

NGHIÊN CỨU ỨNG XỬ THẨM CỦA ĐẤT CÁT SAN LẤP TRỘN XI MĂNG-BENTONITE

LƯƠNG THỊ BÍCH*, NGUYỄN DUY PHONG**,
NGUYỄN TUẤN DUY KHÁNH***, TRẦN NGUYỄN HOÀNG HÙNG****

Investigation of hydraulic conductivity of soilcrete specimens made from dredging sand, cement, and bentonite

Abstract: *The hydraulic conductivity of soilcrete specimens created from dredging sand mixing with cement and bentonite expects to be relatively low to apply as impermeable cores for embankments, dams, containment walls and so on. Hydraulic conductivity of dredging sand samples taken in Dong Thap province mixed with a cement content of 300 kg/m³ and various bentonite contents of 25, 50, 75, 100 kg/m³ was conducted. The tests followed the ASTM D5856 and D5084 standards. The results indicate that: (1) The hydraulic conductivity of the dredging sand mixed with cement content was lower 1000 times than that of the unmixed sand; (2) the hydraulic conductivity of the sand mixed with cement and bentonite was lower than that of the sand mixed with cement and slightly increases with increasing in bentonite contents; (3) the hydraulic conductivity of soilcrete decreases with increasing in curing times; (4) the hydraulic conductivity of soilcrete was identical with hydraulic gradients; (5) the hydraulic conductivity of soilcrete varied from 4.86×10^{-9} m/s to 1×10^{-10} m/s.*

Keywords: *Hydraulic conductivity, permeability, soilcrete, dredging sand, bentonite*

1. GIỚI THIỆU

Đất sét với hệ số thấm nhỏ ($< 10^{-9}$ m/s) được sử dụng phổ biến làm lõi chống thấm cho các công trình như đê, đập, và bãi chứa rác thải. Lõi sét chống thấm hiệu quả vì là vật liệu tự nhiên và thi công đơn giản. Tuy nhiên, đất sét phù hợp chống thấm ngày càng khan hiếm (Martirosyan

& Yamukyan, 2018; Tong & Sharkelford, 2016; Alkaya & Esener, 2011).

Đất cát trộn bentonite cho hệ số thấm phù hợp thay thế đất sét tự nhiên làm lõi chống thấm cho đê đập đất (Tong & Shackelford, 2016; Ameta & Wayal, 2015; Castelbaum & Sharkelford, 2014; Alkaya & Esener, 2011; Xu et al, 2011; Taha OME & Taha MR, 2007; Sällfors and Öberg-Högsta, 2002; Kenney et al, 1992). Bentonite hay montmorillonite có tính trương nở cao. Bentonite trộn cát làm giảm đáng kể hệ số thấm của cát tự nhiên (Alkaya and Esener, 2011; Xu et al, 2011; Ameta and Wayal, 2008; Kumar and Young, 2002).

Hệ số thấm thấp của hỗn hợp cát-bentonite phụ thuộc vào độ ẩm, hàm lượng bentonite, và sự phân bố đồng đều của bentonite trong hỗn

* *Nghiên cứu sinh, Khoa KTXD, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM*

Email: ltbich.sdh19@hcmut.edu.vn

** *Học viên cao học, Khoa KTXD, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM*

Email: ndphong.sdh19@hcmut.edu.vn

*** *Học viên cao học, Khoa KTXD, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM*

Email: ntdkhanh15@gmail.com

**** *Giảng viên, PGS.TS., Khoa KTXD, Trường Đại học Bách Khoa TP. HCM*

Email: tnhhung@hcmut.edu.vn

hợp (Kenney et al, 1992). Xu et al (2011) cho thấy k_s giảm mạnh từ 1×10^{-6} m/s xuống 1×10^{-10} m/s khi đất cát trộn 5% bentonite, hàm lượng bentonite vượt quá 5% k_s của hỗn hợp tiếp tục giảm nhưng không đáng kể. Cowland & Leung (1991) và Kenney et al (1992) cùng kết luận hệ số thấm hỗn hợp cát - bentonite đạt 1×10^{-9} m/s yêu cầu hàm lượng bentonite tối thiểu là 7%. Sällfors & Öberg-Högsta (2002) đã đề xuất hàm lượng bentonite nên từ 4 - 13% để đạt mục đích chống thấm và hiệu quả kinh tế trong xây dựng công trình. Tuy nhiên, hỗn hợp cát - bentonite có thể xuất hiện các vết nứt bề mặt làm tăng hệ số thấm khi hàm lượng bentonite lớn, độ ẩm giảm (Esener, 2005 nguồn Alkaya & Esener, 2011).

Xi măng trộn vào đất cát - bentonite cũng đã được nghiên cứu về cường độ và tính thấm của hỗn hợp vật liệu. Xi măng có thể được sử dụng một lượng nhỏ (5-15%) với vai trò chất liên kết làm tăng cường độ của đất cát - bentonite, làm giảm hệ số thấm, và giảm khả năng hình thành vết nứt (Iravanian, 2015; Alkaya & Esener, 2011; Bahar et al., 2004). Đất cát trộn 10% bentonite - 5% xi măng có hệ số thấm thấp hơn 10 lần so với đất cát trộn 10% bentonite (Alkaya & Esener, 2011). Tương tự, Iravanian (2015) đã báo cáo hỗn hợp vật liệu với tỉ lệ 80% cát - 15% bentonite - 5% xi măng có hệ số thấm thấp $< 10^{-9}$ m/s và cho rằng với giá trị hệ số thấm này hỗn hợp vật liệu cát trộn xi măng -

bentonite có thể phù hợp sử dụng trong các công trình ngăn nước.

Tại Việt Nam, đất cát san lấp khá phổ biến, đất được bơm hút từ các sông. Tuy nhiên, đất cát chủ yếu dùng để san lấp mặt bằng. Hệ số thấm đất cát trộn xi măng-bentonite chưa được nghiên cứu và ứng dụng. Bài báo này tập trung nghiên cứu ứng xử thấm của đất cát san lấp vùng Tây Nam Bộ trộn xi măng - bentonite với các hàm lượng khác nhau trong phòng. Nghiên cứu nhằm khẳng định khả năng chống thấm tốt của hỗn hợp đất cát trộn xi măng - bentonite, đồng thời xác định hàm lượng bentonite tối ưu cho hỗn hợp và giúp cộng đồng tự tin sử dụng hỗn hợp vật liệu cho các công trình với 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 và TCVN 9403:2012. Phương pháp thí nghiệm thấm tuân theo tiêu chuẩn ASTM D5084.

2.2. Vật liệu thí nghiệm

Cát được lấy ở tỉnh Đồng Tháp. Các mẫu đất cát sau khi thu thập được bảo quản cẩn thận trong bao nhựa. Độ ẩm tốt nhất và các trọng lượng riêng của cát tại độ ẩm tốt nhất được xác định bằng thí nghiệm đầm nén tiêu chuẩn (ASTM D698). Các chỉ tiêu cơ lý của cát được trình bày trong Bảng 1.

Bảng 2. Chỉ tiêu cơ lý của cát sông san lấp

Độ ẩm tốt nhất w_{op} (%)	Trọng lượng riêng ướt γ_w (kN/m ³)	Trọng lượng khô γ_{dmax} (kN/m ³)	Độ pH
15,15	17,84	15,18	6,7

Xi măng Portland PCB40 có các chỉ tiêu chất lượng tuân thủ theo tiêu chuẩn TCVN 6260:2009 được trình bày trong Bảng 2.

Bảng 3. Chỉ tiêu chất lượng của xi măng pooc lăng PCP40

Cường độ nén, (MPa)		Thời gian đông kết, (phút)		Độ mịn * (%)	Độ ổn định thể tích (mm)	Hàm lượng SO ₃ (%)
3 ngày	28 ngày	Bắt đầu	Kết thúc			
≥ 18	≥ 40	≥ 45	≤ 420	≤ 10	≤ 10	≤ 3,5

* xác định theo phần còn lại trên sàn lỗ không lớn hơn 0,09 mm.

Bentonite có các chỉ tiêu cơ lý tuân theo tiêu chuẩn API SPEC 13A được trình bày ở Bảng 3.

Bảng 4. Chỉ tiêu chất lượng của bentonite

Khối lượng riêng (g/cm ³)	Độ ẩm (%)	Giới hạn chảy (%)	Phần trăm khối lượng hạt lọt qua sàng 0,075 mm (%)
0,9	10	440	80

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 4.

Bảng 5. Hàm lượng tối đa cho phép của các chất trong nước trộn vữa [19]

	Muối hòa tan	Ion sunfat (SO ₄) ²⁻	Ion clo (Cl) ⁻	Cặn không tan
Hàm lượng (mg/l)	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 $D \times H = (62 \times 140)$ mm tuân theo tiêu chuẩn ASTM D698 với công đầm đạt 600 kN-m/m³. 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. Hai đầu mẫu có bịt bằng đá thấm và vải địa kỹ thuật để ngăn chặn sự trôi đi của các hạt mịn trong quá trình thí nghiệm thấm. Bão hòa mẫu đất bằng máy bơm hút chân không đến khi không thấy xuất hiện bọt khí trong thời gian 48 giờ. Quá trình bão hòa mẫu sử dụng nước đã được loại bỏ bọt khí.

Mẫu đất cát trộn xi măng và bentonite

Các mẫu đất cát trộn xi măng – bentonite (soilcrete) 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 trong nghiên cứu này được chế tạo tại hàm lượng xi măng 300 kg/m³ và các hàm lượng bentonite lần lượt 25, 50, 75, và 100 kg/m³. Hàm lượng xi măng, bentonite (kg/m³)

trong hỗn hợp đất - xi măng - bentonite được định nghĩa là tỉ số giữa khối lượng xi măng khô (kg), khối lượng bentonite (kg) trên một đơn vị thể tích đất cần gia cố (m³). Các thông số vật liệu tạo mẫu soilcrete được trình bày trong Bảng 5. Quy trình chế tạo mẫu soilcrete tạo từ đất cát san lấp được thực hiện như sau: (1) Cát khô trộn với nước ứng với độ ẩm tốt nhất 15.15%; (2) Trộn xi măng khô và bentonite với đất ẩm đến khi hỗn hợp tương đối đồng đều trong 5 phút (Hình 1); (3) Trộn hỗn hợp đất - xi măng – bentonite với nước theo tỉ lệ $w:BC = 0.7:1$ trong 5 phút để có hỗn hợp soilcrete thuận lợi trong việc đầm nén mẫu (Hình 2); (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 (Hình 3); (5) Bịt kín các đầu khuôn bằng nilong và dán nhãn (Hình 4); (6) Ngâm bảo dưỡng mẫu trong nước để đẩy nhanh quá trình phát triển cường độ của mẫu soilcrete (Hình 5). (7) Sau 2 ngày tuổi, mẫu được ép đẩy ra khỏi khuôn (Hình 6). 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 (Bảng 6); (8) Bão hòa mẫu bằng bình hút chân không với lực hút -80 kPa trong thời gian 48 giờ (Hình 7); (9) Lắp đặt mẫu đã bão hòa nước vào thiết bị để tiến hành thí nghiệm thấm.

Bảng 6. Thông số vật liệu chế tạo mẫu soilcrete

Ký hiệu mẫu	Hàm lượng xi măng (kg/m ³)	Hàm lượng bentonite (kg/m ³)	Khối lượng đất ở độ ẩm 15.15% (g)	Tỷ lệ nước trên hàm lượng chất kết dính $w:BC$	Khối lượng xi măng (g)	Khối lượng bentonite (g)	Khối lượng nước (g)
B0	300	0	350	0,7	58,9	0	41,23
B25,1	300	25	350	0,7	58,9	4,9	44,7
B25,2	300	25	350	0,7	58,9	4,9	44,7
B50	300	50	350	0,7	58,9	9,8	48,1
B75	300	75	350	0,7	58,9	14,7	51,5
B100	300	100	350	0,7	58,9	19,6	55

Bảng 7. Kích thước mẫu soilcrete

Ký hiệu mẫu	Chiều cao (mm)	Đường kính (m)	Khối lượng (g)
B0	65,1	61,8	393
B25,1	65,7	61,5	406
B25,2	65,2	61,8	405
B50	66,2	61,2	405
B75	66,1	61,1	404
B100	66,3	61,2	400



a) Cát trộn với xi măng khô



b) Cát-xi măng trộn với bentonite

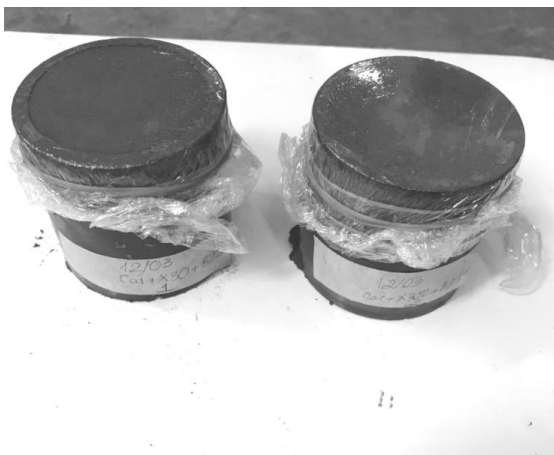
Hình 1. Trộn đất với xi măng và bentonite bằng trộn tay



Hình 2. Trộn hỗn hợp cát - xi măng - bentonite với nước theo tỉ lệ $w:BC = 0.7:1$



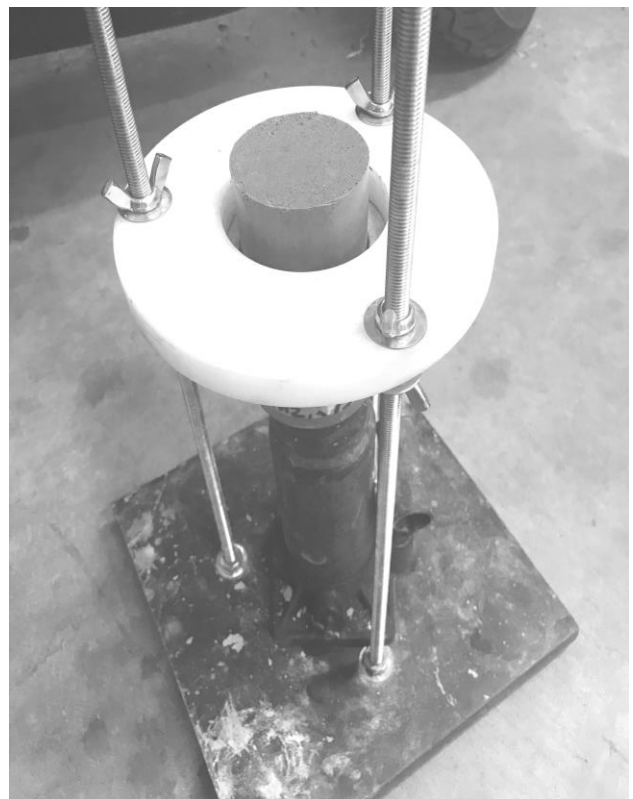
Hình 3. Đầm mẫu bằng máy đầm rung



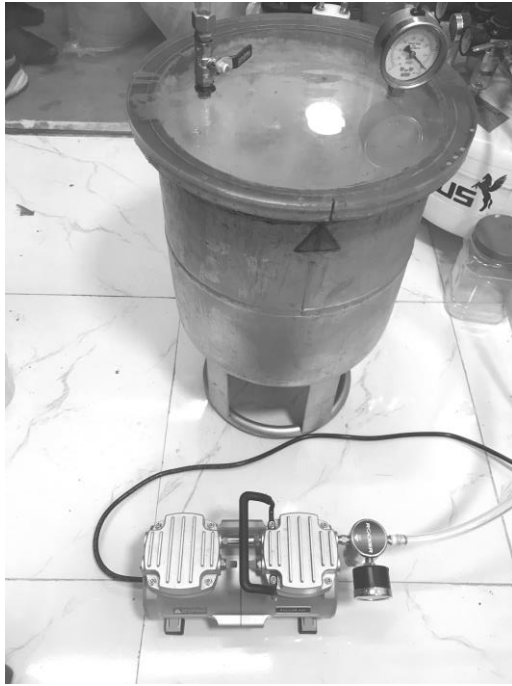
Hình 4. Mẫu được bọc plastic để giữ ẩm



Hình 5. Mẫu được ngâm bảo dưỡng trong nước



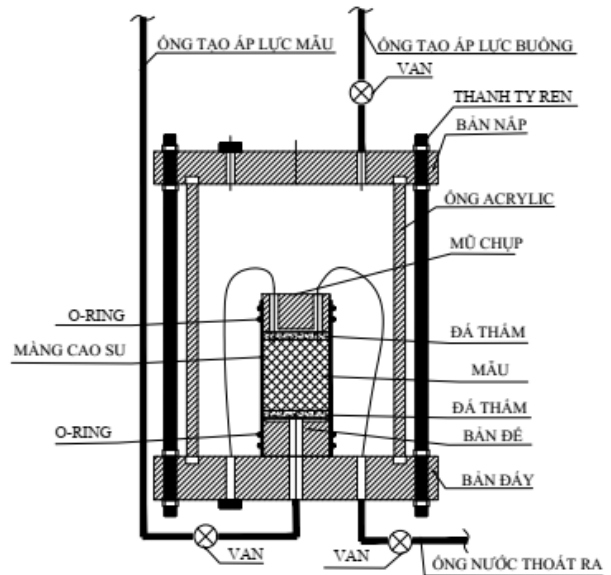
Hình 6. Lấy mẫu khỏi khuôn bằng kích



Hình 7. Bão hòa mẫu bằng máy hút chân không

2.4. Thí nghiệm thấm

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 thành khuôn mẫu. 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 (Hình 8). Cột áp vào mẫu 3-4 m, độ dốc thủy lực có giá trị 40 ± 5 hoặc cột áp vào mẫu lớn hơn 9-10 m với độ dốc thủy lực đạt được 130 ± 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 8. 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.



Hình 8. 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 (ASTM D5084):

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

$$k = 2.303 \frac{aL}{At} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \quad (1)$$

Theo nguyên lý cột áp vào hạ - cột áp ra dâng: ($a_{in} = a_{out} = a$)

$$k = 2.303 \frac{aL}{2A.t} \cdot \log \frac{h_1}{h_2} \quad (2)$$

trong đó: k - hệ số thấm (m/s); L - chiều dài của mẫu (m); A - diện tích tiết diện mẫu; a - diện tích tiết diện ống nước chảy vào mẫu (m^2); $t = t_1 - t_2$ - 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 là 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 $20^\circ C$ theo Công thức (3):

$$k_{20} = R_T \times k \quad (3)$$

trong đó: k_{20} - hệ số thấm ở nhiệt độ chuẩn $20^\circ C$ (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.

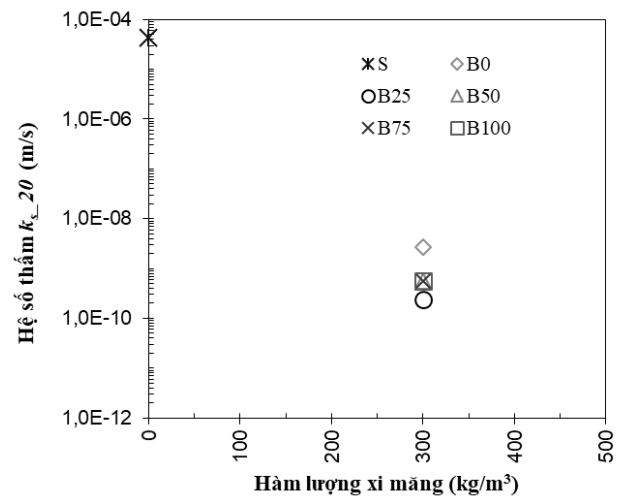
3. KẾT QUẢ VÀ THẢO LUẬN

Các mẫu đất tự nhiên và mẫu soilcrete đã được chế tạo và thực hiện thí nghiệm thấm để nghiên cứu ứng xử thấm của đất cát san lấp ở tỉnh Đồng Tháp trộn với xi măng PCB40, hoặc trộn với hỗn hợp xi măng PCB40 và bentonite.

3.1. Hệ số thấm đất tự nhiên, đất-xi măng, và đất-xi măng-bentonite

Hệ số thấm của các mẫu đất cát tự nhiên chưa xử lý, đất cát trộn xi măng hàm lượng 300 kg/m^3 , đất cát trộn xi măng hàm lượng 300 kg/m^3 và bentonite hàm lượng lần lượt 25, 50, 75, 100 kg/m^3 ở 28 ngày tuổi thể hiện trên hình 9. Kết quả thí nghiệm cho thấy hệ số thấm đất cát trộn xi măng hàm lượng 300 kg/m^3 giảm đáng kể từ 10^{-3} đến 10^{-4} lần so với đất cát tự nhiên và tiếp tục giảm khi trộn thêm phụ gia bentonite. Kết quả này tương đồng với Iravanian (2015), Alkaya & Esener (2011). Đất cát trộn xi măng, phản ứng thủy hóa xi măng tạo ra sản phẩm Calcium-silicate-hydrate (CSH) ở dạng keo bao phủ các hạt xi măng, lấp đầy khoảng trống giữa các hạt đất làm giảm độ rỗng, dẫn đến hệ số thấm giảm so với đất cát tự nhiên. Đất cát được trộn với xi măng - bentonite có hai phản ứng hóa học chính thể hiện ứng xử của xi măng và bentonite. Đầu tiên là phản ứng thủy hóa xi măng tạo ra CSH và $\text{Ca}(\text{OH})_2$ tương tự như khi đất cát trộn với xi măng. Phản ứng pozzolanic giữa sản phẩm của quá trình thủy hóa xi măng Ca^{2+} và pozzolan (SiO_2 và Al_2O_3) có trong bentonite, hình thành các sản phẩm Calcium-aluminate-hydrate (CAH), Calcium-silicate-hydrate (CSH) và Calcium-aluminum-silicate-hydrate (CASH). Các sản phẩm này ở dạng keo, ngậm nước nhanh chóng chiếm chỗ trống trong hỗn hợp vật liệu, giảm độ rỗng, giảm khả năng liên kết giữa các lỗ rỗng trong

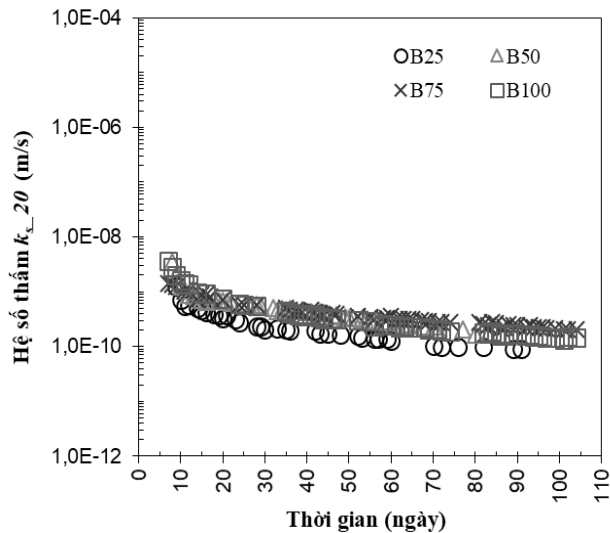
đất, dẫn đến hệ số thấm giảm (Iravanian, 2015; Abbey et al., 2018).



Hình 9. Hệ số thấm mẫu cát tự nhiên và các mẫu soilcrete ở 28 ngày tuổi

3.2. Hệ số thấm của đất trộn xi măng - bentonite theo thời gian

Hệ số thấm của tất cả các mẫu đất cát trộn hỗn hợp xi măng - bentonite đều giảm theo thời gian bảo dưỡng (Hình 10). Với các hàm lượng bentonite khác nhau 25, 50, 75, 100 kg/m^3 , hệ số thấm k_s các mẫu đều giảm nhanh trong 2 tuần đầu với tốc độ lần lượt 60%, 60%, 44% và 52%. Sau 2 tuần, hệ số thấm của các mẫu soilcrete giảm dần với tốc độ chậm hơn. Kết quả này cũng tương đồng với Tran-Nguyen et al. (2020), Helson et al. (2018), Mengue et al. (2017), Akbulut & Saglamer (2004). Hệ số thấm soilcrete giảm theo thời gian là do tiến trình xi măng hóa trong đất diễn ra chậm, kéo dài (Kamruzzaman, 2002). Ngay sau quá trình thủy hóa xi măng, sự trao đổi ion giữa Ca^{2+} và pozzolan trong bentonite liên tục diễn ra hình thành các sản phẩm keo tụ (Wong et al., 2008). Lỗ rỗng trong đất ngày càng được lấp đầy bởi các sản phẩm keo tụ dẫn đến hệ số thấm giảm dần theo thời gian (Iravanian, 2015; Ahnberg, 2003).



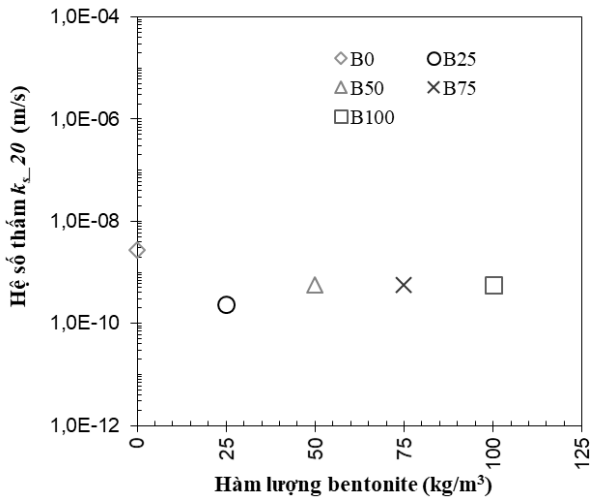
Hình 10. Hệ số thấm các mẫu đất cát trộn hỗn hợp xi măng - bentonite theo thời gian

3.3. Ảnh hưởng của hàm lượng bentonite lên hệ số thấm mẫu đất cát trộn xi măng - bentonite

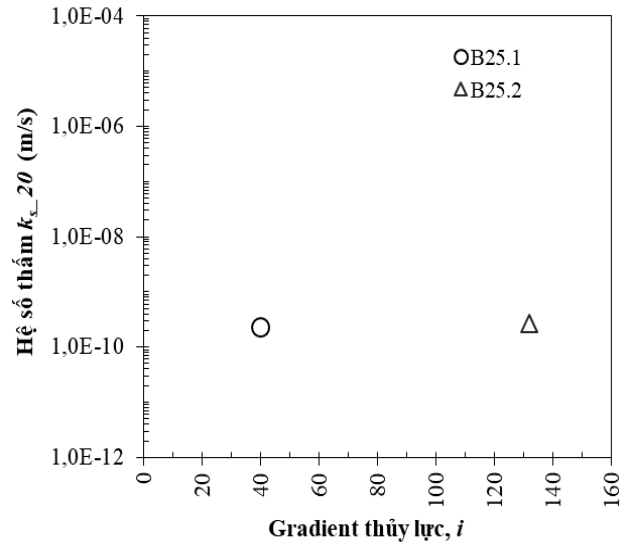
Ảnh hưởng của hàm lượng bentonite lên hệ số thấm của mẫu đất cát trộn xi măng - bentonite được xác định bằng cách so sánh kết quả hệ số thấm ở 28 ngày tuổi của các mẫu cát trộn cùng một hàm lượng xi măng 300 kg/m^3 với bentonite có hàm lượng lần lượt 25, 50, 75, và 100 kg/m^3 , tương ứng (Hình 11). Kết quả cho thấy k_s của soilcrete giảm khi trộn thêm bentonite. Kết quả này tương đồng với Abbey et al. (2018), Ata et al. (2015), Iravanian (2015), Alkaya & Esener (2011). Nguyên nhân được giải thích cho xu hướng này là vật liệu bentonite có hạt nhỏ nên diện tích bề mặt tiếp xúc lớn cho phép chúng hấp thụ một phần nước trong nước lỗ rỗng và không cho di chuyển tự do như lượng nước còn lại trong lỗ rỗng (Alkaya & Esener, 2011). Mặt khác, bentonite là vật liệu sét có chứa các ion âm nhanh chóng phản ứng với Ca^{2+} được giải phóng từ quá trình thủy hóa hóa xi măng tạo ra các sản phẩm dạng gel. Các sản phẩm này làm cho cấu trúc soilcrete trở nên đặc

chắc hơn làm tăng cường độ, giảm hệ số thấm (Nontananandh et al., 2005).

Trong nghiên cứu này, hệ số thấm của soilcrete giảm khoảng 10 lần khi mẫu cát - xi măng được trộn thêm bentonite hàm lượng 25 kg/m^3 . Tuy nhiên, khi tăng hàm lượng bentonite lên 50 kg/m^3 , k_s của hỗn hợp chỉ giảm 4 lần so với mẫu cát - xi măng ban đầu và giá trị hệ số thấm này hầu như không đổi nếu tiếp tục tăng bentonite lên hàm lượng 75, 100 kg/m^3 (hình 11). Norval (2017), Ata et al (2015), Xu et al (2011) cũng đã cho kết quả tương tự. Thể tích lỗ rỗng trong đất được lấp đầy dần bởi lượng sản phẩm được hình thành từ quá trình thủy hóa hóa xi măng và trao đổi ion giữa Ca^{2+} và pozzolan có trong bentonite. Tốc độ và mức độ phát triển các sản phẩm này phụ thuộc vào hàm lượng xi măng và bentonite trong hỗn hợp vật liệu (Ahnberg, 2003). Khi lượng bentonite vượt quá một giá trị nhất định, k_s hầu như không phụ thuộc vào lượng bentonite tăng thêm. Hàm lượng bentonite lớn ($50, 75, 100 \text{ kg/m}^3$), lượng bentonite tăng thêm sẽ thay thế một lượng cát trong hỗn hợp vật liệu với kích thước mẫu không đổi làm thay đổi cấu trúc của hỗn hợp. Đồng thời, bentonite là vật liệu có độ trương nở cao khi gặp nước tạo thành gel có thể tích gấp 15 lần thể tích khô của nó (Abeele, 1986), lượng bentonite dư không tham gia các phản ứng hóa học trương nở bao bọc quanh các hạt cốt liệu làm tăng kích cỡ hạt, kết quả làm tăng thể tích lỗ rỗng (Taha OME and Taha MR, 2007). Một nguyên nhân khác có thể là lượng bentonite lớn với tính chất trương nở cao, việc đầm nén khó đạt độ chặt để lại nhiều lỗ rỗng hơn dẫn đến hệ số thấm tăng. Như vậy, trong nghiên cứu này hàm lượng bentonite 25 kg/m^3 là tối ưu nhất nếu sử dụng hỗn hợp vật liệu cho mục đích chống thấm.



Hình 11. Hệ số thấm tại 28 ngày tuổi của các mẫu soilcrete từ đất cát trộn xi măng hàm lượng 300 kg/m^3 và bentonite lần lượt 0, 25, 50, 75, 100 kg/m^3



Hình 12. Hệ số thấm của mẫu soilcrete theo gradient thủy lực

3.4. Ảnh hưởng của gradient thủy lực lên hệ số thấm mẫu đất cát trộn xi măng - bentonite

Sự ảnh hưởng độ lớn gradient thủy lực lên hệ số thấm mẫu đất cát trộn xi măng - bentonite được đánh giá bằng cách so sánh kết quả thí nghiệm thấm của hai mẫu soilcrete được chế tạo cùng một hàm lượng xi măng 300 kg/m^3 và hàm lượng bentonite 25 kg/m^3 (B25.1 và B25.2). Độ dốc thủy lực áp dụng thí nghiệm thấm cho hai mẫu B25.1; B25.2 lần lượt là 40, 132. k_s tại 28 ngày tuổi của hai mẫu được thể hiện ở hình 12. Kết quả cho thấy sự thay đổi hệ số thấm theo gradient thủy lực là không đáng kể (<10%). Hệ số thấm của hỗn hợp đất cát trộn xi măng - bentonite không phụ thuộc vào giá trị gradient thủy lực trong phạm vi nghiên cứu này. Kết quả này tương đồng với Assaad & Harb (2013), Gueddouda et al. (2010), Picandet et al. (2010). Như vậy, quy trình thí nghiệm và tính toán thấm theo định luật Darcy là phù hợp.

4. KẾT LUẬN

Sáu mẫu soilcrete đã được chế tạo trong phòng thí nghiệm từ đất cát san lấp tỉnh Đồng Tháp với xi măng hàm lượng 300 kg/m^3 và nhiều hàm lượng bentonite khác nhau lần lượt 25, 50, 75, 100 kg/m^3 . 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 đất cát tự nhiên được thực hiện trên thiết bị thành cứng. Các kết luận được rút ra từ quá trình thí nghiệm như sau:

- (1) Hệ số thấm đất cát trộn xi măng hàm lượng 300 kg/m^3 giảm đáng kể từ 10^{-3} đến 10^{-4} lần so với đất cát tự nhiên.
- (2) Đất cát trộn xi măng kết hợp bentonite cho hệ số thấm thấp hơn so với chỉ trộn xi măng. Tuy nhiên, ở cùng hàm lượng xi măng nếu tiếp tục tăng hàm lượng bentonite thì hệ số thấm tăng ngược trở lại.
- (3) Hệ số thấm các mẫu soilcrete giảm theo thời gian bảo dưỡng.
- (4) Gradient thủy lực trong khoảng (40 – 132) không làm ảnh hưởng đến k_s của hỗn hợp cát - xi măng - bentonite.

(5) Hệ số thấm của hỗn hợp cát - xi măng - bentonite đạt từ 4.86×10^{-9} m/s đến 1×10^{-10} 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 HCM, mã số B2018-20-04. Nhóm nghiên cứu chân thành cảm ơn Đại học Quốc gia TP HCM 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. "Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of saturated porous material using a flexible wall permeameter." ASTM D5084, 2010, 24 pages.

[2]. American Society for Testing and Materials. "Standard test method for measurement of hydraulic conductivity of porous material using a rigid wall, compaction mold permeameter." ASTM D5856, 1995, 8 pages.

[3]. American Society for Testing and Materials. "Standard test method for laboratory compaction characteristics of soil using standard effort ($12,400 \text{ ft-lbf/ft}^3$ (600 kN-m/m^3)." ASTM D 698 - 91, (1998), 8 pages.

[4]. S.J. Abbey, S. Ngambi, A. O. Olubanwo, and F. K. Tetteh. "Strength and Hydraulic Conductivity of Cement and By - Product Cementitious Materials Improved Soil," *International Journal of Applied Engineering Research*. Vol.13, pp. 8684-8694, 2018.

[5]. W. V. Abeele. "The influence of bentonite on the permeability of sand silts," *Nuclear and chemical waste management*. Vol 6, pp 81-88, 1986.

[6]. H. Ahnberg. "Measured permeabilities in stabilised Swedish soils," *Grouting and Grout treatment*, pp. 622-633, 2003.

[7]. D. Alkaya and A. B. Esener. "Usability of sand-bentonite-cement mixture in the

construction of unpermeable layer,". *Scientific Research and Essays*, Vol. 6, No. 21, pp. 4492-4503, 2011.

[8]. N.K. Ameta and A.S. Wayal. "Effect of Bentonite on Permeability of Dune Sand," *Electronic Journal of Geotechnical Engineering*, Vol. 13, bund. A, 8 pp, 2008.

[9]. S. Akbulut and A. Saglamer. "Modification of hydraulic conductivity on granular soils using waste materials," *Waste Management*, Vol. 24, pp. 491-499, 2004.

[10]. J. J. Assaad and J. Harb (2013). "Use of the Falling-Head Method to Assess Permeability of Freshly Mixed Cementitious-Based Materials," *Journal of Materials in Civil Engineering*, Vol. 25, No. 5, pp 580 - 588, May 2013.

[11]. A.A. Ata, T. N. Salem, and N. M. Elkhawas. "Properties of soil-bentonite-cement bypass mixture for cutoff walls," *Construction and Building Materials*, pp. 950-956, May 2015.

[12]. R. Bahar, M. Benazzoug, and S. Kenai. "Performance of compacted cement - stabilised soil," *Cement and concrete composites*, Vol 26, pp. 811-820, 2004.

[13]. D. Castelbaum and C. D. Shackelford. "Hydraulic Conductivity of Bentonite Slurry Mixed Sands," *Journal of Geotechnical and Geoenvironmental Engineering*, Vol. 135, No. 12, 17 pp, December 2009.

[14]. J. W. Cowland and B. N. Leung. "A Field Trial of a Bentonite Landfill Liner". *Waste Management and Research*, Vol. 9, No. 1, pp. 277-291, 1991.

[15]. M. K. Gueddouda, M. Lamara, N. Abou-bekr, and S. Taibi. "Hydraulic behaviour of dune sand-bentonite mixtures under confining stress," *Geomechanics and Engineering*, Vol. 2, No. 3, pp. 213-227, 2010.

[16]. 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, 2018.

[17]. A. Iravania “Hydro-Mechanical Properties of Compacted Sand-bentonite Mixtures Enhanced with Cement,” Ph.D. thesis, Eastern Mediterranean University, 2015.

[18]. A. H. M. Kamruzzaman. “Physico-Chemical and Engineering of cement treated Singapore marine clay,” M.E. Thesis, National University of Singapore, 2002.

[19]. T. Kenney, W. A. van Veen, M. A. Swallow, and M. A. Sungaila. “Hydraulic Conductivity of Compacted Bentonite-Sand Mixtures,” *Can. Geotech. J.*, Vol. 29, No. 3, pp. 364–374, 1992.

[20]. S. Kumar and W. L. Yong. “Effect of Bentonite on Compacted Clay Landfill Barriers,” *Soil and Sediment Contamination*, Vol. 11, No. 1, pp. 71-89, 2002.

[21]. E. Mengue, H. Mroueh, L. Lancelot, and R. M. Eko. “Physicochemical and consolidation properties of compacted lateritic soil treated with cement,” *Soils and Foundations*, Vol. 57, pp. 60-79, Feb. 2017.

[22]. V. Martirosyan and M. Yamukyan. “Comparative Study of Behaviour of Soil and Soil-Bentonite Mixtures for The Construction of Impermeable Barriers,” *International Journal of Scientific Research in Civil Engineering*, Vol 2 (3), pp. 12-21, 2018.

[23]. S. Nontananandh, T. Yoobanpot, and S. Boonyong. “Scanning electron microscopic investigation of cement stabilized soil,” in *Proceedings of 10th National Conference on Civil Engineering*, Chonburi-Thailand, 2005, pp. 23-26.

[24]. A. L. Norval. “Hydraulic conductivity testing of cement-bentonite mixes for use in annular well seals,” M.A Theses, Missouri university of science and technology, 2017.

[25]. V. Picandet, D. Rangeard, A. Perrot, and T. Lecompte (2011). “Permeability measurement of fresh cement paste,” *Cement and Concrete Research*, 41, pp. 330–338, 2011.

[26]. G. Sällfors and A. L. Öberg-Högsta. “Determination of Hydraulic Conductivity of Sand-Bentonite Mixtures for Engineering Purposes”. *Geotechnical and Geological Engineering*, Vol. 20, No.1, pp. 65-80, 2002.

[27]. O. M. E. Taha and M. R. Taha. “Volume Change and Hydraulic Conductivity of Soil-Bentonite Mixture,” *Jordan Journal of Civil Engineering*, Vol 9, No. 1, pp 43-58, 2007.

[28]. S. Tong and C. D. Shackelford. “Standardized Hydraulic Conductivity Testing of Compacted Sand-Bentonite Mixtures,” *Geotechnical Testing Journal*, Vol. 39, No 6, pp. 1015-1029, 2016.

[29]. H-H. Tran-Nguyen, K. T. D. Nguyen, and T. T. Nguyen. “Permeability of Soilcrete Specimens Made from the Mekong Delta’s Soft Clay Mixed with Cement Slurry,” *Geo-congress 2020*, pp. 751-758, 2020.

[30]. L. S. Wong, R. Hashim, and F. H. Ali. “Strength and permeability of stabilized peat soil.” *Journal of applied sciences*, 8 (21), pp. 3986-3990, 2008.

[31]. S. Xu, Z. Wang, and Y. Zhang. “Study on the Hydraulic Conductivity of Sand-Bentonite mixtures used as Liner System of Waste Landfill”. *Advanced Materials Research*, Vol. 194-196, pp. 909-912, 2011.