

NGHIÊN CỨU PHƯƠNG PHÁP XÁC ĐỊNH ĐỘ RỖNG CỦA MẪU LỖI TỪ ẢNH CHỤP CẮT LỚP CÓ ĐỘ PHÂN GIẢI CAO

**ThS. Nguyễn Hồng Minh, ThS. Nguyễn Lâm Quốc Cường
ThS. Ngô Thành Vương, ThS. Nguyễn Văn Hiếu**
Viện Dầu khí Việt Nam
Email: minhnh@vpi.pvn.vn

Tóm tắt

Trong nghiên cứu này, độ rỗng của mẫu lõi được xác định từ ảnh chụp cắt lớp (CT scan) với chế độ quét đơn thông qua việc xác định không gian rỗng bằng kỹ thuật phân vùng ảnh hay kỹ thuật số hóa ảnh, sau đó so sánh với kết quả phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn. Nhóm tác giả đã chụp cắt lớp và phân tích hình ảnh của 31 mẫu lõi đường kính lớn (full diameter) được lấy từ các giếng khoan thuộc bể Cửu Long, bể Nam Côn Sơn và bể Sông Hồng. Các mẫu này có độ rỗng từ 11 - 40,9%, độ thấm từ 0,002 - 1,373mD. Từ kết quả nghiên cứu, nhóm tác giả đã xác định giá trị độ xám chuẩn (grayscale point) của từng nhóm đá và công thức tương quan thực nghiệm nhằm xác định độ rỗng cho toàn bộ hiệp mẫu.

Từ khóa: Độ rỗng, mẫu lõi, chụp cắt lớp xoắn ốc, độ xám chuẩn, phân vùng ảnh, bể Cửu Long, bể Nam Côn Sơn, bể Sông Hồng.

1. Giới thiệu

Độ rỗng được xác định bằng tỷ số giữa thể tích không gian rỗng với thể tích tổng của đất đá. Có nhiều phương pháp để xác định độ rỗng của đất đá, trong đó có phương pháp sử dụng ảnh chụp cắt lớp. Phân tích hình ảnh [1] và kỹ thuật tương quan [2] được áp dụng để tính toán độ rỗng từ ảnh chụp cắt lớp. Chụp cắt lớp xoắn ốc là công nghệ quét X-quang không phá hủy mẫu, tạo ra hình ảnh cấu trúc 3D bên trong mẫu bằng việc tái thiết ma trận các hệ số suy giảm tia X.

Trên cơ sở ảnh chụp cắt lớp ban đầu được thực hiện bằng máy CT scanner, ảnh cắt lớp sẽ được thực hiện phân vùng ảnh (segmentation) [3] để loại bỏ yếu tố phân tán gây nhiễu, ảnh hưởng đến ranh giới các điểm ảnh (pixels) của đối tượng. Sau đó, ảnh phân vùng được số hóa để đưa ảnh về dạng các điểm ảnh với giá trị độ xám tương ứng từ 0 - 255. Mỗi nhóm đất đá (đá vôi, cát kết, đá móng nút nê...) sẽ có một điểm xám chuẩn (grayscale point), từ đó xác định được giá trị thể tích của hạt và thể tích lỗ rỗng. Giá trị độ rỗng của mỗi lát cắt được tính dựa trên công thức:

$$\text{Độ rỗng} = \frac{\text{thể tích rỗng dựa trên số pixel}}{\text{thể tích tổng dựa trên số pixel}} \times 100$$

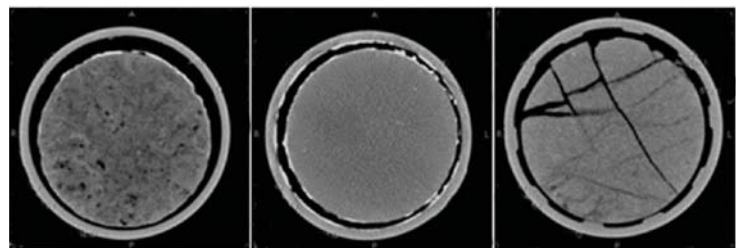
Nhóm tác giả thực hiện chụp cắt lớp và phân tích hình ảnh của 31 mẫu lõi đường kính lớn được lấy từ các giếng khoan thuộc bể Cửu Long, Nam

Côn Sơn và Sông Hồng; đồng thời tính toán các giá trị độ rỗng và so sánh với giá trị độ rỗng từ phân tích mẫu lõi để xác thực tính ổn định và biện luận của phương pháp.

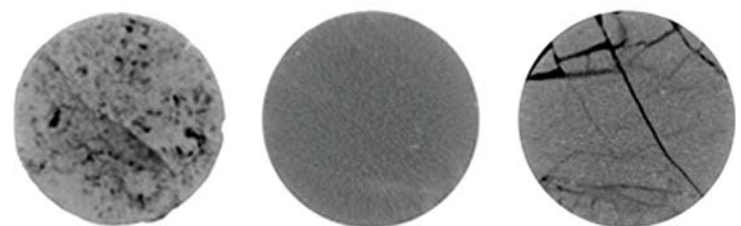
2. Phương pháp nghiên cứu và thực nghiệm

Độ rỗng được xác định từ dữ liệu ảnh chụp cắt lớp bằng phân tích hình ảnh và công cụ tương quan thực nghiệm.

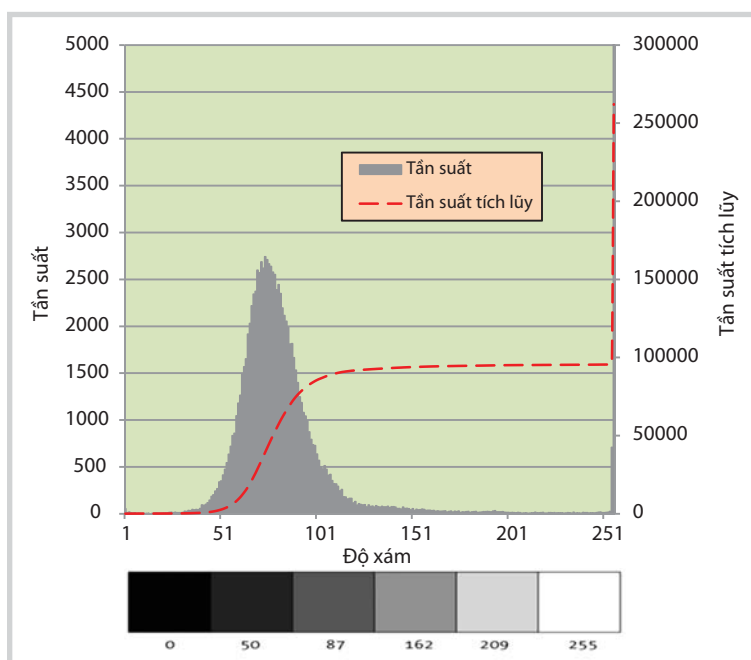
Đo độ rỗng bằng phân tích hình ảnh được thực hiện bằng cách đo không gian rỗng thông qua phân vùng ảnh. Phân vùng ảnh có thể làm tăng/giảm khoảng không gian rỗng, hoặc làm mờ, hoặc tạo thêm kết nối giữa chúng một cách rõ ràng. Một sự thay đổi nhỏ các thuộc tính phân vùng ảnh có thể làm độ rỗng thay đổi



Hình 1. Ảnh chụp cắt lớp ban đầu bằng máy CT Scanner: đá vôi (a); cát kết (b); đá móng nút nê (c)



Hình 2. Ảnh chụp cắt lớp sau khi đã được phân vùng: đá vôi (a), cát kết (b), đá móng nút nê (c)



Hình 3. Thang chia mức độ xám

Bảng 1. Các mẫu dùng cho thí nghiệm chụp cắt lớp [5]

Ký hiệu mẫu	Độ rỗng (%)	Độ thấm (mD)	Tỷ trọng hạt (g/cm ³)	Mô tả
FD1	27,7	755	2,68	Cát kết hạt trung
FD2	27,2	835	2,67	Cát kết hạt mịn đến hạt trung
FD3	27,8	808	2,67	Cát kết hạt trung
FD4	12,6	0,0020	2,74	Bột kết
FD5	11,6	0,0033	2,72	Cát kết hạt mịn
FD6	25,0	884	2,67	Cát kết hạt trung
FD7	28,5	1373	2,67	Cát kết hạt trung
FD8	26,1	216	2,67	Cát kết hạt mịn
FD9	27,0	509	2,66	Cát kết hạt trung
FD10	27,7	694	2,68	Cát kết hạt mịn đến hạt trung
FD11	31,5	680	2,66	Cát kết hạt trung
FD12	30,8	912	2,67	Cát kết hạt trung
FD13	24,2	520	2,68	Cát kết hạt mịn
FD14	8,9	0,0060	2,69	Cát kết hạt trung
FD15	26,6	768	2,66	Cát kết hạt trung
FD16	16,3	774	2,69	Đá vôi
FD17	25,4	820	2,70	Đá vôi
FD18	30,3	277	2,69	Đá vôi
FD19	31,8	188	2,69	Đá vôi
FD20	32,5	204	2,70	Đá vôi
FD21	30,7	62,9	2,70	Đá vôi
FD22	30,6	35,6	2,71	Đá vôi
FD23	41,7	189	2,73	Đá vôi
FD24	36,0	45,7	2,74	Đá vôi
FD25	33,6	84,6	2,74	Đá vôi
FD26	35,3	35,7	2,71	Đá vôi
FD27	27,7	46,4	2,71	Đá vôi
FD28	30,0	50,0	2,71	Đá vôi
FD29	26,9	1,63	2,71	Đá vôi
FD30	18,7	1,30	2,72	Đá vôi
FD31	3,1	2,12	2,60	Đá móng nứt nẻ

lớn [4]. Do đó, đây là một yếu tố không chắc chắn trong phương pháp đo độ rỗng từ hình ảnh chụp cắt lớp.

Ảnh sau khi được phân vùng sẽ được số hóa để trở lại định dạng là một ma trận điểm ảnh. Mỗi ảnh số hóa sẽ chứa số liệu cố định, không thay đổi cho cột và dòng tương ứng của từng pixel. Pixel là yếu tố đơn lẻ nhỏ nhất của ảnh, giữ những giá trị số học đại diện cho độ sáng của màu sắc tại một điểm xác định. Thông thường pixel sẽ được lưu lại dưới dạng một ma trận tích hợp 2 chiều trong bộ nhớ máy như máy ảnh kỹ thuật số, máy scanner, các thiết bị dò chấn động... Có nhiều loại hình ảnh khác nhau như ảnh đơn sắc, ảnh xám (grayscale), ảnh màu (colorized image). Ở đây, nhóm tác giả sử dụng ảnh chụp cắt lớp là ảnh xám với các giá trị từ 0 - 255 (thang độ xám grayscale). Ở mỗi giá trị độ xám, số lượng các pixel sẽ được thống kê chi tiết. Theo từng đặc tính đất đá khác nhau (đá vôi, cát kết, granite...) sẽ có một khoảng giá trị độ xám tương ứng để tính giá trị thể tích hạt dựa trên tổng số các pixel từ điểm chuẩn nằm trong khoảng giá trị đó về sau đến giá trị 255. Ảnh sau khi phân vùng sẽ tính được giá trị thể tích tổng của đất đá, chính là tổng số pixel có được. Như vậy, thể tích lỗ rỗng là hiệu của thể tích tổng trừ đi thể tích hạt. Từ đó, tính được giá trị độ rỗng là tỷ số của thể tích lỗ rỗng trên thể tích tổng.

Mẫu lõi đường kính lớn có đường kính khoảng 10cm và chiều dài từ 18 - 22cm. Trong khi đó, mỗi ảnh chụp cắt lớp có độ dày khoảng 1mm. Trung bình, nhóm tác giả lấy khoảng 10 - 22 lát cắt/mẫu. Giá trị độ rỗng của toàn bộ mẫu là trung bình độ rỗng của các lát cắt. Giá trị độ rỗng trung bình này được so sánh với giá trị độ rỗng từ phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn để đối chứng. Từ giá trị độ rỗng đo bằng phương pháp chụp cắt lớp, nhóm tác giả kết hợp với giá trị độ rỗng từ phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn để đưa ra công thức tương quan thực nghiệm.

3. Thực nghiệm

Nhóm tác giả tiến hành chụp cắt lớp 31 mẫu lõi đường kính lớn (Bảng 1) gồm đá vôi, cát kết, đá móng nứt nẻ (10 lát cắt/mẫu). Thông số kỹ thuật cho máy CT Scanner như sau:

Bảng 2. Độ rỗng của các mẫu cát kết tính toán theo các giá trị độ xám từ kết quả chụp cắt lớp

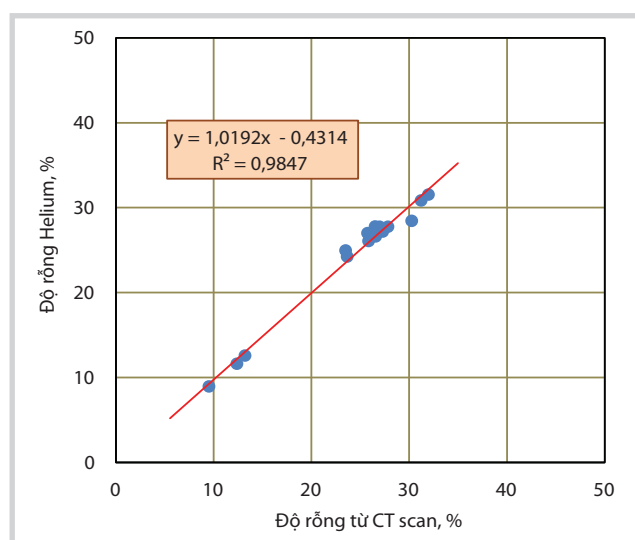
Giá trị độ xám	Độ rỗng (%)														
	FD1	FD2	FD3	FD4	FD5	FD6	FD7	FD8	FD9	FD10	FD11	FD12	FD13	FD14	FD15
40	24,0	22,9	22,0	8,2	9,3	19,9	25,8	23,2	22,5	22,7	28,0	27,0	20,1	7,6	22,7
41	27,9	27,3	26,5	13,2	12,4	23,5	30,3	25,9	25,8	27,0	32,0	31,2	23,7	9,5	26,6
42	31,8	32,1	31,5	17,0	14,8	27,4	35,0	28,9	29,2	31,7	36,1	35,6	27,8	13,9	30,7
43	35,9	37,1	36,6	23,3	16,3	31,7	39,9	32,2	32,7	36,6	40,1	40,1	31,9	16,7	35,0
44	39,9	42,2	41,8	30,0	20,5	36,1	45,1	35,8	36,2	41,7	44,1	44,5	39,1	21,4	42,4
45	43,8	47,2	47,1	34,6	25,4	40,7	50,2	39,5	39,8	46,9	47,9	48,8	43,5	24,0	46,9

Bảng 3. Độ rỗng của các mẫu đá vôi tính toán theo các giá trị độ xám từ kết quả chụp cắt lớp

Giá trị độ xám	Độ rỗng (%)														
	FD16	FD17	FD18	FD19	FD20	FD21	FD22	FD23	FD24	FD25	FD26	FD27	FD28	FD29	FD30
70	15,2	23,2	31,2	28,9	34,0	32,3	28,5	40,3	37,7	30,9	35,7	25,8	28,1	25,6	16,4
71	16,3	24,8	33,2	31,4	36,3	34,4	30,5	41,0	40,5	32,6	37,9	27,3	30,4	27,5	17,9
72	17,4	26,4	35,4	34,0	38,6	36,5	32,5	42,5	43,4	34,3	40,2	28,9	32,7	29,4	20,3
73	19,4	29,3	39,1	36,6	41,0	40,1	34,6	46,1	46,2	36,1	42,6	30,5	35,2	31,3	22,3
74	20,8	31,1	41,3	39,3	43,3	42,2	36,7	48,4	48,9	37,9	44,9	32,2	37,8	33,3	25,4
75	22,2	33,1	43,6	42,1	45,7	44,3	38,8	49,2	51,7	39,8	47,3	33,9	40,6	35,3	28,8

Bảng 4. Độ rỗng của mẫu FD31 (đá móng nút nê) tính toán theo các giá trị độ xám từ kết quả ảnh chụp cắt lớp

Giá trị độ xám (X)	Độ rỗng (%)
30	2,51
31	2,57
32	2,63
33	2,69
34	2,75
35	2,81
36	2,87
37	2,94
38	3,01
39	3,07
40	3,14
41	3,21



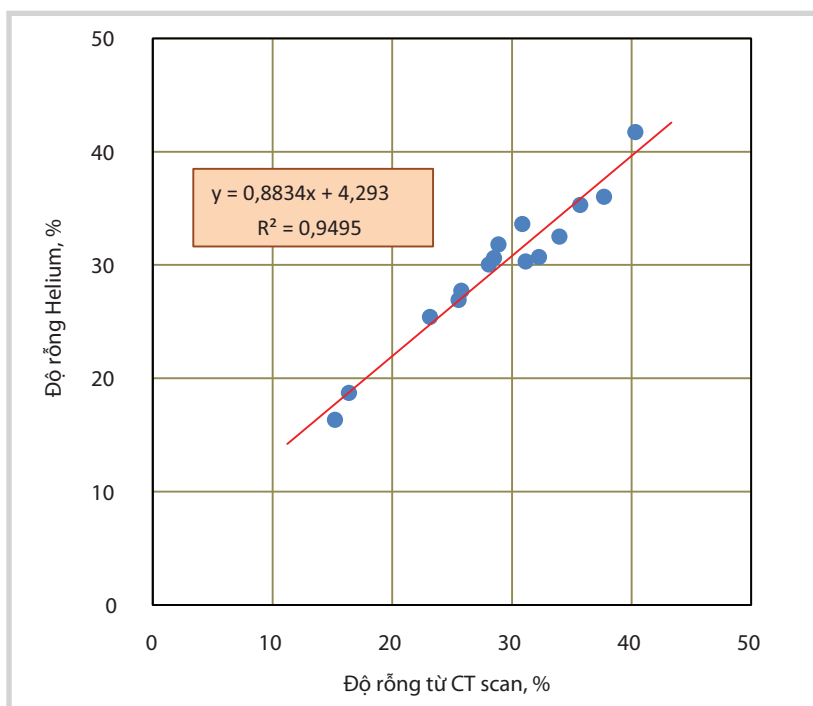
Hình 4. Biểu đồ tương quan độ rỗng của cát kết theo giá trị điểm xám chuẩn từ ảnh chụp cắt lớp và độ rỗng theo phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn

Bảng 5. So sánh độ rỗng trung bình của cát kết tính theo giá trị điểm xám chuẩn X = 41 với độ rỗng Helium

Ký hiệu mẫu	Độ rỗng từ ảnh chụp cắt lớp (%)	Độ rỗng Helium (%)
FD1	27,9	27,7
FD2	27,3	27,2
FD3	26,5	27,8
FD4	13,2	12,6
FD5	12,4	11,6
FD6	23,5	25,0
FD7	30,3	28,5
FD8	25,9	26,1
FD9	25,8	27,0
FD10	27,0	27,7
FD11	32,0	31,5
FD12	31,2	30,8
FD13	23,7	24,2
FD14	9,5	8,9
FD15	26,6	26,6

Bảng 6. So sánh độ rỗng trung bình của đá vôi theo giá trị điểm xám chuẩn X = 70 với độ rỗng Helium

Ký hiệu mẫu	Độ rỗng từ ảnh chụp cắt lớp (%)	Độ rỗng Helium (%)
FD16	15,2	16,3
FD17	23,2	25,4
FD18	31,2	30,3
FD19	28,9	31,8
FD20	34,0	32,5
FD21	32,3	30,7
FD22	28,5	30,6
FD23	40,3	41,7
FD24	37,7	36,0
FD25	30,9	33,6
FD26	35,7	35,3
FD27	25,8	27,7
FD28	28,1	30,0
FD29	25,6	26,9
FD30	16,4	18,7



Hình 5. Biểu đồ tương quan độ rỗng của đá vôi theo giá trị điểm xám chuẩn từ kết quả ảnh chụp cắt lớp và độ rỗng theo phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn

- Độ dày lớp: 1 mm;
- Độ xuyên thấu: 120kV;
- Độ tương phản: 150mA;
- Trường độ: 14,5 x 14,5cm;
- Cửa sổ chụp: L - 2925, D - 2203;
- Kích thước màng ảnh: 512 x 512.

Sau khi chụp cắt lớp, các ảnh sẽ được xử lý theo các bước như đã nêu ở mục 2 bằng phần mềm Rock Pro I để xác định các giá trị độ xám, từ đó tính toán độ rỗng (Bảng 2 - 4). Nhóm tác giả so sánh độ rỗng từ ảnh chụp cắt lớp với kết quả phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn để chọn ra giá trị điểm xám chuẩn.

Từ kết quả trên, nhóm tác giả xác định độ rỗng theo giá trị điểm xám chuẩn (X) từ kết quả ảnh chụp cắt lớp và so sánh với độ rỗng Helium từ phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn.

- Cát kết: Giá trị điểm xám chuẩn của cát kết X = 41

Tương quan giữa độ rỗng của cát kết theo giá trị điểm xám chuẩn từ kết quả ảnh chụp cắt lớp và phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn (Hình 4):

$$\Phi = 1,0192\Phi_{CTscan} - 0,4314 \tag{1}$$

- Đá vôi: Giá trị điểm xám chuẩn của đá vôi X = 70

Tương quan giữa độ rỗng của đá vôi tính theo giá trị điểm xám chuẩn từ kết quả ảnh chụp cắt lớp và độ rỗng theo phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn (Hình 5):

$$\Phi = 0,8834\Phi_{CTscan} + 4,293 \tag{2}$$

Kết quả độ rỗng trung bình của đá móng nút nê theo điểm xám chuẩn X = 40 là: độ rỗng từ kết quả ảnh chụp cắt lớp = 3,14%, độ rỗng Helium = 3,11%. Do chỉ có 1 mẫu đá móng nút nê (FD31) nên nhóm tác giả không xây dựng tương quan thực nghiệm.

4. Kết luận

Phương pháp phân tích ảnh chụp cắt lớp giúp tính toán độ rỗng khi mẫu còn ở nguyên trạng trong ống mẫu và đánh giá sơ bộ về chất lượng mẫu trước khi lên kế hoạch phân tích toàn diện. Ngoài ra, phương pháp này giúp tính toán độ rỗng trung bình cho toàn hiệp mẫu mà không phải là các điểm rời rạc như trong phân tích mẫu lõi tiêu chuẩn. Điều này có ý nghĩa quan trọng khi mẫu là bất đồng nhất như đá vôi hay đá móng nút nê. Từ kết quả nghiên cứu, nhóm tác giả rút ra một số kết luận sau:

- Với chế độ chụp cắt lớp như trên, giá trị điểm xám chuẩn cho mẫu cát kết là 41, đá vôi là 70, đá móng là 41 và tương quan thực nghiệm để tính độ rỗng:

$$\Phi = 1,0192\Phi_{CTscan} - 0,4314 \text{ (cát kết)}$$

$$\Phi = 0,8834\Phi_{CTscan} + 4,293 \text{ (đá vôi)}$$

- Cần tiến hành chụp cắt lớp trên nhiều mẫu hơn để tương quan có độ tin cậy cao hơn, đặc biệt là đối với đá móng nút nê.

- Cần đánh giá tỷ trọng mẫu, phân vùng chính xác các khoáng vật để có thể dự đoán thêm các tính chất khác của mẫu lõi như: độ thấm, độ dính ướt, áp suất mao dẫn...

Phương pháp phân tích hình ảnh chụp cắt lớp có thể mở rộng hơn trong tương lai khi có thể mô hình hóa cấu trúc của đối tượng mẫu core trên định dạng 3D hay áp dụng trong phân tích mẫu lõi đặc biệt để xác định độ bão hòa chất lưu tại chỗ (in situ saturation) trong thí nghiệm đo độ thấm pha hay thu hồi tăng cường nhằm nâng cao chất lượng phân tích.

Tài liệu tham khảo

1. William K.Pratt. *Digital image processing: PIKS inside (3rd edition)* . A Wiley Interscience Publication. 2001.
2. Kazem Saadat, Hossain Rahimpour-Bonab, Mohammad Reza Esfahani, Jafar Vali. *Empirical correlation for porosity deduction from X-ray computed tomography (CT)*. Journal Geopersia. 2011; 1(2): p. 47 - 54.
3. Emmanuel Le Trong, Olivier Rozenbaum, Jean-Louis Rouet, Ary Bruand. *A simple methodology to segment X-ray tomographic images of a multiphasic building stone*. Image Analysis & Stereology. 2008; 27(3): p. 175 -182.
4. Andrew Squelch, Brett Harris, Majed AlMalki. *Estimating porosity from CT scans of high permeability core plugs*. ASEG Extended Abstracts. 2012.
5. VPI-Labs. *Routine core analysis report*. 2010 - 2012.

Method of porosity estimation from high resolution CT scan images

**Nguyen Hong Minh, Nguyen Lam Quoc Cuong
Ngo Thanh Vuong, Nguyen Van Hieu**
Vietnam Petroleum Institute

Summary

In this research, the porosity of core samples is determined from CT scan images with single scanning using many techniques, such as segmentation techniques or image digitalising, and compared with routine core analysis results. A total of 31 full diameter core samples taken from Cuu Long Basin, Nam Con Son basin and Song Hong Basin have been CT scanned and analysed. These samples have porosity ranging from 11% to 40.9%, and permeability ranging from 0.002mD to 1.373mD. The results show values of the grayscale point of each group of stones and the empirical correlations to determine porosity for all cores.

Key words: Porosity, core sample, spiral CT scan, grayscale point, segmentation, Cuu Long basin, Nam Con Son basin, Song Hong basin.