

99 추계학술발표회 논문집

한국원자력학회

인공균열암반을 통한 이온들의 이동 특성 평가

Estimation of Migration Characteristics of Ions through an Artificial Rock Fracture

류보현, 박정균, 한필수

한국원자력연구소

대전시 유성구 덕진동 150

요 약

크기가 50x50x10(cm)인 인공균열암반에서 비수착성 & 수착성 추적자의 이동 특성을 관찰하였다. 비수착성 추적자로는 bromide, chloride, iodide, THO를, 수착성 추적자로는 copper를 사용하여 맥동 입력의 형태로 주입하였다. 균열 면은 이차원 형태를 가지며, 점형 입력-점형 출력 형태로 이동 실험을 하였다. 각각의 추적자들이 인공 균열 암반을 이동할 때의 이동 특성과 주요 이동 메카니즘에 대해 관찰하였다. 유속은 2ml/min으로 유지하였다.

Abstract

Experiments on transports of nonsorbing & sorbing tracers in an artificial rock fracture were carried out. A scale of a rock was 50x50x10cm. The migration field was assumed as dipole flow system. Bromide, iodide, chloride, THO were

used as nonsorbing tracers. Copper was used as sorbing tracer. These tracers were injected as a pulse function in borehole-to-borehole(dipole) flow system. Transport mechanisms of nonsorbing & sorbing tracers in an artificial rock fracture were investigated. Volumetric flow rate was 2ml/min.

1. 서론

원자력 발전을 하는 많은 나라에서 방사성폐기물 처분 방식으로 지하 암반 매질 깊숙이 처분하는 심 지층 처분 방식이 주로 고려되어져 왔다. 이런 심지층 처분 방식의 가장 큰 관건은 장기적 안전성 평가이다. 따라서 암반 층에서 오염물질 이동특성을 규명하는 것이 중요한 연구과제로서 대두되고 있다. 암반 매질은 투수도가 매우 낮아 지하수의 이동은 거의 일어나지 않는다고 보며 이들 매질이 포함하고 있는 불규칙한 균열들이 오염물질 이동의 주된 경로로서 제시되고 있다. 오염물질은 균열에서 이류와 분산으로 지하수를 따라가면서, 지하매질과 상호작용에 의해 균열표면에 수착하고 암반매질에 확산해 들어가 지하수에 비해 이동이 지연된다. 이런 효과를 정량적으로 평가하기 위한 일환으로 이번 실험을 진행하였다.

이 연구에서는 이동실험 및 모델 평가를 통한 암반균열에서 오염물질이동과 관련하여 중요한 문제로 대두되고 있는 수리분산, 매질 내로의 확산, 수착 등에 대한 상대적 평가와 국부이동흐름을 추적, 평가하기 위한 실험의 일부로서 비수착성 추적자와 수착성 추적자를 점형 입력 점형 출력의 형태로 주입하여 이동현상을 관찰하였다.

2. 오염물질 이동모델

이번 연구에 사용된 실험 암반의 균열면은 이차원 형태를 가지는 시스템이다. 이차원 암반 균열 시스템에서 오염 물질을 기술하기 위해 암반 균열 표면에 x, y 좌표를 설정하고 각 좌표를 임의의 i, j 개의 부분으로 나누었을 때, 부분 사각형 i 에서 j 로 흐르는 유량은 다음의 식으로 표현할 수 있다.

$$Q_{ij} = (P_i - P_j) / R_{ij} \quad (1)$$

여기서, Q_{ij} : 부분사각형 i 에서 j 로 흐르는 유량

P_i : 부분사각형 i 에서 압력

P_j : 부분사각형 j 에서 압력

R_{ij} : 부분사각형 ij 사이의 흐름 저항

$$R_{ij} = 12 \mu \frac{\Delta x}{\Delta y} \frac{1}{b^3} \quad (2)$$

$\Delta x, \Delta y$: 단위 사각형에서 x 와 y 축 상의 길이

μ : 지하수의 점도

b : 균열 틈 값

부분균열면 i 에서 이웃한 4가지 방향을 모두 고려한 흐름식은 아래와 같다.

$$\sum_j Q_{ij} = \sum_j (P_i - P_j) / R_{ij} = E_i \quad (3)$$

여기서 E_i : 부분사각형 i 에서 주입량 또는 추출량이며 j 는 i 에서 이웃한 네 면을 가리킨다.

물질이동을 모사하기 위해 particle tracking method를 사용하였다. 균열 내에서 추적자들을 임의의 입자들로 가정했다. 주어진 유체의 부피 내에서 추적자의 무게를 나타내는 이 입자는 2가지 형태의 운동을 하며 이동한다. 하나는 평균흐름방향을 따라가는 운동이고, 다른 하나는 수리학적 분산을 나타내는 확률함수로 결정 지워지는 불규칙운동이다. 인 입구에서 임의로 정한 갯수의 입자를 투여하면, 입자들은 각각 방향의 흐름통로로 유속에 비례하는 확률과 같이 분포한다. 입자들은 출구에 도달할 때까지 이 운동규칙을 따라 이동

한다고 가정한다.

비수착성 추적자의 경우 단위 면에서 평균 체류시간은 단위 면의 부피와 흐름총량과의 비로써 결정하였다. 유출된 입자의 체류 시간은 이 입자가 지나온 단위균열 면에서 체류시간을 모두 합하였다. 시간에 따라 출구로 빠져 나오는 입자들의 양을 계산하면 이것이 유출곡선이 되고, 나온 입자들을 시간에 따라 누적하면 파과곡선이 된다.

3. 암반 균열 내 비수착성 추적자 이동 실험

3-1. 암석 및 전처리

실험에 사용한 암석은 크기가 50x50x10(cm)인 황동 화강암이며 암석의 공극률은 0.0037이며, 밀도는 2.849g/ml이다. 50x50x5(cm)의 borehole이 9개 뚫린 판상 모양의 화강암이 윗면으로 오게 하여 두 개를 맞대어 포갠 후에 화강암의 맞닿은 외부 틈은 실리콘으로

Fig.1. View of the experimental setup of 50 x 50 x 10(cm) scale

밀폐시켰다. 실험 장치를 항온조에 담아 20℃로 유지시키고 계속 실험용 지하수를 투입하

여 암석이 물에 포화되도록 하였다.

3-2. 비수착성 추적자 이동실험

10^{-3} M 농도로 비 수착성 추적자로서 bromide, iodide, chloride를, 수착성 추적자로서 copper를 맥동 형태로 1.2cc 주입하였다. 인 입구를 따라 HPLC용 펌프로 지하수를 2ml/min 속도로 흘려보내고 출구에 분급기(fraction collector)를 연결하여 4ml씩 채취하였다. THO를 제외한 추적자들의 농도 분석은 Orion Research Inc.의 ionplus Series Electrode로써 분석하였다. THO 농도 분석은 섬광계수기(Liquid Scintillation Counter)에 의해 분석하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

4-1. 비수착성 추적자의 이동 경로

이동모델로 모사한 균열 내 압력분포를 Fig.2에 나타내었다. 입구와 출구간 압력차이는 대략 2800 dyne/cm^2 이었다. 균열 양반의 인입구와 출구를 직선으로 잇는 대각선을 중심으로 상호 대칭적인 압력 분포를 보였다.

이웃한 두 지점의 유속 벡터 분포를 Fig.3에 나타냈으며 이동궤적(stream trace)을 그래픽 프로그램인 tceplot을 이용해 함께 도시하였다. 인입구와 출구의 주된 흐름의 양쪽 끝에 흐름이 거의 없는 dead zone이 존재함을 알 수 있다.

4-2 비수착성 추적자의 수리학적 이동 특성

이동 경로에서 물질 수지식을 나타내면 식(4)와 같다. 이 식을 이용해서 평균 균열폭을 계산하였다.

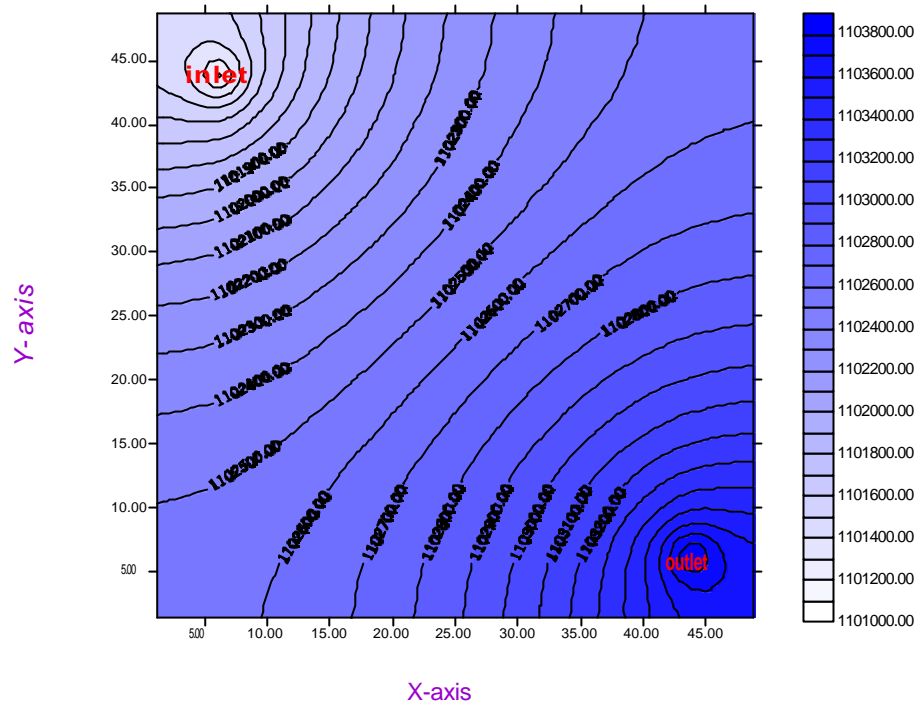


Fig.2 Calculated pressure distribution
 (pressure unit :[dyne/ cm^2])

Fig.3 Flow vector field and supposable stream trace

$$LW (b/ t_0) = Q \quad (4)$$

L : 균열 길이=50cm

W : 균열 가로 길이= 50cm

Q : 유속 = 2ml/min

b: 균열폭

t_0 : 백동 주입시 주된 유출곡선이 정점에 도달하는 시간

전체 균열폭을 식(4)로부터 유도된 식(5)를 이용해서 구했다.

전체 균열폭은,

$$b = (Q/LW) t_0 \quad (5)$$

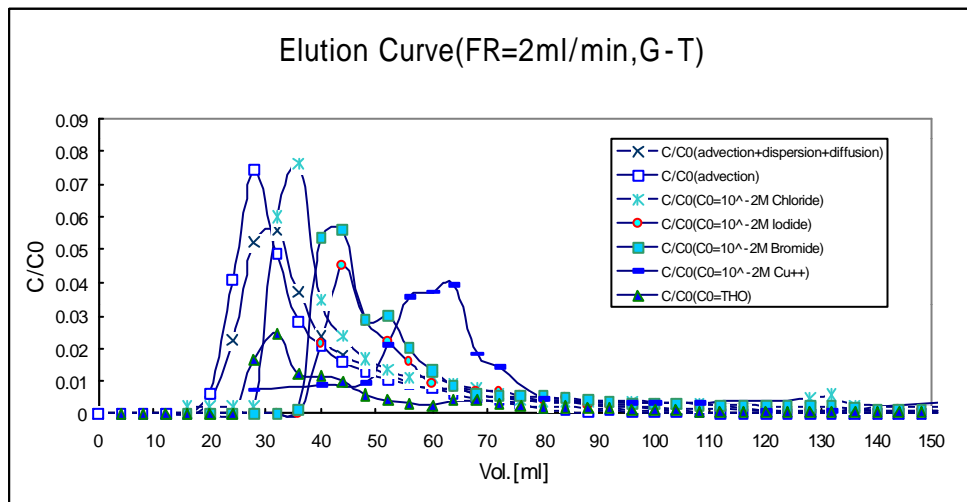


Fig.4 Experimental & Simulative Elution curves of Tracers
 (flow rate=2ml/min, tracer input volume =1.2cc)

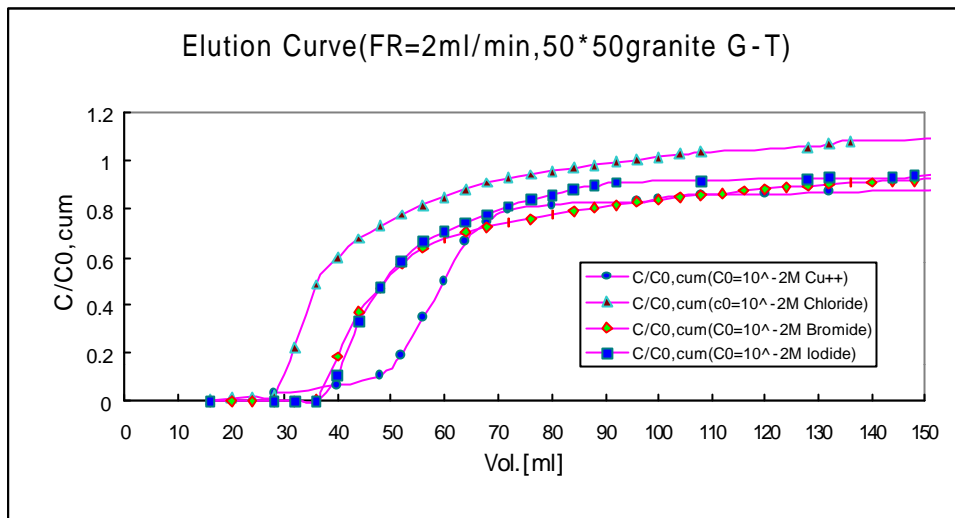


Fig.5. Experimental Cumulative curves of Traces
 (flow rate=2ml/min, tracer input volume =1.2cc)

Fig.4에서 보면 실험 유출곡선이 정점에 도달하는 체적은 각각 THO 인 경우는 32ml, chloride의 경우에 있어서는 36ml, bromide와 iodide의 경우는 44ml, copper의 경우는 64ml인 것으로 나타났다. 그리고 모델링을 통한 유출곡선이 정점에 도달하는 체적은 이동 메카니즘으로 이류(advection)만을 고려했을 때는 28ml(이고 이류(advection), 분산(dispersion), 확산(diffusion)을 모두 고려했을 때는 32ml의 결과 값을 얻을 수 있었다. 따라서 비수착성 추적자들의 이동 메카니즘이 이류만이 아닌 분산, 확산이 존재했음을 알 수 있다. 또한 수착성 추적자인 copper의 경우에 있어서는 이동의 지연 효과가 큼을 볼 수 있는 데 수착이 중요하게 작용했음을 알 수 있다.

유출곡선으로부터 얻어진 체적과 체류시간을 가지고 식(4)로부터 유도된 식(5)를 가지고 계산된 균열폭 값은 약 0.0112cm의 결과 값을 보였다. 이 값을 fig.3에 나타난 압력분포도에서 얻은 $\Delta P = 2800 \text{ dynes/cm}^2$ 값을 가지고 계산한 균열폭 값인 0.01126cm와 비교해 보면 거의 일치함을 알 수 있다.

5. 결 론

비수확성 추적자와 수확성 추적자를 가지고 인공균열암반에서 흐름이동을 관찰하여 이 주요 이동 메카니즘을 추정해 보았다. 자연 암반에서의 비수확성 추적자들의 이동 메카니즘으로는 이류, 분산, 매질 내로의 확산이 모두 나타났다. 수확성 추적자인 copper의 경우에 있어선 여기에 수확이 중요하게 작용했음을 알 수 있었다.

이동모델에서 구한 압력분포(Fig.2)를 보면 $\Delta P=2800 \text{ dynes/cm}^2$ 임을 알 수 있으며 이 값에서 계산되어진 균열 폭 값은 0.01126cm이었다. 이는 이동 경로에서의 mass balance eqn.을 이용해 얻은 균열 폭 값인 0.0112cm 와 거의 일치함을 보이는 것으로 보아 모델의 타당성을 검증해 주었다.

<참고문헌>

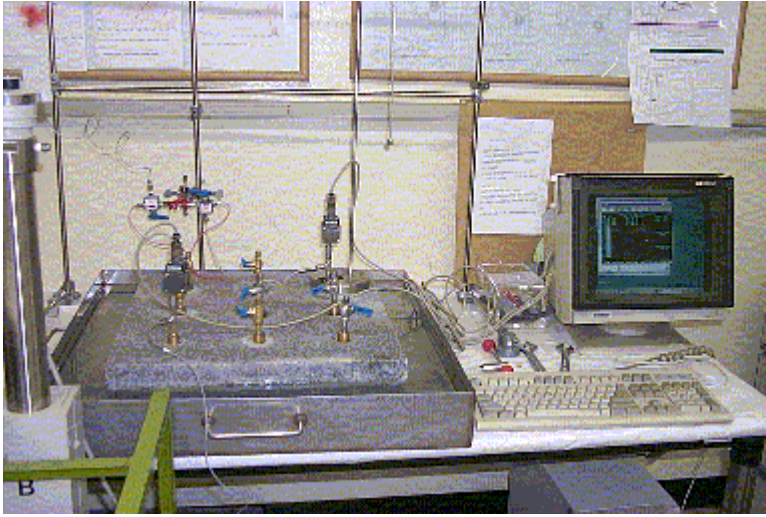
1. Chung-Kyun Park, Pil-Soo Hahn, Interpretation of Migration of Line Source Contaminant through a Rock Fracture, Hwahak. Konghak. Vol.35, No4, August, 532, (1997)
2. A. B. Gureghian, FRACFLO , Analytical solutions for two dimensional transport of decaying species in a discrete planar fracture and equidistant multiple parallel fractures with rock matrix diffusion., BMI/OWTD-5(1990)
3. Keum, D.K.et al., A stratified channel model with local longitudinal

dispersion, Nuclear Technology, December(in press), (1997)

4. Y. W. Tsang, C.F. Tsang, I. Neretnieks and L. Moreno , Flow and tracer transport in fracture media–A variable–aperture channel model and its properties, Water Resour. Res.,24,(1998)
5. D.K.Keum, Y.H.Cho, P.S. Hahn, Study on Physicochemical of Np(V) and Bromide in Artificial Fracture, J. Korea Solid Waters Engineering Society Vol15,No.1,82–97(1998)
6. A. B. Gureghian, FRACFLO , Analytical solutions for two dimensional transport of decaying species in a discrete planar fracture and equidistant multiple parallel fractures with rock matrix diffusion., BMI/OWTD–5(1990)
7. Chung–Kyun Park, Dong–Kwon Keum, Pil–Soo Hahn, Stochastic Analysis of Contaminant Transport through a rough–surfaced Fracture, Korean J of Chem.Eng.,12,(1995)
8. Chung–Kyun Park, Tjalle T. Vandergraaf, Douglas J. Drew, Pil–Soo Hahn , Analysis of the migration of nonsorbing tracers in a natural fracture in granite using a variable aperture channel model, J of Contam. Hydrology,Vol26,(1997)
9. Neretnieks I.Erksen, T. and Tahtinen, P., Tracer movement in a single fissure in granitic rock, Resour. Res.,18,(1982)

10. Cliffe, K., Gilling, D., Jefferies, N. and Lineham , An experimental study of flow and transport in fractured slats, J. Contam.Hydro. 13,(1993)

11. Schwarts, F.W., L. Smith, and A.S.Crow, A stochastic analysis of macroscopic dispersion in fractured media, Water Resour.Res., Vol19(5),1253,(1983)



kt7.out

