

## 구조물 및 시설물 인접 구릉지의 암반굴착 발파설계

류창하<sup>1)</sup> · 선우춘<sup>1)</sup> · 신희순<sup>1)</sup> · 정소길<sup>2)</sup> · 최병희<sup>3)</sup>

### Blast Design of Hilly Rock Excavation Adjacent to Structures and Facilities

Chang-Ha Ryu, Chun Sunwoo, Hee-Soon Shin,  
So-Keul Chung and Byung-Hee Choi

#### ABSTRACT

This paper concerns the design of blasts adjacent to structures and facilities. In order to investigate the site characteristics, measurements of in-situ wave propagation and laboratory tests of rock cores taken from the boreholes were carried out. Effects of rock media and delay intervals on ground vibration levels were identified from over sixty measurements of three times of test blasts. For practical use in the field, an empirical propagation equation was derived so as to reflect the characteristics of rock media and delay effects. Safe limits of vibration level for structures were conservatively established based on various suggested criteria. Safe limits for facilities were adopted so that vibration levels induced by blasting should not exceed the allowable limits specified in the manufacturer's installation condition. Suggested were blast pattern and operation to enhance the rock fracturing and to reduce the ground vibration levels under the restricted conditions.

#### 1. 서 론

S시는 주택건설을 위하여 20여만평 규모의 부지조성을 위한 택지개발사업을 전개하고 있다. 대상지역은 대부분 구릉지 형태의 지형으로 구획정리사업이 본격화 됨에 따라 풍화암을 포함한 리핑가능한 부분에 대한 절토작업이 거의 완료되고 리핑방법을 적용하기 어려운 암반굴착을 위하여 화약발파를 이용한 암발파작업이 요구되고 있으나 인접한 지역에 주요 구조물들과 진동에 민감한 시설물들이 있어 발파작업으로 인한 지반진동의 영향문제가 매우 심각한 지역이다. 주거용 건물 등 일반 구조물에 대한 발파진동의 허용수준은 국내의 경우 미흡하지만 지하철 공사시 마련되었던 기준을 적용하고 있는 것이 상례로 되어 있으나 시설물에 대한 기준은 마련되어 있지 않다.

시설물의 경우 종류가 다양하고 진동에 대한 반응특성과 시설물의 작동에 미치는 영향이 다르게 나타나므로 일반적인 허용기준을 마련한다는 것은 용이하지 않다. 외국의 경우 터빈과 같은 회전식 기계의 베어링이나 축에 대한 진동의 영향이나 일부 전자, 전기장비에 대한 진동의 영향 및 허용기준이 제시되어 있기도 하나 시설물 형태에 따른 일반적인 허용기준은 없다.<sup>1)</sup> 대상지역의 주요 시설물 중에는 반도체 관련 장비로서 micron/sec 단위의 허용수준을 요구하는 진동에 매우 민감한 시설물이 포함되어 있으며 발파진동으로 인한 오동작 등의 문제가 발생할 경우 제품의 품질은 물론 전 작업공정에 미치는 영향이 심할 것으로 예상될 뿐만 아니라 피해여부 문제로서 설계, 시공회사나 관련회사측 사이에 분쟁이 발생할 우려가 내재되어 있다.

\* 1994년 4월 22일 접수

- 1) 정희원, 한국자원연구소 자원개발연구부 선임연구원
- 2) 정희원, 한국자원연구소 자원개발연구부 책임연구원
- 3) 정희원, 한국자원연구소 자원개발연구부 연구원

본 연구는 발파진동에 의한 인근 주요 건물 및 시설물에 미치는 영향여부를 사전에 검토하고, 발파진동 피해를 예방할 수 있는 적정 화약발파 설계를 위한 기준의 마련과, 발파진동 감소방안 및 발파 대안책으로서의 암반굴착방법을 도출하기 위한 목적으로 수행되었다.

## 2. 대상지역의 암반특성조사

Fig. 1과 Fig. 2는 대상지역의 주요 구조물의 위치와 3차원 지형도를 보여 준다.

발파진동은 매질인 암반의 특성에 큰 영향을 받으므로 대상지역의 암반을 이해하는 것은 매우 중요한 일이다. 암반의 특성을 평가하기 위하여 시추자료의 검토, 시추코아에 대한 실험실 물성실험, 현지 탄성파속도 측정 등을 실시하였다. Table 1은 시추공에서 채취한 암석에 대한 물리적, 역학적 시험결과 중 탄성과 속도와 압축강도를 토대로 건설부 표준품셈을 이용하여 실시한 암분류 결과이다. Table에서 보는 바와 같이 대상지역의 암반은 풍화암에서 경암까지 분류되고 있다.

암석의 취성이나 발파에 대한 파쇄능률을 나타내는

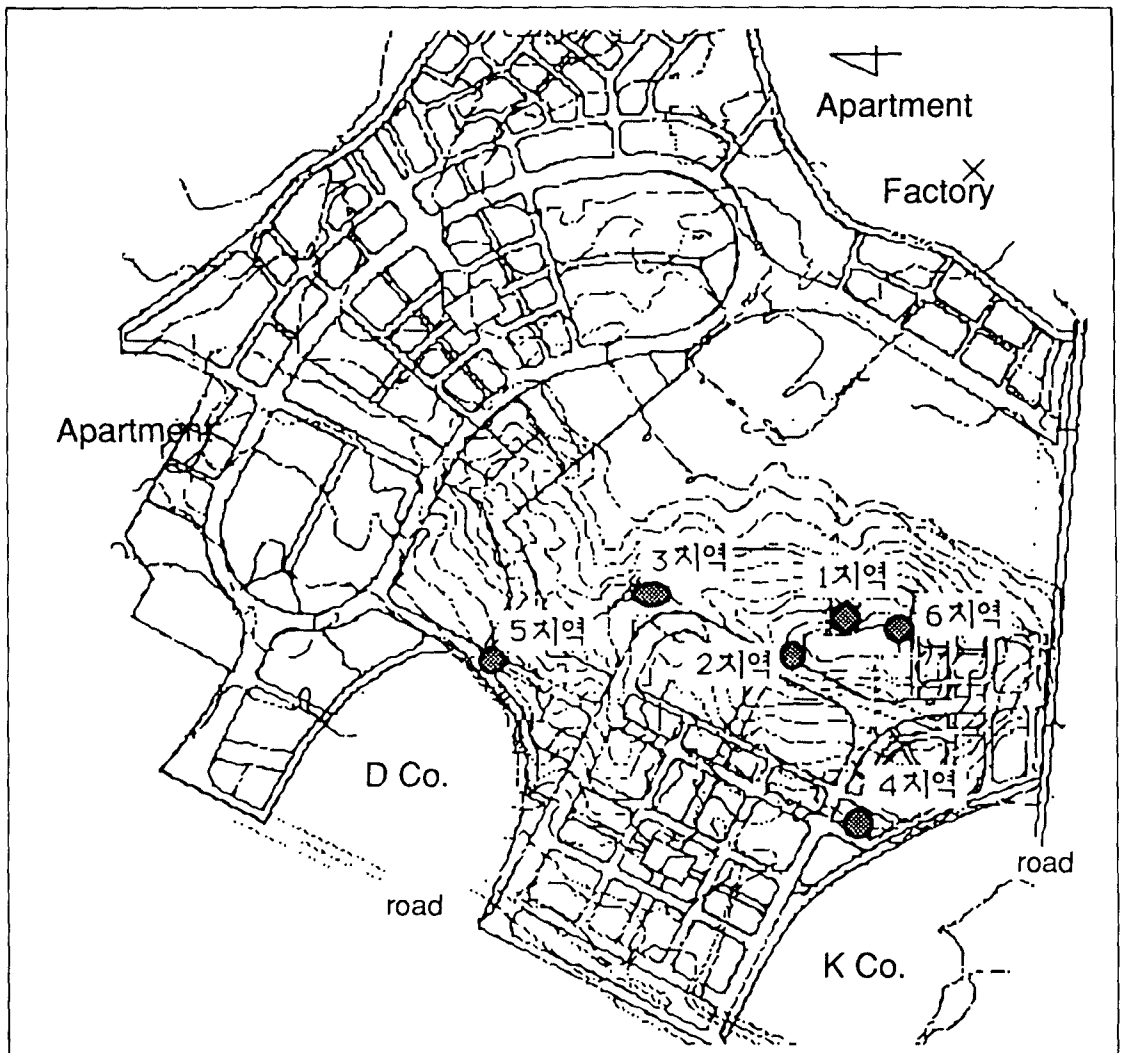


Fig. 1. Area to be excavated and structures.

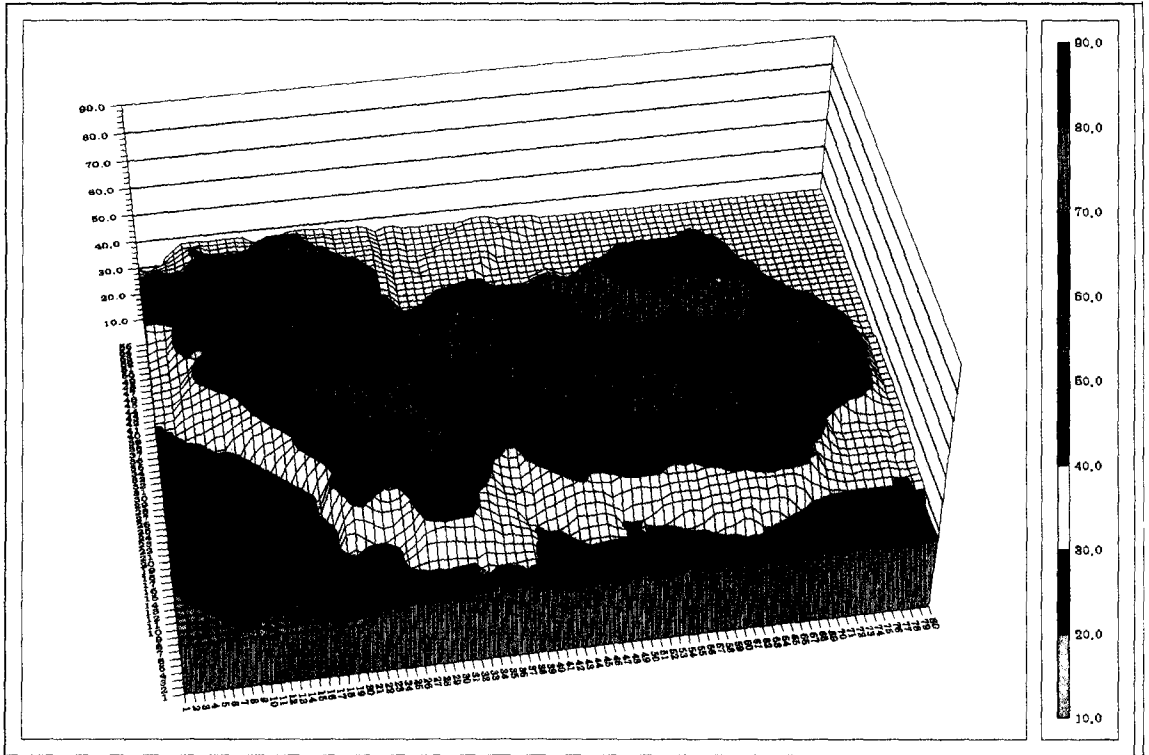


Fig. 2. 3-dimensional topography.

지수로서 단축압축 강도에 대한 인장강도의 비( $s_v/s_t$ ) 인 취성도가 사용되고 있는데 시험결과 대상지역 암석의 취성도는 6~25로 넓은 범위의 변화를 보이는 경향이 있으며 BH3 시추공의 20 m 이내 심도의 암석은 20~25로서 다른 시추공의 암석에 비해 취성도

가 높게 나타났다.

암반에 대한 리핑작업의 가능여부를 결정하는 가장 많이 사용되고 있는 방법으로 탄성파속도 측정방법이 있다. 암반의 등급구분에 적용되는 탄성파는 종파이며 5개 지점을 선정하여 거리를 다르게 하면서 탄성파

Table 1. Rock Classification by P-wave Velocity and Uniaxial Compressive Strength

| Borehole Number | Depth (m) | Classification by P-wave Velocity |                | Classification by Compressive Strength         |                |
|-----------------|-----------|-----------------------------------|----------------|--|----------------|
|                 |           | P-wave Vel. (m/sec)               | Classification | Uni. Compressive Strength(kg/cm <sup>2</sup> ) | Classification |
| BH1             | 7.4~8.2   | 3,760                             | Medium Rock    | 250  | Residual Soil  |
|                 | 11~14     | 4,360                             | 〃              | 630  | Medium Rock    |
| BH2             | 3~4       | 2,630                             | Weathered Rock | 190  | Residual Soil  |
|                 | 5~6       | 4,610                             | Medium Rock    | 580  | Weathered Rock |
| BH3             | 4.2~5.8   | 3,390                             | Weak Rock      | 750  | Weak Rock      |
|                 | 17~18.5   | 4,750                             | Hard Rock      | 1,310  | Hard Rock      |
|                 | 30        | 4,620                             | Medium Rock    | 880  | Weak Rock      |
| BH4             | 8.9~10.9  | 3,990                             | 〃              | 340  | Weathered Rock |
| BH5             | 8~10      | 4,600                             | 〃              | —  | —              |
|                 | 19~20     | 4,530                             | 〃              | —  | —              |

Table 2. Field Measurement of P-wave Propagation

| Area | Rock     | Distance from Source to Sensor(m) | Elapsed Time (m/sec) | Wave Vel. (m/sec) | Remarks          |
|------|----------|-----------------------------------|----------------------|-------------------|------------------|
| 1    | Granite  | 1                                 | 2.15                 | 640               |                  |
|      |          | 3                                 | 7.98                 |                   |                  |
|      |          | 10                                | 16.58                |                   |                  |
| 2    | Granite  | 1                                 | 1.94                 | 690               |                  |
|      |          | 3                                 | 5.36                 |                   |                  |
|      |          | 10                                | 15.20                |                   |                  |
| 2    | Andesite | 1                                 | 0.85                 | 2,330             | 20 m from area 1 |
|      |          | 3.12                              | 0.21                 |                   |                  |
|      |          | 10                                | 0.478                |                   |                  |
| 3    | Granite  | 2                                 | 0.113                | 1,090             | Rock slope 40°   |
|      |          | 3                                 | 0.221                |                   |                  |
|      |          | 4                                 | 0.297                |                   |                  |
|      |          | 6.3                               | 0.538                |                   |                  |
| 3    | Granite  | 2                                 | 0.175                | 1,770             | Rock slope 10°   |
|      |          | 3                                 | 0.243                |                   |                  |
|      |          | 6                                 | 0.404                |                   |                  |

속도를 3번 측정하고 그 평균값을 현지 탄성파의 전파속도로 정하였다. 계측기는 미국 Bison사의 1 Channel Signal Enhancement Seismograph(Model 1570 C)를 사용하였다. Table 2는 조사지역 현장암반의 탄성파 전파속도 측정 결과이다.

1지구 발파지점 인근 10 m 구간의 화강암층에서 측정된 탄성파속도는 640 m/sec로 건설부 표준품셈 암분류 기준에 따르면 풍화암에 속하는데 리핑이 가능한 암반등급에 분류된다. 2지구의 발파지역에서 50 m 떨어진 지점 10 m 구간의 화강암층에서 측정한 결과는 탄성파속도가 690 m/sec로 1지구의 경우와 마찬가지로 풍화암에 속하고 있으며 리핑이 가능하다. 2지구 발파지점에서 20 m 떨어진 안산암층에 대하여 측정한 탄성파속도는 2,330 m/sec로 타 지역보다 월등히 빠른 탄성파속도를 보였는데 암 분류상으로는 보통암 등급에 속하였다. 리핑작업이 곤란하고 발파에 의한 절토작업을 해야 할 구간이다. 3지구 경사 40도의 노출된 암반의 6.3 m 구간의 화강암층에서 측정한 탄성파속도는 1,090 m/sec로 풍화암에 속하는데 이구간의 강도측정에 의하면 단축압축강도가 600~900 kg/cm<sup>2</sup>였다. 탄성파속도와 압축강도를 기준으로 판단하면 이 구간에서는 리핑작업이 곤란하고 발파작업이 요구된다. 이 점에서 20여m 떨어진 경사 10

도의 바닥에 노출된 풍화된 화강암 암반에서는 6 m 구간에서 측정하였는데 탄성파속도가 1,770 m/sec로 연암 등급에 속하고 동일 구간에서 측정한 단축압축강도는 220~370 kg/cm<sup>2</sup>로 리핑작업이 가능한 지점이다.

측정자료를 종합하여 보면 대상지역의 암반은 풍화토에서 경암까지 분류될 수 있으며 비교적 암질의 변화가 큰 것으로 나타났다. 시추주상도에 나타난 지표 5 m 이하 심도의 보통암에 대해서는 리핑이 어렵고 대부분 발파에 의한 절취작업이 필요할 것으로 판단되었다.

시험발파의 위치 및 측정지점은 발파원과 전파경로가 상기의 암반특성이 반영되어 측정자료가 어느 한 국부적인 부분만이 대표되지 않도록 선정하였다.

### 3. 발파진동에 의한 영향평가 및 허용수준 설정

#### 3.1 주요 구조물에 대한 허용수준의 설정

택지개발지구 근처에 위치한 구조물들로는 K, D사의 주요 설비가 있는 산업건물, 아파트 건물 및 주택, 상가 건물들과 철거예정인 가옥들로서 건물들의 상태를 파악하기 위하여 건물외부 및 내부의 균열들을

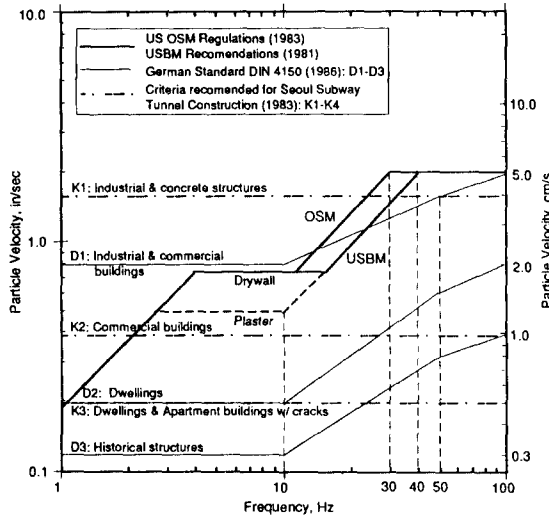


Fig. 3. Safe Levels Suggested by Various Organizations.

(\*K4: Historical structures, 0.2 cm/s-not shown on the figure)

조사하였다. 구조물의 발파진동에 대한 국내 허용기준은 아직 미흡하고 통상 적용하고 있는 수치에 대한 근거와 타당성에 대해 많은 논란이 있어 향후 국내 구조물에 적합한 기준의 마련과 제도화가 절실히 요구되고 있는 실정이나 이를 위하여는 많은 자료의 축적과 시간이 필요할 것이다. 본 연구에서 허용기준의 채택은 국내 지하철 공사시 통상 적용하고 있는 건물 형태에 따른 허용기준과 독일 표준서 DIN4150의 기준, 미국 광무국 및 노천채광국에서 제안한 허용기준을 고려하여 결정하였다.<sup>2,3)</sup> Fig. 3은 각 허용기준을 종합하여 도시한 결과이다. 그림에서 볼 수 있듯이 각 기관에서 제안하고 있는 허용기준은 차이를 보이고 있으며 같은 형태의 구조물이라도 주파수 대역에 따라서 허용기준을 달리 적용할 수 있으나 가장 엄격한 수준으로 균열이 있는 주거거육에 대해 0.5 cm/sec의 수치를 채택할 수 있다.

### 3.2 주요 시설물에 대한 허용수준의 설정

대상 지역의 주요 시설물로는 각종 기계류, 컴퓨터류, 계측기류 등 매우 다양하며 진동에 대한 영향도 다양하게 나타날 수 있다. 터빈과 같은 회전식 기계들은 인접지역에서의 발파작업시 발파진동에 의한 베어링의 손상을 유발할 수 있으며 허용진동수준의

1차적인 추정은 기계자체에서 유발되는 연속적인 축진동의 표준 허용한계로부터 구할 수 있다. 즉 발파진동의 최소 허용치는 제조회사의 자체유발진동 한계를 넘지 않아야 한다. 전기, 전자장비에 대한 진동 허용 수준의 기준으로는 미국의 군사표준서가 있고 일반 표준서로서 IEC(International Electrical Commission)와 IEEE(Institute of Electrical and Electronics Engineers)의 기준이 있으나 시설물의 종류가 다양하고 진동에 대한 반응특성과 시설물의 작동에 미치는 영향이 다양하게 나타나므로 일반적으로 적용할 수 있는 허용기준은 찾아보기 어렵다.

본 연구에서 주요 장비류에 대한 발파진동의 영향은 각 제작회사로부터의 장비에 대한 특성자료와 사양서를 분석하여 평가하였다.<sup>4)</sup> 장비류에 대한 발파진동의 영향을 평가하는데 있어서 발파진동은 일회적인 진동이므로 대부분의 장비 사양서에서 대상으로 하고 있는 주기적인 진동에 비해 장비에 미치는 영향이 작을 것으로 예상되지만 발파설계는 최대 진동수준이 사양서의 진동수준을 넘어서지 않는 것을 기본 원칙으로 하였다. 주파수 대역 및 진폭으로 규정된 기준은 속도치로 환산하여 비교하였고 허용수준의 설정은 장비류중 가장 민감한 장비에 대한 진동속도치로 하였다. 구체적인 허용기준이 명시되어 있지 않은 컴퓨터류, 계측기류, NETWORK 등은 외국의 규격서 또는 표준서에 제시되어 있거나 기계류 및 전기, 전자장비에 대한 허용수준 제안치와 구조물에 대해 가장 엄격한 진동수준인 유적이거나 고적등의 문화재와 컴퓨터 시설물에 대한 허용진동수준과를 비교하여 낮은 수준을 허용수준으로 설정하도록 하였다.

진동에 민감한 장비 중 주사현미경(Scanning Electron Microscope)은 장비를 설치한 바닥 진동의 허용진폭이 주파수 10 Hz의 진동에 대해  $5 \times 10^{-6}$  m이며 주파수 50 Hz의 진동에 대해서는  $7 \times 10^{-6}$  m이다. 이 수치를 입자속도로 환산하면 0.22 cm/sec에 해당하고 주파수 30 Hz의 진동에 대한 허용수준은 내삽법으로 계산하면 약 0.113 cm/sec의 속도에 해당한다. 가장 민감한 장비로는 전자 빔 장비로서 8~100 Hz의 진동에 대해 25 micron/sec의 속도 실효치를 허용수준으로 하고 있으며 200 Hz 이상의 주파수 대역에 대해서는 심각한 영향을 받지 않는 것으로 명기되어 있으나 800 Hz까지 100 micron/sec의 속도 실효치를 넘지 않을 것을 제안하고 있다.

### 3.3 발파설계기준

기초내진 설계가 되어 있거나 또는 완충장치를 사용하는 경우에도 이러한 시설들이 외부로부터의 진동을 어느 정도 차단 또는 감쇠시킬 수 있는지의 수치가 정량적으로 표시되어 있지 않으므로 기계 기초 및 건물 바닥에 정밀도가 높은 진동가속도계를 설치하여 1차적으로 장비가 설치되어 있는 건물 바닥의 진동수준을 계측하고 진동이 감지될 경우 바닥의 진동을 trigger signal로 하여 기계 기초에 전달되는 진동을 계측한 후 전달되는 진동수준이 설정된 허용수준을 넘어서지 않는 것을 설계기본으로 하였다.

## 4. 현장계측 및 결과분석

### 4.1 측정장비 및 측정방법

본 연구에 사용된 계측장비는 발파진동 전용 측정 장비인 Geosonics사의 SSU2000DK seismograph 2대와 microseismograph 3대, B&K 진동 가속도계 8318과 4321 및 signal conditioning system 등이며 지반진동과 건물내에서 주요 시설물이 기초한 바닥의 진동수준을 계측하였다. 기계 기초의 진동 또는 기계가 설치되어 있는 구조물의 바닥 진동의 계측은 일반 발파진동 계측기기를 사용하여 측정할 수 있는 수준을 넘어선 정밀도를 필요로 하므로 정밀도가 높은 압전 재료를 이용한 진동 가속도계를 사용하였다. 진동파형은 디지털 스토리지 오실로스코프를 사용하여 계측하고 컴퓨터로 전송한 후 분석하였다. 진동계의 부착은 구조물 바닥이나 기계의 경우 양면 테이프를 이용하여 표면에 부착하였고 지반의 경우에는 지반에 꽂을 수 있는 스파이크를 제작하여 가속도계에 부착한 후 설치하였다.

### 4.2 시험발파지점 및 계측지점의 선택

발파에 의한 지반진동의 수준에 영향을 주는 변수들중 대상지역에서 특별히 고려하여야 할 변수들을 세분하여 살펴보면, 1차적으로 폭약류의 선택과, 파괴대상 암반 즉 장약을 한 부분의 암반조건에 영향, 지반진동의 전파경로 등을 들 수 있다. 시험발파의 목적은 암반굴착을 위한 본격적인 발파작업을 실시하기 전에, 일련의 사전 발파작업 및 발파진동 계측을 통하여 사용 화약의 종류, 화약량 및 발파패턴이 지반진동에 미치는 영향과 대상지역의 암반조건에 따른

진동감쇠 특성, 진동주파수 특성 등 지반진동의 전파특성을 조사하고 주위 주요 시설물에 대한 영향평가 및 발파설계를 위한 기초자료를 구하는 데 있다. 발파대상 암반이 연암, 보통암, 경암인가에 따라 암반을 파쇄하는데 사용되는 에너지와 암반중에 탄성파의 형태로 전달되는 에너지의 비율이 달라지며 또한 암반에 발달해 있는 절리 등 구조적 특성 역시 파쇄도 및 진동수준에 큰 영향을 미친다. 대상지역에서의 암반 물성을 측정된 결과를 보면 연암에서 경암까지 다양하게 분포하고 있어 지반진동 전파특성을 대표할 수 있는 관계식을 유도하기 위해서 여러 장소를 선정하여 발파지점을 변화시키고, 장약량의 조절과 폭원으로부터의 거리를 조절하여 발파위치, 장약량 및 측정위치의 변화를 충분히 반영할 수 있도록 하였다. 폭약은 다이내마이트보다 강도가 약간 낮은 함수폭약을 사용하고 조건을 변화시켜 가며 3차례의 시험 발파를 실시하여 60회 이상의 지반진동을 측정하였다. 1차 시험은 연암 및 보통암지역에서 실시하였고 1차 시험 결과를 기초로 하여 2차 및 3차 시험발파는 지발시차의 영향과 경암에 대한 발파효과의 분석과 실제 발파수준을 적용하여 시험발파결과의 타당성을

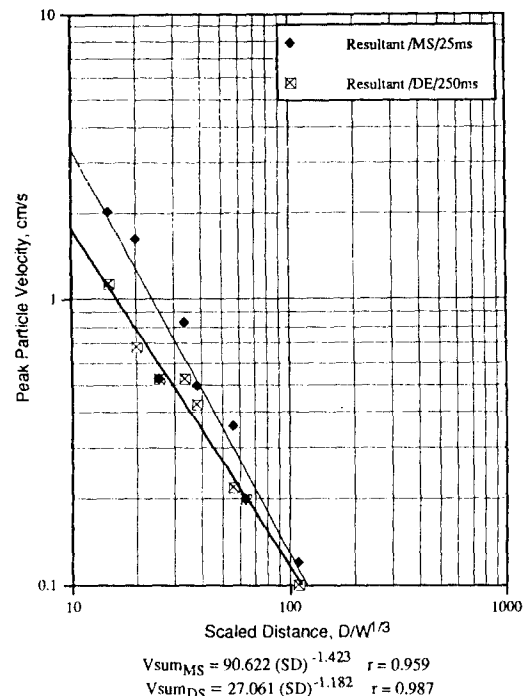


Fig. 4. Peak Particle Velocity vs. Scaled Distance.

검토하였다. 발파지점은 6개의 지역을 선택하였고 지반진동 측정위치는 폭원으로 부터 인접한 15 m 거리로부터 150 m 거리까지 분포하였다.

시험발파 패턴은 1차 시험에서는 1, 2, 3지역에 총 12개공을 천공하여 장약량을 125 g에서 375 g까지 변화시켜 가며 1개공씩 순발로 발파되도록 하였다. 천공직경은 35 mm, 공깊이는 1.4~1.6 m로 하고 직경 28 mm, 길이 390 mm의 함수폭약 (K-300, 250 g/개)을 장약하고 암분으로 전색하였다. 2차 시험발파에서는 지발시차의 영향을 보기 위하여 1, 2, 3지역에 총 30개공을 천공하여 250 ms 및 25 ms 지발너관을 사용하여 시차를 두어 발파시켰다. 장약량은 500 g에서 1 kg까지 변화시키고 2개공 동시 발파시 공간격은 1~1.5 m로 하였다. 3차 시험발파에서는 구조물에 인접한 100 m 이내의 거리에서 실제 암반굴착시 적용할 장약량에 기준하여 주어진 거리에 대한 지발당 1.5 kg의 장약량으로 발파를 실시하였고 6지역에서는 경암에서의 발파효과를 보기 위해 경암이 노출되도록 굴착한 후 250 ms 및 25 ms 지발너관을 사용하여 지발발파를 실시하였다.

#### 4.3 지반진동 계측결과

진동계측자료로부터 암반의 영향, 지발시차의 영향 등이 분석되었고 진동전파경향은 회귀분석을 통하여

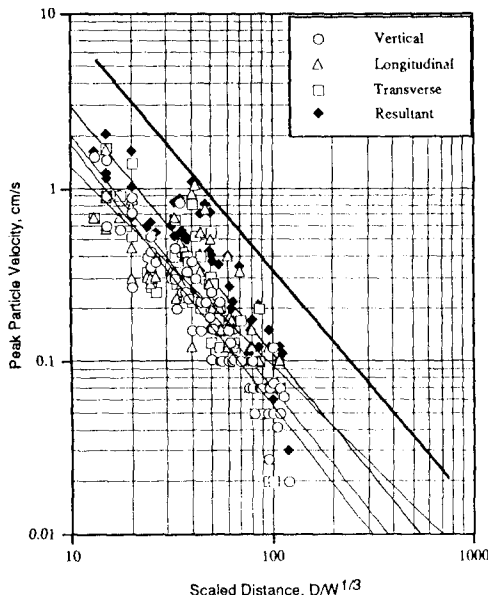


Fig. 5. Peak Particle Velocity vs. Scaled Distance.

유도하였다. 측정자료들의 회귀분석 결과는 세계급근 환산과 제곱근 환산의 경우 큰 차이는 없으나 적합도가 약간 더 높은 세계급근 환산방법으로 측정자료의 대표식을 표시하였다.

Fig. 4는 25 ms 지발간격 및 250 ms 지발간격에 대한 환산거리별 진동수준을 도시한 결과이다. 일반적으로 MS 지발발파의 효과는 진동수준의 감소와 파쇄효과의 증대를 가져오는 것으로 알려져 있으나 1차 시험발파의 순발발파에서 측정된 발파진동과의 진동지속시간은 약 100~200 ms으로 나타났으며 따라서 25 ms의 시차는 진동수준의 증폭 또는 감쇠효과를 가져올 수 있는 것을 의미한다. 그림에서 지발시차의 영향을 확인할 수 있다. Fig. 5는 대상지역에서 측정된 최대 진동속도치를 세계급근 환산에 대해 도시한 결과를 보여준다.

## 5. 발파설계

### 5.1 사용 화약량의 한계 결정

사용 화약량의 한계를 결정하기 위하여 3차에 걸친 시험발파를 실시하여 대상지역에서 진동수준을 예측하기 위한 식으로써 예상평균 진동수준과 예상최대 진동수준에 대한 예측식을 도출하였다. 예측식은 암종별, 발파방법별로 구분하여 유도할 수도 있으나 현장에서의 활용면에서 비효율적이므로 실용적인 면을 고려하여 암반과 지발시차 영향을 별도로 구분하지 않고 예측식에 그 영향들이 포함되도록 보수적으로 처리하였다.

사용 장약량 및 거리에 따른 진동수준 평균은 진동성분의 벡터합을 처리한 식인 다음 식으로 예측할 수 있다. 상관계수는 0.89로 나타났다.

$$V_{ave} = 79.57 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.424}$$

그러나 안전문제를 고려하여 대상지역에서의 설계에 이용할 예측식은 모든 측정자료를 포함하는 다음 식을 이용하여 진동 상한값을 예측하였다.

$$V_{max} = 220.3 \left( \frac{D}{W^{1/3}} \right)^{-1.424}$$

상기의 식들을 이용하여 허용기준을 만족시킬 수

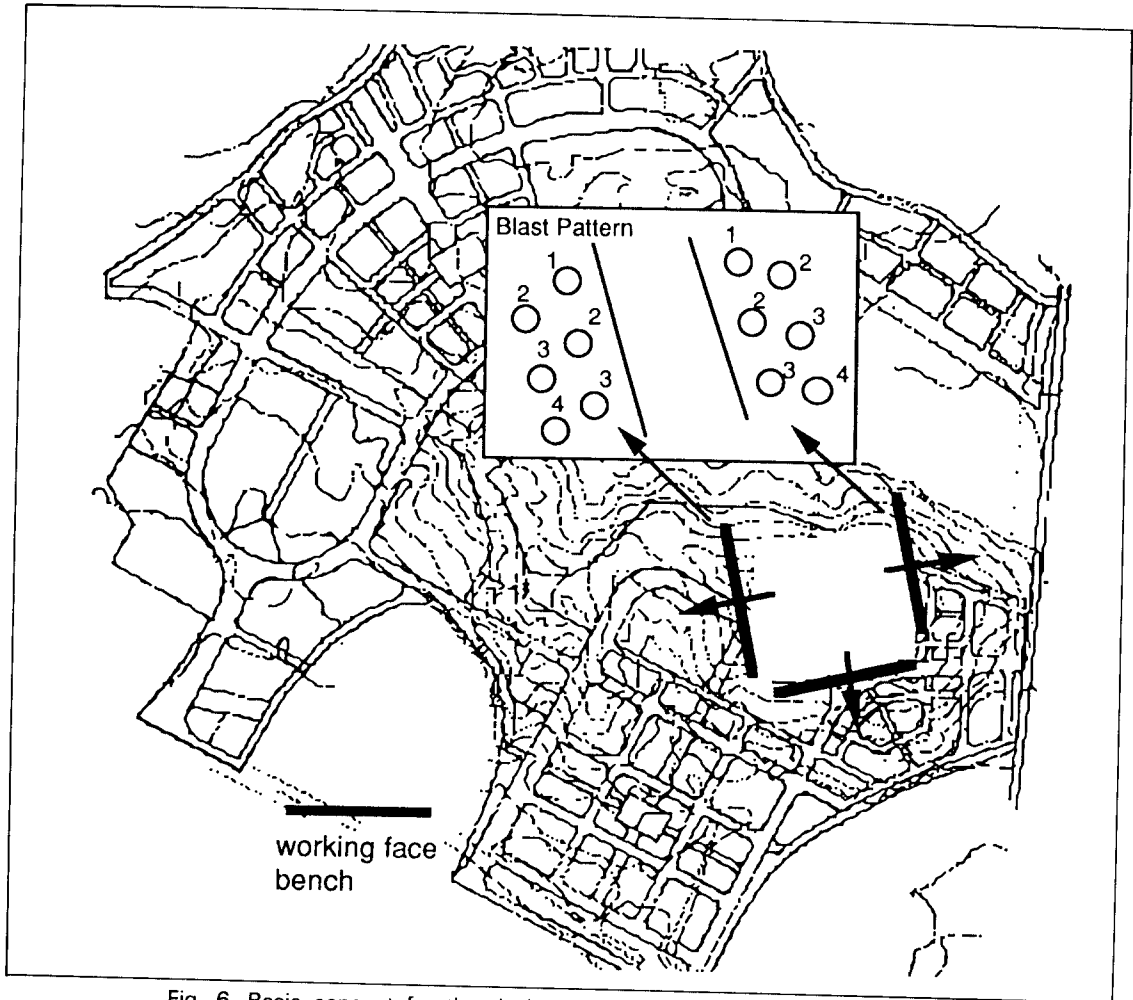


Fig. 6. Basic concept for the design of working faces and blast pattern.

있는 장약량, 안전거리를 산출할 수 있으며 현장에서의 용이한 활용을 위하여 발파지점으로 부터의 거리, 사용화약량, 예상 진동치를 표로 볼 수 있도록 작성하여 사용하는 것이 편리하다.

허용진동수준은 상기에 기술한 발파진동이 구조물 및 시설물에 미치는 영향을 분석한 결과로부터 설정하였고 본격적인 암반굴착을 위한 발파작업이 시작될 때 지반에서의 진동계측치로 구조물 및 시설물에 대한 허용수준을 평가할 수 있도록 허용수준을 도출하였다. 진동에 가장 민감한 전자 빔 장비의 경우 폭원에서 약 110 m 거리의 지반진동 수준이 0.1~0.15 cm/sec로 측정될 때 150 m 떨어진 건물 내부의 기계기초에서 진동수준이 허용기준 이하로 측정되어 이 때의 지반진동 수준을 시설물에 대한 설계기준으로 채택하였다.

## 5.2 발파패턴 및 작업장의 형성

대상지역과 같이 제한된 조건하에서 발파효율의 증대를 위한 방안 중 하나는 자유면을 증대시키는 방법이다. 경암지역에서의 1자유면 시험발파결과는 제한된 장약량으로도 어느 정도의 발파효율을 얻을 수 있는 것으로 나타났으며 벤치를 형성하여 자유면을 증대시킨다면 발파효율의 증대와 함께 진동 감쇠효과도 얻을 수 있는 장점이 있다.

Fig.5는 구릉지 형태의 암반 굴착을 위한 벤치의 형성 및 파쇄암의 비산을 고려한 발파패턴 설계의 기본 개념을 보여준다.

주요구조물 및 시설물에서 100 m 이내로 인접한 지역에서 정상적인 발파작업에 의해 높은 지반진동이 예상될 경우의 굴착방법으로 리핑이 가능할 정도로만



암반에 균열을 발생시키는 선행이완 발파공법과 화약발파 대신에 유압식 할석기를 이용하여 암석괴를 분할하는 방법과 연속천공에 의한 방법 등을 활용할 수 있다.

## 6. 결 론

본 연구는 주요 구조물과 진동에 매우 민감한 시설물이 인접한 지역에서의 암반굴착 작업을 위한 발파설계 기준의 마련과 효율적인 발파공법을 도출하기 위한 목적으로 수행되었다. 전파매질인 암반의 특성을 파악하기 위하여 시추코어에 대한 실험실 물성실험과 현지 탄성파속도 측정 등을 실시한 결과 풍화암에서 경암까지 변화폭이 다양하게 나타났다. 넓지 않은 지역이지만 암질의 변화가 심하고 3차례에 걸쳐 시험발파를 실시한 결과 암질에 따라 진동수준의 차이를 보였으며 특히 지발시차에 따른 증폭효과가 확인되었다. 발파설계를 위한 진동예측식은 현장 적용성을 고려하여 식 자체에 지역적 특성과 발파패턴의 영향이 반영될 수 있도록 유도하였다. 구조물은 형태별로 기존의 제안된 기준에서 보수적인 수치를 허용기준으로 설정하였고 주요 시설물에 대해서는 발파진동수준이 제작회사의 사양서에 규정되어 있는 수준을

넘지 않도록 하는 것을 원칙으로 하였다. 국내 구조물의 허용수준은 여러 문제점들이 제기되고 있어 이에 대한 검토와 주파수 특성을 고려한 응답스펙트럼 개념의 접근방법으로 재조정 작업이 시급한 것으로 사료된다.

발파효율의 증대와 파쇄암의 비산 등으로부터 안전성을 확보할 수 있도록 지형에 적합한 발파패턴이 도출되었고 정상적인 발파가 이루어지기 어려운 근접지역에서의 암반굴착을 위한 보조공법들이 제시되었다.

## 참 고 문 헌

- 1) Harris, C.M. & Crede C.E., 1976, Shock and Vibration Handbook, 2nd ed., McGraw-Hill Book Company.
- 2) Siskind, D.E., Stagg, M.S., Kopp, J.W. and Dowding, C.H., 1981, Structures Response and Damage Produced by Ground Vibrations from Surface Blasting, U.S. Bureau of Mines, RI8507.
- 3) DIN 4150 Teil 3, 1986, Erchütterungen im Bauwesen-Einwirkungen auf bauliche Anlagen.
- 4) Leica, 1981, Provisional Information on the EBML 300, Lica Cambridge Ltd.