

# ỨNG DỤNG KỸ THUẬT ĐÁNH DẤU XÁC ĐỊNH ĐỘ PHÂN TÁN DỌC CỦA MẪU LỖI KOC

HUỲNH THỊ THU HƯƠNG<sup>1</sup>, NGUYỄN HỮU QUANG<sup>1</sup>, BÙI TRỌNG DUY<sup>1</sup>, LÊ VĂN SƠN, HUỲNH THÁI KIM NGÂN<sup>1</sup>, PHẠM HỮU ANH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp,  
Viện Năng lượng Nguyên tử Việt Nam

Email: huonghtt@canti.vn, nhquang.dalat@gmail.com, duybt@canti.vn, sonlv@canti.vn, nganhkt@canti.vn, anhph@canti.vn

## Tóm tắt.

Độ phân tán là một trong những thuộc tính quan trọng mô tả sự vận chuyển chất lưu trong môi trường rỗng xốp. Trong khai thác dầu khí, độ phân tán được sử dụng cho các tính toán thu hồi dầu tăng cường cũng như là thông số cho các mô hình mô phỏng mỏ. Đánh dấu từ lâu được biết đến là một trong những phương pháp xác định độ phân tán phổ biến nhất trong trường hợp thực địa lần phòng thí nghiệm. Báo cáo trình bày kết quả ứng dụng kỹ thuật đánh dấu xác định độ phân tán dọc của mẫu lõi KOC (Kuwait Oil Company) trong khuôn khổ hợp đồng triển khai giữa Trung tâm Ứng dụng kỹ thuật hạt nhân trong công nghiệp (CANTI) và Viện Nghiên cứu khoa học Kuwait (KISR). Một loạt các thí nghiệm bơm xung đánh dấu chủ động với lưu lượng khác nhau được tiến hành trên mẫu lõi KOC sử dụng HTO và FBAs như các chất đánh dấu. Độ phân tán dọc của mẫu lõi sau đó được xác định thông qua làm khớp đường cong nồng độ chất đánh dấu với lời giải giải tích của phương trình vận chuyển khuếch tán. Kết quả cho thấy độ phân tán dọc của mẫu lõi bằng  $(18,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$  cm.

**Từ khóa:** kỹ thuật đánh dấu, mô hình Capacitance, độ phân tán dọc, mẫu lõi.

## I. GIỚI THIỆU

Phân tán thủy động lực học đóng vai trò quan trọng trong hầu hết các quá trình vật lý liên quan đến sự di chuyển của chất lưu trong môi trường rỗng xốp. Trong đó, phân tán cơ học đặc trưng bởi sự biến thiên vận tốc cục bộ do bất đồng nhất vi mô của môi trường rỗng là cơ chế chính đóng góp vào quá trình phân tán. Mức độ phân tán cơ học tỷ lệ với độ phân tán và vận tốc chất lưu qua kẽ rỗng. Liên hệ giữa hệ số phân tán dọc đại diện cho quá trình phân tán xảy ra song song với hướng dòng chảy  $D_L$  và độ phân tán dọc  $\alpha_L$  được thể hiện qua biểu thức [1]:

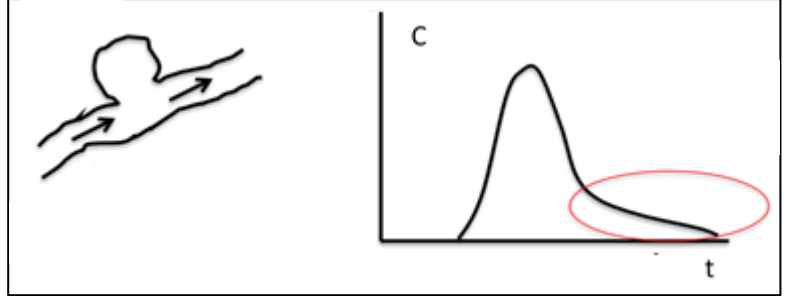
$$D_L = D_m + \alpha_L v^{1,2} \quad (1)$$

trong đó,  $D_m$  là hệ số khuếch tán phân tử trong môi trường rỗng và  $v$  là vận tốc chất lưu qua kẽ rỗng theo phương dòng chảy.

Độ phân tán là một trong những thuộc tính của môi trường rỗng xốp. Trong khai thác dầu khí, độ phân tán được sử dụng cho các tính toán thu hồi dầu tăng cường, minh giải kết quả thí nghiệm bơm ép trong phòng thí nghiệm. Bên cạnh đó, độ phân tán cũng là thông số quan trọng cho các mô hình mô phỏng mỏ [2, 3]. Đánh dấu từ lâu được biết đến là một trong những phương pháp xác định độ phân tán phổ biến nhất trong trường hợp thực địa lần phòng thí nghiệm [4, 5, 6]. Báo cáo trình bày một loạt các thí nghiệm bơm xung đánh dấu chủ động sử dụng HTO và FBAs với lưu lượng khác nhau được tiến hành trên hai mẫu lõi KOC. Nghiệm giải tích một chiều của mô hình Capacitance sau đó được ứng dụng để khớp với đường cong đánh dấu nhằm xác định độ phân tán dọc của từng mẫu lõi.

## II. MÔ HÌNH CAPACITANCE

Sự vận chuyển khuếch tán của chất tan trong môi trường rỗng xốp bất đồng nhất như mẫu lõi thể hiện hiệu ứng phân tán tăng cường, xuất hiện sớm với phần đuôi đường cong phân bố nồng độ kéo dài được chứng minh có thể mô tả bởi mô hình hai độ rỗng hay mô hình Capacitance. Môi trường rỗng chứa vùng lỗ rỗng chết trong đó quá trình khuếch tán phân tử kiểm soát sự di chuyển của chất tan. Sự trao đổi chất giữa vùng rỗng chảy và vùng lỗ rỗng chết được biểu diễn bởi phương trình truyền khối bậc nhất phụ thuộc vào sự chênh lệch nồng độ giữa hai vùng [7, 8, 9]. Phương trình vận chuyển khuếch tán một chiều của chất tan có dạng:



Hình 1. Minh họa mô hình Capacitance và hiệu ứng phân tán tăng cường của đường cong nồng độ chất đánh dấu

$$\begin{aligned} \frac{\partial C_m}{\partial t} + \beta \frac{\partial C_{im}}{\partial t} &= D_L \frac{\partial^2 C_m}{\partial x^2} - v^* \frac{\partial C_m}{\partial x} \\ \beta \frac{\partial C_{im}}{\partial t} &= K^* (C_m - C_{im}) \end{aligned} \quad (2)$$

trong đó,

$\beta$  là tỷ số thể tích giữa vùng rỗng chết và vùng rỗng chảy,

$$\beta = \frac{1-f}{f} \quad (3)$$

$f$  là tỷ phần chảy,

$v^*$  là vận tốc chảy trung bình,

$$v^* = \frac{v}{f} \quad (4)$$

$v$  là vận tốc qua kẽ rỗng trung bình,

$D_L$ : hệ số phân tán dọc có dạng như Phương trình (1),

$K^*$  là hệ số chuyển khối tương đương liên hệ với hệ số chuyển khối  $K$  theo biểu thức [8],

$$K^* = \frac{K}{f\phi} \quad (5)$$

Nghiệm giải tích một chiều mô tả nồng độ chất đánh dấu trong trường hợp bơm xung thu được từ mô hình Capacitance (2) có dạng

$$C_m(x, t) = L^{-1} [\bar{C}_m(x, s)] = L^{-1} \left[ \frac{M}{A_{yz}} \frac{1}{\sqrt{\Delta}} e^{\left( \frac{v_x^* - \sqrt{\Delta}}{2D_L} \right) x} \right] \quad (6)$$

$$\Delta = (v_x^*)^2 + 4D_L \left( s + \frac{K^* \beta s}{\beta s + K^*} \right) \quad (7)$$

với  $M$  là khối lượng chất đánh dấu,  $A_{yz}$  là tiết diện chảy của mô hình,  $s$  là biến Laplace.

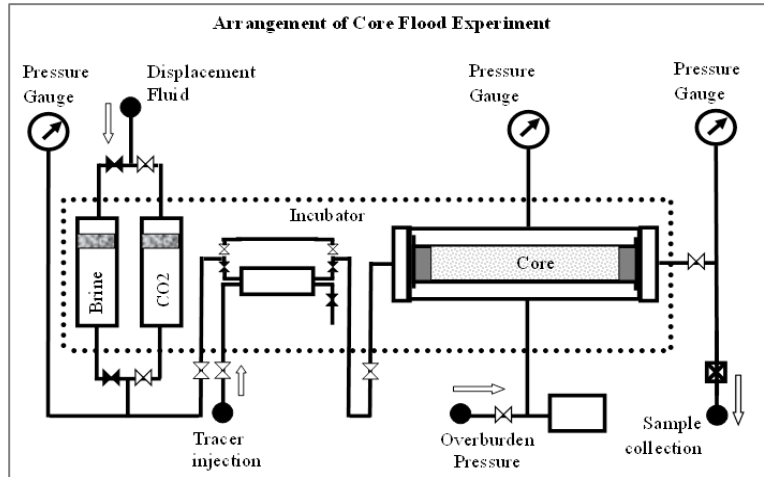
Chuyển đổi Laplace ngược dạng số của  $\bar{C}_m(x, s)$  có thể được tính toán thông qua thuật toán Talbot. Các tham số thu được thông qua làm khớp đường cong nồng độ chất đánh dấu với

nghiệm giải tích của mô hình Capacitance bao gồm hệ số phân tán ( $D_L$ ), tỷ phần chảy ( $f$ ) và hệ số chuyển khối ( $K$ ). Từ liên hệ giữa hệ số phân tán dọc và vận tốc chất lưu qua kẽ rỗng như Phương trình (1), độ phân tán dọc được xác định.

### III. THỰC NGHIỆM

#### III.1. Thiết lập và tiến hành thí nghiệm

Mẫu lõi được lấy từ mỏ Kuwait ở độ sâu khoảng 7000 ft có hình trụ với kích thước tương ứng 6,15 cm x 3,8 cm. Thể tích rỗng khoảng 3 mL tương ứng với độ rỗng 4%. Mẫu lõi được mài nhẵn và bọc Teflon sau đó đặt vào hệ thí nghiệm như Hình 2. Thể tích chết của các ống nối, van ... khoảng 1,5 mL. Chất đánh dấu theo pha nước được sử dụng gồm HTO (RCA, USA) và các chất FBA (Sigma Aldrich, 98%) như 2-FBA (2-Fluorinated Benzoic Acid), 2,4-DFBA (2,4 Di-fluorinated Benzoic Acid), 4-FBA (4-Fluorinated Benzoic Acid). Các thí nghiệm đánh dấu với lưu lượng khác nhau trên mẫu lõi đều được tiến hành ở điều kiện 80°C.



Hình 2. Sơ đồ thiết lập hệ thí nghiệm

Các thí nghiệm đánh dấu với lưu lượng khác nhau trên mẫu lõi đều được tiến hành ở điều kiện 80°C.

Bảng 1. Thông số thí nghiệm

Thí nghiệm	Lưu lượng bơm ép, Q	Chất đánh dấu	Độ chênh áp suất hai đầu
1	0,02 mL/phút	2-FBA: 4660 mg/L HTO: 70565 Bq/mL	11 atm
2	0,04 mL/phút	2,4-DFBA: 3894 mg/L HTO: 72395 Bq/mL	29 atm
3	0,07 mL/phút	4-FBA: 1200 mg/L HTO: 70093 Bq/mL	49 atm

Đầu tiên, mẫu lõi sẽ được bơm rửa với nước cất, các dung môi như toluene, isopropanol, methanol và CO<sub>2</sub>. Nước biển pha có thành phần nồng độ ion tương đồng với nước bơm ép mỏ Middle Marrat được bơm qua mẫu lõi sử dụng bơm HPLC (Shimadzu). Sau khi điều chỉnh lưu lượng thí nghiệm và chờ hệ ổn định, 3 mL dung dịch chất đánh dấu gồm HTO và FBAs được bơm vào mẫu lõi theo pha nước. Mẫu nước sau đó được lấy phân đoạn theo thời gian để xác định nồng độ chất đánh dấu. Phân tích HTO trên thiết bị nhấp nháy lỏng và FBAs trên GC/MS. Kết thúc thí nghiệm, bơm rửa hệ thí nghiệm.

#### III.2. Kết quả và bàn luận

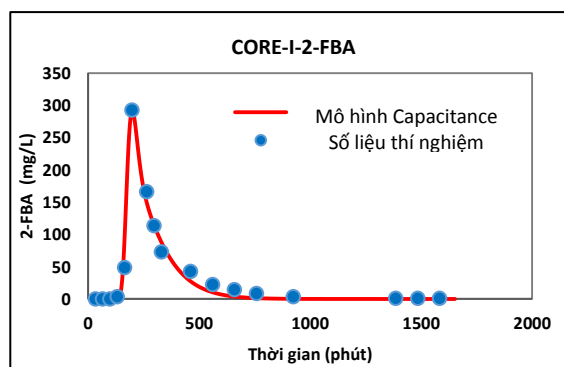
Trong công trình này, các thí nghiệm bơm xung đánh dấu chủ động trên mẫu lõi KOC sử dụng HTO và FBAs như các chất đánh dấu được tiến hành với các lưu lượng khác nhau (0,02 mL/phút, 0,04 mL/phút và 0,07 mL/phút). Đường cong nồng độ chất đánh dấu ở tất cả các thí nghiệm đều phản ánh hiệu ứng phân tán tăng cường với phần đuôi đường cong kéo dài. Tuy nhiên do lỗi trong quá trình đo mẫu HTO, thí nghiệm 1 chỉ có kết quả đường cong nồng độ 2-FBA.

Hệ số phân tán dọc ( $D_L$ ), tỷ phần chảy ( $f$ ) và hệ số chuyển khối ( $K$ ) được xác định thông qua làm khớp đường cong nồng độ chất đánh dấu với nghiệm giải tích của mô hình Capacitance (Hình 3a, b, c, d, e). Với mỗi lưu lượng chảy, đường cong đánh dấu HTO và FBAs có cùng hệ số phân tán dọc. Tỷ phần chảy như nhau được áp dụng cho tất cả các đường cong đánh dấu.

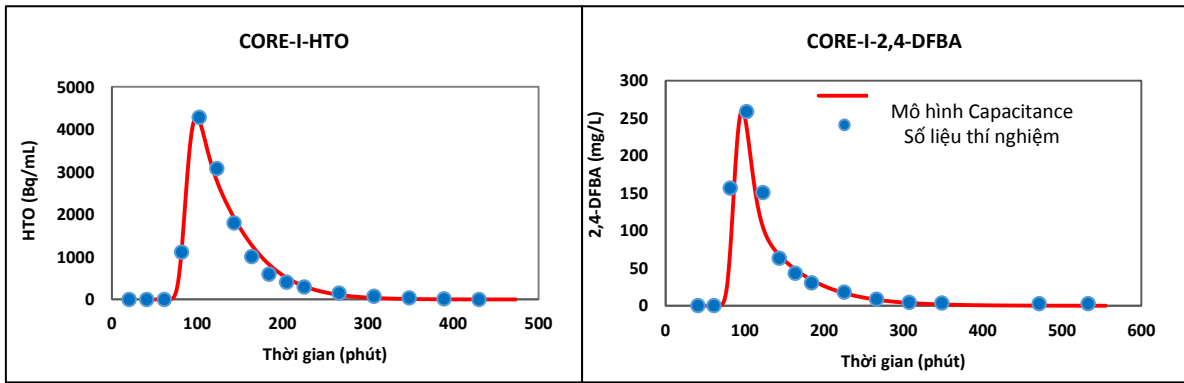
Bảng 2. Các tham số thu khớp của đường cong đánh dấu ở các thí nghiệm

Parameter	Thí nghiệm 1 Q = 0,02 mL/phút		Thí nghiệm 2 Q = 0,04 mL/phút		Thí nghiệm 3 Q = 0,07 mL/phút	
	HTO	2FBA	HTO	24DFBA	HTO	4FBA
$T_{\text{shift}}$ (phút)	-	68	42	42	23	23
$M/A_{yz}$ [M]/cm <sup>2</sup>	-	1900	31000	1500	50000	1300
Q/A (cm/phút)	-	0,0012	0,0028	0,0028	0,0056	0,0056
x (cm)	-	6,15	6,15	6,15	6,15	6,15
$\Phi$	-	0,04	0,04	0,04	0,04	0,04
$D_L$ (cm <sup>2</sup> /phút)	-	0,005	0,013	0,013	0,03	0,03
K (phút <sup>-1</sup> )	-	0,00024	0,00064	0,0004	0,0016	0,001
f	-	0,63	0,63	0,63	0,63	0,63
NRMSD	-	0,34	0,16	0,49	0,35	0,50

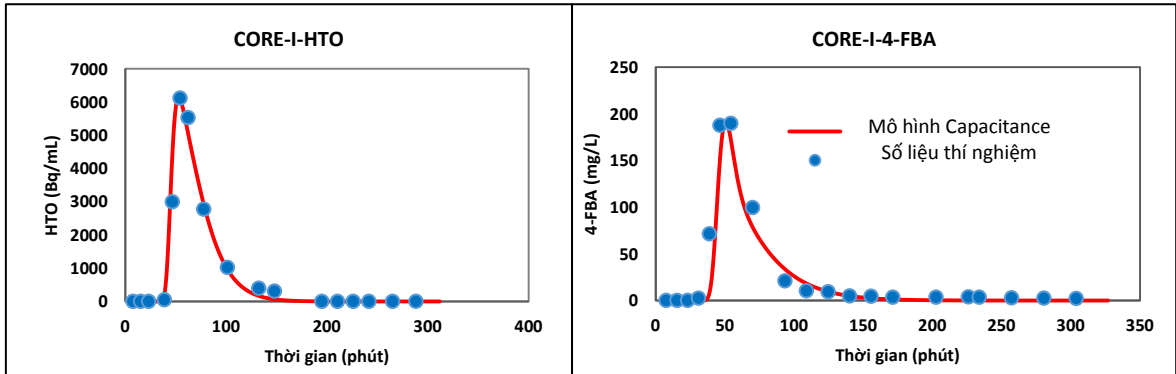
Các tham số khớp của đường cong đánh dấu với mô hình Capacitance được thể hiện trong Bảng 2, trong đó thời gian di chuyển thực tế của chất đánh dấu qua mẫu lõi được hiệu chỉnh thời gian di chuyển trong các ống nối, van,... -  $T_{\text{shift}}$ . Kết quả, tỷ phần chảy của mẫu lõi là 0,63 với sự phù hợp khá tốt giữa số liệu thực nghiệm và mô hình giải tích (Normalized root-mean-square deviation – NRMSD trong khoảng 0.2 đến 0.5).



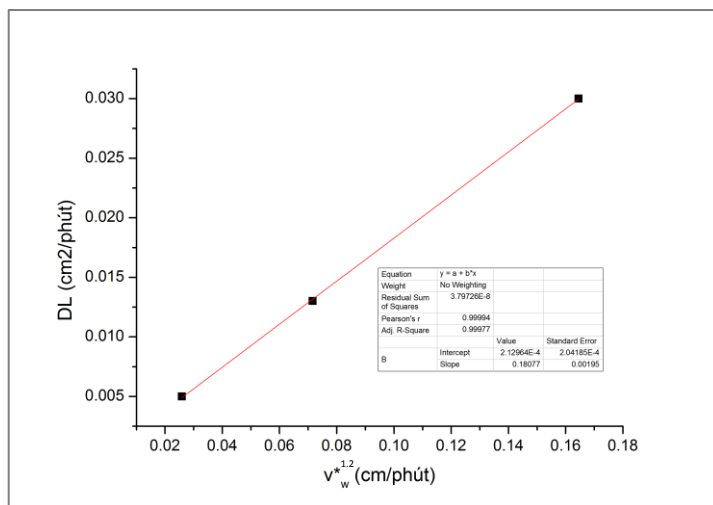
Hình 3a. Đường cong nồng độ 2-FBA ở lưu lượng 0,02 mL/phút



Hình 3b. Đường cong nồng độ HTO và 2,4-DFBA ở lưu lượng 0,04 mL/phút



Hình 3c. Đường cong nồng độ HTO và 4-FBA ở lưu lượng 0,07 mL/phút



Hình 4. Tương quan giữa hệ số phân tán dọc DL và vận tốc chảy trung bình  $v^*$

Sử dụng phương pháp làm khớp bình phương tối thiểu xác định liên hệ giữa hệ số phân tán dọc và vận tốc chất lưu qua kẽ rỗng theo phương trình (1) như Hình 4, độ phân tán dọc của mẫu lõi bằng  $(18,0 \pm 0,2) \cdot 10^{-2}$  cm. Hệ số tương quan Pearson của số liệu bằng 0,99994.

Kết quả từ thực nghiệm cho thấy đường cong nồng độ chất đánh dấu được đóng góp bởi hai phân bố, một tương ứng với sự phân tán trong vùng rỗng chảy và một tương ứng với quá trình khuếch tán phân tử diễn ra trong vùng rỗng chết. Theo Jay K. Jasti và cộng sự (1988), độ trễ thời gian lưu trung bình giữa hai phân bố sẽ giảm khi tăng hệ số chuyển khối [10]. Các yếu tố ảnh hưởng đến hệ số chuyển khối bao gồm sự hấp phụ, scale và vận tốc chất lưu (Griffioen et al 1998). Vận tốc chất lưu càng lớn, sự chuyển khối xảy ra nhanh hơn giữa vùng rỗng chảy và vùng rỗng chết. Thực nghiệm cho thấy hệ số chuyển khối tăng theo giá trị

vận tốc pha nước như trình bày trong Bảng 2. Mô hình Capacitance được chứng minh phù hợp trong các ứng dụng nghiên cứu sự phân tán trong môi trường xốp.

## V. KẾT LUẬN

Kỹ thuật đánh dấu được ứng dụng để xác định độ phân tán dọc của mẫu lõi KOC. Ba thí nghiệm đánh dấu sử dụng cặp chất HTO và FBAs với lưu lượng khác nhau đã được tiến hành. Độ phân tán của mẫu lõi sau đó được xác định thông qua làm khớp đường cong nồng độ chất đánh dấu với lời giải giải tích của phương trình vận chuyển khuếch tán.

Nghiệm giải tích của mô hình Capacitance mô tả khá chính xác đường cong nồng độ chất đánh dấu trong trường hợp môi trường bất đồng nhất như mẫu lõi, có tiềm năng ứng dụng minh giải kết quả đánh dấu trên thực địa.

## TÀI LIỆU THAM KHẢO

- [1]. Maghsood Abbaszadeh – Deghani & W. E. Brigham, “Analysis of unit mobility ratio well to well tracer flow to determined reservoir heterogeneity”, *Stanford University Petroleum Research Institute*, 1982.
- [2]. S. Dutta, “Dispersivity as an Oil Reservoir Rock Property”, M.S. Thesis, *University of Oklahoma*, 1984.
- [3]. M. Greaves, K. M. Patel, “Surfactant Dispersion in Porous Media. Enhanced Oil Recovery”, *Edition Technip*, 1982.
- [4]. H. Li, “Effective porosity and longitudinal dispersivity of sedimentary rocks determined by laboratory and field tracer test”, *Environmental Geology Journal*, 1995.
- [5]. Claire Welty & Lynn W. Gelhar, “Evaluation of longitudinal dispersivity from nonuniform flow tracer tests”, *Journal of Hydrology*, 1994.
- [6]. Jui-Sheng Chen, Chen-Wuing Liu, Ching-Ping Liang, “Evaluation of longitudinal and transvers dispersivities/distance ratios for tracer test in a radially convergent flow field with scale-dependent dispersion”, *Advances in Water Resources*, Vol. 29, pp 887–898, 2006.
- [7]. C. Erin Feehley and Chunmiao Zheng & Fred J. Molz, “A dual-domain mass transfer approach for modeling solute transport in heterogeneous aquifers: Application to the Macrodispersion Experiment (MADE) site”, *Water Resources Research*, 2000.
- [8]. S. Brouyere & A. Dassargues & R. Therrein, “Modelling of dual porosity media: comparison of different techniques and evaluation of the impact on plume transport simulator”, *National Fund of Scientific Research*, 2000.
- [9]. W. J. Bond & P. J. Wierenga, “Immobile Water During Solute Transport in Unsaturated Sand Columns”, *Water Resources Research*, 1990.
- [10]. Jay K. Jasti, Ravlmadhav N. Valdya, H. Scott Fogler, “Capacitance Effects in Porous Media”, *Society of Petroleum Engineers*, 1988.

# APPLICATION OF TRACER TECHNIQUE TO DETERMINE LONGITUDINAL DISPERSIVITY OF KOC CORE SAMPLE

HUYNH THI THU HUONG<sup>1</sup>, NGUYEN HUU QUANG<sup>1</sup>, BUI TRONG DUY<sup>1</sup>, LE VAN  
SON, HUYNH THAI KIM NGAN<sup>1</sup>, PHAM HUU ANH<sup>1</sup>

<sup>1</sup> Centre for Applications of Nuclear Technique in Industry, Vietnam Atomic Energy Institute.

Email: [huonghtt@canti.vn](mailto:huonghtt@canti.vn), [nhquang.dalat@gmail.com](mailto:nhquang.dalat@gmail.com), [duybt@canti.vn](mailto:duybt@canti.vn), [sonlv@canti.vn](mailto:sonlv@canti.vn),  
[nganhthk@canti.vn](mailto:nganhthk@canti.vn), [anhph@canti.vn](mailto:anhph@canti.vn)

## **Abstract.**

Dispersivity is one of rock characteristics which is useful for evaluation of mass transport of fluids in porous media. In oil and gas exploration, dispersivity is used in enhanced oil recovery calculations as well as in reservoir simulation models. Tracer technique is well known as the appropriate approach to evaluation of dispersivity in both field scale as well as in laboratory scale. The report presents the results of applying tracer technique to determine the longitudinal dispersivity of KOC core sample in the framework of a Research Contract between the Center for Applications of Nuclear Technique in Industry (CANTI) and the Kuwait Scientific Research Institute (KISR). A series of tracer experiments in pulse mode with different flow rates were conducted on core sample using HTO and FBAs as tracers. The dispersivity of core sample was then determined by matching the tracer concentration curve with the analytical solution of the solute transport equation. The results showed that the dispersivity of the core sample were determined as 0.18 cm.

**Từ khóa:** *tracer technique, Capacitance model, longitudinal dispersivity, core sample.*