

# 파쇄암반층에서의 2상천이유동해석을 위한 discrete fracture flow 모델의 개발 및 응용

나승훈<sup>1)</sup>, 한일영<sup>2)</sup>, 성원모<sup>1)</sup>

## 1. 서론

유류비축, 압축공기, 핵폐기물 처리 저장시설 등은 지상시설에 비해 단열성, 방사능 차단성, 방폭성, 방진성, 화학적 안정성, 경제성 등이 우수한 지하공간에 건설되고 있다. 이러한 시설의 저장방식에는 수리학적 저장 원리에 의해 지하수위를 일정하게 유지시킴으로써 인위적으로 수압을 유지시켜 주는 수장막 기법이 적용된다.

최근까지 수행되어 왔던 균열암반 내에서의 지하수 유동해석은, 균열암반을 연속체 개념으로 해석하는 방법, 이원공극균열계 개념을 이용하는 방법, 그리고 개별분리균열망 개념을 도입하는 방법 등이 있다. 대부분의 지하저장시설이 건설되는 신선암의 경우 수리전도도는 매우 낮은 반면, 절리가 잘 발달된 경우이기 때문에 절리를 개별적으로 분석하는 방법이 타당하다. Sweden의 Stripa test에서는 암반에서의 유체흐름은 공간적으로 매우 불균등하며 몇 개의 주요 균열로 대부분의 유체가 이동함을 확인하였다.<sup>(1)</sup>

지하유체의 흐름을 규명하기 위해 2 phase 거동을 해석해야 하는 경우가 있다. 천부에 설치된 중저준위 핵폐기물 시설에서 구조물 부식과 생화학적 작용으로 인한 가스생성과 이의 누출, air sparging process, soil vapor extraction, pneumatic fracturing을 위해서는 기존 지층수와 air의 동시 흐름을 고려하여야 한다.<sup>(2),(3)</sup> 이에 본 연구에서는 지하유체의 2상 흐름을 해석하기 위한 discrete fracture flow 모델을 개발하였다.

## 2. 이론 및 모델개발

Fracture에서의 2상 흐름을 해석하기 위한 지배방정식은 각상의 diffusion equation을 모세관압을 매개로 결합시켜 구성하며 Galerkin method로 해를 구한다. 이때에 물과 가스의 relative permeability와 fracture의 수리적 간극과 기계적 간극의 차를 보정해 주는 JRC는 흐름에 가장 큰 영향을 주는 입력자료이다.

물과 가스가 존재하는 rough-walled rock에서 fracture 간극이 작으면 물이 포획되는 성질이 있다. 따라서 relative permeability는 기존의 포화도 뿐만 아니라 fracture 간극의 크기와 간극크기의 공간적 분포관계에 의해서 결정된다.

JRC를 산정하기 위해 fractal 개념을 도입하면 기존의 out-of-plane tortuosity와 in-plane tortuosity로 나누어 절리의 거칠기를 산정하는 경우 보다 간단하고도 정량적이다. 실제 자연계의 joint profile이 Koch curve와 통계적으로 유사한 양상을 띠는 가정 하에 fractal dimension (D)과 JRC는 다음과 같은 관계를 가진다.<sup>(4)</sup>

---

**주요어:** 수장막기법, 균열암반, 연속체, 이원공극균열계, 개별분리균열망, 2 phase

1) 한양대학교 자원공학과

2) SK건설 기술연구소 토목팀

$$JRC = 85.2671(D-1)^{0.5679}$$

CAES 또는 유류비축 cavern에서 비정상상태 해석을 할 경우 공동운영압 변화 또는 강수의 영향에 따른 주변 암반의 compaction 영향에 의한 투수계수 변화는 무시할 수 없다.

### 3. 모델의 검증

개발된 모델을 3 phase, 3 dimension FDM 모델인 HYBOS와 비교하였다. 1개의 fracture에서 물과 메탄가스의 2 phase 흐름을 해석하였으며 메탄가스가 fracture의 한쪽 끝에서 일정한 양으로 인입되는 것으로 가정하였다. 메탄가스가 source로 작용하는 cell의 시간에 따른 압력 변화와 포화도 변화는 그림 1, 2와 같으며 두 개의 모델이 서로 잘 일치함을 확인 할 수 있다.

### 4. 적용 및 분석

파쇄암반 내에서 유체는 주요 fracture를 통해 대부분 이동한다는 사실을 확인하기 위해 그림 3과 같은 모형을 설정하였다. 그림 4의 Base case는 주절리 (a)만 있는 경우이고 절리 (b)의 간극 크기별로 case 1~3을 모델링 하였다. 이때 case 3은 case 1에 비해 간극의 크기가 1/3 배이다. 그림 4에서 확인 할 수 있듯이 case 1은 Base case와 압력 분포에 차이를 보이고 주절리 (a)를 통해 흐르는 유동량 차이가 크지만 case 3의 경우는 압력분포에 차이가 거의 없으며 유동량도 Base case와 거의 같았다.

지하매질을 균질한 연속체로 가정할 경우 수리구배가 1.0 이상인 경우도 discrete fracture 개념으로 모델링하면 또 다른 결과가 나올 수 있다. 저장공동과 암반구역 상부의 수리구배가 1.7이고 그림 5와 같은 절리구조를 가질 경우 이를 fracture 개념으로 모델링하면 그림 6의 점선으로 표시한 구간과 같이 수리구배가 1.0 이하인 곳도 존재한다.

### 5. 참고문헌

1. Neretnieks, I., H. Abelin, L. Birgersson, L. Moreno, A. Rasmuson, and K. Skagius, 1985, "Chemical Transport in Fractured Rock, Advances in Transport Phenomena," Paper presented at NATO advanced study institute, Newark, Del., July 14-23, 1985
2. R. Thunvik, C. Braester, 1990, "Gas Migration in Discrete Fracture Network," Water Resource Research, Vol. 26, No. 10, pp 2425-2434.
3. A. J. A. Unger, E. A. Sudicky, and P. A. Forsyth, 1995, "Mechanism Controlling Vacuum Extraction Coupled with Air Sparging for Remediation of Heterogeneous Formations Contaminated by Dense Nonaqueous Phase Liquid," Water Resource Research, Vol. 31, No. 8, pp 1931-1925.
4. Heping Xie, 1992, "Fractals in Geomechanics Research Series," A. A. Balkema Publishers, Netherlands

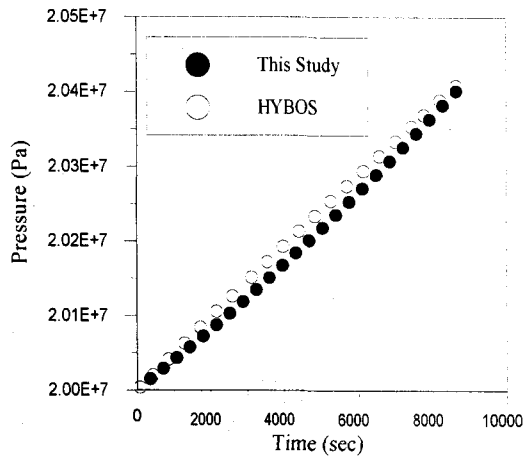


그림 1. The Comparison of Pressures

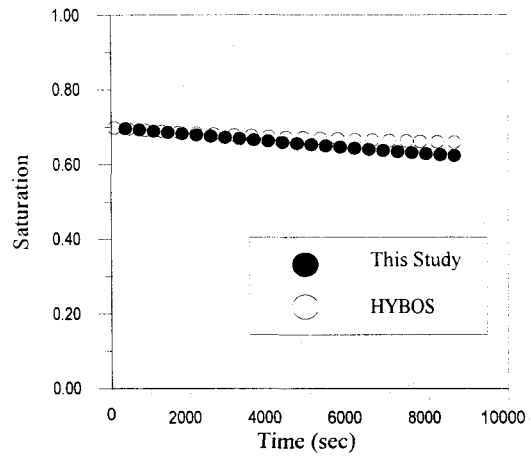


그림 2 The Comparison of Saturations

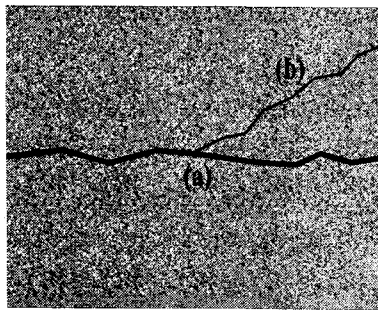


그림 3. Fracture Model

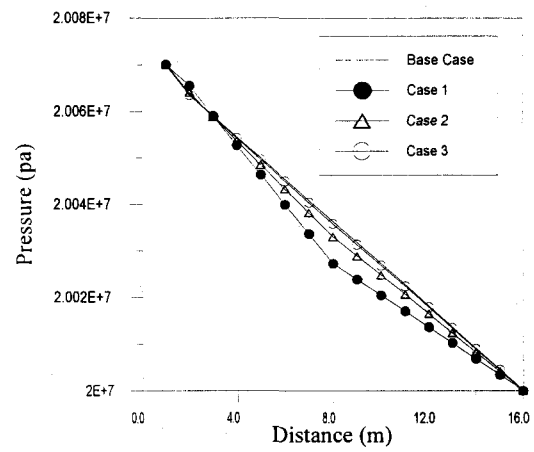


그림 4. Pressure Distribution of Main Fracture

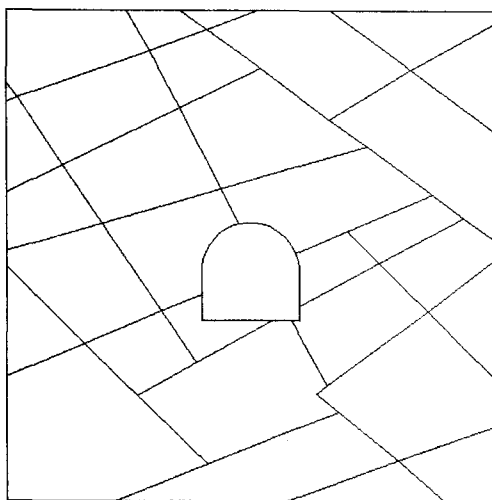


그림 5. 2D Fracture Structure

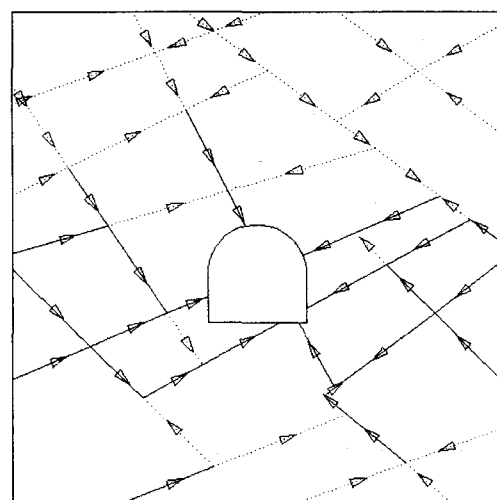


그림 6. Fluid Flow in the System