cứu toàn diện. Nghiên cứu này nỗ lực nhằm đến hiểu biết toàn diện ứng xử thấm của đất cát san lấp vùng Tây Nam bộ trộn xi măng với các hàm lượng khác nhau lần lượt 200, 250, 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup>. Ba loại xi măng OPC, PCB và PCS được sử dụng trong nghiên cứu này. Quy trình thí nghiệm thấm tuân thủ Tiêu chuẩn ASTM D5084. Kết quả nghiên cứu cho thấy: (1)  $k_s$  soilcrete giảm hơn 1.000 lần so với đất cát tự nhiên; (2)  $k_s$  của soilcrete giảm khi tăng hàm lượng xi măng và thời gian bảo dưỡng; (3)  $k_s$  của soilcrete tạo từ xi măng PCS thấp hơn từ xi măng OPC và PCB. (5)  $k_s$  của soilcrete tạo từ cát - xi măng đạt từ  $8,07 \times 10^{-8}$  m/s đến  $4,86 \times 10^{-11}$  m/s.

**TỪ KHÓA:** Hệ số thấm, đất trộn xi măng, cát san lấp.

**ABSTRACT:** The Soil Cement Mixing technology (SCM) has been widely applied for several applications such as soft ground improvement for highway embankments and earth levee embankments, seepage cut-off wall, and so on. Several key properties of soilcrete like strength, secant modulus, and strain were numerously investigated. The hydraulic conductivity of soilcrete made from clays was primarily studied. The hydraulic conductivity of soilcrete created from sand has limit research data. This research aims at better understanding of the permeability behavior of dredging sand taken in Mekong Delta mixed with various cement contents of 200, 250, 300, 350 and 400 kg/m<sup>3</sup>. Three cement types utilized in this study were ordinary portland cement (OPC), portland cement blended (PCB) and portland cement slag (PCS). All permeability tests followed the ASTM D5084 standard. The results indicate that: (1) the hydraulic conductivity of sand soilcrete was lower 1000 times than that of the compacted sand sample; (2) the hydraulic conductivity of soilcrete decreases with increasing cement contents and curing times; (3) the hydraulic conductivity of soilcrete made from PCS cement was lower than that from the OPC and PCB cements; (4) the sand soilcrete hydraulic conductivity varies from  $8.07 \times 10^{-8}$  m/s to  $4.86 \times 10^{-11}$  m/s.

**KEYWORDS:** Hydraulic conductivity, permeability, soilcrete, dredging sand.

## 1. ĐẶT VẤN ĐỀ

Công nghệ đất trộn xi măng (SCM) đã được áp dụng phổ biến ở nhiều nước trên thế giới cho nhiều mục đích khác nhau như gia cố đất yếu, đê, đập, tường ngăn vách hồ đào... Công nghệ SCM thi công nhanh vì vật liệu thi công chỉ gồm đất, xi măng và sẵn sàng chịu tải công trình sau 28 ngày. Các đặc trưng cơ - lý của đất trộn xi măng (soilcrete) là kết quả của các phản ứng hóa học xảy ra giữa khoáng trong đất, xi măng và nước tạo ra các chất keo kết dính, hóa rắn theo thời gian bảo dưỡng làm giảm lỗ rỗng của đất và cải thiện các tính chất cơ học của đất [10,13].

Trong tất cả các ứng dụng của soilcrete, các ảnh hưởng đến các đặc tính cơ-lý-hóa của soilcrete cần được nghiên cứu kỹ. Các nhân tố ảnh hưởng đến hiệu quả của đất trộn xi măng đã được nhiều tác giả nỗ lực nghiên cứu như loại đất và các đặc tính của đất (giới hạn atterberg, phân bố cỡ hạt của đất, hàm lượng hữu cơ trong đất), loại và hàm lượng xi măng, phương pháp trộn và đầm nén, điều kiện và thời gian bảo dưỡng [13,16,20,21,22]. Cường độ và mô-đun biến dạng đất trộn xi măng tăng theo hàm lượng xi măng và tăng theo thời gian bảo dưỡng [13,21,22]. Đất cát trộn xi măng có cường độ cao hơn đất sét trộn xi măng. Với hàm lượng hạt sét tăng, một lượng lớn xi măng cần thiết để tăng cường độ soilcrete [13,17]. Hàm lượng hữu cơ thường làm giảm cường độ soilcrete [12]. Tỷ lệ nước/xi măng cao làm giảm cường độ soilcrete [18]. Cường độ của đất trộn xi măng phụ thuộc vào các thành phần hóa học của xi măng. Đất trộn xi măng portland thông thường (OPC) với 98% clinke có cường độ cao hơn xi măng xỉ (PCS) [14]. Mẫu đất trộn xi măng bằng phương pháp trộn ướt có cường độ chịu nén tại 28 ngày tuổi cao hơn so với mẫu bằng phương pháp trộn khô [16].

Ngoài sự cải thiện về mặt cơ học của đất trộn xi măng, thấm cũng là một trong những đặc trưng vật lý quan trọng của soilcrete, đặc biệt khi đất được xử lý được sử dụng cho các công trình với mục đích ngăn nước [23]. Một số nghiên cứu về thấm của soilcrete tạo từ đất cát đã được thực hiện với các khía cạnh khác nhau như hàm lượng xi măng, thời gian bảo dưỡng, tỷ lệ nước trên xi măng ( $w/c$ ) và loại xi măng [9,10,15]. Nhìn chung, hệ số thấm đất cát trộn xi măng giảm so với mẫu đất cát tự nhiên và giảm khi tăng hàm lượng xi măng [6,8,9,10]. Hệ số thấm của soilcrete tạo từ đất cát giảm từ  $14 \times 10^{-8}$  m/s đến  $0,27 \times 10^{-8}$  m/s khi xi măng tăng từ 5% đến 20% [9]. Alkaya & Esener (2011) đã báo cáo hệ số thấm mẫu soilcrete tạo từ đất cát trộn 5%, 10% xi măng là rất thấp khoảng  $10^{-10}$  m/s. Hệ số thấm cát trộn xi măng phụ thuộc vào loại xi măng. Cát trộn xi măng xỉ (PCS) có hệ số thấm thấp hơn xi măng thông thường (OPC),

xi măng có độ mịn lớn hơn trộn đất cát cho hệ số thấm thấp hơn [14]. Hệ số thấm soilcrete giảm theo thời gian bảo dưỡng [7,10,11] và tăng khi tăng tỷ lệ w/c [15].

Hệ số thấm đất cát trộn xi măng cần tiếp tục được nghiên cứu, bổ sung dữ liệu khoa học về thấm của soilcrete. Bài báo tập trung nghiên cứu ứng xử thấm của đất cát san lấp vùng Tây Nam bộ trộn với xi măng về các khía cạnh như hàm lượng xi măng, loại xi măng, thời gian bảo dưỡng bằng thí nghiệm thấm trong phòng. Nghiên cứu khẳng định khả năng chống thấm tốt của hỗn hợp đất cát trộn xi măng, tìm ra loại xi măng phù hợp giúp cộng đồng tự tin sử dụng hỗn hợp vật liệu cho mục đích chống thấm.

**2. PHƯƠNG PHÁP LUẬN**

**2.1. Tiêu chuẩn thí nghiệm**

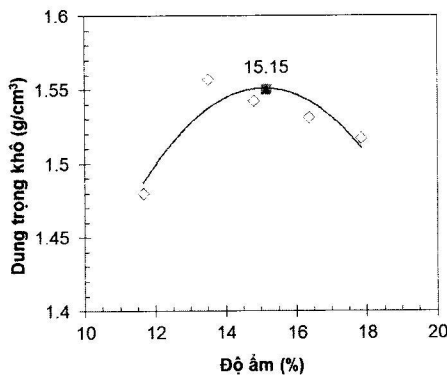
Phương pháp tạo mẫu soilcrete tham khảo Tiêu chuẩn ASTM D698 [3] và TCVN 9403:2012 [4]. Phương pháp thí nghiệm thấm tuân theo Tiêu chuẩn ASTM D5084 [2].

**2.2. Vật liệu thí nghiệm**

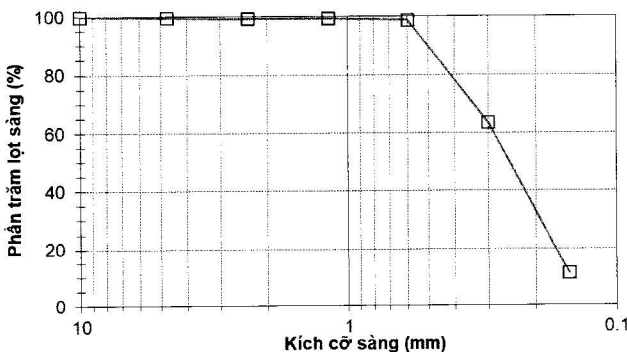
Đất cát san lấp lấy tại tỉnh Đồng Tháp được sử dụng trong nghiên cứu này. Các chỉ tiêu cơ lý của đất cát được xác định và trình bày ở Bảng 2.1. Kết quả thí nghiệm đầm nén cát và đường cong cấp phối hạt lần lượt thể hiện ở Hình 2.1, 2.2. Kết quả cho thấy, đất thuộc loại đất cát hạt nhỏ với hàm lượng hạt trên sàng 0,1 mm chiếm > 75% khối lượng khô (TCVN8217:2009).

*Bảng 2.1. Chỉ tiêu cơ lý của cát sông san lấp*

Độ ẩm tốt nhất $w_{op}$ (%)	Trọng lượng riêng ướt $\gamma_w$ (kN/m <sup>3</sup> )	Trọng lượng khô $\gamma_{dmax}$ (kN/m <sup>3</sup> )	Độ pH	Hàm lượng hữu cơ %	Mô-đun độ lớn
15,15	17,84	15,55	6,7	6,76	1,29



*Hình 2.1: Kết quả đầm nén cát san lấp*



*Hình 2.2: Đường cong cấp phối hạt đất cát san lấp*

Xi măng được sử dụng trong nghiên cứu này gồm 3 loại: xi măng portland thông thường OPC40, xi măng portland hỗn hợp PCB40 và xi măng portland chứa 50% xỉ lò cao (PCS). Lượng clinker được sử dụng để sản xuất xi măng OPC40 là 96% cao hơn đáng kể so với hai loại xi măng còn lại lần lượt 60% và 47%. Các chỉ tiêu chất lượng của xi măng được trình bày trong Bảng 2.2.

*Bảng 2.2. Chỉ tiêu chất lượng của các loại xi măng*

Các chỉ tiêu	OPC40	PCB40	PCS
	TCVN 2682:2009	TCVN 6260:2009	TCVN 4316:2007
Cường độ nén phẳng: 3 ngày ± 45 phút 28 ngày ± 8 giờ	≥ 21 ≥ 40	≥ 18 ≥ 40	≥ 22 ≥ 50
Thời gian đông kết tối thiểu: Bắt đầu, phút Kết thúc, phút	≥ 45 ≤ 375	≥ 45 ≤ 420	≥ 45 ≤ 600
Độ mịn, xác định theo phương pháp Blaine, cm <sup>2</sup> /g	≥ 2800	≥ 2800	≥ 3300
Độ ổn định thể tích, xác định theo phương pháp Le Chatelier, mm	≤ 10	≤ 10	≤ 10
Hàm lượng SO <sub>3</sub> , %	≤ 3,5	≤ 3,5	≤ 3,5
Hàm lượng MgO, %	≤ 5		≤ 6
Hàm lượng Na <sub>2</sub> O <sub>eq</sub> , %	≤ 0.6		

Nước dùng chế tạo mẫu soilcrete và thí nghiệm thấm là nước sinh hoạt phù hợp Tiêu chuẩn TCVN 4506:2012 được trình bày trong Bảng 2.3.

*Bảng 2.3. Hàm lượng tối đa cho phép (mg/L) của các chất trong nước*

Muối hòa tan	Ion sunfat (SO <sub>4</sub> ) <sup>2-</sup>	Ion clo (Cl) <sup>-</sup>	Cặn không tan
10.000	2.700	3.500	300

**2.3. Chuẩn bị mẫu**

*\* Mẫu đất cát tự nhiên:*

Mẫu đất cát thu thập về phòng thí nghiệm được sấy khô sau đó trộn với nước để đạt độ ẩm tốt nhất 15.15%. Đất ở độ ẩm tốt nhất được tạo mẫu trong khuôn trụ tròn thành cứng có kích thước D x H = (62x140) mm tuân theo Tiêu chuẩn ASTM D698 [3] với công đầm tương đương 600 kN-m/m<sup>3</sup>. Đất lần lượt được cho vào khuôn thành 3 lớp, mỗi lớp được đầm 21 lượt bằng thanh đầm có trọng lượng 1,54 kg, chiều cao rơi 0,305 m.

*\* Mẫu đất cát trộn xi măng:*

Mẫu đất cát san lấp trộn xi măng được chế tạo trong phòng thí nghiệm bằng khuôn nhựa PVC dạng hình trụ tròn có chiều cao, H = 65 mm và đường kính, D = 62 mm, kích thước này tuân thủ theo Tiêu chuẩn ASTM D5084. Các mẫu soilcrete được chế tạo từ 3 loại xi măng khác nhau là OPC, PCB và PCS với các hàm lượng xi măng lần lượt 200, 250, 300, 350, 400 kg/m<sup>3</sup>. Các thông số vật liệu tạo mẫu soilcrete được trình bày trong Bảng 2.4. Quy trình chế tạo mẫu soilcrete tạo từ đất cát san lấp và xi măng được thực hiện như sau: (1) Cát khô trộn với nước ứng

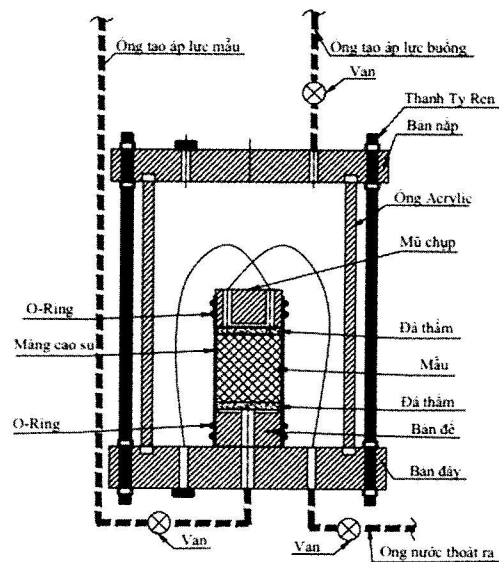
với độ ẩm tốt nhất 15,15%; (2) Trộn xi măng khô với đất ẩm đến khi hỗn hợp tương đối đồng đều trong 5 phút; (3) Trộn hỗn hợp đất - xi măng với nước theo tỉ lệ  $w:c = 0.7:1$  trong 5 phút để có hỗn hợp soilcrete thuận lợi trong việc đầm nén mẫu; (4) Hỗn hợp soilcrete lần lượt được cho vào khuôn thành 3 lớp, mỗi lớp được đầm bằng máy đầm rung đến khi không còn bọt khí từ 3 - 5 phút; (5) Bịt kín các đầu khuôn bằng nilong và dán nhãn; (6) Ngâm bảo dưỡng mẫu trong nước để đẩy nhanh quá trình phát triển cường độ của mẫu soilcrete. (7) Sau 2 ngày tuổi, mẫu được ép đẩy ra khỏi khuôn. Xác định chiều cao và đường kính mẫu, các kích thước được đo ở 3 vị trí khác nhau và lấy giá trị trung bình; (8) Bão hòa mẫu bằng bình hút chân không với lực hút -80 kPa trong thời gian tối thiểu 24h. Các mẫu sau khi bão hòa được lắp đặt vào thiết bị thấm thành mềm để khảo sát thấm theo phương pháp cột áp vào giảm - cột áp ra không đổi và phương pháp cột áp vào giảm - cột áp ra dâng.

**Bảng 2.4. Thông số vật liệu chế tạo mẫu soilcrete**

Ký hiệu mẫu	Loại xi măng	Hàm lượng Xi măng (kg/m <sup>3</sup> )	Khối lượng đất ở độ ẩm 15,15% (g)	Tỷ lệ nước trên hàm lượng xi măng w:c	Khối lượng xi măng (g)	Khối lượng nước (g)
S	-	-	754	-	-	-
SC1	OPC	200	350	0,7	39,3	27,5
SC2	OPC	250	350	0,7	49,1	34,4
SC3	OPC	300	350	0,7	58,9	41,2
SC4	OPC	350	350	0,7	68,7	48,1
SC5	OPC	400	350	0,7	78,6	55
SB	PCB	300	350	0,7	58,9	41,2
SS	PCS	300	350	0,7	58,9	41,2

**2.4. Quy trình thí nghiệm**

Hệ số thấm của mẫu đất cát tự nhiên  $k_{soil}$  được xác định bằng thiết bị thành cứng theo phương pháp cột áp vào giảm - cột áp ra không đổi. Độ dốc thủy lực từ 2 - 5 nhằm tránh hiện tượng cố kết mẫu và rò rỉ nước chảy dọc theo thành khuôn mẫu (ASTM D5856) [2]. Đối với các mẫu soilcrete,  $k_s$  được xác định bằng thiết bị thành mềm được thiết kế riêng phục vụ cho nghiên cứu này, thiết bị tuân theo Tiêu chuẩn ASTM D5084 [1] (Hình 2.3). Cột áp vào mẫu 3 - 4 m, độ dốc thủy lực có giá trị  $40 \pm 5$  hoặc cột áp vào mẫu lớn hơn 9 - 10 m với độ dốc thủy lực đạt được  $130 \pm 5$ . Cột áp vào buồng luôn lớn hơn cột áp vào mẫu từ 1 - 2 m nhằm đảm bảo nước thấm không bị chảy dọc thành mẫu. Quá trình lắp đặt mẫu vào thiết bị thấm được thực hiện hoàn toàn trong nước, đảm bảo cho mẫu được bão hòa nước hoàn toàn. Mẫu lắp đặt trong thiết bị thấm thành mềm được mô tả ở Hình 2.3. Một viên đá thấm và hai tờ giấy lọc bằng vải địa kỹ thuật được đặt ở hai đầu mẫu. Viên đá thấm tại hai bề mặt để phân bố đều áp lực lên mẫu. Các tấm giấy lọc để ngăn chặn sự trôi ra của các hạt mịn từ mẫu thử. Nước dùng thí nghiệm thấm được loại bỏ bọt khí trước khi cho thấm qua mẫu. Các thí nghiệm thấm được thực hiện trong điều kiện nhiệt độ phòng thí nghiệm dao động từ 27 - 35°C.



**Hình 2.3: Thiết bị thấm có thành mềm**

Hệ số thấm của mẫu đất tự nhiên  $k_{soil}$  và các mẫu soilcrete,  $k_s$  ở nhiệt độ thí nghiệm được tính theo công thức (1), hoặc (2) tùy theo phương pháp thí nghiệm [1]:

Theo nguyên lý cột áp vào hạ - cột áp ra không đổi:

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \tag{1}$$

Theo nguyên lý cột áp vào hạ - cột áp ra dâng:

$$(a_{in} = a_{out} = a) k = 2.303 \frac{aL}{2At} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \tag{2}$$

Trong đó:  $k$  - Hệ số thấm (m/s);  $L$  - Chiều dài của mẫu (m);  $A$  - Diện tích tiết diện mẫu (m<sup>2</sup>);  $a$  - Diện tích tiết diện ống nước chảy vào mẫu (m<sup>2</sup>);  $t = t_1 - t_2$  - Khoảng thời gian xác định chênh cao cột áp  $h_1$  và  $h_2$  (giây);  $h_1$  - Chênh cao cột áp tại thời điểm  $t_1$  (m);  $h_2$  - Chênh cao cột áp tại thời điểm  $t_2$  (m).

Hệ số thấm ở nhiệt độ thí nghiệm được quy đổi về nhiệt độ chuẩn 20°C theo công thức (3):

$$k_{20} = R_T \times k \tag{3}$$

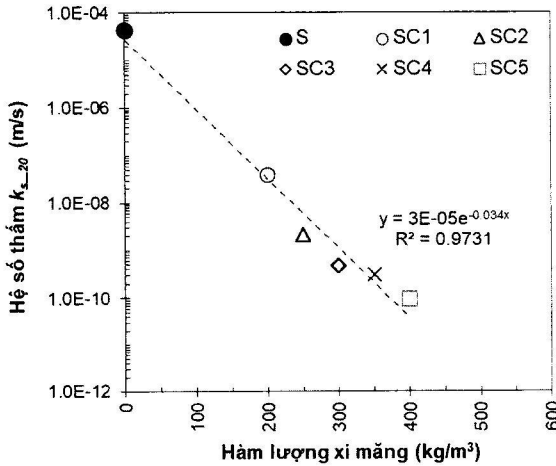
Trong đó:  $k_{20}$  - Hệ số thấm ở nhiệt độ chuẩn 20°C (m/s);  $k$  - Hệ số thấm ở nhiệt độ thí nghiệm;  $R_T$  - Hệ số quy đổi độ nhớt của nước theo nhiệt độ, được xác định theo Tiêu chuẩn ASTM D5084 [1].

**3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN**

**3.1. Ảnh hưởng hàm lượng xi măng lên hệ số thấm mẫu đất cát trộn xi măng**

Hệ số thấm của mẫu đất cát tự nhiên chưa xử lý được đầm chặt ở độ ẩm tốt nhất, đất cát trộn xi măng OPC hàm lượng lần lượt 200, 250, 300, 350, và 400 kg/m<sup>3</sup> ở 28 ngày tuổi thể hiện trên Hình 3.1. Kết quả thí nghiệm cho thấy, hệ số thấm soilcrete giảm đáng kể từ  $10^{-3}$  đến  $10^{-5}$  lần so với đất cát tự nhiên được đầm chặt và hệ số thấm soilcrete giảm khi tăng hàm lượng xi măng. Kết quả này tương đồng với nghiên cứu của [6,8,9,10]. Đất cát trộn xi măng, phản ứng thủy hóa xi măng diễn ra trong mẫu soilcrete tạo ra các khoáng vật calcium-silicate-hydrate (CSH), calcium-aluminate-hydrate (CAH) và canxi hydroxit (Ca(OH)<sub>2</sub>). Các sản phẩm này ngậm nước ở dạng gel nhanh chóng chiếm chỗ trống trong mẫu soilcrete, giảm độ rỗng, giảm khả năng liên kết giữa các lỗ

rỗng trong đất, dẫn đến hệ số thấm giảm [5]. Mẫu soilcrete có hàm lượng xi măng lớn hơn tạo ra nhiều sản phẩm dạng gel hơn, kết quả hệ số thấm thấp hơn.



Hình 3.1: Hệ số thấm mẫu cát tự nhiên và các mẫu soilcrete ở 28 ngày tuổi

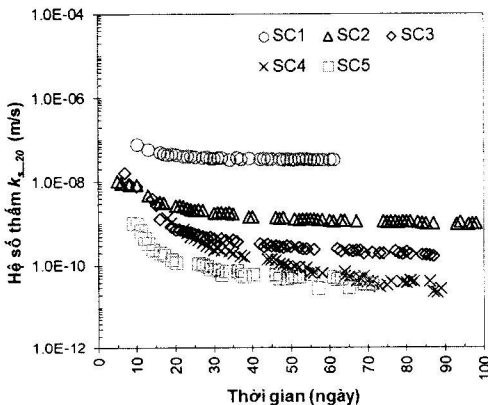
Kết quả nghiên cứu cho thấy mối quan hệ giữa hệ số thấm soilcrete cát san lấp với hàm lượng xi măng có thể xác định theo công thức (4):

$$k_s = 3,10^{-5} \cdot e^{-0.034 \cdot A_c} \quad (4)$$

Trong đó:  $k_s$  - Hệ số thấm soilcrete cát (m/s),  $A_c$  - Hàm lượng xi măng OPC40 (kg/m³).

### 3.2. Hệ số thấm của mẫu đất cát trộn xi măng theo thời gian

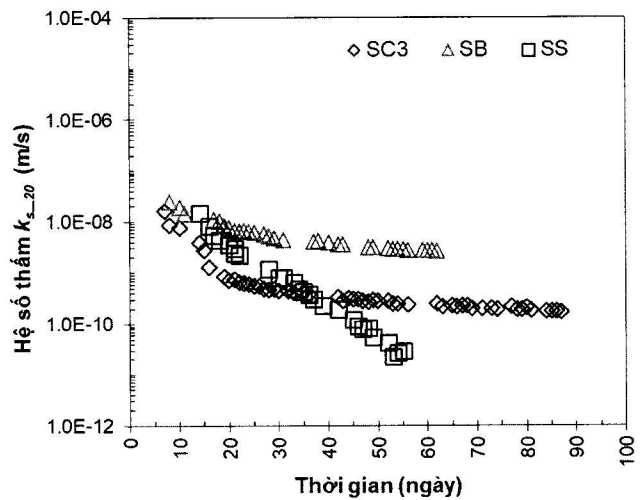
Hình 3.2 chỉ ra ảnh hưởng của thời gian bảo dưỡng lên hệ số thấm của đất cát trộn xi măng với các hàm lượng khác nhau lần lượt 200, 250, 300, 350 và 400 kg/m³. Hệ số thấm của tất cả các mẫu soilcrete đều giảm theo thời gian bảo dưỡng. Xu hướng tương tự được báo cáo bởi [7,10,11]. Hình 3.2 cho thấy  $k_s$  hầu như không đổi sau 15 ngày bảo dưỡng đối với các mẫu có hàm lượng xi măng thấp hơn (200, 250 kg/m³). Tuy nhiên, các mẫu soilcrete có hàm lượng xi măng lớn hơn (300, 350, 400 kg/m³),  $k_s$  tiếp tục giảm mạnh ngay cả sau 15 ngày bảo dưỡng. Kết quả này cho thấy, việc giảm hệ số thấm theo thời gian liên quan trực tiếp đến thời gian thủy hóa hết xi măng trong mẫu soilcrete. Tại hàm lượng xi măng cao hơn, các phản ứng thủy hóa mất nhiều thời gian hơn để hoàn thành bên trong mẫu soilcrete [9].



Hình 3.2: Hệ số thấm của các mẫu soilcrete theo thời gian bảo dưỡng

### 3.3. Ảnh hưởng của loại xi măng lên hệ số thấm mẫu đất cát trộn xi măng

Ảnh hưởng của loại xi măng lên hệ số thấm của mẫu đất cát trộn xi măng được đánh giá bằng cách so sánh kết quả hệ số thấm của các mẫu cát trộn cùng một hàm lượng xi măng 300 kg/m³ với 3 loại xi măng khác nhau OPC, PCB, PCS, tương ứng (Hình 3.3). Kết quả cho thấy, hệ số thấm  $k_s$  của mẫu cát trộn xi măng PCB là cao hơn so với hai loại còn lại. Hệ số thấm của mẫu cát trộn xi măng OPC thấp hơn mẫu cát trộn xi măng PCS trong giai đoạn trước 35 ngày tuổi. Tuy nhiên, sau 35 ngày tuổi,  $k_s$  của mẫu cát trộn xi măng PCS tiếp tục giảm mạnh và trở nên thấp hơn  $k_s$  của mẫu cát trộn xi măng OPC. Markou & Droudakis (2013) đã tìm thấy xu hướng tương tự. Xi măng OPC chứa 96% clinke, các khoáng chất của clinke thủy hóa tạo ra C-S-H, C-A-H,  $Ca(OH)_2$ . Trong giai đoạn ngắn hạn, mẫu đất trộn xi măng OPC tạo ra sản phẩm dạng gel C-S-H, C-A-H nhiều hơn mẫu đất cát trộn xi măng PCS, dẫn đến hệ số thấm thấp hơn. Ngược lại, xi măng xỉ lò cao ngoài clinke còn có thành phần pozzolan trong xỉ ( $SiO_2$ ,  $Al_2O_3$ ).  $Ca(OH)_2$  tạo ra từ quá trình thủy hóa clinke tiếp tục tác dụng các pozzolan tạo ra sản phẩm dạng gel C-S-H, C-A-H. Theo chiều hướng này, quá trình thủy hóa xi măng PCS diễn ra chậm hơn, trong giai đoạn dài hạn lượng sản phẩm dạng gel sinh ra nhiều hơn so với xi măng OPC [14]. Kết quả  $k_s$  của mẫu đất trộn xi măng PCS giảm chậm hơn và thấp hơn so với mẫu đất trộn xi măng OPC. Bên cạnh đó, xi măng PCS có độ mịn cao hơn xi măng OPC, nên tăng khả năng lấp đầy lỗ rỗng trong mẫu soilcrete dẫn đến hệ số thấm thấp hơn [14].



Hình 3.3: Hệ số thấm của các mẫu soilcrete tạo từ các loại xi măng khác nhau

### 4. KẾT LUẬN

Tám mẫu soilcrete đã được chế tạo trong phòng thí nghiệm từ đất cát san lấp tỉnh Đồng Tháp trộn với ba loại xi măng OPC, PCB và PCS tại các hàm lượng khác nhau lần lượt 200, 250, 300, 350, 400 kg/m³. Hệ số thấm của các mẫu soilcrete đã được khảo sát bằng thí nghiệm thấm theo phương pháp cột áp vào giảm - cột áp ra không đổi hoặc cột áp vào giảm - cột áp ra dâng trên thiết bị thấm thành mềm. Đối với mẫu đất cát tự nhiên đầm chặt được thực



hiện thí nghiệm thấm trên thiết bị thành cứng. Các kết luận được rút ra từ các thí nghiệm như sau:

- Hệ số thấm đất cát trộn xi măng giảm đáng kể từ  $10^{-3}$  đến  $10^{-5}$  lần so với đất cát tự nhiên;
- Hệ số thấm đất cát trộn xi măng giảm khi tăng hàm lượng xi măng;
- Hệ số thấm đất cát trộn xi măng giảm theo thời gian bảo dưỡng;
- Hệ số thấm đất cát trộn xi măng PCS thấp hơn so với trộn với xi măng OPC và PCB;
- Hệ số thấm đất cát trộn xi măng đạt từ  $8,07 \times 10^{-8}$  m/s đến  $4,86 \times 10^{-11}$  m/s.

**Lời cảm ơn:** Nghiên cứu này được thực hiện từ nguồn kinh phí nghiên cứu của đề tài loại B - Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh, mã số B2018-20-04. Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn Đại học Quốc gia TP. Hồ Chí Minh và Trường Đại học Bách khoa đã hỗ trợ hiệu quả trong suốt quá trình nghiên cứu.

#### Tài liệu tham khảo

- [1]. American Society for Testing and Materials (2010), *Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous material using a flexible wall permeameter*, ASTM D5084, 24 pages.
- [2]. American Society for Testing and Materials (1995), *Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid wall, compaction mold permeameter*, ASTM D5856, 8 pages.
- [3]. American Society for Testing and Materials (1998), *Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort (12,400 ft-lbf/ft<sup>3</sup> (600 kN-m/m<sup>3</sup>))*, ASTM D 698 - 91, 8 pages.
- [4]. Bộ Khoa học và Công nghệ, *Gia cố nền đất yếu - Phương pháp trụ đất xi măng*, Việt Nam, TCVN 9403:2012, 42 trang.
- [5]. S. J. Abbey, S. Ngambi, A. O. Olubanwo and F. K. Tetteh (2018), *Strength and Hydraulic Conductivity of Cement and By - Product Cementitious Materials Improved Soil*, International Journal of Applied Engineering Research, vol.13, pp.8684-8694.
- [6]. D. Alkaya and A. B. Esener (2011), *Usability of sand-bentonite-cement mixture in the construction of unpermeable layer*, Scientific Research and Essays, vol.6, no.21, pp.4492-4503.
- [7]. S. Akbulut and A. Saglamer (2004), *Modification of hydraulic conductivity on granular soils using waste materials*, Waste Management, vol.24, pp.491-499.
- [8]. T. S. Amhadi and G.J. Assaf (2020), *Strength and permeability potentials of cementmodified desert sand for roads construction purpose*, Innovative Infrastructure Solutions, 5:79, 10 pages.
- [9]. R. Bahar, M. Benazzoug and S. Kenai (2004), *Performance of compacted cement - stabilised soil*, Cement and concrete composites, vol.26, pp.811-820.
- [10]. I. Bellezza and E. Fratolocchi (2006), *Effectiveness of cement on hydraulic conductivity of compacted soil-cement mixtures*, Proceedings of ICE - Ground Improvement, 10(2), pp.77-90.
- [11]. O. Helson, J. Eslami, A. Beaucour, A. Noumowe and P. Gotteland (2018), *Hydro-mechanical behaviour of soilcrete through a parametric laboratory study*, Construction and Building Materials, vol.166, pp.657-667.
- [12]. B.B.K. Huat, S. Maail and T.A. Mohamed (2005), *Effect of Chemical Admixtures on the Engineering Properties of Tropical Peat Soils*, American Journal of Applied Sciences, vol.7, pp.1113-1120.
- [13]. A. H. M. Kamruzzaman (2002), *Physico-Chemical and Engineering of cement treated Singapore marine clay*, M.E. Thesis, National University of Singapore.
- [14]. I. N. Markou and A. I. Droudakis (2013), *Factors Affecting Engineering Properties of Microfine Cement Grouted Sands*, Geotech Geology Engineering 2013, 31, pp.1041-1058.
- [15]. I. A. Pantazopoulos, D. K. Atmatzidis, V. G. Basas and S. K. Papageorgopoulou (2013), *Effect of Grout Bleed Capacity on the Engineering Properties of Cement Grouted Sands*, Proceedings of the 18<sup>th</sup> International Conference on Soil Mechanics and Geotechnical Engineering, Paris, pp.2569-2572.
- [16]. M. S. Pakbaz and M. Farzi (2014), *Comparison of the effect of mixing methods (dry vs. wet) on mechanical and hydraulic properties of treated soil with cement or lime*, Applied Clay Science, 14p.
- [17]. A. Porbaha (2000), *State of the art in deep mixing technology: Part III: Geomaternal characterization*, Ground Improvement, vol.3, pp.91-110.
- [18]. V. Samidurai & M. Muttharam (2009), *Experimental study on the compressive strength of grouted sand colume*, Proceedings of Indian Geotechnical, pp.375-379.
- [19]. H. Sharafi and M. Shekarbeigi (2019), *Experimental evaluation of the behavior of Sandy Soil-Cement Mixture*, Revista Ingeniería UC, vol.26, no.3, pp.258-272.
- [20]. F. Schnaid, P. D. M. Prietto and N. C. Consoli (2001), *Characterization of cemented sand in triaxial compression*, Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering, vol.127, no.10, pp.857- 868.
- [21]. H-H. Tran-Nguyen, M. Kitazume, B.T. Luong and T. T. Bui (2014), *Laboratory investigation on An Giang soil mixed with dry cement*, Malaysian Journal of Civil Engineering, 26(1) pp.77- 88.
- [22]. H-H. Tran-Nguyen, B. K. Le, L. P. Le, C. M. T. Do, T. B. Nguyen, C. D. Truong, P. A. Mai (2015), *Laboratory investigation of soilcrete created from the Mekong Delta's soils mixed with cemen*, Proceeding Deep Mixing 2015 Conference, San Francisco, USA, pp.725-734.
- [23]. Y. Yuzhen, P. Jialiu, U. Keizo and H. Takashi (1999), *A study on permeability of soil - cement mixture*, Japanese geotechnical society, vol.39, no.5, pp.145-149.

**Ngày nhận bài: 04/01/2021**

**Ngày chấp nhận đăng: 22/02/2021**

**Người phản biện: GS. TS. Trần Thị Thanh  
TS. Bùi Phương Trinh**