

탄성정수 및 입사파형의 변화에 따른 암반 내 균열전파양상에 관한 수치해석적 연구

박승환¹⁾, 조상호¹⁾

요약 : 화약류를 이용한 균열제어공법은 자원 및 석유개발, 토목 등 다양한 분야에서 적용되어 오고 있다. 암반을 대상으로 균열제어설계를 위해서는 다양한 암반의 물성과 가압방식의 변화에 따른 파괴과정을 이해할 필요가 있다.

본 연구에서는 반무한 암반 내 시추된 원형공벽에 임의의 입사파가 작용하여 주변에 균열이 전파하는 동적파괴현상을 수치해석적으로 모사하였다. 탄성정수는 국내의 암반분류에서 적용하는 물성치를 사용하였으며 하중가압속도는 $1-100\text{MPa}/\mu\text{s}$ 의 범위까지 변화시키며 암반 내 균열전파양상을 살펴보았다.

주요어 : 균열제어공법, 동적파괴, 균열전파

Abstract : Crack-controlled method which utilizes the dynamic energy such as explosives and propellant gases have been applied to the development of mineral resource and oil and civil engineering. It is necessary to consider the fracture processes associated with the material properties and external forces to control crack propagation using borehole pressure.

To investigate the influence of the applied borehole pressure waveform on the crack propagation in rock masses having different material properties, a no-free surface model was used, consisting of a borehole in rock with a continuous boundary. Loading rates ranging from 1 to $100\text{MPa}/\mu\text{s}$ with different rock mass properties was employed to investigate the loading rate dependency of fracture patterns in the rock mass.

Keywords : Crack-controlled method, Dynamic fracture, Crack propagation

1) 전북대학교 자원·에너지공학과 chosh@chonbuk.ac.kr

1. 서론

화약류를 이용한 균열제어공법은 자원 및 석유개발, 토목 및 다양한 분야에서 적용되어 오고 있다. 암반을 대상으로 균열제어설계를 위해서는 다양한 암반의 물성과 가압방식에 따라 발생하는 균열전파과정을 이해할 필요가 있다. 시추공은 천공과 발파, 가스정, 지열저장소를 위한 수압파쇄, 플라즈마 발파, 부분암석파괴를 포함한 많은 분야에서 이용된다. (Fourney, 1993; Grady et al., 1987; Sato et al., 1999; Hirata et al., 1999) 공 내 압력을 적용하는 공법은 지난 수십 년 동안 자원 회수 또는 건설 분야에서 널리 사용되었지만, 공내의 압력이 작용하거나 동적하중이 작용할 때 부분적으로 암석이 파괴되는 메커니즘에 대해서는 잘 설명하지 못하였다. 최근에는 암반에 있어서 공내압력과 탄성파속도변화에 따른 파괴과정을 수치 해석하여 암석파괴에 관련된 연구 결과와 준정적 파괴에서 동적파괴로 천이되는 조건을 제안한 바 있다.(조상호외, 2004)

본 연구에서는 반무한 암반 내 시추된 원형공벽에 임의의 입사파가 작용하여 주변에 균열이 전파하는 동적파괴현상을 수치해석적으로 모사하였다. 탄성정수는 국내의 암반분류에서 적용하는 물성치를 사용하였으며 하중가압속도는 $1-100\text{MPa}/\mu\text{s}$ 의 범위까지 변화시키며 암반 내 균열전파양상을 살펴보았다.(한국도로공사 도로교통기술원, 이상돈외; 2002)

2. 동적파괴과정해석법 및 해석조건

동적파괴과정해석법(DFPA)은 동적유한요소법과 비선형 파괴역학을 기초로 하여 개발된 파괴과정시뮬레이션 소프트웨어로서, 복수의 균열의 발생, 성장, 결합 등은 요소경계면의 파괴로서 취급하며, 요소 경계면의 응력은 그 응력 경계면을 포함하는 요소들의 응력의 평균값을 계산하여 인장파괴판정에 적용한다.

Fig.1는 사용된 유한요소모델로서 중앙에 직경 5mm의 원형공을 가지고 있으며, 외곽경계는 중심으로부터 1m에 떨어져 있으며 연속경계로 하였다. 요소크기는 파괴과정에 미치는 영향을 최소화하기 위해서 장약공 주변은 1mm이내의 크기로 세분화하고, 전체 요소수를 줄이기 위하여 외곽영역으로 갈수록 요소의 크기가 증가하도록 작성하였다. 해석모델의 절점수는 7312개, 요소수는 14264개이며, 계산시간증분은 $0.1\mu\text{s}$ 로 설정하였다.

해석모델은 4종의 탄성계수와 3가지 가압속도를 변수로 하여 총 12가지 모델을 선정하였다. 해석결과에 대한 분석의 용이성을 고려하여 인장강도는 5MPa, 압축

강도는 인장강도의 10배로 고정하였다. 밀도는 2140kg/m^3 , 포아송비는 0.25로 하였다.

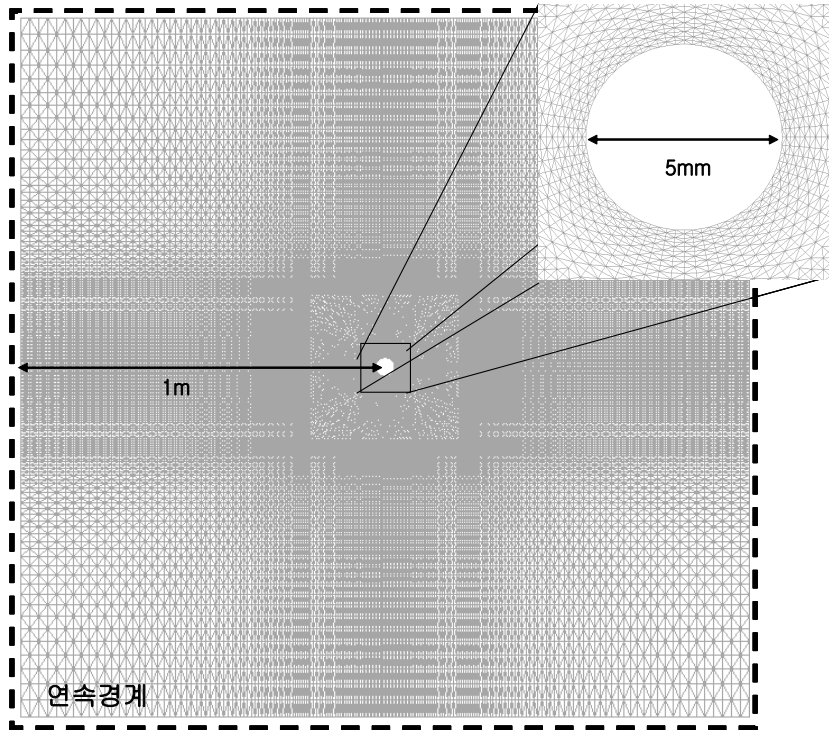


Fig 2. Finite element layout for the analysis model

Table 2. Model information

| 모델번호 | 암반 등급 | 탄성계수 | P파속도(m/sec) | 하중가압속도(MPa/ μ s) |
|------|-------|-------|-------------|----------------------|
| 1 | 1등급 | 34.12 | 4374 | 100 |
| 2 | 2등급 | 28.02 | 4049 | |
| 3 | 3등급 | 13.01 | 3275 | |
| 4 | 4등급 | 6.04 | 2700 | |
| 5 | 1등급 | 34.12 | 4374 | 10 |
| 6 | 2등급 | 28.02 | 4049 | |
| 7 | 3등급 | 13.01 | 3275 | |
| 8 | 4등급 | 6.04 | 2700 | |
| 9 | 1등급 | 34.12 | 4374 | 1 |
| 10 | 2등급 | 28.02 | 4049 | |
| 11 | 3등급 | 13.01 | 3275 | |
| 12 | 4등급 | 6.04 | 2700 | |

3. 해석결과

Fig. 3에 하중속도와 탄성파속도의 변화에 따른 최종적인 파괴패턴을 비교하였다. 하중속도가 감소함에 따른 균열의 길이가 증가하는 경향을 보이고 있으며, 반면에 균열의 수는 감소하는 경향을 보였다. 탄성파속도가 증가함에 압축파괴영역이 넓어지고 균열은 동적파괴패턴으로 천이하는 경향을 보이고 있다. 특히 탄성파속도가 가장 낮은 경우에는 하중속도가 감소함에 따라 동적파괴패턴으로 변화가 가장 크게 나타났다. 낮은 탄성파 속도를 있음을 알 수 있다.

끝으로, 본 해석결과는 오일셰일 및 석유 시추공에 적절한 길이와 수의 균열을 발생시켜 석유회수율을 증가시키는 연구가진 암반은 높은 파괴패턴의 하중속도의존성을 나타낼 수 있음을 암시하고 있다. 그림 내 점선은 준정적 파괴과정에서 동적인 파괴과정으로 변화되는 천이곡선을 나타내고 있다. 내고 분야에 적용될 수 있을 것으로 기대된다.

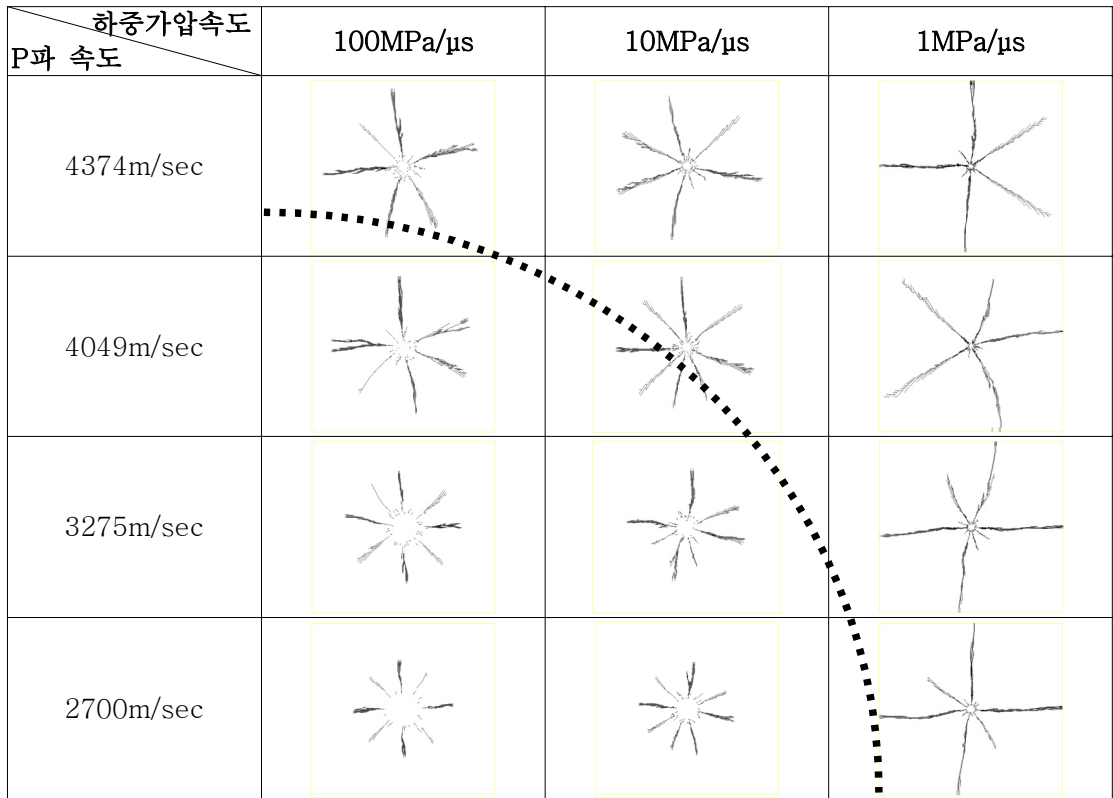


Fig 2. Resultant fracture patterns with variation of P-wave velocity and loading-rate

참고문헌

- 한국도로공사 도로교통기술원, 이상돈, 박연준, 2002 암반등급에 따른 도로터널 지보체계 개선 연구 (2002년도 연구보고서)
- S. H. Cho, K. Kaneko, 2004, Influence of the applied pressure waveform on the dynamic fracture processes in rock, International Journal of Rock Mechanics & Mining Sciences 41 (2004) 771-784
- SCHMIDT, R. A., WARPINSKI, NR., FINLEY, S. J., and SHEAR, R.C.,1981, Multi-Frac Test Series Final Report, Sandia Laboratories Report, SAND 81-1239