

Bài báo khoa học

Xác định độ thấm của cát bằng phương pháp minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Tô Việt Nam^{1,2*}, Khấu Thị Ly^{1,2}

¹ Khoa Kỹ thuật Địa chất & Dầu khí, Trường Đại học Bách khoa Tp.HCM;
tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

² Đại học Quốc gia Tp.HCM; tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

*Tác giả liên hệ: tovietnam@hcmut.edu.vn; Tel.: +84–984383038

Ban Biên tập nhận bài: 8/11/2023; Ngày phản biện xong: 11/12/2023; Ngày đăng bài: 25/3/2024

Tóm tắt: Kỹ thuật chụp cắt lớp trở kháng điện (*Electrical impedance tomography - EIT*) đã được ứng dụng rộng rãi trong một số ngành kỹ thuật. Nhưng trong lĩnh vực địa chất, địa kỹ thuật vẫn còn có ít nghiên cứu ứng dụng EIT. Ưu điểm của kỹ thuật này là có thể cung cấp thông tin về đối tượng nghiên cứu mà không cần phải phá hủy mẫu. Bài báo này giới thiệu một nghiên cứu thực nghiệm ứng dụng EIT trong việc xác định độ thấm của 3 mẫu cát ở điều kiện phòng thí nghiệm bằng việc minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện (EIT). Kết quả minh giải ảnh EIT cho thấy độ thấm của 3 mẫu cát có giá trị lần lượt là 16,30 m/d; 49,46 m/d và 11,94 m/d có sai khác lần lượt là 2,00%, 2,81% và 4,02% so với độ thấm của 3 mẫu cát này nếu được xác định bằng thí nghiệm Darcy. Kết quả này cho thấy tiềm năng của việc ứng dụng EIT trong việc xác định độ thấm của đất đá nói riêng và các tính chất khác của đất đá nói chung trong lĩnh vực địa chất và địa kỹ thuật.

Từ khóa: Ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện; EIT; Độ thấm của cát.

1. Giới thiệu

Trong những năm gần đây, ứng dụng của các phương pháp điện được tăng cường đáng kể và sử dụng rộng rãi trong nhiều lĩnh vực. Các phương pháp điện thể hiện sự tin cậy và giá thành hợp lý, dễ thực hiện và đặc biệt là không làm phá hủy mẫu đối với các thử nghiệm hiện trường.

Điện trở suất là một trong những thông số quan trọng của đất và có mối tương quan với những thông số khác. Do đó, nếu chúng ta có thể đo đạc được thông số điện trở suất thì chúng ta có thể xác định được nhiều tính chất khác của đất đá. Trong thời gian gần đây, kỹ thuật chụp cắt lớp trở kháng, EIT, được quan tâm, ứng dụng và cải thiện hiệu quả trong lĩnh vực địa chất nói chung và địa kỹ thuật nói riêng. EIT [1] là một trong những kỹ thuật được ứng dụng rộng rãi trong khảo sát địa vật lý để xác định điện trở suất của đất thông qua việc sử dụng thuật toán tái tạo để tạo ảnh trở kháng từ những vùng khác nhau của mẫu. Và từ việc minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện này ta có thể đánh giá được các tính chất của đất đá như độ thấm.

Năm 2003, nghiên cứu [2] về ảnh điện và kiểm tra điện trở suất trong phòng thí nghiệm để khảo sát các đặc tính địa kỹ thuật của trầm tích sét Pusan. Các thử nghiệm hiện trường và thí nghiệm trong phòng cũng được thực hiện, nghiên cứu cho thấy rằng ảnh điện được ứng dụng hiệu quả để lập bản đồ các mỏ đất sét Pusan và các kết quả trong phòng rất khớp với các kết quả hiện trường. Nhóm nghiên cứu cũng nhận thấy rằng có mối tương quan giữa điện trở suất của đất với các thông số như hàm lượng hữu cơ, độ ẩm, khối lượng đơn vị,...

Tương tự như nghiên cứu trên, vào năm 2019, tác giả [3] nghiên cứu về các tính chất của đất dựa trên độ dẫn điện. Nghiên cứu được thực hiện với đất phèn tự nhiên và với các điều kiện về nồng độ muối và độ pH khác nhau. Kết quả nghiên cứu cho thấy khi nồng độ muối tăng thì điện trở suất của đất giảm và độ pH có ảnh hưởng đáng kể đến các ứng xử của đất, họ nhận thấy rằng mối quan hệ giữa độ pH và điện trở suất của đất là tuyến tính.

Năm 2005, một nghiên cứu về việc kiểm tra tính đồng nhất của mẫu cát trong phòng thí nghiệm bằng kỹ thuật cắt lớp trở kháng, được thực hiện bởi [4]. Nghiên cứu đã chứng minh rằng kỹ thuật này có thể phát hiện được các dị thường trong mẫu cát, kể cả hình dạng của các dị thường cũng được thể hiện một cách khá chính xác. Và nhóm nghiên cứu nhận thấy rằng kỹ thuật này đáng tin cậy có thể được áp dụng rộng rãi trong lĩnh vực Địa kỹ thuật.

Ngoài ra, đã có một số nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật chụp cắt lớp trở kháng điện được thực hiện, chẳng hạn như nghiên cứu ứng dụng kỹ thuật chụp cắt lớp điện để xác định hàm lượng nước xâm nhập bờ kè chắn lũ [5], hay nghiên cứu xác định thành phần thạch học trong lỗ khoan [6], nghiên cứu các đặc trưng dưới đất của một công trình xây dựng ở Nam Kinh, Trung Quốc [7], nghiên cứu tương quan thực nghiệm giữa các thông số địa kỹ thuật là giới hạn chảy, giới hạn dẻo và điện trở suất [8], nghiên cứu sụt trượt lở đất [9], nghiên cứu các đặc tính của đất [10] hoặc nghiên cứu để đánh giá ảnh hưởng của thảm thực vật và độ ẩm bề mặt đến điều kiện vận hành của đường sắt cũng được chỉ ra trong các tài liệu [11].

Trước đây, để đo độ thấm của các mẫu đất ta thường dùng thí nghiệm Darcy [12]. Tuy nhiên, thí nghiệm Darcy đòi hỏi thiết bị cồng kềnh và chỉ có thể đạt kết quả nhanh chóng khi các mẫu đất có độ thấm tương đối lớn. Cách tiếp cận bằng kỹ thuật EIT để đo độ thấm khắc phục được các nhược điểm trên của thí nghiệm Darcy, đồng thời nó còn có thể xác định tính chất của các mẫu đất đá mà không phá hủy mẫu. Cắt lớp trở kháng (EIT) là một kỹ thuật cho phép ước tính sự phân bố không gian của độ dẫn điện trong một đối tượng từ các phép đo trở kháng tại ranh giới xung quanh của nó. Các điện cực được phân bố xung quanh đối tượng và cách đều nhau. Dòng điện có thể được cung cấp liên tiếp qua các cặp điện cực khác nhau và điện áp tương ứng được đo liên tiếp ở các cặp điện cực còn lại. Bằng cách này có thể tái tạo một hình ảnh trở kháng của đối tượng.

Có vài phương pháp đo ảnh trở kháng điện khác nhau như phương pháp đo lân cận [13], phương pháp Cross [14], phương pháp thích ứng [15, 16] hay phương pháp đối lập [17]. Mỗi phương pháp đo trở kháng đều tồn tại một hoặc một vài hạn chế nhất định. Cụ thể, hạn chế của phương pháp đo lân cận là phân bố dòng không đều, điện áp ở cặp điện cực kích dòng lớn và càng nhỏ dần về phía các điện cực đối diện (chỉ khoảng 2,5% so với cặp điện cực kích dòng), nên độ chính xác không cao [13]. Phương pháp Cross đã cải thiện phần nào nhược điểm của phương pháp lân cận, tuy nhiên vẫn có sự chênh lệch điện áp giữa các cặp điện cực nên độ nhạy cũng không cao [14]. Phương pháp thích ứng có sự phân bố dòng đồng đều nên cho kết quả chính xác nhất [15, 16], tuy nhiên, đòi hỏi phải sử dụng nhiều bộ tạo dòng điện độc lập, nên chi phí đo đạc sẽ rất cao. Do đó, phương pháp đối lập, dễ thực hiện và có độ nhạy cao, cho kết quả với độ chính xác cao được sử dụng trong nghiên cứu này. Phép đo trở kháng bằng phương pháp đối lập được [17] đề xuất. Đã có một số nghiên cứu [5, 7, 8–10] đánh giá các đặc tính của đất thông qua điện trở suất, tức là tìm ra được mối tương quan giữa điện trở suất và các thông số của đất như độ rỗng, độ ẩm, độ thấm,... Tuy nhiên, muốn sử dụng các mối tương quan này thì cần có một hệ thống cơ sở về lý thuyết và thực nghiệm để chứng minh rằng các tương quan này là phù hợp để có thể áp dụng đối với điều kiện địa chất ở trong nước nói chung và một khu vực, công trình cụ thể nói riêng. Nghiên cứu này bước đầu được thực hiện với cát, và xem xét độ tin cậy của kết quả để có thể tiến hành mở rộng thực hiện nghiên cứu với các loại đất khác trong tương lai, nhằm cung cấp một hệ thống đầy đủ các cơ sở để áp dụng phương pháp này ngoài thực tế.

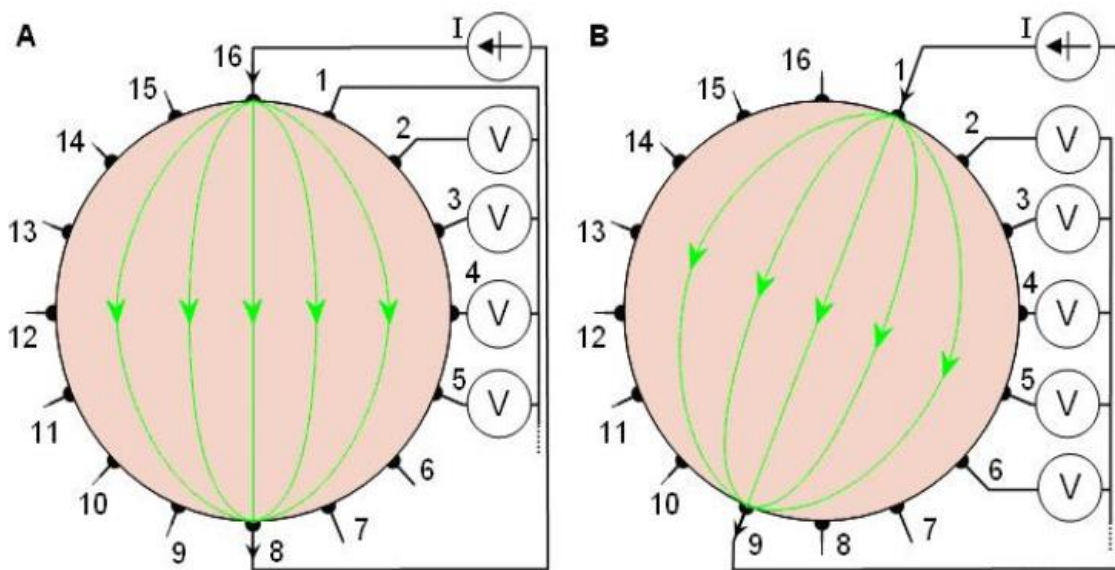
Nghiên cứu này giới thiệu một thiết kế thiết bị thí nghiệm ứng dụng kỹ thuật EIT để chụp cắt lớp ảnh trở kháng điện của mẫu đất cát trong phòng thí nghiệm. Và từ kết quả thí nghiệm này, xây dựng mô hình tương quan hồi quy giữa độ thấm và điện trở suất của các mẫu đất

cát, từ mô hình tương quan xây dựng được, nghiên cứu có thể đánh giá được độ thấm của mẫu đất cát mà cần xác định độ thấm.

2. Phương pháp nghiên cứu và thiết kế thí nghiệm

2.1. Phương pháp đối lập đo trở kháng

Phương pháp đối lập đo trở kháng [17] được minh họa trong Hình 1. Trong phương pháp này, dòng được truyền qua hai điện cực đối diện nhau (điện cực 16 và 8 trong Hình 1A). Điện cực liền kề điện cực được truyền dòng được dùng như điện áp tham chiếu. Điện áp được đo từ tất cả những điện cực khác trừ những điện cực dòng và điện cực tham chiếu (điện cực 16, 8 và 1) sẽ bao gồm 13 phép đo điện áp. Sau đó, thay đổi cặp điện cực đối diện nhau từ cặp điện cực 16 và 8 thành cặp điện cực đối diện là cặp 1 và 9 như Hình 1B ta lại đo được 13 thông số điện áp khác. Lặp lại quá trình thay đổi cặp điện cực đối diện nhau từ 1 và 9 sang cặp 2 và 10 cho đến cuối cùng là cặp điện cực 7 và 15, ta sẽ có tổng cộng 104 điểm dữ liệu.



Hình 1. Phương pháp đo đối lập.

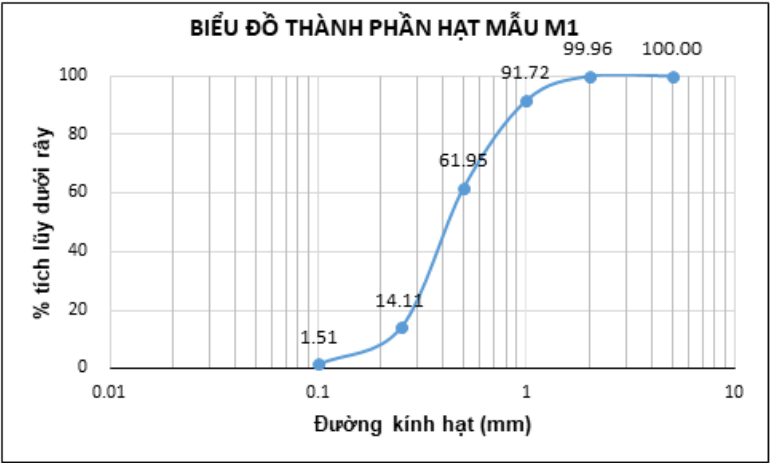
2.2. Dữ liệu mẫu cát dùng cho thí nghiệm

Thí nghiệm được tiến hành cho 3 mẫu đất cát, ký hiệu là M1, M2 và M3, mà thành phần cấp phối hạt của các mẫu được nhóm tác giả xác định trong phòng thí nghiệm như sau:

Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt và biểu đồ thành phần hạt của mẫu M1 được thể hiện trong bảng 1, hình 2.

Bảng 1. Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt mẫu M1.

m = 467,16g			
Rây (mm)	Khối lượng đất trên rây (g)	Hàm lượng tích lũy trên rây (%)	Hàm lượng tích lũy dưới rây (%)
2	0,18	0,04	99,96
1	38,48	8,28	91,72
0,5	139,09	38,05	61,95
0,25	223,51	85,89	14,11
0,1	5,83	98,49	1,51
<0,1	6,48	99,87	0,13

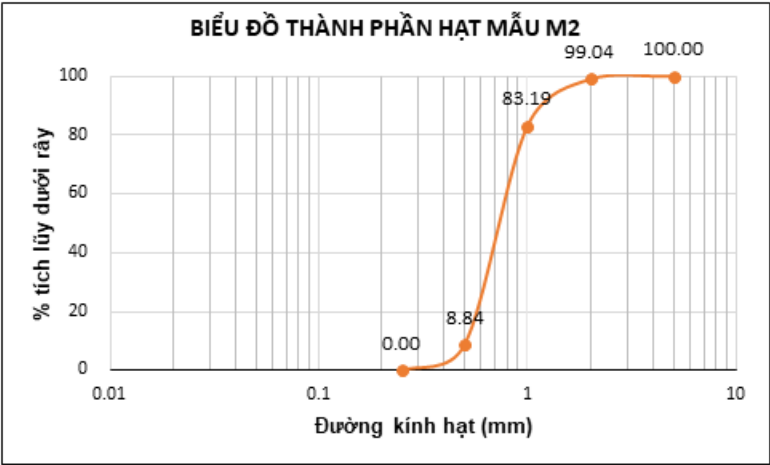


Hình 2. Biểu đồ thành phần hạt của mẫu M1.

Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt và biểu đồ thành phần hạt của mẫu M2 được thể hiện trong bảng 2, hình 3.

Bảng 2. Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt mẫu M2.

m = 463,78g			
Rây (mm)	Khối lượng đất trên rây (g)	Hàm lượng tích lũy trên rây (%)	Hàm lượng tích lũy dưới rây (%)
2	4,46	0,96	99,04
1	73,48	16,81	83,19
0,5	344,82	91,16	8,84
0,25	41,02	100,00	0,00

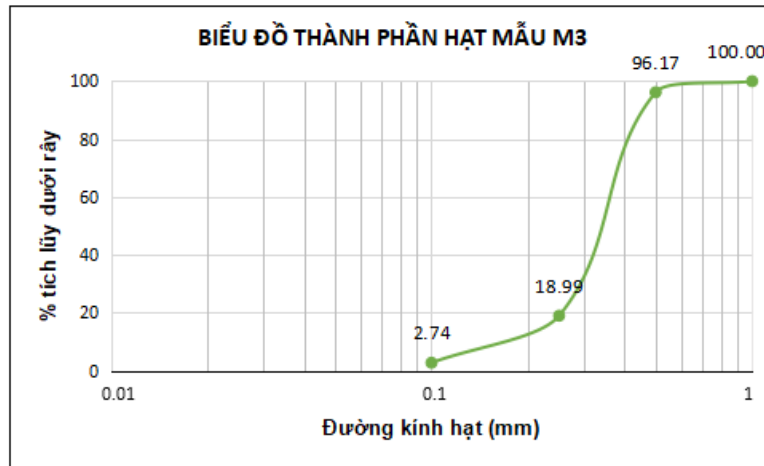


Hình 3. Biểu đồ thành phần hạt mẫu M2.

Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt và biểu đồ thành phần hạt của mẫu M3 được thể hiện trong bảng 3, hình 4.

Bảng 3. Kết quả thí nghiệm xác định thành phần hạt mẫu M3.

m = 457,25g			
Rây (mm)	Khối lượng đất trên rây (g)	Hàm lượng tích lũy trên rây (%)	Hàm lượng tích lũy dưới rây (%)
0,5	17,49	3,83	96,17
0,25	352,94	81,01	18,99
0,1	74,28	97,26	2,74
<0,1	12,5	99,99	0,01



Hình 4. Biểu đồ thành phần hạt mẫu M3.

2.3. Thiết bị và quy trình thí nghiệm

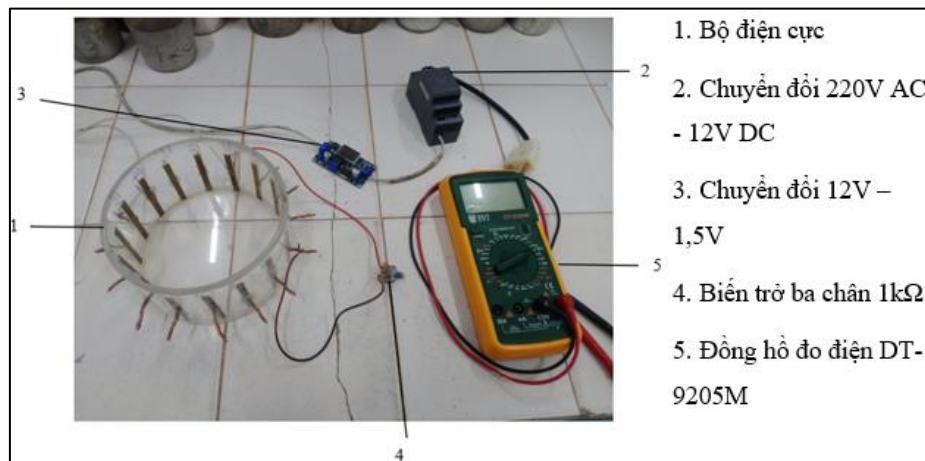
2.3.1. Mô tả thiết bị thí nghiệm

Thiết bị thực hiện thí nghiệm gồm: bộ điện cực, bộ adapter chuyển đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều và điều chỉnh dòng điện, một biến áp và một đồng hồ đo điện vạn năng (Hình 5).

Bộ điện cực gồm 16 điện cực bằng đồng với kích thước dài 60mm × rộng 6mm × dày 1mm được hàn cách đều quanh một ống nhựa rỗng trong suốt kín đáy với đường kính 150mm, cao 100mm và dày 5mm. Các điện cực được nối ra ngoài bằng dây đồng.

Bộ chuyển đổi và điều chỉnh gồm adapter chuyển đổi dòng điện xoay chiều thành dòng điện một chiều 24V, bo mạch hạ áp 24V thành 1,5V và một biến trở ba chân 1kΩ.

Đồng hồ đo điện vạn năng DT-9205M gồm các tính năng đo dòng điện, hiệu điện thế một chiều, xoay chiều và điện trở.



Hình 5. Thiết bị thí nghiệm cắt lớp trở kháng.

2.3.2 Quy trình thí nghiệm

Thí nghiệm được thực hiện cho 3 mẫu cát ký hiệu lần lượt là M1, M2 và M3 theo các bước được mô tả bên dưới đây bao gồm:

Bước 1: Kiểm tra thiết bị: bộ điện cực, bộ adapter chuyển đổi dòng xoay chiều thành dòng một chiều và đồng hồ đo điện.

Bước 2: Đổ cát vào ống mẫu cho đến khi ngập các điện cực.

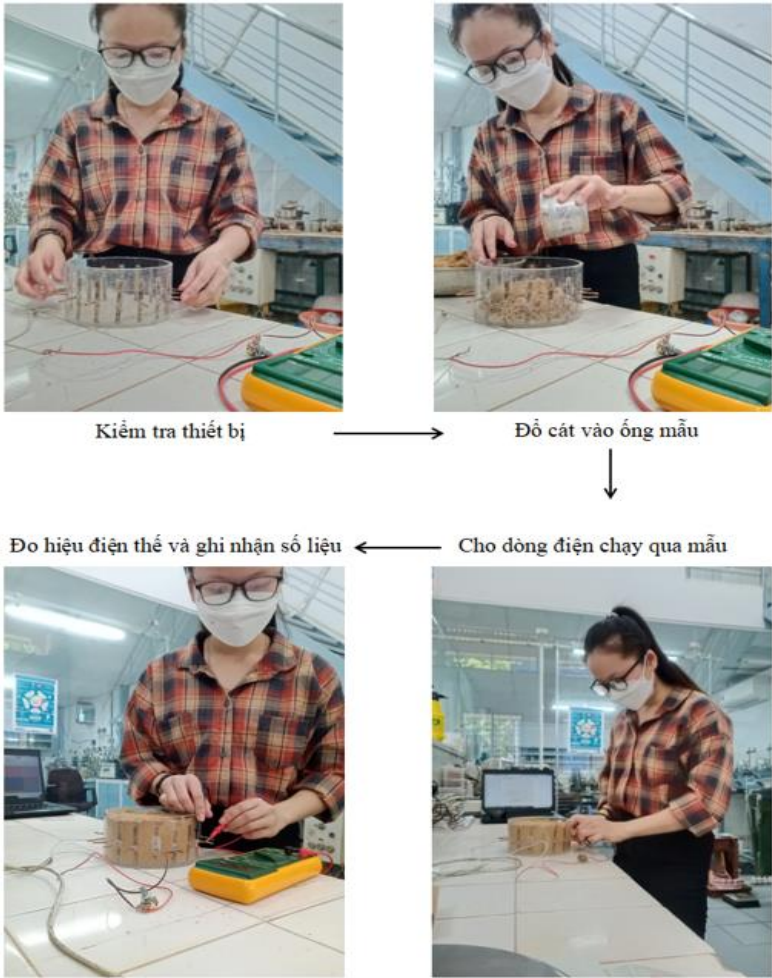
Bước 3: Dùng dao gạt bằng mặt và cho dòng điện chạy qua mẫu.

Bước 4: Đo hiệu điện thế và ghi nhận số liệu. Tác giả thực hiện đo theo phương pháp đối lập được trình bày ở mục 2.1. Ban đầu, dòng điện được đưa vào điện cực 1 và 9, lần lượt đo hiệu điện thế ở các cặp điện cực 2-3, 2-4, 2-5, 2-6, 2-7, 2-8 và 10-11, 10-12, 10-13, 10-14, 10-15. Sau đó đổi vị trí kích dòng và thực hiện tương tự.

Bảng 4 bên dưới thể hiện thứ tự kích dòng và đo hiệu điện thế trên các cặp điện cực của thí nghiệm. Hình 6 bên dưới mô tả quy trình thí nghiệm được thực hiện bởi một thành viên trong nhóm tác giả.

Bảng 4. Thứ tự kích dòng và đo hiệu điện thế.

Kích dòng			Đo hiệu điện thế			
1-9	2-3	2-4	2-5	2-6	2-7	2-8
	10-11	10-12	10-13	10-14	10-15	10-16
2-10	3-4	3-5	3-6	3-7	3-8	3-9
	11-12	11-13	11-14	11-15	11-16	11-1
3-11	4-5	4-6	4-7	4-8	4-9	4-10
	12-13	12-14	12-15	12-16	12-1	12-2
4-12	5-6	5-7	5-8	5-9	5-10	5-11
	13-14	13-15	13-16	13-1	13-2	13-3
5-13	6-7	6-8	6-9	6-10	6-11	6-12
	14-15	14-16	14-1	14-2	14-3	14-4
6-14	7-8	7-9	7-10	7-11	7-12	7-13
	15-16	15-1	15-2	15-3	15-4	15-5
7-15	8-9	8-10	8-11	8-12	8-13	8-14
	16-1	16-2	16-3	16-4	16-5	16-6
8-16	9-10	9-11	9-12	9-13	9-14	9-15
	1-2	1-3	1-4	1-5	1-6	1-7



Hình 6. Quá trình thực hiện thí nghiệm của nhóm tác giả.

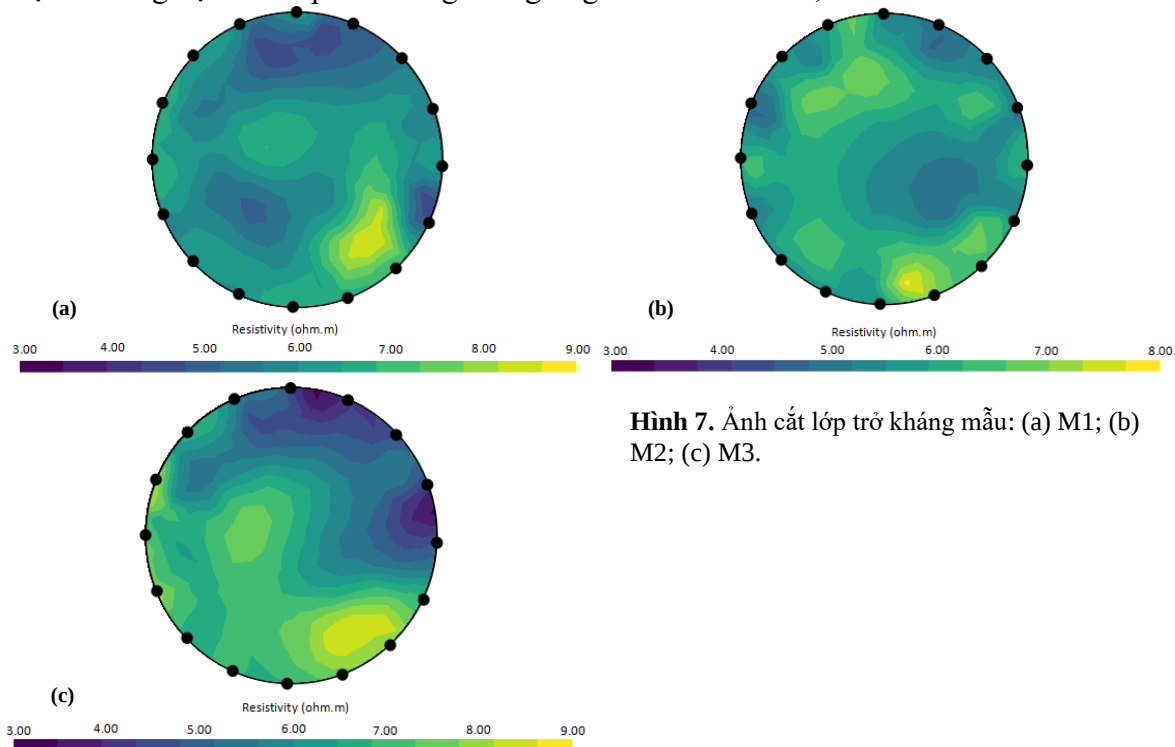
2.3.3. Tạo ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Để tạo ảnh cắt lớp trở kháng điện, nhóm nghiên cứu đã sử dụng kết hợp 2 phần mềm mã nguồn mở là GMSH v.4.9.5 [18] và ResIPy v3.3.3. Trong đó GMSH là phần mềm cho phép tạo lưới phân tử hữu hạn 2D và 3D, trong khi đó ResIPy là một công cụ phân tích, mô hình hóa địa vật lý.

3. Kết quả và thảo luận

3.1. Kết quả ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Hình 7a-7c bên dưới đây là kết quả ảnh cắt lớp trở kháng được tái tạo từ các số liệu đo được ở thí nghiệm cắt lớp trở kháng tương ứng với các mẫu M1, M2 và M3.



Hình 7. Ảnh cắt lớp trở kháng mẫu: (a) M1; (b) M2; (c) M3.

Dựa trên các ảnh chụp cắt lớp trở kháng của các mẫu M1, M2 và M3 trong các hình 7a-7c ở trên ta có thể thấy mẫu M1 và M3 có điện trở suất phân bố trong phạm vi 3,00 đến 9,00 $\Omega.m$. Riêng mẫu M2 điện trở suất có phần thấp hơn và biến thiên trong khoảng 3,0-8,0 $\Omega.m$. Điện trở suất trung bình của mẫu M1 là 5,23 $\Omega.m$; của mẫu M2 là 4,89 $\Omega.m$ và của mẫu M3 là 5,36 $\Omega.m$.

3.2. Xác định tương quan giữa điện trở suất và độ thấm của mẫu

Theo [19, 20] mối quan hệ giữa độ thấm và điện trở suất của đất có thể được miêu tả bằng phương trình:

$$\log(k) = a \times \rho + b \quad (1)$$

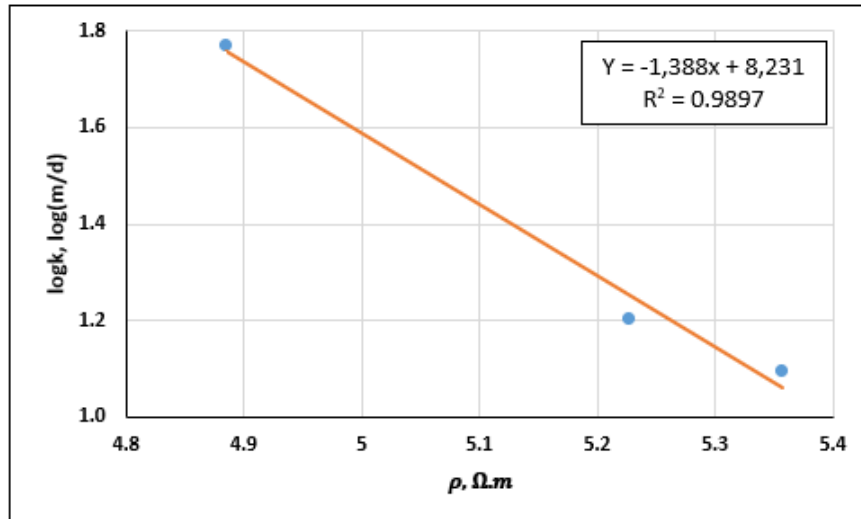
Trong đó k là độ thấm của đất; ρ là điện trở suất; a và b là hai hệ số.

Từ kết quả thí nghiệm thấm và thí nghiệm cắt lớp trở kháng, nghiên cứu xác định được các hệ số a và b trong phương trình (1) như hình 8.

Từ hình 8, ta có thể thấy hệ số a = -1,338 và b = 8,231. Như vậy mối tương quan giữa điện trở suất và độ thấm của mẫu cát được thể hiện qua phương trình:

$$\log k = -1,338 \times \rho + 8,231 \quad (2)$$

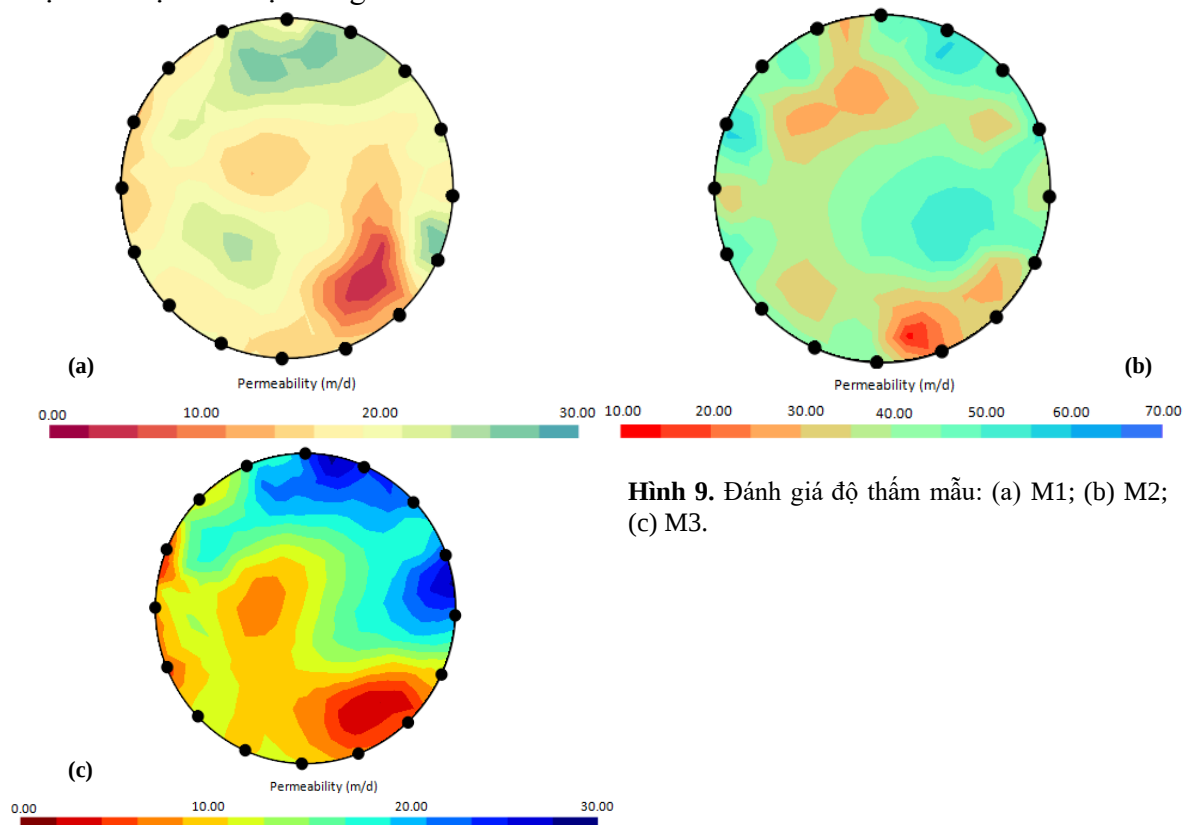
Với hệ số tương quan $R^2 = 0,9897$.



Hình 8. Tương quan giữa điện trở suất và độ thấm.

3.3. Đánh giá độ thấm của mẫu từ ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện

Từ phương trình tương quan (2), nghiên cứu có thể xác định được độ thấm cho từng mẫu dựa vào kết quả cắt lớp trở kháng. Kết quả đánh giá độ thấm cho các mẫu M1, M2 và M3 được thể hiện lần lượt trong các hình 9a-9c.



Hình 9. Đánh giá độ thấm mẫu: (a) M1; (b) M2; (c) M3.

Từ các kết quả đánh giá độ thấm của các mẫu cát M1, M2 và M3 trong hình 9a-9c ở trên, ta có thể thấy độ thấm của mẫu M1 và M3 dao động trong khoảng 0,0-30,0 m/d, độ thấm của mẫu M2 biến thiên từ 10,0-70,0 m/d, độ thấm trung bình của mẫu M1 là 16,30 m/d, mẫu M2 là 49,46 m/d và mẫu M3 là 11,31 m/d.

Cũng với các mẫu cát M1, M2 và M3 ở trên nếu ta xác định độ thấm theo thí nghiệm Darcy và so sánh kết quả với phương pháp minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện ta được kết quả tổng hợp trong bảng 5.

Bảng 5. So sánh kết quả độ thấm.

	Độ thấm theo thí nghiệm thấm Darcy (m/d)	Độ thấm đánh giá thông qua ảnh chụp cắt lớp trở kháng (m/d)	Sai khác (%)
Mẫu M1	15,98	16,30	2,00
Mẫu M2	50,89	49,46	2,81
Mẫu M3	12,44	11,94	4,02

Từ bảng 5 ta thấy sai khác của độ thấm khi đánh giá thông qua ảnh chụp cắt lớp trở kháng so với khi xác định từ thí nghiệm thấm Darcy của ba mẫu lần lượt là 2,00%; 2,81% và 4,02%. Như vậy kết quả độ thấm khi đánh giá thông qua hình ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện là khá tương đương so với phương pháp Darcy. Điều này thể hiện tính tin cậy của phương pháp này.

So với các nghiên cứu đã trình bày ở mục 1, kết quả thí nghiệm ứng dụng của kỹ thuật chụp ảnh cắt lớp trở kháng đạt được trong nghiên cứu thực nghiệm này đạt được độ tin cậy và tính chính xác cao khi so sánh với các thí nghiệm truyền thống.

4. Kết luận

Nghiên cứu này lần đầu tiên ở trong nước, đã giới thiệu được một bộ công cụ thí nghiệm trong phòng ứng dụng phương pháp chụp ảnh cắt lớp trở kháng điện để xác định độ thấm của cát. Mô hình thí nghiệm này có thể được ứng dụng rộng rãi để xác định độ thấm cho các loại đất đá khác.

Nghiên cứu này cũng đã giới thiệu được một cách tiếp cận đánh giá độ thấm của mẫu cát dựa trên sự minh giải ảnh chụp cắt lớp trở kháng điện của mẫu cát. Trong quá trình này, các mô hình tương quan giữa điện trở suất và độ thấm cũng được xây dựng.

Do độ tin cậy và tính chính xác cao đã được thể hiện trong việc ứng dụng EIT trong nghiên cứu này và trong các nghiên cứu ứng dụng EIT khác đã trình bày trong mục 1, nên kỹ thuật EIT có đầy đủ tiềm năng ứng dụng trong lĩnh vực địa kỹ thuật và địa chất thủy văn, đặc biệt là trong điều kiện ở trong nước.

Đóng góp của tác giả: Xây dựng ý tưởng nghiên cứu: T.V.N., K.T.L.; Xử lý số liệu: T.V.N., K.T.L.; Viết bản thảo bài báo: T.V.N., K.T.L.; Chỉnh sửa bài báo: T.V.N., K.T.L.

Lời cảm ơn: Nhóm nghiên cứu cảm ơn các đồng nghiệp tại các đơn vị nghiên cứu đã tham gia thảo luận và đóng góp ý kiến.

Lời cam đoan: Tập thể tác giả cam đoan bài báo này là công trình nghiên cứu của tập thể tác giả, chưa được công bố ở đâu, không được sao chép từ những nghiên cứu trước đây; không có sự tranh chấp lợi ích trong nhóm tác giả.

Tài liệu tham khảo

1. Brown, B.H. Electrical impedance tomography (EIT): A review. *J. Med. Eng. Technol.* **2003**, 27(3), 97–108.
2. Giao, P.H.; Chung, S.G.; Kim, D.Y.; Tanaka, H. Electric imaging and laboratory resistivity testing for geotechnical investigation of Pusan clay deposits. *J. Appl. Geophys.* **2003**, 52(4), 157–175. Doi:10.1016/S0926-9851(03)00002-8.
3. Zohra-Hadjadj, F.; Laredj, N.; Maliki, M.; Missoum, H.; Bendani, K. Laboratory evaluation of soil geotechnical properties via electrical conductivity. *Revista Facultad de Ingenieria* **2019**, 90, 101–112. Doi:10.17533/UDEA.REDIN.N90A11.
4. Borsic, A.; Comina, C.; Foti, S.; Lancellotta, R.; Musso, G. Imaging heterogeneities with electrical impedance tomography: Laboratory results. *Geotechnique* **2005**, 55(7), 539–547. Doi:10.1680/geot.2005.55.7.539.
5. Amabile, A.; de Carvalho Faria Lima Lopes, B.; Pozzato, A.; Benes, V.; Tarantino, A. An assessment of ERT as a method to monitor water content regime in flood embankments: The case study of the Adige River embankment. *Phys. Chem. Earth*

- 2020, 120, 102930. Doi:10.1016/j.pce.2020.102930.
6. Ishak, M.F. et al. Interrelationship between borehole lithology and electrical resistivity for geotechnical site investigation. *Phys. Chem. Earth* **2022**, 128, 103279. Doi:10.1016/j.pce.2022.103279.
7. Liu, X.; Shen, J.; Yang, M.; Cai, G.; Liu, S. Subsurface characterization of a construction site in Nanjing, China using ERT and CPTU methods. *Eng. Geol.* **2022**, 299, 106563. Doi:10.1016/j.enggeo.2022.106563.
8. Mohammed, M.A.; Senosy, M.M.; Abudeif, A.M. Derivation of empirical relationships between geotechnical parameters and resistivity using electrical resistivity tomography (ERT) and borehole data at Sohag University site, upper Egypt. *J. African Earth Sci.* **2019**, 158, 103563. Doi:10.1016/j.jafrearsci.2019.103563.
9. Orozco, A.F.; Bucker, M.; Steiner, M.; Malet, J.P. Complex-conductivity imaging for the understanding of landslide architecture. *Eng. Geol.* **2018**, 243, 241–252. Doi:10.1016/j.enggeo.2018.07.009.
10. Sudha, K.; Israil, M.; Mittal, S.; Rai, J. Soil characterization using electrical resistivity tomography and geotechnical investigations. *J. Appl. Geophys.* **2009**, 67(1), 74–79. Doi:10.1016/j.jappgeo.2008.09.012.
11. Holmes J. et al. 4D electrical resistivity tomography for assessing the influence of vegetation and subsurface moisture on railway cutting condition. *Eng. Geol.* **2022**, 307, 106790. Doi:10.1016/j.enggeo.2022.106790.
12. Lage, J.L.; Antohe, B.V. Darcy's experiments and the deviation to nonlinear flow regime. *J. Fluids Eng. Trans. ASME* **2000**, 122(3), 619–625. Doi:10.1115/1.1287722.
13. Brown, B.H.; Seagar, A.D. The sheffield data collection system. *Clin. Phys. Physiol. Meas.* **1987**, 8A, 91–97.
14. Adam, E.E.B.; Sathesh, Survey on medical imaging of electrical impedance tomography (EIT) by variable current pattern methods. *J. ISMAC* **2021**, 3(2), 82–95. Doi:10.36548/jismac.2021.2.002.
15. Gisser, D.G.; Isaacson, D.; Newell, J.C. Current topics in impedance imaging. *Clin. Phys. Physiol. Meas.* **1987**, 8 Suppl A, 39–46.
16. Newell, J.C. State of the art in impedance imaging. *Int. Conf. Electr. Bio-Impedance*, 1995.
17. Hua, P.; Webster, J.G.; Tompkins, W.J. Effect of the measurement method on noise handling and image quality of eit imaging. *IEEE/Eng. Med. Biol. Soc. Annu. Conf.* **1987**, 1429–1430.
18. Geuzaine, C.; Remacle, J.F. Gmsh Reference Manual, 2022.
19. Ward, S.H. Geotechnical and Environmental Geophysics. *Geotech. Environ. Geophys.* 1990, pp. 398. Doi:10.1190/1.9781560802785.
20. Juandi, M.; Syahril, S. Empirical relationship between soil permeability and resistivity, and its application for determining the groundwater gross recharge in Marpoyan Damai, Pekanbaru, Indonesia. *Water Pract. Technol.* **2017**, 12(3), 660–666. Doi:10.2166/wpt.2017.069.

An estimation of the permeability of sand by interpreting electrical impedance tomography images

To Viet Nam^{1,2*}, Khau Thi Ly^{1,2}

¹ Faculty of Geology and Petroleum Engineering, Ho Chi Minh city University of Technology; tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

² Vietnam National University in Ho Chi Minh city; tovietnam@hcmut.edu.vn; ly.khaudc@hcmut.edu.vn

Abstract: Electrical impedance tomography (EIT) has been widely applied in a number of engineering industries. However, in the field of geology and geotechnical engineering, there are still few studies applying EIT. The advantage of this technique is that it can provide information about the research object without having to destroy the sample. This article introduces an experimental study applying EIT in the evaluation of the permeability of 3 sand samples under laboratory conditions by interpreting electrical impedance tomography (EIT) images. The results of EIT image interpretation show that the permeability of the 3 sand samples is 16.30 m/d; 49.46 m/d and 11.94 m/d respectively and have a difference of by 2.00%, 2.81% and 4.02% respectively compared to the permeability of these 3 sand samples if determined by the Darcy test. This result shows the potential of applying EIT in determining the permeability of soil and rock in particular and other properties of soil and rock in general in the field of geology and geotechnical engineering.

Keywords: Electrical impedance tomography; EIT; Sand permeability.