

무작위 균열모델에서 프랙탈변수에 따른 압력거동

박창협, 강주명, 최종근, 장일식¹⁾

한국자원공학회 춘계학술발표대회 발표논문, 조선대학교, 광주, 2000년 4월 14-15일.

1. 서론

자연현상에서 나타나는 균열망은 균열의 분포가 무작위적이며, 위상학적으로 프랙탈 특성을 지닌다. 최근 들어 여러 가지 실제 지질조사결과 단일균열매질에서 공간적 관계를 나타내는 프랙탈차원이 영역에 따라 다양한 값을 가지고, 균열은 무작위적으로 분포한다는 사실이 밝혀졌다. 또한 균열 길이의 분포는 멱급수형태(Power-law)로 묘사하는 것이 타당하다는 것이 알려졌다.¹⁾ 이 연구에서는 실제 매질과 유사하게 무작위성을 지닌 균열모델을 구성한 후, 균열의 공간적 관계와 확산과 관계하는 프랙탈 변수를 이용하여 균열망의 압력거동과 확산양상을 파악하였다.

2. 이론적 고찰

Chang과 Yortsos는 공간과 시간에 대해 일정유량에 대한 압력반응을 Green function theory를 이용하여 다음과 같은 이론식을 제시하였다.²⁾

$$p(r_w, t) = \frac{\Gamma(\delta-1)r_w^{(2+\theta)(1-\delta)}}{\Gamma(\delta)(2+\theta)} + \frac{(2+\theta)^{1-2\delta}}{(1-\delta)\Gamma(\delta)} t^{1-\delta} \quad (1)$$

여기서, $\delta=D/(2+\theta)$, D 는 프랙탈차원, θ 는 전도지수, $p(r_w, t)$ 는 시간 t 에서 거리 $r(=r_w)$ 상의 압력이다. 이 경우 로그-로그 그래프상에서는 압력과 $dp/(d \log t)$ 는 기울기가 $(1-\delta)$ 를 따르는 동일한 직선으로 나타나게 된다.

3. 본론

1) 무작위 균열모델의 구성

Fig. 1과 같이 길이분포가 멱급수 형태를 따르는 균열을 무작위적으로 분포시킨다. 멱급수 관계식은 다음과 같다.

$$n(l) \sim al^{-a} \quad (2)$$

여기서, $n(l)$ 는 균열의 개수, a 는 비례상수, 지수 a 는 길이분포 상수, l 은 균열의 길이이다. 자연계에서 길이분포지수 a 값은 1과 3인 것으로 알려져 있으며, a 값이 증가할수록 길이가 짧은 균열이 많이 분포한다.

2) 프랙탈 차원 계산

압력거동을 나타내는 프랙탈차원은 구심질량 프랙탈차원(radial mass fractal dimension)을 사용하였다. Fig. 2와 같이 a 값이 2와 3사이의 값일 경우 실제 지질조사와 유사하게 영역에 따라 꺾임위치(r_c)에서 2개의 프랙탈차원으로 나누어 졌다.

3) 전산유체유동 결과

물질평형방정식을 이용하여 균열망의 전산유동모사를 실시하였다. 전산유동모사 결과 압력거동은 프랙탈차원이 변화하는 경우($2 < a < 3$), Fig. 3과 Fig. 4와 같이 시간에 따라 기울기가 동일한 영역이 두 개로 나누어 졌다. 이는 무차원 시간에 따라 각각의 프랙탈차원에 해당하는 프랙탈경향과 압력거동을 보여주는 것이다. 길이분포지수 a 가 2.2인 경우 전산유동의 결과를 Table 1과 같이 정리하였다. 이를 바탕으로 초기시간에는 프랙탈차원에 주로 영향을

1) 서울대학교 지구환경시스템공학부

끼치는 긴 균열의 영향으로 인해 확산지연이 작아지며, 후기시간에는 짧은 균열의 영향으로 유체거동을 방해하는 블록이 많이 발생하므로 확산지연이 증폭됨을 알 수 있었다.

4. 결 론

- 1) 자연현상과 유사하게 프랙탈차원이 변화하는 매질에서는 프랙탈차원에 따라 별개의 압력 천이거동과 프랙탈경향, 확산지연효과를 얻을 수 있다.
- 2) 공간적 균열형태와 시간적 확산관계에서 확산은 기하학적 변수 프랙탈차원과 관계한다.
- 3) 균열에서 유동시 유체유동을 지배하는 기하학적 균열은 균열질량의 합과 균열밀도의 크기와 연관한다.

5. 참고문헌

- 1) Bour, O. and Davy, P., 1997, "Connectivity of Random Fault Networks Following a Powerlaw Fault Length Distribution," *Water Resour. Res.*, Vol. 33, No. 7, pp. 1567-1583.
- 2) Chang, J. and Yortsos, Y.C., 1990, "Pressure-transient Analysis of Fractal Reservoirs," *SPE Form. Eval.*, Vol. 5, No. 1, pp. 31-38.

Table 1 Input data and results of numerical flow simulation at $\alpha=2.2$

Input data		Output results	$r < r_c$
			$r > r_c$
Length exponent (α)	2.2	Fractal dimension	1.3
			1.83
System size (L)	1000	Slope(1- δ)	0.42~0.45
			0.35~0.37
Max. fracture length	(system) ²	Conductivity index(θ)	0.24~0.36
			0.82~0.91

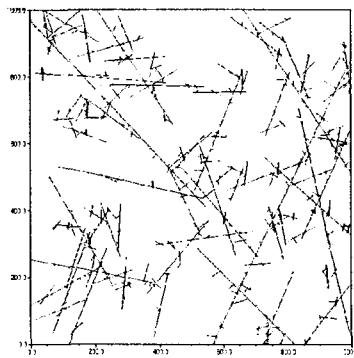


Fig. 1 Random fracture network($\alpha=2.2$).

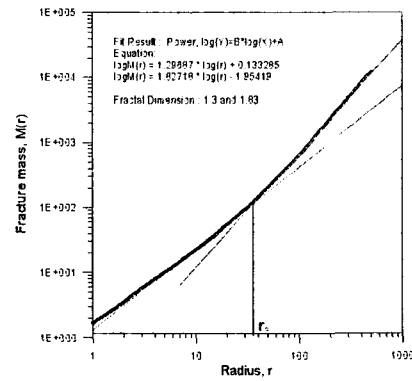


Fig. 2 Fractal dimension ($\alpha=2.2$).

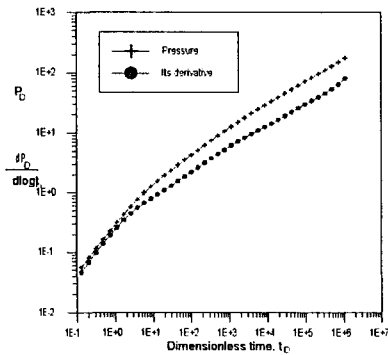


Fig. 3 Pressure and its derivative($\alpha=2.2$).

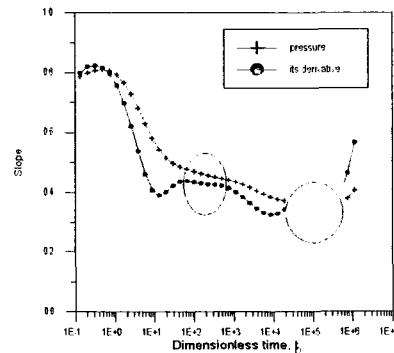


Fig. 4 Slope of Fig. 3.