

## 시가지 발파에서 공저 전색물이 발파진동에 미치는 영향

강추원

### The Effect of Bottom-Hole Stemming Materials on Vibration Level at Urban Area Blasting

Chu-Won Kang

**ABSTRACT** This study provides the results of two different blasting methods applied at the H Telcon construction site in Yeon-dong, Cheju Island. One is the traditional blasting method without bottom-hole stemming and the other with bottom-hole stemming using the materials such as sand, polystyrene and sawdust in 5~10 cm lengths. The effect of these materials on vibration level was studied. Assuming that safety criterion of vibration level be 0.5 cm/sec, 95% confidence limit line of measured data shows that maximum charge weight per delay could be increased in the following order; traditional method, polystyrene stemming, sand stemming, sawdust stemming.

#### 1. 서 론

최근 지하철 공사, 대규모 아파트 부지조성공사 등 화약을 사용한 발파 작업이 도심지에서도 많이 행해지고 있어 발파작업으로 인한 발파진동, 소음, 비산 등이 문제가 되고 있다. 특히 발파진동의 경우는 인근 구조물에 치명적인 피해를 줄 수 있을 뿐만 아니라 발파작업시 민원발생의 주요 원인이 되고 있다.

국내에서는 현재까지 발파작업시 발생하는 발파진동의 해석에 대한 연구<sup>10,11,12,16-19</sup>가 여러 가지 방법으로 수행되어져 왔으나, 실제로 지발당 장약량을 줄이는 방법, 선행이완 발파방법 이외의 발파진동을 줄일 수 있는 다른 방안에 대한 연구는 부족한 편이며, 전색에 대한 연구<sup>6,9</sup>는 보고된 자료가 적은 실정이다.

본 연구에서는 완충작용을 공저부분에 유도하여 그 효과를 알아보기 위해 제주도 H회사의 텔콘 신축공사 현장을 연구 대상으로 선정하여 공저부분에 아무런 물질도 전색하지 않는 종래의 발파방법과 모래, 스티로폼(polystyrene), 톱밥 등을 5~10 cm의 길이로 만들어 공저에 전색한 다음 젤라틴 다이내마이트(1본당 : 약경 28 mm, 약장 271 mm, 무게 200 g)를 지발당 250~500 g을 장약하여 환산거리(scaled distance, SD)를

19~178까지 다양하게 바꾸어 실시한 발파방법을 통하여 위의 전색제들이 발파진동에 어떠한 영향을 미치는가에 역점을 두고 연구하였다.

#### 2. 발파진동에 대한 이론적 고찰

##### 2.1 발파진동의 특성

폭약이 장약공내에서 폭발하면 주위 암반은 강력한 폭핑파의 충격을 받게된다. 이때 발생된 에너지의 0.5~20%에 해당하는 에너지가 탄성파로 전환되어 암반중에 전달되는 것으로 알려지고 있다. 암반중으로 전달되는 탄성파는 입체파(물체파 : body wave)인 종파(압축파, 1차파, P파)와 횡파(전단파, 2차파, S파) 그리고 표면파(surface wave)로 구분할 수 있다. 이러한 탄성파가 암반중을 전파하면서 지반진동을 일으키게 되는데 한 점에서의 지면의 운동은 진폭과 주기를 갖는 진동으로 나타난다. 이와같은 발파에 의한 지반진동은 변위(displacement), 속도(velocity), 가속도(acceleration)의 3종류로 나타내고 있다.

지반진동의 측정은 그 방향에 따라 수직성분  
조선대학교 자원공학과 부교수

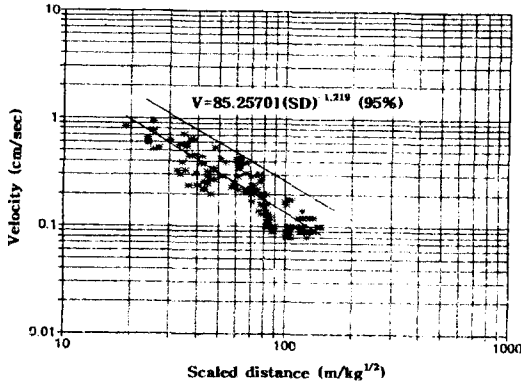


Fig. 1. Synthetic seismogram and peak particle velocity vs delay time.<sup>4)</sup>

(vertical), 진행성분(longitudinal 혹은 radial) 그리고 이 두 파의 방향과 직각을 이루는 접선방향성분(transverse)의 세 방향으로 이루어진다.

발파 진동의 측정시 이 세가지 성분의 상대적 크기는 암반, 지형 및 발파에 의하여 생성된 탄성파들의 상호 간섭에 따라 변하나 일반적으로 가장 큰 값을 나타내는 것이 수직성분이며, 때로는 진행성분이 수직성분과 같거나 큰 경우가 있고, 접선성분은 대부분 세성분중에서 가장 작은 값을 나타내는 경향을 보인다.

## 2.2 발파진동의 상호간섭

Hinzen<sup>4)</sup>은 지발뇌관을 사용하는 지발발파에서 탄성 파형태로 전파되는 발파진동이 서로 간섭하는 효과에 대한 연구를 수치해석적으로 수행하였다. 순발발파에서의 최대진동속도와 두 공을 지발로 발파하는 경우의 최대진동속도를 비교하였는데, Fig. 1은 지발발파시 지연시간을 1 ms단위로 50 ms까지 변화시켜 가면서 산출한 최대진동속도의 결과이다. Fig. 1에서 지연시간이 15 ms일때의 최대진동속도가 순발발파시의 약 37%정도로 가장 작게 산정되었고, 지연시간이 바뀔때 따라 최대진동속도가 변화함을 알 수 있다. 일반적으로 순발발파시의 진동지속시간이 0.1초(100 ms)이내로 알려져 있으므로 국내에서 생산중인 지발뇌관 중에서 각 단간의 지연시간이 250 ms인 DS전기뇌관의 경우나, 100 ms인 LP(long period)전기뇌관의 경우는 지발발파시 발파진동의 상호간섭이 거의 일어나지 않지만, 각 단간의 지연시간이 20 ms 및 25 ms인 MS뇌관을 사용할 경우는 발파진동의 상호간섭에 의한 보강 또는 상쇄의 효과가 예상된다.

## 3. 지질학적 특성

제주지역의 지질<sup>20)</sup>은 화산활동에 의해 신생대 제3기 말부터 시작하여 제4기에 걸쳐 형성되었다. 지금으로부터 약 1백만년 전인 신생대 제3기 플라이오세에서부터 제4기 플라이스토세에 이르는 시기에 형성된 화산지형이다.

본 연구지역은 행정구역상 제주시 연동 2282번지의 1필지에 해당한다.

본 지역의 지질은 현무암질안산암과 안산암이 분포하며, 암층과 송이층(화산쇄설물로 형성)이 호층을 이루고 있다.

현무암질안산암은 장주상 기공을 25~30%, 장석 반정을 약 5% 함유하고, 안산암은 중립~조립의 사장석과 소량의 금운모를 반정으로 함유하며, 흑요석(obsidian, size 1~3 mm)을 약 10% 함유한다. 본 안산암의 일축 압축강도는 평균 1135 kg/cm<sup>2</sup>로 나타나고 열수변질에 의한 광염상(황철석)조직을 보이기도 한다.

송이층은 화산쇄설물로 형성되며 쇄설물(debris)은 모래질~실트질의 미고결층이다.

## 4. 측정장치 및 실험방법

### 4.1 측정장치

본 연구에서 사용된 발파진동 측정기<sup>20)</sup>는 THOMAS Instruments Co, Ltd에서 제작한 VMS-500, VMS-100이며, 이들 계측기는 계측치를 디지털 및 아나로그 형태로 나타낼 수 있으며, 진행방향, 접선방향, 수직방향 및 이들 속도성분에 대한 벡터합의 측정이 가능한 전형적인 진동계측기로서 국내에서도 널리 이용되고 있다.

### 4.2 실험방법 및 조건

#### 4.2.1 실험방법

제주시 연동 H회사의 텔콘 신축공사 현장에서 직경 45 mm, 천공장 1.5~3.0 m, 공간거리 0.8~1.2 m, 저항선 0.8~1.2 m로 하여 실험을 실시하였다. 본 연구에서는 첫째, 공저 부분에 전색을 하지 않고 공구부분에만 전색을 하는 종래의 발파 방법과 둘째, 모래, 스티로폼, 톱밥 등을 5~10 cm의 길이로 제작하여 공저부분에 전색을 하는 경우등, 두가지 조건에서 진동 특성을 비교하였다. 사용화약류는 직경 28 mm, 약장 271 mm, 무게 200 g의 젤라틴 다이내마이트(gelatine dynamite)

Table 1. Conditions of blasting

| Items                                | Conditions | Traditional method<br>(No stemming) | Sand stemming                      | Polystyrene<br>stemming            | Sawdust<br>stemming                |
|--------------------------------------|------------|-------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|------------------------------------|
| drilling depth (m)                   |            | 1.5~3.0                             | 1.5~3.0                            | 1.5~3.0                            | 1.5~3.0                            |
| number of hole                       |            | 1~6                                 | 1~6                                | 1~5                                | 1~5                                |
| detonator                            |            | initial detonator,<br>DS4~7, LP3,5  | initial detonator,<br>DS4~7, LP3,5 | initial detonator,<br>DS4~7, LP3,5 | initial detonator,<br>DS4~7, LP3,5 |
| diameter of hole(mm)                 |            | 45                                  | 45                                 | 45                                 | 45                                 |
| hole spacing (m)                     |            | 0.8~1.2                             | 0.8~1.2                            | 0.81.2                             | 0.8~1.2                            |
| cartridge diameter (mm)              |            | 28                                  | 28                                 | 28                                 | 28                                 |
| explosive                            |            | gelatine dynamite                   | gelatine dynamite                  | gelatine dynamite                  | gelatine dynamitne                 |
| max. charge weight per<br>delay (kg) |            | 0.25~0.40                           | 0.25~0.50                          | 0.25~0.50                          | 0.25~0.50                          |

로 지발당 최대장약량 250~500 g으로 장약하고, 나머지 부분은 모래를 사용하여 전색하였으며, 뇌관은 순발 전기뇌관과 DS(decisecond)지발뇌관 그리고 새로운 LP(long period)지발뇌관을 사용하였다. 발파는 1~6공씩을 묶어서 실시하였다.

본 연구 장소가 시가지인 관계로 지발당 장약량은 허용진동속도를 0.5 cm/sec에 기준을 두고 시험발파를 통해 장약량을 조절하였고, 비산 방지를 위하여 부직포와 컨베이어벨트를 덮개로 사용하여 잘 덮은 다음 발파를 실시하였다.

발파진동 측정은 1회 발파시 발파지점으로부터 최소 12 m에서 최대 97.5 m까지 거리를 조절하면서 실시하였다. 최대거리를 97.5 m까지 밖에 할 수 없었던 이유는 그 이상의 거리를 두어 측정하였을 때는 발파진동측정기가 감응할 수 없을 정도로 낮아서 센서 감지가 불가능하기 때문이었다. 본 연구에서 사용한 발파진동측정기는 측정값이 최소 0.051 cm/sec 이상일 때 센서 감지가 가능하다.

#### 4.2.2 실험조건

본 연구지역의 주변 여건은 북쪽으로는 통행량이 많은 폭 36 m 도로가 위치하고, 남쪽으로는 약 10 m 지점에는 1~2층의 연립주택들이 위치하고 있으며, 서쪽으로는 지하 1층 지상 5층의 삼정 호텔이 위치하고 있다. Table 1은 실험조건을 나열해 놓은 것이다.

## 5. 측정결과 및 해석

### 5.1 결과 정리 및 해석

본 연구에서는 순발전기뇌관과 지발전기뇌관(DS 및 LP)을 사용하였다. DS뇌관의 경우는 각단에 최소 250 ms이상의 시차가 주어지고, LP뇌관의 경우는 각단에 100 ms이상의 시차가 주어진다. 본 연구에서는 LP뇌관의 경우는 격번제로 사용하였기 때문에 앞 이론에서 설명하였듯이 사용 뇌관의 시차가 최소 200 ms이상이므로 발파시 발파진동의 상호간섭이 일어나지 않는 것으로 간주하고 자료를 분석하였다.

Table 2는 자승근 및 삼승근에서 환산거리(scaled distance)와 각 패턴별 관계이다. Table 2에서 보는 바와 같이 환산거리를 다양하게 변화시켜 가면서 연구 자료를 수집했다. 현장 측정결과 총 140개의 자료를 얻었다.

#### 5.1.1 공저부분에 전색을 하지 않은 경우

산업현장에서 일반적으로 사용되고 있는 종래의 발파방법은 장약량을 제한하지 않을 경우에는 허용 진동치를 초과하여 인접구조물이나 시설물에 피해를 줄 뿐만 아니라 민원의 대상이 되고 있다.

현장에서의 계측조건은 폭원과 측정점간의 거리가 16~90.5 m, 지발당 최대장약량은 250~400 g, 진동속도의 실벡터합은 0.09~0.78 cm/sec로 나타났다.

계측치를 회귀분석에 의해서 입상상수인 K, n을 구하기 위해 최대진동속도와 환산거리의 log-log 1차 상관관계를 이용하여 전색처리 하였으며, 이때 사용한 벡터합은 각 성분의 최대값으로 구해지는 의사벡터합이 아니라, 진동속도 이력에서 같은 시간에 나타나는 세성분의 벡터합을 나타내는 실벡터합<sup>19)</sup>을 뜻한다. 발파진동식은 다음과 같다.

Table 2. Test method vs SD ( $m/kg^{1/2}$ ,  $m/kg^{1/3}$ ) for total blasting

| Conditions | Traditional method<br>(No stemming) |              | Sand<br>stemming |              | Sawdust<br>stemming |              | Polystyrene<br>stemming |              |
|------------|-------------------------------------|--------------|------------------|--------------|---------------------|--------------|-------------------------|--------------|
|            | square<br>root                      | cube<br>root | square<br>root   | cube<br>root | square<br>root      | cube<br>root | square<br>root          | cube<br>root |
| 20이하       | 0                                   | 0            | 0                | 0            | 0                   | 1            | 0                       | 0            |
| 20-30      | 1                                   | 3            | 1                | 3            | 2                   | 1            | 0                       | 1            |
| 30-40      | 3                                   | 4            | 3                | 4            | 2                   | 4            | 2                       | 2            |
| 40-50      | 4                                   | 6            | 3                | 5            | 3                   | 4            | 1                       | 3            |
| 50-60      | 3                                   | 3            | 4                | 1            | 3                   | 0            | 3                       | 2            |
| 60-70      | 3                                   | 4            | 2                | 3            | 0                   | 3            | 1                       | 6            |
| 70-80      | 6                                   | 5            | 2                | 6            | 1                   | 6            | 6                       | 7            |
| 80-90      | 2                                   | 4            | 3                | 6            | 3                   | 5            | 5                       | 3            |
| 90-100     | 6                                   | 1            | 7                | 0            | 8                   | 0            | 3                       | 0            |
| 100-110    | 1                                   | 3            | 3                | 3            | 2                   | 4            | 3                       | 3            |
| 110-120    | 1                                   | 0            | 1                | 3            | 1                   | 3            | 1                       | 2            |
| 120-130    | 3                                   | 3            | 2                | 1            | 3                   | 2            | 2                       | 2            |
| 130-140    | 0                                   | 0            | 3                | 1            | 4                   | 0            | 3                       | 1            |
| 140-150    | 1                                   | 0            | 1                | 0            | 1                   | 2            | 1                       | 1            |
| 150-160    | 2                                   | 0            | 0                | 0            | 0                   | 0            | 0                       | 0            |
| 160-170    | 0                                   | 0            | 1                | 0            | 0                   | 0            | 1                       | 0            |
| 170이상      | 0                                   | 0            | 0                | 0            | 2                   | 0            | 1                       | 0            |

$$V = 142.74 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.321} \quad (1)$$

$$V = 93.03 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.284} \quad (2)$$

식 (1)과 식 (2)는 95%의 신뢰도를 가지는 식으로 K값은 자승근에서 142.74이고, 삼승근에서는 93.03으로 나타났으며, n값은 각각 -1.321, -1.284로 나타났다. 그리고 자승근 및 삼승근에서 각각 89.1%와 89.8%의 상관성을 보였다.

#### 5.1.2. 공저부분에 모래를 전색한 경우

모래를 직경 30 mm의 필름에 10 cm의 길이로 담아서 공저부분에 전색하고 장전봉으로 잘 다진 다음, 전폭약을 장약하고 나머지 부분은 모래로 전색을 하였다. 그리고 부직포와 컨베이어벨트를 사용하여 상부를 잘 덮은 다음 발파를 실시하였다. 계측은 폭원과 측정점간의 거리는 16~92.5 m이고, 진동속도의 벡터합은 0.08~0.94 cm/sec로 나타났으며, 발파진동식은 다음과 같다.

$$V = 77.06 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.225} \quad (3)$$

$$V = 58.49 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.220} \quad (4)$$

식 (3)과 식(4)는 95%의 신뢰도를 가지는 식으로 K값은 자승근에서 77.06이고, 삼승근에서는 58.49로 나타났으며, n값은 각각 -1.225, -1.220로 나타났다. 그리고

상관성은 자승근에서는 87.6%, 삼승근에서는 88.8%로 나타냈다.

#### 5.1.3 공저부분에 스티로폼을 전색한 경우

스티로폼은 직경을 40 mm로 하고 5 cm의 길이로 잘라서 공저부분에 전색을 하고, 전폭약을 장약한 다음, 상부는 모래를 잘 다진 후 다른 방법과 마찬가지로 부직포와 컨베이어벨트를 사용하여 잘 덮은 다음 발파를 실시하였다. 계측을 실시 하기 전에 많은 시험발파를 했다. 처음에는 다른 전색물과 마찬가지로 10 cm의 길이를 사용하였는데, 진동치는 낮았지만 발파 효과가 적어서 길이를 5 cm로 줄이게 되었다. 실험은 10 cm의 길이로 실시한 계측치는 이용하지 않았고, 5 cm 길이로 실험한 계측치 자료만을 이용하였다. 폭원과 측정점간의 거리는 15.0~97.5 m이고, 진동속도의 벡터합은 0.09~0.66 cm/sec로 나타났으며, 이때의 발파진동식은 다음과 같다.

$$V = 95.17 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.245} \quad (5)$$

$$V = 65.75 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.219} \quad (6)$$

식 (5)와 식 (6)은 95%의 신뢰도를 가지는 식으로 K값은 자승근에서 95.17이고, 삼승근에서는 65.75로 나타났으며, n값은 각각 -1.245, -1.219로 나타났다. 그리고 상관성은 86.6%와 87.6%로 나타났다.

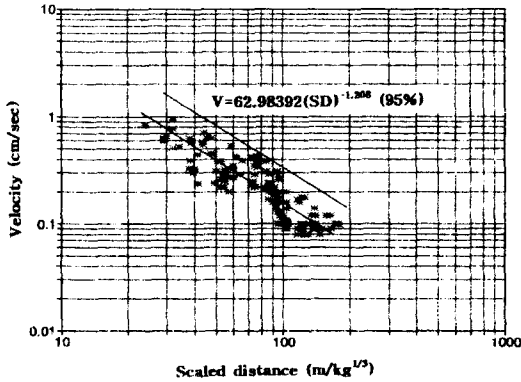


Fig. 2. Relationship between peak particle velocity and square root scaled distance.

5.1.4 공저부분에 톱밥을 전색한 경우

톱밥은 직경 30 mm의 필름에 10 cm의 길이로 담아서 공저에 전색을 한 다음 장전봉으로 잘 다지고, 그 위에 전폭약을 장약하고, 나머지 부분은 모래를 잘 다진 후, 앞의 방법과 마찬가지로 부직포와 컨베이어벨트로 잘 덮은 다음 발파를 실시 하였다. 폭원과 측점간의 거리는 12~96 m, 진동속도의 벡터합은 0.08~0.84 cm/sec로 나타났으며, 발파진동식은 다음과 같다.

$$V = 43.06\left(\frac{D}{W^{1/2}}\right)^{-1.088} \quad (7)$$

$$V = 35.06\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.093} \quad (8)$$

식 (7)과 식 (8)은 95%의 신뢰도를 가지는 식으로 K값은 자승근에서 43.06이고, 삼승근에서는 35.06으로 나타났으며, n값은 각각 -1.088, -1.093으로 나타났다. 그리고 상관성은 자승근에서 86.1%, 삼승근에서는 87.5%로 나타났다.

5.1.5 각 시험방법의 합

종래의 방법과 공저부분에 전색제를 사용한 방법에서 총 140개의 계측자료를 얻었다. 이들 자료를 합하여 자승근 및 삼승근으로 환산한 결과는 Fig. 2 및 Fig. 3과 같고, 발파진동식은 다음과 같다.

$$V = 85.25\left(\frac{D}{W^{1/2}}\right)^{-1.219} \quad (9)$$

$$V = 62.98\left(\frac{D}{W^{1/3}}\right)^{-1.208} \quad (10)$$

식 (9)와 식 (10)은 95%의 신뢰도를 가지는 식으로

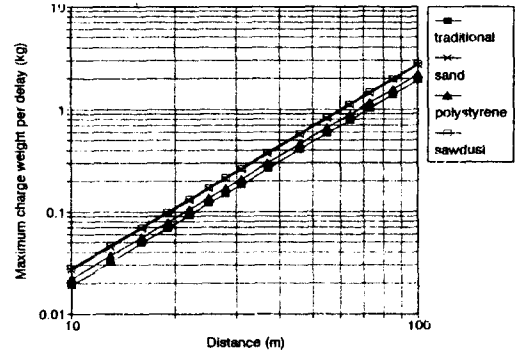


Fig. 3. Relationship between peak particle velocity and cube root scaled distance.

K값은 자승근에서 85.25이고, 삼승근에서는 62.98로 나타났으며, n값은 각각 -1.219와 -1.208로 나타났다. 그리고 상관성은 자승근에서 86.4%, 삼승근에서는 87.7%를 나타냈다. 각각의 시험방법과 마찬가지로 자승근보다 삼승근이 더 상관성이 높았다.

5.2 지발당 최대장약량과 거리와의 관계

공저부분에 전색을 하지 않은 종래 발파방법의 경우와 모래, 스티로폴, 톱밥 등을 공저에 전색한 경우의 자승근 및 삼승근의 회귀분석 결과인 식 (1)부터 식 (8)까지 8개의 식들을 안전율을 고려한 최대허용속도 0.5 cm/sec에 대한 환산거리를 구하면 자승근의 경우는 72.22, 61.00, 67.72, 60.04이고, 삼승근의 경우는 58.56, 49.63, 54.82, 48.92이었다.

실거리와 장약량의 관계를 예를 들어 설명하면 다음과 같다. 30 m 지점에서의 삼승근 환산거리를 적용하여 최대허용진동속도를 0.5 cm/sec로 하였을 때 최대허용장약량은 스티로폴이 164 g, 모래가 221 g, 톱밥이 231 g, 종래의 방법이 134 g이었다. 그리고 50 m 지점에서는 자승근 환산거리를 적용하면 최대허용진동속도를 0.5 cm/sec로 했을 때 최대허용장약량은 스티로폴이 545 g, 톱밥은 693 g, 모래가 672 g, 종래의 방법은 479 g이었다. 허용진동치를 일정하게 두었을 때 공저에 어떤 재료를 전색했느냐에 따라 장약량은 증감을 보인다. 똑같은 거리에서 공저에 톱밥을 전색한 것은 일반적으로 산업현장에서 사용되어지고 있는 종래의 방법에 비해 30 m 거리에서는 97 g, 50 m의 거리에서 214 g의 약량을 더 사용 할 수 있다.

공저전색물을 사용하여 발파진동치를 감소시키더라도 발파효과가 떨어진다면 공저전색물을 사용하는 의

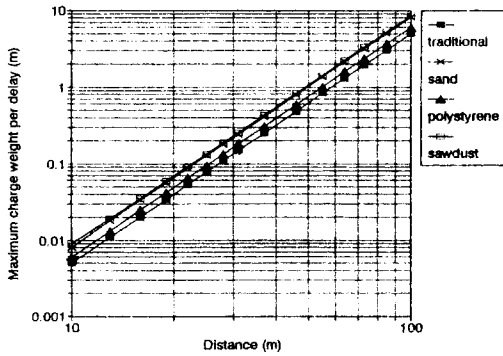


Fig. 4. Maximum charge weight per delay vs distance from blasting point to sensor by square root scaled distance (using 95% vibration equation).

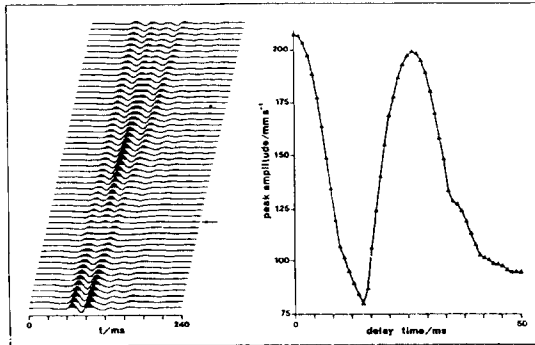


Fig. 5. Maximum charge weight per delay vs distance from blasting point to sensor by cube root scaled distance (using 95% vibration equation).

미가 없을 것이다. 발파 후 발파효과를 보면 각각의 방법이 거의 비슷한 효과를 보이고 있으며 시가지인 관계로 2차적인 브레이커 작업이 요구된다. 스티로폴의 경우는 10 cm로 하였을 때 발파효과가 좋지 않아서 5 cm로 줄이게 되었다.

Fig. 4와 Fig. 5는 최대장약량과 거리와의 관계를 조건을 달리한 각 시험과 비교해 놓은 것이다.

## 6. 결 론

일반적으로 발파진동을 감소시키기 위해서 분할 발파를 실시해야 하는데 본 연구에서는 우리가 쉽게 구할 수 있는 재료인 모래, 스티로폴, 톱밥 등을 가지고 공저 부분에 전색을 한 방법과 산업현장에서 일반적으로 사용하는 종래의 발파 방법을 서로 비교 하였다. 이상의

연구를 통해 얻어진 결과는 다음과 같다. 단 본 연구지역의 측정자료는 신뢰도 95%를 포함하는 식을 유도하여 이에 대한 노모그램을 작성하였고, 이로부터 대상지역의 진동허용치를 결정하여 사용가능한 장약량을 결정하였다.

1. 본 연구지역에서 총 140개의 자료를 계측하였는데 95%의 신뢰수준을 갖는 진동식은 다음과 같다.

$$V = 85.25 \left( \frac{D}{W^{1/2}} \right)^{-1.219}, \quad V = 62.98 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.208}$$

2. 종래의 방법과 같이 공저 전색물을 사용하지 않을 때, 그리고 스티로폴, 모래, 톱밥 등을 사용할 때 각각 진동치를 계측하고 이를 자승근과 삼승근으로 환산하여 진동식을 결정후 비교해 본 결과 서로 상당한 차이를 보이고 있음을 확인 하였다. 본 연구에서는 공저 전색물을 사용하지 않을 때 보다는 사용하는 경우 진동이 감소되며, 전색물의 종류에 따라 서로 차이를 보인다. 즉 진동치의 크기는 다음의 순서이다. 톱밥 < 모래 < 스티로폴 < 종래방법. 이와 같은 현상은 폭약의 위력을 감소 시키는 완충효과에 기인한 것으로 추정되며 앞으로 보다 많은 연구가 요망된다.

## 사 사

본 연구는 1995년도 조선대학교 학술연구비로 수행되었습니다. 학교측에 감사의 말씀을 드립니다.

## 참 고 문 헌

1. 伊藤一郎, 發破にともなう振動, 騒音, 飛石に連する諸問題, 工業火藥協會誌, Vol. 34, No. 1, 4-21, 1974.
2. Lagerfors. U, Kihlstrom. B, The modern technique of Rock Blasting, 3rded., John Wiley & Sons, pp. 258-293, 1978.
3. Siskind. D.E, Stagg, M.S, Kopp, J.W. & dowing C.H., Structure response and damage produced by ground vibration from surface mine blasting, USBM RI 8507, pp. 74, 1980.
4. K.-G. Hinzen, Modeling of Blast Vibrations, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr., Vol. 25, No. 6, 439-446, 1988.
5. Stig O. Olofsson, Applied explosives technology for construction and mining, 2rded., Swedn, pp. 201-210, 1990.
6. 김재극, "진색물이 암석발파에 미치는 영향", 「광산학회지」, Vol. 1, 77-84, 1964.
7. 김응수 · 교본청, "암석발파에 있어서의 표준장약량 산정에 관한 연구", 「대한광산학회지」, Vol. 13, 13-14, 1977.

8. 김재극·장원일, “노천굴 발파장에서 장약의 위치가 파쇄에 미치는 영향에 관한 모델 연구”, 「대한광산학회지」, Vol. 17, 190-197, 1980.
9. 김영달, “노천굴 장공계단발파에 있어서 파쇄입도의 조절에 관한 연구”, 「대한광산학회지」, Vol. 18, 195, 1981.
10. 이경운·김민규, “석회석 채석장의 대규모 발파에 대한 발파진동”, 「대한광산학회지」, Vol. 24, 326, 1987.
11. 양형식·주재성, “노천굴 발파의 진동특성과 입지상수 결정에 관한 연구”, 「한국자원공학회지」, Vol. 27, 316-323, 1990.
12. 김대상·이정인·이희근, “발파진동의 속도 및 주파수를 고려한 허용 진동치결정에 관한 연구”, 「한국자원공학회지」, Vol. 28, 444-455, 1991.
13. 양형식, “지표발파의 진동특성에 관한 기초연구”, 「한국암반역학회지」, Vol. 2, 203, 1992.
14. 이정인, “발파진동, 발파풍압 및 비석의 조절을 통한 안전발파”, 「대한토목학회지」, Vol. 41, 99-116, 1993.
15. 임한욱, “건설 현장에서의 특수발파”, 「대한토목학회지」, Vol. 41, 138, 1993.
16. 김일중·김영석, “발파진동 예측식을 이용한 안전장약량 산정문제에 관하여”, 「한국암반공학회지」, Vol. 5, 89-94, 1995.
17. 김일중, “다이내마이트와 미진동파쇄기 발파에 의한 지반진동속도 비교”, 「한국암반공학회」, Vol. 6, 39-47, 1996.
18. 신일재, “암반내의 인공방진균열이 발파진동감소에 미치는 영향”, 「서울대학교 석사학위 논문」, 1994.
19. 김종인, “노천 발파에서 비전기식 뇌관의 시간차가 진동에 미치는 영향”, 「조선대학교 석사학위 논문」, 1995.
20. 원연호, “주요시설물 인접지역의 깊은 터파기 굴착에서 변위 및 응력의 예측과 응용”, 「강원대학교 석사학위 논문」, 12, 1996.
21. 임한욱외, “암발파 설계기법에 관한 연구”, 「한국토지개발공사」, 247-253, 1993.
22. 강수현, “제주의 오름”, 「서울:대왕사」, 43-46, 1996.