

## MDPSA 코드의 단일 암반내 이류-분산 물질 이송 현상 모사 성능 검토

한지윤, 황용수, 강철형

한국원자력연구소, 대전광역시 유성구 덕진동 150번지

[iwhan@kaeri.re.kr](mailto:iwhan@kaeri.re.kr)

중장기 원자력 연구 개발의 일환으로 개발중인 다차원 확률론적 안전성 평가(MDPSA)코드는 유한체적법에 기초하여 지하암반에서의 지하수 및 핵종의 다차원 이동 현상을 모사할 수 있도록 설계되었다. 특히 다공암반과 단일암반이 혼재하는 국내 지하암반의 특성상 두 암반에서의 물질 이송 현상에 대한 MDPSA 코드 모사 성능의 정확성 평가는 방사성폐기물 처분장의 올바른 안전성 평가 적용에 앞서 필수적으로 선행되어야 한다. 이미 기존 연구를 통하여 다공암반내 이류-분산 물질 이송 현상에 대한 MDPSA 코드 예측 성능이 해석해와의 비교를 통하여 검증되었다[1]. 그러나 단일암반내 물질 이송 현상에 대해서는 단일간의 복잡한 상호 연결성으로 인한 해석해 도출의 한계성으로 인하여 주로 단일 단열을 대상으로한 이론적 접근이 주로 수행되어 왔다[2].

따라서 본 연구에서는 MDPSA 코드의 단일 암반내 이류-분산 물질 이송 현상 모사 성능을 검토하기 위하여 우선 해석해가 존재하는 단일 단열을 대상으로한 수치계산을 수행하고 해석해와 비교하여 MDPSA 코드 수치계산 결과의 유효성을 검토하였다. 또한 복잡하게 연결된 단열망에서 Rock Matrix Diffusion(RMD) 영향을 고려하기 위한 모델을 제안하였고 간단한 단열암반을 대상으로 관련 수치계산을 수행하였다.

우선, 단일 단열내 이류-분산 물질 이송 현상에 대한 MDPSA 코드의 예측 성능을 검토하기 위한 계산 조건을 Table 1에 표시하였으며 Fig. 1에 MDPSA 농도 분포 계산 결과 및 해석해를 비교 도시하였다.

총길이	10000 m	초기조건	$C(X \geq 0, t=0)=0$
단열내 격자	$X \times Y=100 \times 1$	경계조건	$C(X=0, t>0)=C_0$ $C(X=100, t>0)=0$
Transmissivity	8.33333E-8		
Pressure drop	58.75994 Pa		

Table 1 Calculation conditions for the simulation of advective-dispersive mass transport in single fracture

이 경우에 대한 해석해는 Tang 등이 제시한 식 (1)와 같은 형태로 표시되며, Talbot 알고리즘에 기초한 Laplace 변환을 통하여 계산된다[3].

$$\frac{C}{C_0} = \frac{\exp(vz)}{\pi^{1/2}} \int_0^\infty \exp\left(-\frac{1}{2}\xi^2 - \frac{v^2 z^2}{4\xi^2}\right) \exp(-\eta z^2) \left\{ \exp(-\lambda^{1/2} Y) \operatorname{erfc}\left(\frac{Y}{2T} - \lambda^{1/2} T\right) + \exp(\lambda^{1/2} Y) \operatorname{erfc}\left(\frac{Y}{2T} + \lambda^{1/2} T\right) \right\} d\xi \quad (1)$$

Fig. 1 에서 보는 바와 같이 단일 단열내 이류-분산 물질 이송 현상 모사의 경우 MDPSA 코드에 의한 수치해와 해석해의 결과에 큰 차이가 없는 것을 알 수 있다.

그러나, 복잡하게 연결되어 있는 단열망의 경우 각 단열마다 단일 단열에서와 같은 해석

적 방법을 적용하는 것은 불가능하며, 유한차분법 등과 같은 수치접근법을 적용하는 것도 계산용량의 막대한 증가를 초래하여 실용적으로 활용하는 데에는 한계가 있다. 또한 개별 단열로부터 확산 유출된 물질은 암반공극을 통해 확산 이동되어 인근 단열로 유입되면서 상호 간섭현상을 일으키게 된다. 이러한 상호 간섭현상을 수치적으로 상세히 모사하는 것은 현 단계에서는 요원하기 때문에 MDPSA 코드에서는 이러한 단열망내 RMD 현상을 다음과 같은 방법으로 모델링하였다. 우선 단열암반으로의 확산현상은 1차원 확산현상에 기초한다고 가정하였다. 단열 암반내 전체 공극으로의 평균 확산 거리는 2개의 단열벽 면적 및 단열 암반이 차지하고 있는 격자의 총체적 관계로부터 산출한다. 이때 단열 면적중 실제 단열암반으로의 유효 유출입량에 기여하는 유효단열면적을 고려할 수 있는 channeling 분율  $\varepsilon$ 을 도입하였으며, 최종 모델식은 식(2)와 같다.

$$d = \frac{V}{2\varepsilon \sum_{fractures} A} \quad (2)$$

여기서, V는 단열암반이 포함된 격자의 총 체적, A는 각 단열면적, d는 확산거리,  $\varepsilon$ 은 channeling 분율을 각각 의미한다. 단, 현 단계 모델에서는 channeling 효과의 경우 단열간의 RMD를 통한 물질이동에만 기여할 뿐 단열내 물질 이동에는 영향을 주지 않는다고 가정하였다. 본 모델에 기초하여 각 격자마다 평균 확산 거리를 차등적으로 할당할 경우 계산용량의 추가부담없이 구획별 확산거리의 추계론적인 변화도 반영할 수 있을 것으로 기대된다.

본 논문의 해석해 및 수치해의 비교를 통하여, MDPSA 코드가 단일 단열 암반내 이류-분산 물질 이송 현상을 타당하게 모사할 수 있는 것으로 판단되며, 추후 제안된 RMD 모델을 활용할 경우 분리단열모델을 이용하여 구성된 단열망에서의 물질 이동 해석시 상대적으로 적은 계산용량으로 RMD 효과를 반영할 수 있을 것으로 사료된다.

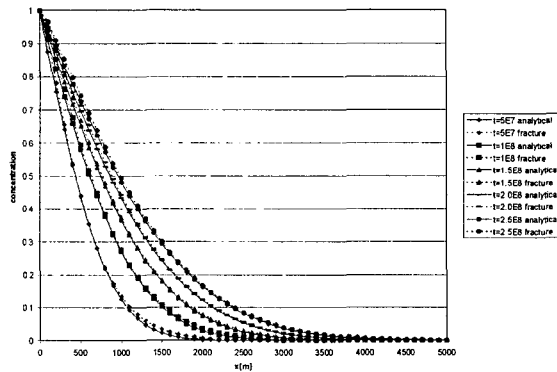


Fig. 1 Comparison of calculated results with analytic solutions about mass transport in single fracture

참고문헌

[1] J. W. Han, Y. S. Hwang and C. H. Kang, MDPSA Code Verification for Advective-Dispersive Mass Transport in Porous Media, Proceedings of Korean Nuclear Society autumn meeting, 2005.  
 [2] D. H. Tang, E. O. Frind and E. A. Sudicky, Contaminant Transport in Fractured Porous Media : Analytical Solution for a Single Fracture, Water Resources Research, Vol. 17, No. 3, pp.555-564, 1981.  
 [3] A Talbot, The Accurate Numerical Inversion of Laplace Transforms, J. Inst. Math. Appl. 23, 97, 1979.