

# 방진공에 의한 발파진동차단효과의 실험 및 수치해석적 연구

조상호<sup>1)</sup> · 양형식<sup>2)</sup>

## A Study on the Vibration Isolation by Line-drilling Holes

Sang-Ho Cho and Hyung-Sik Yang

**ABSTRACT** Vibration screening trench is very effective to reduce the ground vibration, but to construct the trench in the rock mass is not easy. Various line drilling methods have been tried to replace the trenching. In this study, UDEC was applied to simulate the screening effect of drilling holes in 2 dimensional ground model. Field measurement was conducted and compared to numerical analysis.

**Key words** : vibration screening holes, UDEC

**초 록** : 지반진동을 차단하기 위한 방법으로 방진구가 효과적이지만 대부분의 구조물은 암반 위에 건설되어 있으므로 방진구를 설치하여 진동전파경로를 차단하는 것은 무리가 된다. 그러므로 천공기를 이용하여 방진공을 형성하여 발파진동을 차단하려는 사례가 늘어나고 있는 실정이다. 본 연구에서 2차원 지반모델에 설치된 방진공의 발파진동차단효과를 수치해석적으로 분석하기 위해 이산요소해석프로그램(UDEC)을 이용하여 동적해석을 수행하였으며 이와 비슷한 조건으로 현장실험에 적용하였다.

**핵심어** : 방진공, UDEC

### 1. 서 론

최근 국내외에서는 발파진동에 대한 수많은 환경문제 및 민원이 발생하므로 이러한 발파진동을 제어하기 위해 많은 연구와 실험 등이 수행되었다. 발파 진동은 발파에 의해 발생하는 에너지의 일부가 지반을 통해 각기 다른 주파수로 모든 방향으로 전파되는 것으로, 진동전파에 의해 주위에 미치는 영향을 알기 위해서는 우선적으로 지반진동전파 매개체인 지반의 동적특성 파악이 요구된다. 지반의 동적특성 중 재료적 특성인 지반의 탄성계수, 포아송비, 진동전파속도 등은 실험실 또는 현장에서의 실험에 의해 결정되나 지반의 구성형태에 따른 지반전달특성은 실험으로 구하기 어렵다. 이러한 특성 때문에 방진구조의 방진효과에 관한 여러 수치적인 해석이 수행되어 왔다.

Wood(1968)는 충상토사 지반에서 방진구의 형태를 변화시키며 Full-scale test를 하였고, Haupt(1977)는 방진벽, 방진구, 천공에 대한 모델실험을 하였으며, 허영

(1994)은 경계요소법 전산프로그램을 이용하여 방진구에 의한 진동차단효과를 연구하였다. 이종세 등(1998)은 유한요소법에 흡수경계를 적용하고 평면변형률해석으로서 방진벽의 형태와 채움재의 물성에 따른 방진벽의 산란효과를 조사하였다. 또 방진구와는 다르지만 인공방진균열을 이용하여 진동감소를 조사한 사례도 있다(신일재, 1994).

본 연구에서 방진구조의 변화에 따른 방진효과를 연구하기 위해 방진공을 가진 지반을 모델링하여 전단파를 적용하였으며, 해석에는 불연속면에 존재하는 지반에서 동적해석 및 정적해석이 가능하도록 설계된 UDEC를 사용하였다. 방진공의 진동차단효과를 검증하기 위해서 현장실험도 수행하였다.

1) 정희원, (주)CTR 연구원

2) 정희원, 전남대학교 공과대학 자원공학과 교수

원고 접수일 : 2000년 7월 31일

원고 심사완료일 : 2000년 8월 23일

## 2. 수치해석을 이용한 방진공의 진동차단 효과 분석

### 2.1 지반모델 및 분석변수

표면파의 전달은 매질의 특성뿐만 아니라 지표면의 지형적인 특성에 많은 영향을 받아 증폭될 수도 있으며 감소될 수도 있다. 본 연구에서 사용된 모델은 Fig. 1에 나타내었다. 모델의 상하부경계는 비반사경계로 지정하였고 좌우측은 Y방향속도를 구속하였으며, 모델의 중앙에는 가상절리를 이용하여 방진공을 형성하였다. 여기에 형성된 방진공의 깊이는 발파진동차단에 충분한 길이로 가정하고 고려하지 않았다. 방진공 간격은 방진공경의 2, 3, 4, 5배가 되도록 모델링하였으며 전단방향 속도이력은 하단에서 입력하였다. 입력진동의 진동수는 실제발파진동의 주진동수 범위내인 50, 100, 200 Hz로 입력하였으며, 유한차분요소는 저주파 통과필터에 속하므로 고주파의 진동특성이 전달될 수 있도록 요소의 길이는 입력과장의 10 배 이하로 하였다. 입력진동수를 Fig. 2는 입력진동속도이력과 출력진동속도이력으로서 입력진동속도이력은 입력지점에서 획득하였으며 출력진동속도는 입력지점의 반대편 경계에서 획득하였다. 방진공의 진동차단효과를 평가하기 위해 방진공간격과 입력진동의 진동수를 변화시키면서 해석을 수행하였다. 적용된 물성 및 입력변수는

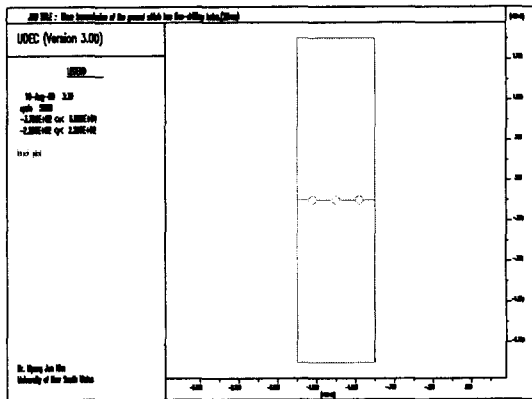


Fig. 1. model and boundary condition for analysis

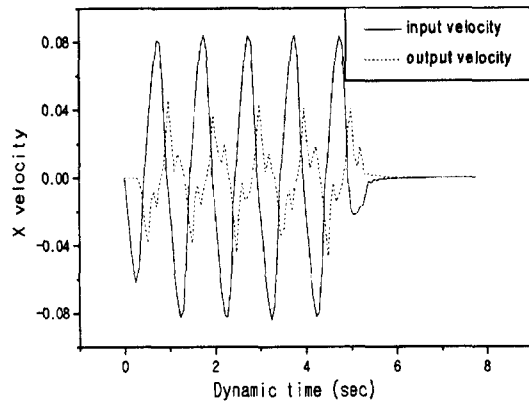


Fig. 2. Input velocity wave and output velocity wave

Table 1과 같으며 방진공을 모델링하기 위해서 사용된 가상절리는 진동전달에 영향을 미치는 많은 범위의 물성을 선정하였다.

방진공의 진동차단효과를 평가하는 기준으로서 진동감쇠계수, ARF(Amplitude Reduction Factor)를 적용하였다. 이것은 방진공이 있는 지반과 방진공이 없는 지반의 진동속도비를 의미하며, 다음과 같다.

$$ARF = \frac{\text{방진공이 있는 경우의 진동속도}}{\text{방진공이 없는 경우의 진동속도}}$$

### 2.2 방진공의 간격 및 입력진동수에 따른 진동 감쇠분석결과

방진공의 진동차단효과를 평가하기 위해 공간격과 입력진동의 진동수를 변화시키며 해석하였다. 공간격(s)은 공경(d)의 2, 3, 4, 5배로 하였으며, 이때 진동속도의 계산은 방진공을 사이에 두고, 방진공의 후방으로 공경 5, 10, 15, 20배되는 거리(D/d)에서 실행되었다. 진동속도는 10 mm/sec를 입력하였으며, 입력진동수는 50, 100, 200 Hz로 하여 방진공 간격에 따른 모델에 각각 적용하여 진동속도를 계산하였다. Fig. 3~5는 각각 입력진동수가 50, 100, 200 Hz인 경우의 방진공 간격과 거리에 따른 진동속도를 나타내고 있다. 이 결과들을 살펴보면 방진공 간격이 넓을수록 높은 진동속도를 나타내며, 거리가

Table 1. Input parameters for analysis

| Division | Rock properties              |                    |                     | Fictitious-joint properties |                         |               |                |
|----------|------------------------------|--------------------|---------------------|-----------------------------|-------------------------|---------------|----------------|
|          | Density (kg/m <sup>3</sup> ) | Bulk modulus (MPa) | Shear modulus (MPa) | Normal stiffness (MPa/m)    | Shear stiffness (MPa/m) | Tension (MPa) | Cohesion (MPa) |
| Value    | 2600                         | 16,000             | 10,000              | 100,000                     | 100,000                 | 1,000,000     | 5              |

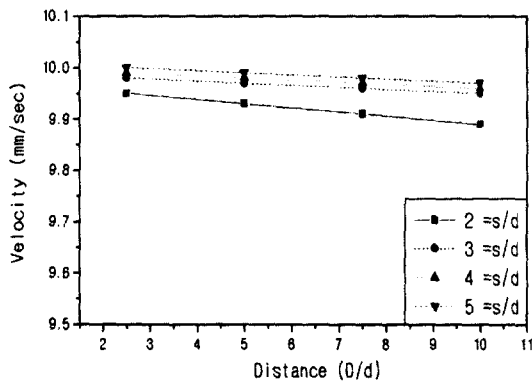


Fig. 3. Attenuation of velocity according to distance (50Hz)

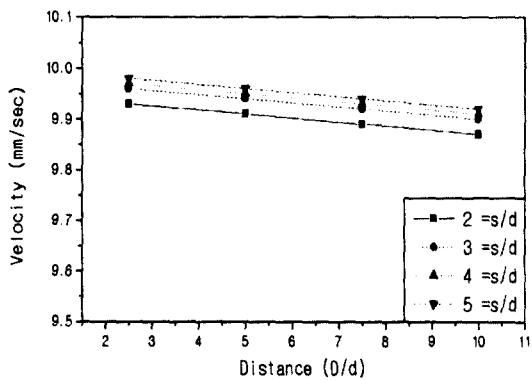


Fig. 4. Attenuation of velocity according to distance (100Hz)

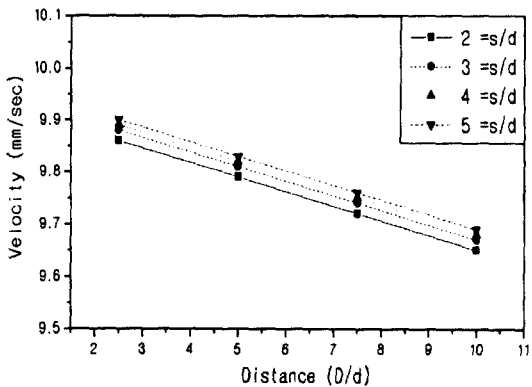


Fig. 5. Attenuation of velocity according to distance (200Hz)

떨어짐에 진동속도는 감소됨을 볼 수 있다. 또한 입력진동수가 높아질수록 진동속도의 감소정도가 증대되므로서 진동수가 높을수록 진동감쇠가 빨리 일어난다는 이론과

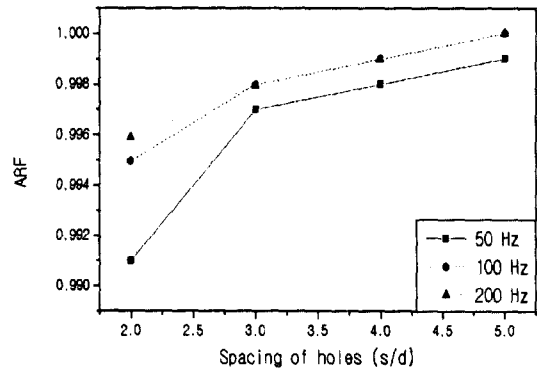


Fig. 6. Trend of amplitude reduction factor (ARF)

일치하였다. Fig. 6은 입력진동수에 따른 진동감쇠계수를 나타내고 있다. 이 결과를 살펴보면 방진공 간격이 증가함에 따라 진동감쇠계수는 증가되었고, 입력진동수가 50 Hz인 경우에 가장 적은 진동감쇠계수를 보였다. 100 Hz와 200 Hz에서는 방진공 간격이 공경의 2배인 경우에만 비교적 큰 차이가 있었고 2배 이상에서는 미소한 차이로 100 Hz의 경우가 낮게 나타났다.

이 결과들로부터 방진공은 낮은 입력진동수에 대해 진동감쇠효과가 크며, 방진공 간격이 공경의 3배 이하의 경우에 진동감쇠효과가 높아짐을 알 수 있다.

### 3. 방진공을 이용한 진동차단실험

#### 3.1 실험대상지역 및 실험방법

실험대상지역은 광주 두암동 지역으로서 기반암은 흑운모 화강암이며, 풍화토층이 두껍게 발달하였다. 발파지점과 방진공의 지반고는 비슷하고, 방진공의 천공경은 75 mm, 천공장은 6 m, 공간격은 0.25 m로 하여 1열로 천공하였다. 이때 천공간격은 공경의 3.3배 정도가 된다. 진동은 캐나다 Instanet사의 Blastmate II(DS-677) 및 Minimate(DS-077)를 사용하여 방진공의 앞뒤에 1m의 거리를 두고 설치하였다. 시험발파는 1회에서 3회까지는 지발당 장약량 2.5 kg/delay로 하였으며, 발파지점에서 계측지점까지의 거리는 200 m였다. 4회에서 11회까지 지발당장약량은 0.5 kg/delay, 계측거리는 50 m였으며, 12회에서 20회의 발파는 지발당장약량이 2.5 kg/delay이었으며 계측거리는 160 m였다. 계측은 총 20회가 이루어졌다. 발파패턴은  $\phi 45$  mm의 수직천공에, 폭약은 에멀전폭약(Newmite)을 사용하였으며 MS전기뇌관을 사용하였다.

3.2 실험결과

방진공에 의한 진동차단효과를 진동감쇠계수로 적용하기 위해, 방진공을 사이에 두고 1m 전후에서 계측하였으므로 거리차에 의한 진동속도의 감쇠는 무시하고 방진공 전방의 계측치는 방진공이 없는 경우의 진동속도로, 방진공의 후방에서 계측된 진동치는 방진공이 있는 경우의 진동속도로 간주하여 계산하였다. 그 계산 결과를 Fig. 7~10과 Table 2에 나타내었다. Fig. 7은 발파 진동성분중 전단방향의 계측데이터로서, 1~3회의 발파에서는 0.75의 진동감쇠계수를 나타내었으며, 4~11회의 발파에서는 0.81, 12~20회의 발파에서는 0.66의 진동감쇠

계수를 나타내고 있으며, 이를 백분율로 할 경우 평균 25%여서, 공반경 3배의 방진공은 전단방향진동성분에 대한 25%의 진동차단효과가 있음을 알 수 있다. Fig. 8은 수직방향의 진동성분으로서 1~3회 발파에서는 1.04, 4~11회에서는 1.31, 12~20회 발파에서는 0.73으로서 전단성분에 비해 비교적 진동감쇠효과가 낮음을 알 수 있다. Fig. 9은 진행방향의 진동성분을 나타내고 있으며, 모든 회의 발파에서 진동감쇠계수가 1이상이므로, 세 성분 중 감쇠효과가 가장 낮았다. Fig. 10은 합성진동성분(PVS)으로서 모든 회의 발파에서 진동감쇠계수가 1이하로서 평균 12%의 진동차단효과를 보였다. 방진공에 의

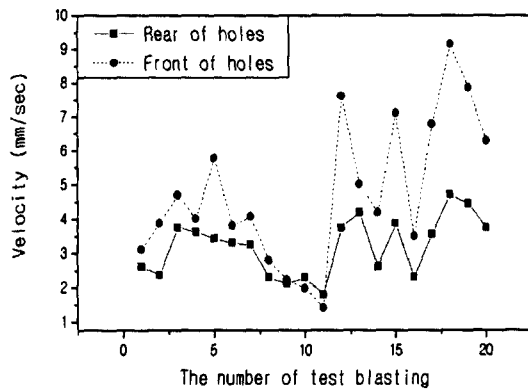


Fig. 7. Comparison of transverse component velocities

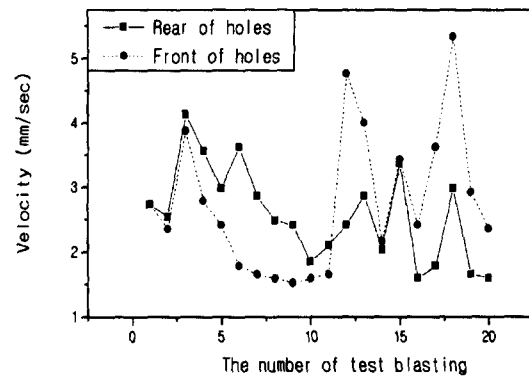


Fig. 9. Comparison of longitudinal component velocities

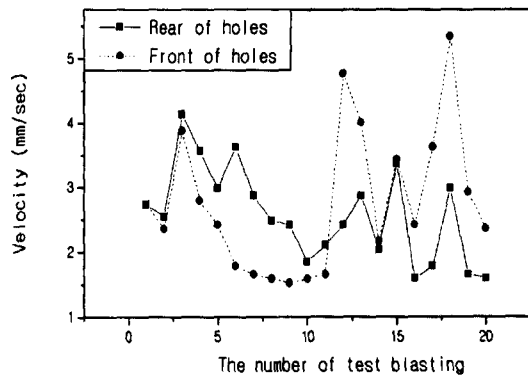


Fig. 8. Comparison of vertical component velocities

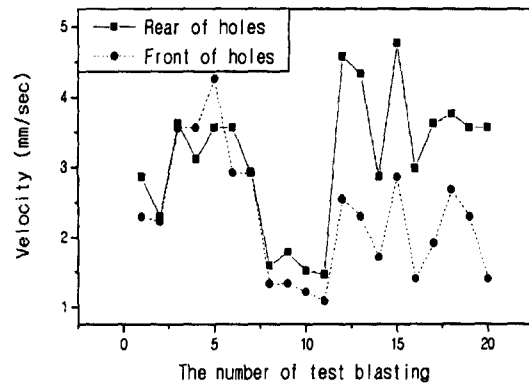


Fig. 10. Comparison of PVS component velocities

Table 2. Average amplitude reduction factor according to velocity component

| Scaled Distance(m/kg <sup>1/2</sup> ) | Transverse component | Vertical component | Longitudinal component | PVS  |
|---------------------------------------|----------------------|--------------------|------------------------|------|
| 126                                   | 0.75                 | 1.04               | 1.09                   | 0.91 |
| 78                                    | 0.81                 | 1.31               | 1.00                   | 0.95 |
| 101                                   | 0.66                 | 0.73               | 1.79                   | 0.76 |

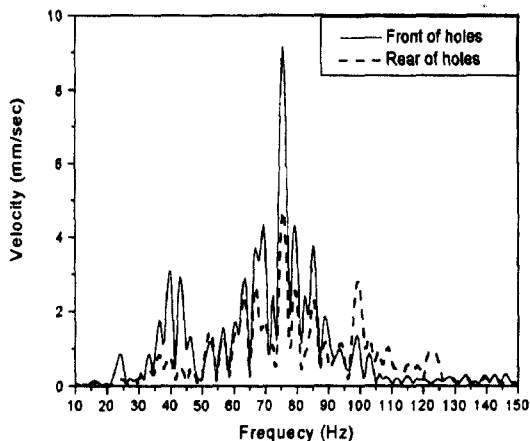


Fig. 11. Fourier transform of transverse component velocities

한 주진동수의 변화를 살펴보기 위해서 방진공 전후의 진동이력을 이용하여 푸리에 변환을 수행하였다. 그 결과로서 주진동수는 43~105 Hz였으며, 방진공 전후의 주진동수에는 큰 변화가 없었으나, 진동수에 대한 진동속도들의 현저한 감소를 확인할 수 있었다. 현장결과 중에서 가장 큰 감소를 보이는 전단성분진동속도의 푸리에 변환 결과를 Fig. 11에 나타내었다.

위 결과들로부터 방진공 간격이 공경의 3배일 때 전단성분에 대해 25%의 진동차단효과를 가지며 합성진동성분에 대해서 12%의 진동차단효과가 있음을 확인하였다. 그러나 수직성분과 진행성분의 진동감쇠계수가 1이상이므로 진동이 증폭되는 현상을 보였다. 방진공에 의한 주진동수의 변화는 적었으며, 진동수에 따른 진동속도의 현저한 감소를 보였다.

#### 4. 결 론

본 연구에서는 방진공을 이용한 발파진동의 차단효과를 연구하기 위해 방진공을 가진 지반을 모델링하여 수치해석 하였으며, 방진공의 진동차단효과를 알아보기 위해 현장실험을 실시하였다. 방진공에 의한 진동차단효과와 수치해석 결과로서 방진공은 낮은 입력진동수에 대해 진동감쇠효과가 크며, 방진공 간격이 공경의 3배 이하의 경우에 진동감쇠효과가 높아짐을 알 수 있었다. 방진공의 현장실험결과로서 방진공 간격이 공경의 3배일 때 전단성분에 대해 25%의 진동차단효과가 있으며 합성진동성분에 대해서 12%의 진동차단효과가 있었다. 방진공에 의한 주진동수의 변화는 적었으며, 진동수에 대한 진동속도는 현저하게 감소하였다. 이 수치해석 및 현장실험 결과로부터 방진공 간격은 공경의 3배에서 진동차단효과가 있음을 확인할 수 있었다.

#### 참 고 문 헌

1. 신일재, 1994, 암반내의 인공방진균열이 발파진동감소에 미치는 영향, 서울대학교 대학원 석사논문, 72p
2. 이종세, 손윤기, 1998, 방진벽에 의한 표면파 산란의 수치해석, 한국지진공학회지, 춘계학술대회논문집, 106-112.
3. 허영, 1994, 진동차단구조물에 의한 지반진동차단 연구, 전산구조공학지, 7. 4, 127-136.
4. Haupt W. A., 1977, Isolation of vibrations by concrete core walls, in Proc. 9. Int. Conf. Soil Mech. Found. Eng., 251-256.
5. Wood R. D., 1968, Screening of surface waves in soils, J. Soil Mech. Found. Div. ASCE, 94, 951-979.

#### 조 상 호



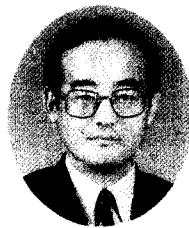
1998년 전북대학교 공과대학 자원공학  
학과, 공학사  
2000년 전남대학교 대학원 자원공학  
과, 공학석사

Tel : 062-530-0066

E-mail : csh0724@netian.com

현 재 (주)CTR 연구원

#### 양 형 식



1979년 서울대학교 공과대학 자원공  
학과, 공학사  
1981년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학석사  
1987년 서울대학교 대학원 자원공학  
과, 공학박사

Tel : 062-530-1724

E-mail : hsyang@chonnam.ac.kr

현 재 전남대학교 공과대학 자원공학과 교수