

# 건설공사에서 발파作業의 安全를 위한 설계 및 시공방안

On the method of design and works for the safety blasting in the construction works

황 현 주\*

Whang, Hyun Zu

## 1. 머리말

최근 지하철, 도로, 항만, 건축 등의 건설공사에 수반하여 발파 작업이 증가되면서 발파진동, 비산 석, 폭발압등의 발파 공해에 대한 각종 민원과 안전사고의 발생으로 각종 건설공사 진행에 막대한 차질을 가져 왔다.

이에 따라 가능한한 발파 작업을 하지 않는 각종 무진동 굴착 방법을 강구하여 왔으나, 공사기간, 경제성, 효율성 등의 각종 문제점들이 노출되어 효율적 대책이 되지 않았다는 것은 부인할 수 없는 현실이다.

또한 국토의 75% 이상이 산악지역인 현실에서 토지의 효율화와 각종 기반시설을 위한 건설 공사는 급증될 것으로 예상되고 있어 발파 작업에 따른 안전사고와 발파 공해 방지를 위한 기술 개발의 필요성이 증대되고 있다.

따라서 본고는 발파작업에 따른 제도적, 현실적 문제점을 제기하고 합리적 해결방안을 모색함으로써 효율적이고 안전한 발파 작업을 수행할 수 있는 이론적 제시와 수행 사례를 통한 방안을 제시하고자 한다.

## 2. 발파 안전의 구조적인 문제점

### 2.1 발파 설계의 문제점

1) 발파 설계란 발파 예정지역의 인근 현황과 지장물들을 파악하여 발파 공해의 영향을 사전에 분석, 예측하여 발파 영향권 범위에 따라 차별화 된 천공 및 기폭 패턴으로 발파 설계에 반영함으로써 안전한 발파 작업이 수행될 수 있으나, 대부분 정부나 공공기관에서 발주하는 건설공사 조차 발파설계 개념없이 주변 환경이나 지장물 등을 고려하지 않고 단순히 건설표준품셈에 의거 단가산출을 하는 데 지나지 않고 있다.

2) 건설 표준품셈은 정부나 공공기관에서 발주하는 건설공사의 공사비 산출에 기본이 되는데, 이는 60년대 제정되어 거의 변경없이 현재까지 통용되고 있어 현실의 여건에 부합되지 않고 있다.

예를 들어 암석 절취(편절형)의 단가에 기본이 되는 화약량이 연암 0.12kg/m<sup>3</sup>, 보통암 0.16kg/m<sup>3</sup>, 경암 0.20kg/m<sup>3</sup>으로 기준하고 있으나 발파 기술상 이와 같은 화약량으로서 는 암반이 굴찰될 수 없는 적은 양이다. 따라서 현장에서 발파 공해가 많고 안전사고 위험이 높은 비정상적인 발파 방법인 수평발

\* 本學會理事 協勝土建(株) 常務

과 방법(일명 : 수구리 발파)의 수행을 정당화 시켜주고 있는 현실이다. 정상적인 계단 발파시에 적정 화약량은 0.35~0.4kg/m<sup>3</sup>이다.

## 2.2 발파 기술의 문제점

- 1) 화약 발파 기술자는 건설업법에 건설 기술자로 분류되지 않아 건설회사에 채용 의무조항이 없고, 총포, 화약 단속법에 의거 화약류 사용 장소에 임시직으로 취업하는 기능공으로 인식되어져서 발파 공사의 기술 및 안전을 관리하고 지휘할 수 있는 권한과 책임의식 결여로 대형사고를 미연에 방지할 수 있는 제도가 결여되어 있다.
- 2) 터널이나 굴착 작업을 지휘하고 있는 토목 기술자들이 대부분 화약발파에 대한 전문지식 결여로 현장의 몇몇 경험만을 위주로 한 숙련공의 기량에 좌우되고 있는 형편이며, 소위 이론적이거나 학술적인 면에서 우수한 발파기술자가 발파 작업에 깊이 관여하고 있는 경우가 드물다.
- 3) 국내 발파기술이 광산분야에서 주로 사용되어 왔으나 최근에는 국내 화약량의 80% 이상을 건설분야에서 사용하고 있으며, 산악지형으로 형성된 국내 건설 여건상 발파기술개발이 절실하게 요구되고 있으나, 건설관련 국가기관에서 화약 발파를 전문적으로 연구하는 기관은 물론 기술을 관리하는 관련 기술자도 거의 없는 상태이다.

## 2.3 제도상의 문제점

- 1) 건설공사 현장에서 현실적으로 법적 화약기사만 채용하고 폭약의 장약 및 취급은 일반 인부들이 하고 있어 취급상의 전문 기술 부족으로 안전사고의 위험이 높으며, 이들에 대한 신분상의 검증절차 없이 채용하고 있는

현실에서, 도난 및 분실로 인한 대형범죄로 이용될 수 있는 가능성이 있다.

- 2) 환경공해에 대한 지역주민들의 인식도가 높아지고 집단이기주의가 심화되고 있으나, 발파 진동에 대한 기준치 설정이 되어 있지 않아, 발파작업시 주민들의 민원에 대처하기가 곤란하다.
- 3) 화약 발파의 허가 관청인 경찰청의 경찰관들이 전문성 부족으로 안전하고 효율적인 감독이 미흡하다.
- 4) 발주관청의 감독 및 감리자들이 전문성의 결여로 인하여 효율적인 공사관리 및 감독이 미흡하다.

## 3. 발파 비산의 안전대책

### 3.1 발파 비산석의 발생원인

발파시 암석이 불규칙하게 튀어나가는 것을 비산이라고 하며, 주변 구조물 및 인명 살상을 초래할 수 있으며 사고 발생 빈도는 적으나 사실상 가장 위험한 발파 공해이다.

발파 비산석으로 인한 사고 발생 원인을 분석하면 발파 작업으로 인한 불가피한 사고 보다는, 기본적 발파 기술과 안전수칙을 준수한다면, 미연에 방지할 수 있는 사고가 대부분이었다는 것이 심각성을 더해주고 있다.

노천발파에서의 정상적인 발파 방법은 하향천공에 의한 발파 방법을 선택해야 함이, 발파의 기본 상식이나, 국내 건설현장에서는 전술한 바와 같은 여러가지 문제 때문에 수평 천공에 의한 발파방법(일명 수구리방법)이 정상적인 발파 방법으로 통용되고 있어, 발파사고 증가는 물론, 발파 기술의 후진성을 더해주고 있다.

또한 발파 업자가 천공비, 화약비의 원가 절감 등의 이유로 인하여, 과도한 장약량으로 많은 굴착량을 확보하기 위한 발파 방법의 선택이 가장 큰

문제점으로 지적할 수 있다.

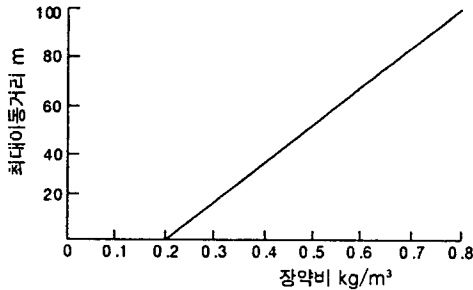
발파 비산석의 발생원인은 크게 다음과 같이 분류할 수 있다.

- 1) 단층, 균열, 연약면 등에 의한 암석의 강도 저하
- 2) 천공 오차로 인한 국부적인 장약공의 집중현상
- 3) 점화순서 착오에 의한 지나친 지발시간
- 4) 과다한 장약량
- 5) 전색 불량

### 3.2 발파 비산석의 기술적 사항

#### 1) 비산과 장약비의 관계

시험 결과에 의한면 BENCH 발파에서 발파석 이동은 장약비(SPECIFIC CHARGE)와 깊은 관련이 있으며 아래와 같은 함수 관계가 형성된다.



즉, 0.2kg/m³의 장약비는 암석을 앞으로 이동시키지 못하고, 오직 균열만 발생시키며, 0.4kg/m³에서는 암석을 20~30m 이동시킬 수 있다.

#### 2) 비산과 발파공의 직경

비산석의 최대 비산거리는 발파공 직경의 함수관계이다.

$$L_{\max} = 260 \left( \frac{d}{25} \right)^{2/3}$$

$L_{\max}$  : 최대 비산거리(m)

$d$  : 발파공의 직경(mm)

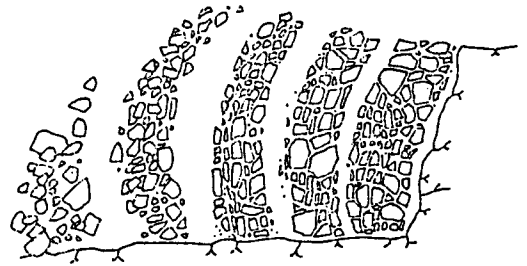
#### 3) 비산과 뇌관의 기폭방법

- (1) 부적절한 기폭 순서는 너무 큰 저항선의 결과가 초래하여 발파에서 발생하는 가스들이 암석을 파괴하지 못하고 발파공 입구에 분출되

면서 비산의 원인이 된다.

- (2) 발파공 사이의 시간차가 너무 길 때는, 앞열의 파쇄 암석이 방호 역할을 할 수 없어, 비석이 발생한다. 따라서 완벽한 방호 역할을 할 수 있는 기폭설계 방법은 대구경 발파공에 높은 계단발파를 할 때는 약간 긴 단차의 뇌관을 이용해야 하며, 낮은 계단과 짧은 저항선을 계단 발파나, 바닥 고르기 발파에서는 짧은 단차의 뇌관을 이용해야 한다.

경험적으로 저항선이 2m 이하이며 계단의 높이가 10m 이하의 발파에서는 100ms(0.1sec)를 넘으면 비석이 발생된다.



정상적 기폭 시간차일때 파쇄형상

- (3) 발파공 내에 뇌관이 삽입된 전폭약의 장전 위치에 따라 발파공에서 가장 바깥쪽에 두는 정기폭과 안쪽 끝에 두는 역기폭 방법으로 분류되는데, 각종 연구 결과 정기폭 방법이 발파 위력은 크나 비석의 발생 빈도가 높다.

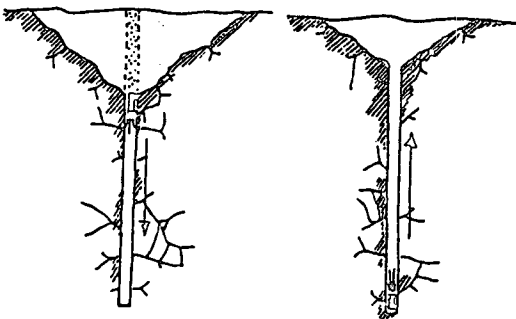
### 3.3 발파 비산방지 대책

- 1) 노천 발파시 수평 천공에 의한 발파 방법을 금한다.

○ 수평 발파 방법은 상단에 많은 구속하중을 파괴하기 위해서는 부분적으로 집중 천공과 집중 장약으로 하단 부분을 파쇄함으로써 자체 하중으로 붕괴시키도록 하는 방법으로 비산과 진동 발생이 크며, 상부 지반과 인접지반을 손상시켜 붕괴를 발생시킨다.

○ 국내의 도로, 택지조성, 골프장 건설공사에서 주로 많이 사용되어, 발파공해 발생이 크고 지반 붕괴 등 대형사고 발생에 주원인이 되고 있다.

- 2) 가스가 발파공 상부로부터 새어 나올 때 쉽게 튀어나가지 않도록 느슨한 압괴를 치우고 작업장을 깨끗하게 한다.
- 3) 저항선보다 짧은 전색은 피한다. 전색부가 너무 짧으면, 크레이터 효과가 발생하기 쉽다. 또한, 좋은 전색재료를 사용하며, 천공분진은 사용하지 않는다.
- 4) 천공형태가 정확한지, 발파공이 정확한 경사로 천공되어졌는지 확인한다.
- 5) 각각의 발파공이 자유로이 깨어질 수 있도록 각 발파공 사이에 적당한 단차를 가진 기폭순서인지 확인한다.
- 6) 이완된 암반과 공극을 잘 조사하고 이완된 부분은 무장약공으로 전색만 한다.
- 7) 첫번째 열을 주의깊게 장약한다. 저항선이 짧아지는 후방파괴(Back break)가 발생하지 않도록 잘 조사한다.
- 8) 정확한 양의 폭약이 사용되었는지 확인한다. 비석이 문제가 될 때는, 계량해서 흘려넣는 것이 아니면, 흘려 넣어서는 안된다.
- 9) 계단높이의 1/3까지는 이전의 발파에서 생긴 암석을 앞 면에 그대로 둔다.
- 10) 주변건물이 많은 지역에서는 발파덮개를 한다.



## 4. 발파 폭풍압(소음)

### 4.1 바파 폭풍압의 영향

발파 폭풍압이 인체 및 구조물에 미치는 영향은 크지 않다. 그러나 인근 주민들의 환경에 욕구가 크기 때문에 민원 발생의 원인이 되고 있다. 대부분의 정상적인 계단 발파 방법에서 천공간격, 저항선, 장약량을 설계에 의해 표준 발파를 수행할 경우에 영향은 무시할 수 있다. 많은 현장 기술자들이 환경처에서 기준한 공사장 소음과 발파 폭풍압과의 혼동으로 발파 폭풍압이 30Hz 주파수 영역에서 80dB가 발생되었다면 환경처 기준의 70dB(A)를 초과하지 않는가 하는 의문을 갖게된다. 이러한 혼동으로 서울 지하철 공사장에서 공사 중단이 발생된 사례가 있다. 환경처에서 기준한 소음치는 주파수 영역대를 약 1000~5000Hz 기준으로 보정된 소음기준치를 의미하고 있다.

발파 폭풍압의 보통 1~50Hz 정도의 저주파 성격을 띠고 있으므로 측정된 폭풍압을 보정을 해야 한다. 계산을 하여 정확하게 보정치를 산출해야 하지만, 노천 바파의 폭풍압에서 약 30dB 정도를 감해주는 것이 보정된 소음기준치로 알고 있으면, 현장에서 관리 하기가 편리할 것이다.

### 4.2 발파 폭풍압의 경감대책

- 1) 각각의 발파공으로 부터 발생하는 폭풍압이 중첩되어 강화되는 것을 피하기 위하여 연속되는 발파시 시차 간격을 다음과 같이 하여야 한다.

$T \geq 2(S/V)$  T : 발파공의 뇌관 시차(Sec)

S : 천공간격(m)

V : 음파속도(m/Sec)

예를 들어 천공간격이 1.0m라면 뇌관의 시차는 0.006Sec 이상의 시차를 갖는 것을 사용해야 한다.

음압 크기에 따른 구조물과 인체의 반응

dB	psi	
180	3	← 구조물 손상
170	0.95	← 대부분의 유리창 깨짐
150	0.095	← 일부 유리창 깨짐
140	0.030	← 피해 한계
130	9.5 × 10 <sup>3</sup>	← 미광무국 허용한계치
120	3 × 10 <sup>3</sup>	← 미광무국 안전수치
110	3 × 10 <sup>4</sup>	← 고통한계
70	9.5 × 10	← 불평한계 (접시나 창문이 흔들림)
60	3 × 10	← 일상적인 대화
40	3 × 10	← 병실
20	3 × 10	← 속삭임
0	3 × 10	← 가청한계

- 2) 완전 전색이 이루어 지도록 해야 한다.
- 3) 벤치높이를 줄이거나 천공지름을 작게 하는 등의 방법을 통해 장약량을 감소시켜야 한다.
- 4) 온도나 바람 등의 기후조건이 인근구조물에 발파풍압의 집중을 초해할 가능성이 있는 장소에서는 발파를 연기하거나 피해야 한다.
- 5) 기폭방법에서는 정기폭(Top hole initiation)보다는 역기폭을 사용한다.
- 6) 방음벽을 설치함으로써 소리의 전파를 차단한다.
- 7) 불량한 암질, 풍화암 등 폭발가스가 새어 발파풍압이 되는 원인에 주의하고 전색효과가 좋은 전색물을 사용한다.
- 8) 주택가에서 소할발파에 붙이기 발파를 하지 말것과 짧은 천공발파를 하는 경우 모래주머니 등으로 덮는다. 그리고 도폭선 사용을 피한다.

## 5. 진동제어 발파 수행 방법

### 5.1 수행계통도

### 5.2 주민 홍보

도심지 발파는 주거밀집지역으로 주민들의 심리적 요인은 발파라는 공포심과 보다 쾌적한 생활 환경의 욕구로 집단 민원화 경향이 많으므로 주민들에 대한 홍보 활동은 도심지 발파공사 수행에 밀접한 관련을 가지므로 과학적이고 계획적인 홍보 전략을 수립하여야 한다.

#### 2) 홍보 방법

- (1) 공사 수행계획을 설명하고 인근에 피해가 발생되지 않도록 하기위한 방지시설을 설명
- (2) 주민들의 이해를 돕기 위해 실제 계측기를 설치하고 일상생활 진동 즉 발로 굴렀을 때 차가 지나갈 때 등을 직접 측정하고 발파진동 기준치 설명
- (3) 건물의 균열 측정, 진동측정 등의 계측 수행계획 수립
- (4) 각종 암반 굴착 공법을 비교하여 발파굴착 방법이 공해발생 지속시간이 짧아, 오히려 타공법에 비해 환경 측면에서 유리함을 설명

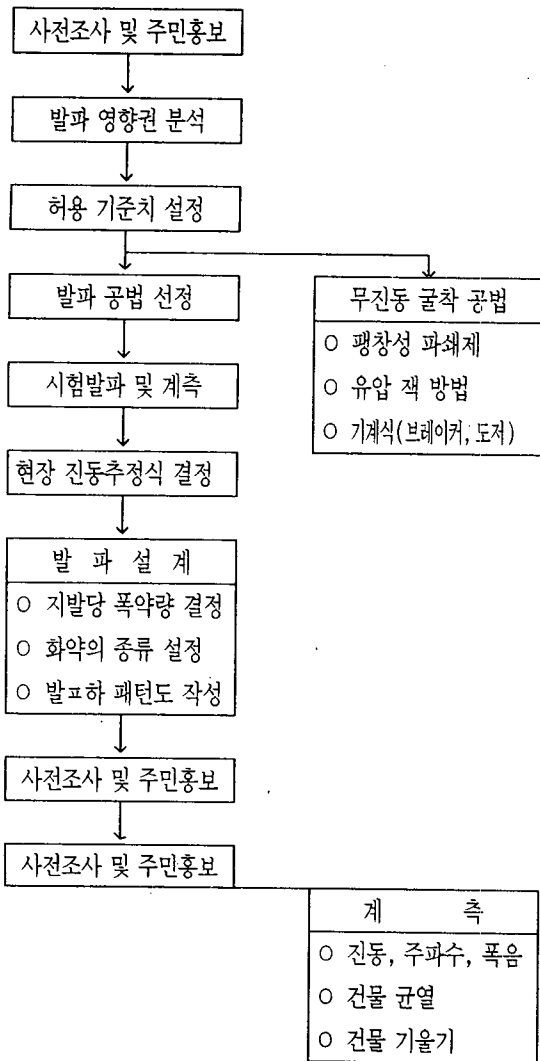
#### 2) 대 민원 대책

- (1) 계측 내용과 방법 및 계측 결과를 주민들에게 수시 공개하며 민원 발생시를 대비하여 측정자료 보존
- (2) 작업장 주변에 방호막을 설치하여 발파공해 방지 및 인근 주민들의 발파에 대한 심리적 위협 요인을 제거

### 5.3 사전 조사

사전조사는 주민들과 충분한 대화를 바탕으로 주민대표, 건물주, 감독관 입회하여 실시한다.

#### 1) 조사내용



수행계통도

- (1) 건물의 사용용도(교회, 병원, 학교 등)
- (2) 건물의 구조 형태, 노후정도, 균열 발달상태
- (3) 대표적 균열의 정량적 측정
- (4) 건물의 지반 상태
- (5) 건물의 시설물 현황
- 2) 조사 방법
  - (1) 조사 내용을 비디오와 사진기로 활용하며 차 후 민원발생 증거 자료로 활용한다.
  - (2) 조사시 날짜와 시간을 명시하기 위해 날짜가

기록된 간행물, 조사지역현장의 시계와 TV 라디오를 켜서 비디오에 삽입한다.

5.4 계측계획

1) 계측의 목적

발파 공사중 발생하는 발파진동 및 소음을 측정하고, 인근의 주민과 시설물에 미치는 영향을 계측 기기를 이용하여 정량적 주기적으로 평가함으로써 시공의 안전성을 도모하고 시공성 및 경제성의 향상과 민원에 대한 확실한 증거자료 확보에 있다.

2) 계측의 항목

- (1) 건물 균열 측정 : 인접한 건물의 상태를 파악하기 위해서 실시하며 통상 착공전에 인접한 건물에 대하여 상세한 상태를 조사하여 전단 파괴에 취약한 부분을 선정하여 균열 측정계를 설치한다.
- (2) 건물 기울기 측정 : 구조물의 침하로 파괴까지 이르지 않더라도 구조물의 기능 또는 외관에 문제가 될 수 있다. 따라서 침하의 우려가 있는 건물에 대하여 경사계를 설치한다.
- (3) 발파진동, 폭음, 주파수 측정 : 진동계측기를 발파지역의 경계 지역에 3~5 POINT 선정하여 매설 계측하는 것이 좋다.

3) 계측의 빈도

- (1) 건물의 균열 측정 : 주 2회
- (2) 건물의 기울기 측정 : 주 2회
- (3) 발파 진동 측정 : 매발파 측정

4) 계측의 허용 기준치

- (1) 균열 최대 허용균열폭(ACI-Committee 244 기준)
- (2) 건물 기울기의 한계 및 허용 변위각(단위  $10^{-3}$  rad)
- (3) 서울, 부산지하철 지동속도 허용치(독일 DIN 4150)

5.5 시험 발파

1) 시험발파의 목적

발파작업시 발파진동 등의 크기를 예측할 수 있는 발파 진동식은 많은 학자들의 연구 결과로서 다음과 같이 제시되고 있다.

$$V = K(D/Wb)^n$$

V : 지반의 진동속도(cm/sec)

D : 폭원과 측정과의 거리(m)

K : 발파진동 상수

b : 장약 지수

n : 감쇄 지수

상기식에서 K, b, n은 정량적으로 평가할 수 없는 인자에 의한 영향을 대표하는 값으로서 시험발파 결과로부터 얻어야만 하며, 지질 및 암반 발파 방법, 화약의 종류 등에 따라 다른 값을 보여준다.

따라서 거리를 고정시키고 장약량을 변화시켜 장약량에 대한 진동 수준을 구하고, 장약량을 고정시키고 거리를 변화시켜 거리의 진동 수준을 구해서 그 현장에 알맞은 진동 식을 결정하기 위함이다.

2) 결과분석

30회 이상의 측정 결과치를 거리별, 장약량, 화약의 종류별로 정리한 후에,

$V = K(D/Wb)^n$ 의 식에서,

변수 b를 1/2과 1/3로 취하고 D/W를 S.D (Scaled Distance)라 놓으면

$V = K(S.D)$ 이 되며 측정된 진동값에 대한 선형회기분석(Linear Regression Analysis)를 실시하기 위해 log-log 그래프에 나타내면 직선 관계가 성립되어 K값과 n값이 결정되며 최종적으로 진동추정식을 얻게 된다.

5.6 발파 진동 영향권 분석

1) 발파 진동의 허용기준치 선정

각국의 연구 보고서에 의하면 지상 구조물에 대한 발파 진동의 허용치는 지반 진동속도

노출 조건	최대허용 균열폭(mm)
건조공기 또는 보호층	0.40
습기 및 토양	0.30
동결 방지제	0.18
해수, 해수 살포	0.15
저수 구조	0.10

	하한	상한	
콘크리트	1.0	2.0	
블럭조	0.3	1.0	
철근 콘크리트조 (라이멘 구조)	0.7	1.5	2.2(얇은칸) 3.3(Ward & Green) 3.1(Terzaghi & Peck)
철근콘크리트 벽식구조	0.8	1.8	1.0(Meyerhof)
조적조			1.7(Meyerhof) ]2.1(Ward & Green) 3.5(Terzaghi)
철근조			빌딩 2.2 공장 4.0~8.3 창고 12.5(얇은칸)
철근 콘크리트	1.0	2.0	
하한은 유해한 균열이 발생하는가 않는가의 경계 상태 상한은 유해한 균열의 발생율이 극히 높은 상태			

0.5cm/sec 이하이면 거의 안전하다고 할 수 있으며 1.0cm/sec에서는 이를 감지하여 불쾌감을 갖게 된다.

국내에서는 최근에 이정인(서울대 교수)등이 주파수의 영향을 고려하여 10~35Hz에서는 진동속도 1~2cm/sec, 35Hz 이상에서는 5cm/sec로 진동 허용기준을 제시한 바 있다. 그러나 지반 상황, 구조물의 형태, 공해에 대한 국민의 의식 등이 다르기 때문에 일률적으로 논하는 것은 어렵다. 진동 속도가 1.0~2.0cm/sec가 되도록 발파하였을 때 구조

구 분	문화재	주택 아파트	상 가	철근콘크리트 빌딩 및 공장	COMPUTER 시설물 주변
건물진동치에서의 허용 진동치(cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0	0.2

물에 대하여 직접적인 피해가 발생되지 않을 것으로 판단되나, 기 발생 균열은 발전될 수 있으며 심리적 불안과 불쾌감으로 인하여 기 발생된 균열에 대해서도 진동 때문이라는 민원은 배제할 수 없다. 또한 국내에서는 진동 속도에 대한 피해 기준이 성문화하여 규정되어 있지 않으나 주택공사 택지조성의 경우 진동 허용 기준치를 주택 밀집지역에서 0.5 cm/sec로 제안(택지조성에서의 암 발파 진동 저감 연구보고서 92.9. 주택공사 p39)하였고, 서울지하철 굴착공사의 경우에도 0.5 cm/sec이하로 설계하였지만 인근 주민들의 집단 민원과 심한 반발에 부딪쳐 0.3cm/sec 이하로 허용 진동속도를 하향 조정하는 방향이 신속히 검토되고 있는 실정이며, 국내 외 여러 연구결과와 측정 결과를 종합하여 허용 진동 속도 0.5cm/sec는 각종 공사에서 불문율로 지켜져 오고 있다.

한편, 세계 각국의 피해 기준이 각각 차이나고 있어 1.0cm/sec 혹은 2.0cm/sec로 허용 기준을 정하열 공사를 진행할 경우 민원 발생에 대한 법적 소송시 승소할 수 있는 이론적 근거가 없다. 따라서 도심저 발파공사에서 허용 진동속도를 주거 밀집지역에서 0.5cm/sec, 기타 지역에서 1.0cm/sec로 기준하는 것은 주변환경에 대해서 안전하다고 판단되나 공사중 적은 소음과 진동에 의해서도 민원이 발생될 수 있다는 사실을 감안하여 허용 진동 기준치를 0.3~0.5cm/sec로 작업 기준을 설정하여 현장 여건을 고려하여 탄력

적으로 운영되어야 한다고 판단됨.

## 2) 발파진동을 예측하는 추정식

발파진동을 위한 추정식을 산정하는데는 두가지 방법을 생각할 수 있다.

첫째, 사전에 시험발파를 할 수 없는 여건에서는 지질조건과 발파 방법이 유사한 진동추정식을 선정하여 설계에 적용하고 시공중에 계측을 통하여 진동추정식을 조절하는 방법 둘째, 시험발파를 통하여 당 현장에 부합되는 진동추정식을 산출한 후 발파설계를 수행하는 방법이다.

## 5.7 발파 설계

### 1) 폭약의 선정

- (1) 발파진동은 폭약에너지의 충격파에 의한 동적 파괴의 경우에 더욱 커지므로 동적파괴의 비율이 적은 저폭속 폭약을 사용하는 것이 효과적이다.
- (2) 발파에 의한 암반의 파괴는 인장력에 의한 파괴형태이므로 암반의 강도 성질 즉, 추성도와 관계가 있으므로 취성도가 큰 화강암과 같은 경암에서 고폭속에 화약력이 큰 폭약을 사용해야 하며, 퇴적암과 같은 취성도가 약하나 인장강도가 상대적으로 큰 암반에서는 저폭속에서 가스 발생량이 많은 폭약류를 선택해야 한다.
- (3) 발파후 도자나 부레카로 2차 파쇄가 요구되는 장소에서는 충격에 민감한 다이나마이트 사용을 금해야 한다.
- (4) 국내생산의 폭약류 특성

### 2) 뇌관의 선정



구분	종류	다이너마이트		합수폭약			에밀존폭약	
		고성능	일반	K-100	K-300	K-700	E-100	E-150
· 약상		교질	교질	GEL	GEL	GEL	교질	교질
· 가비중 (g/cc)		1.4	1.3	1.1	1.0	1.2	1.2	1.2
· 폭속 (m/sec)		5,000	5,000	4,500	3,500	4,500	4,500	4,500
· 화약력 (e, kg/m <sup>2</sup> )		10,200	9,000	7,600	8,500	7,700	7,200	10,200
낙추감도(cm)		15 이상	15 이상	100 이상	100 이상	100 이상	60 이상	60 이상
· 제조회사		(주) 한화					고려화약(주)	

(1) 송전탑 주위나 전기사용이 많고 습기가 많은 작업장에서는 누설전류에 의한 사고 발생가능성이 높으므로 전기 뇌관의 사용을 자제해야 한다.

(2) M.S 뇌관을 사용하면 제발발파에 비하여 진동의 상호간섭에 의하여 진동을 경감시키고 발파효과를 제발 발파와 같은 효과를 거둘 수 있다.

### 3) 발파영향권 분석 방법

(1) 발파공해 중 암석의 비산, 폭풍압 등에 대해서는 자연적 지형, 인공적 방책 등을 이용하여 용이하게 해결할 수 있으나 지반진동에 대해서는 지하 암체를 통하여 전달되는 특성때문에 일반적인 해결 방법이 곤란하므로 발파진동을 중점적으로 발파 영향권을 분석한다.

(2) 사전조사에 의한 허용기준치를 설정한 후 발파진동을 예측하는 식을 이용하면, 구조물과의 거리별로 지발당 허용장약량이 산출된다.

(3) 지발당 허용장약량이 산출되면 발파 작업이 곤란하므로 무진동 혹은 미진동 굴착방법을 검토해야 한다.

경험상으로 노천발파의 경우에는 지발당 장약량이 0.25kg 이하에서는 발파 공법의 적용이

곤란하며 0.3~0.5kg의 경우에는 발파 공법의 적용에 신중을 기해야 한다.

### 4) 발파방법의 선택

건설공사 현장에서 다양한 작업조건과 주변현황을 고려하여 발파작업 전에 공사기간, 공사비 장비 조합 등의 작업계획을 수립해야 할 경우를 대비하여, 주변환경을 고려한 발파방법을 비장약량에 따라 계단식 일반 발파, 다단 발파, 이완발파(사전발파)로 분류할 수 있다.

계단식 발파는 비장약량이 0.35~0.4kg/m<sup>3</sup>로 발파대상 암석이 완전히 이동되어 직상차가 용이하도록 하며, 다단발파는 비장약량이 0.2~0.3kg/m<sup>3</sup>이며, 진동은 물론 폭음까지를 방지할 목적으로 2~3공씩 여러단계를 나누어 발파하는 방법으로 발파의 파쇄형태는 일부는 직상차가 가능하지만 대부분 큰 균열을 두어 대형 굴삭기 등으로 뜯어내는 형태로 상차를 해야하므로 많은 시편이 소요되는 공법이다.

이완발파(사전발파)는 비장약량 0.2kg/m<sup>3</sup> 이하에서는 발파에 의한 암석이 이동없이 단지 균열만 발생시키므로 발파후 RIPPING

발파공법(노천발파)의 비교표

구 분	계단식 발파	단단발파	이완발파 (사전발파)
1. 적용장소	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 발파원과 보안물건이 50m 이상 거리의 장소로 시설물들이 비교적 발파공해에 둔감한 지역</li> <li>• 대규모 부지조성, 채석장, 간척사업</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 비산석의 위험은 없으나 폭음과 진동에 예민한 시설물이 근접한 경우</li> <li>• 주민들이 밀집한 택지조성 발파</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>• 폭음에 의한 위험은 없으나 비산석과 진동에 예민한 시설물이 근접한 경우</li> <li>• 공장시설내에서의 발파</li> </ul>
2. 발파방법 비장약량 자유면	0.35~0.4kg/m <sup>3</sup> 2자유면	0.2~0.3kg/m <sup>3</sup> 2자유면	0.2kg/m <sup>3</sup> 1자유면
3. 운반방법		대형상차 장비와 부분적으로 2차 파쇄가 필요	• 도저나 브레이커로 2차 파쇄가 필요

이나 브레이커로 2차 파쇄후 상차 작업을 해야한다.

5.8 진동제어 발파 설계 사례

1) 현황

시흥시는 시흥 은행지구택지개발사업의 일환으로 구획정리사업을 추진하고 있으나 대규모의 암반노출로 굴착작업이 불가피한 형편이나 대상작업장에 구조물로는 국제상사와 대우통신 등 산업시설과 아파트건물 등이 있으며 특

히, 국제상사와 대우통신은 각각 반도체 생산을 위한 계측장비류와 컴퓨터시설들이 설치되어 발파진동에 의한 피해가 우려되었다.

따라서 시흥시에서 한국자원연구소에 의뢰하여 발파영향평가와 시험발파를 수행하여 결과치를 도출하였다.

본 설계에서는 한국자원연구소에서 제출한 보고를 기준으로 다음과 같은 사항을 중점을 두어 설계하였다.

- (1) 허용진동수준은 국제상사 경계에서 FAB 건물쪽으로 50m 거리에서의 진동 수준이 1cm/sec이하, 대우통신경계에서 0.2cm/sec이하로 설계하였다.
  - (2) 발파추정식은  $V = 220.3(D/W^{1/3})^{-1.424}$ 로 기준하였다.
  - (3) 인접에 시설물이나 건물이 인접되어 있는 지역은 폭풍압과 비산석 방지를 위해 진동제어 발파방식의 이완발파로 계획하였으며 기타지역은 폭풍압이나 비산석에 영향이 없으므로 판단되어 진동제어 발파방식의 계단발파로 설계하였다.
- 2) 진동수준에 따른 발파방법 및 발파지역 구분

6. 결 론

발파작업이란 1회의 실수에도 인명살상은 물론 인근시설물에 큰 피해를 유발시킬 수 있으므로, 이러한 재해용인과 발파공해를 예측하여 대처할 수 있는 발파설계가 반드시 정착되어야 하며, 시공에서도 현장경험만을 위주로하는 기능적 시공방법을 지양하고 계측작업을 병행하여 수행하므로써, 이론적이고 체계적인 정량화 시공이 이루어져야 한다.

또한 국내건설시장 개방을 앞두고 있는 현실에서 기술적 제도적으로 취약한 발파시장은 외국기술의 주요 공략대상이 될 것으로 예상이 되고, 국내토목기술의 발전을 위해서라도 현재 광산분야와 토목분

야의 기술 사각지대에 있는 발파기술을, 토목분야에서 더욱 발전시킬 수 있는 제도적, 기술적인 보완이 절실한 시점이라고 판단된다.

발파패턴	진동수준 (cm/sec)	위 치	거리(m)	지발당허용 장약량(kg)	발파방법
I	V=0.1	국제상사	140~180	0.25	이완발파
	V=0.2	대우통신	90~110		
	V=0.4	기타건물	55~70		
II	V=0.1	국제상사	181~22	0.50	이완발파
	V=0.2	대우통신	11~140		
	V=0.4	기타건물	71~85		
III	V=0.1	국제상사	221~225	1.00	이완발파
	V=0.2	대우통신	141~155		
	V=0.4	기타건물	86~100		
IV	V=0.1	국제상사	226~280	1.50	계단식 발파
	V=0.2	대우통신	156~170		
	V=0.4	기타건물	101~110		
V	V=0.1	국제상사	280이상	2.00	계단식 발파
	V=0.2	대우통신	171이상		
	V=0.4	기타건물	111이상		

구 분	단 위	발파 패턴-I	발파 패턴-II	발파 패턴-III	발파 패턴-IV	발파 패턴-V
1. 발파공법		이완 발파	이완 발파	이완 발파	BENCH 발파	BENCH 발파
2. 지발당허용 장약량	kg	0.25	0.5	1.00	1.50	2.00
3. BENCH 높이(K)	m	1.00	1.6	2.50	2.50	3.00
4. 발파공경(d)	㎍	38	38	38	45	45
5. 암석계수(c)		0.40	0.40	0.40	0.40	0.40
6. 공의경사		수직	3:1	3:1	3:1	3:1
7. 폭약의 종류		K-100 φ28㎍	K-100 φ28㎍	K-100 φ28㎍	K-100 φ32㎍	K-100 φ32㎍
8. 발파PAT TERN계산						
1) 천공장	m	1.50	2.10	3.00	3.00	3.60
2) 저항선	m	1.00	1.10	1.20	1.10	1.20
3) 천공간격	m	1.25	1.40	1.50	1.40	1.50
4) 공당장약량	kg/HOLE	0.25	0.50	1.50	0.75	1.75
5) 단위당화 약량	kg/m <sup>3</sup>	0.20	0.20	0.33	0.20	0.32