

# 발파진동이 주변에 미치는 영향

## 도 규 문

<성신양회 단양공장>

### 1. 서 론

국민들과 정부의 환경에 대한 관심이 높아지면서 과거 국가발전을 위해 묵과되던 수질, 대기오염은 물론 소음, 진동에 까지 많은 규제와 단속, 민원이 늘어나고 있다. 한편 한정된 국토를 효율적으로 개발하는 과정에서 발파공사가 부쩍 늘었고 대도시 재개발, 고층건물 철거, 지하철 공사, 지하 구조물 건설 등에는 민가에 극히 인접한 곳에서 발파가 이루어 지는 일이 많아졌다.

우리 시멘트광산은 산림지역에 위치하여 민가와는 비교적 멀리 떨어져 있지만 개발하는 과정에서 점점 민가와 가까워지고 있으며 거의 모든 광산에서 노천채굴법을 취하고 있어 진동,소음은 물론 발파시 발생하는 화약연기, 분진까지도 민원발생의 원인이 되고 있다.

그러나 많은 건설작업과 채광현장에서의 발파작업이 불가피 하지만 그럼에도 불구하고 현재 우리 환경법상에는 이를 위한 법적, 기술적규제가 미비하여 발파민원에 대한 일괄된 처리가 불가능하고 기술인력도 극히 부족한 형편이다.

따라서 우리는 발파작업 전 발파설계시 발파진동 허용치를 효율적으로 적용함으로써 민원발생을 감소시키고 환경을 보호하기 위해 부단한 노력을 해야 할 것이다.

석회석 발파시에는 화약연기, 분진, 진동, 소음이 발생한다. 화약연기, 분진은 측정이 어렵고 관리하기 또한 어려운 반면, 소음은 측정이 가능하나 지역주민이나 해당관청의 발파진동에 대한 관심이 높고 관리가 용이하여 발파진동을 관리하므로 소음까지 관리가 가능할 것이다. 즉, 발파진동치 허용한계에 부합하는 최대 화약사용량, 발파시기폭제로 사용하는 뇌관의 적절한 배열등을 압질별, 지역별로 기준을 정하여 발파 진동치를 관리할 수 있다.

여기서 압질별, 화약종류별, 지역별로 최대 화

약량, 뇌관배열 등을 알아보고 주위 주거지역에서의 최대화약량 사용시의 발파피해 정도를 알아보는것이 본 연구의 목적이라 하겠다.

### 2. 진동규제 법규

소음,진동규제법이 1991년 제정되었으나 발파진동에 대해서는 구체적인 규제와 허용조항이 없고 단지 소음의 단위인 dB로 허용조항이 있어 우리 시멘트광산에서는 적용이 어렵다.

세계적으로 각 나라마다 진동 규제치가 많이 있다. 대부분이 건물을 기준으로 하고 있으나 일본의 경우, 각 자치현별로 다르지만 인체의 반응에기준하고 있어 진동 규제치가 매우 엄격하다.

현재 우리가 보유한 진동측정기로 측정되는 미국무국의 O.S.M (Office of Surface Mineral) Graph 와 KAIST 추천허용치인 독일의 진동허용치와 일본의 경우를 소개한다.

#### 2.1 독일 진동허용치 (KAIST 추천치)

건물분류	문화재	주택,아파트 (실금이나타 나있는 정도)	상가(Crack이 없는 상태)	철근 Concrete 건물
건물기초에서 허용 진동치 (cm/sec)	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0

#### 2.2 일본 Osaka 발파진동 허용치

지역구분	주간 (cm/sec)		야간 (cm/sec)	
	시간	허용치	시간	허용치
공 업	07~22시	0.15	22~07시	0.07
상업,중공업	07~22시	0.15	22~07시	0.05
주 거	08~20시	0.15	20~08시	0.03
공장적지	07~22시	0.15	22~07시	0.05
기 타	08~20시	0.15	20~08시	0.03

### 2.3 O.S.M Graph

미국 광무국에서 추천하는 O.S.M Graph는 주파수와 진동치(입자속도)의 관계를 나타내는 Graph로 각 방향, 즉 X,Y,Z축의 입자속도가 중앙한계선을 초과하지 않도록 규제하는 것이다.

주파수가 낮을수록 진동 규제치가 낮고 주파수가 높을수록 진동치가 높다.

※ 1. 최대입자속도 : 2.0 in/sec (5.04 cm/sec)

2. 주 파 수 : 100 Hz 이하

OSM ALTERNATIVE CRITERIA ANALYSIS

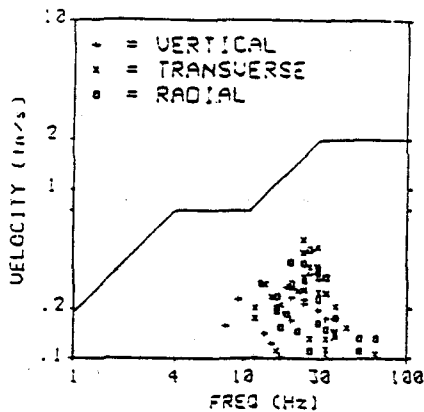


그림 1 O.S.M Graph

### 2.4 시멘트양생과 허용진동치의 관계

Concrete 타설후 시간	진동치 최대치(cm/sec)	비 고
0시간 ~ 12시간	0.254	
12시간 ~ 24시간	1.27	
24시간 ~ 5월	2.00	
5월이상	5.08	

## 3. 발파진동의 특성

### 3.1 발파진동이란 ?

발파를 통한 채광작업에서는 화약의 폭발시 발생하는 충격압과 가스압을 이용하여 암석을 파쇄하게 된다. 즉 화약이 장약공내에서 폭발하면 수만에서 수십만기압에 달하는 강력한 충격압과 연소된 화약에 의한 가스압, 그리고 3000℃이상의 고온이 발생한다. 이때 그림 1에서와 같이 충격압과 고온에 의해 발파공에서 수mm ~ 수십mm

이내에 인접한 암반은 녹아내리거나 잘게 파쇄되어 파쇄대를 형성하고, 연속되는 가스압과 충격압의 전달로 인해 파쇄대 외부의 암반에는 균열이 발생, 전파되어 균열대를 형성하게 된다(그림 2).

이렇게 폭원으로부터 3차원적으로 전파되어온 충격압에 의한 충격파는 거리에 따라 현저히 감소되어 발파에 의한 에너지의 0.5 ~ 20%가 탄성파의 형태로 균열대 외부의 암반층에 전달되어 간다. 이러한 탄성파는 암반중에 지반의 진동을 발생시키게 되는데 이를 발파진동(Blast Vibration)이라 한다.

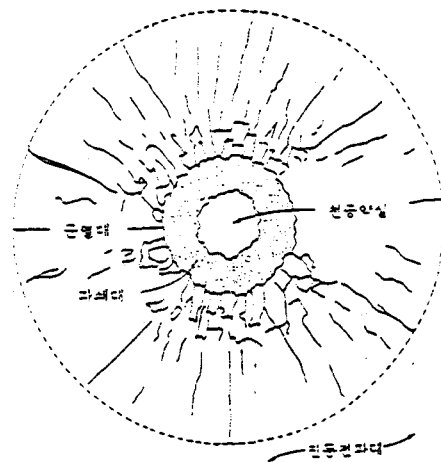


그림 2 발파공 주변의 균열과 진동전파

### 3.2 발파진동의 측정

발파진동의 측정은 그 방향에 따라 수직성분(Z축), 진행성분(X축), 그리고 이 두성분의 방향과 직각을 이루는 접성성분(Y축)에 대해 실시된다.

발파진동측정은 세 성분중 최대값이 발생하는 시점에서 세 성분의 합인 최대 실 Vector합으로 나타난다. 일반적으로 진행성분에는 P파, 접성성분에는 S파, 수직성분에는 R파가 우세하다.

### 3.3 발파진동속도와 사용화약량, 거리와의 관계

발파진동의 전파특성을 결정짓는 조건은 크게 입지조건과 발파조건으로 나눌 수 있다. 입지조건은 발파부지와 인근구조물의 형태, 대상암반의 지질학적 특징 및 역학적 성질등을 말하고, 발파조건은 사용되는 화약의 종류, 장약량, 기폭방법, 전색상태, 자유면의 수 및 자유면의 거리, 발파유

형, 폭발원과 측정지점간의 거리 등이다.

이상의 요인중에서 암반의 강도, 지반의 지질 특성, 장약량, 폭발원로부터의 거리등이 발파진동의 크기와 전파특성에 영향을 미치는가장 중요한 요 인이다.

그러므로 이 관계를 이론적으로 파악하려는 연구가 계속되어 왔지만 지반내의 불연속면과 지질 적 구조의 복잡성으로 인하여 이론적 접근에 많은 어려움이 있었다. 따라서 현장의 같은 암반이라 도 발파조건등에 따라 진동속도가 달라지므로 현장의 경험적인 연구가 더욱 중요할 것이다. 여기서 발파진동을 이론적인 식으로 표현한 일본의 특성환산식을 살펴보면,

$$V = K ( R / W b )^n = K (SD)^m$$

V : 지반의 진동속도

R : 발파원과 측정지점간의 거리

b : 1/2 또는 1/3

W : 지발당 장약량

K,n : 지질암반조건,발파조건에 따른 상수

여기서  $R/W^b$ , 즉 지발당 장약량과 거리의 비를 환산거리(SD:Secondary Distance)라하며 b가 1/2 이면 자승근 환산거리, b가 1/3이면 삼승근 환산거리라 하는데 자승근 환산거리가 삼승근 환산거리보다 진동속도가 장약량에 영향을 많이 받고 가까운 거리에서는 삼승근 환산거리가 먼거리에서는 자승근 환산거리가 잘 맞는 것으로 알려져 있다.

#### 4. 발파진동치 비교

##### 4.1 사용화약량 및 측정거리별 진동치비교

화약량이 증가하면 진동치가 증가하는데 화약 량이 많아질수록 진동치 차이의 폭이 높아진다. 즉 앞의 식에서 n의값에 따라 화약량의 변화에 대 한 진동치의 증가 폭이 결정되는 것과 일치한다. 이 Graph와 표를 보면 광산건물 주위 300M지점 발파시에는 진동 허용한계 4.0cm/sec를 초과하지 않기 위해서는 화약량을 약4,000kg이내로 통제해 야 함을 알 수 있다.

또한 동일거리에서 화약량을 변화시켜가며 진 동치를 측정하여 진동상수 K,n값을 구할 수 있었

으나 측정오차와 자승근 환산거리, 삼승근 환산 거리 적용여부, 지반의 불균일성(점토층, 동굴등), 사용 화약의 불균일, 측정지점의 해발고도차 등 의 여러가지 요인으로 정확한 상수값을 구하지 못한 것이 아쉽다. (상수 K = 52~54 n = 1.62~1.64) 따라서 K,n의 값의 적용으로 발파설계를 하기보 다는 지역별, 암질별로 허용 화약량을 정하여 관 리하고 있다.

##### 4.1.1 사용 화약량별 비교 (그림 3)

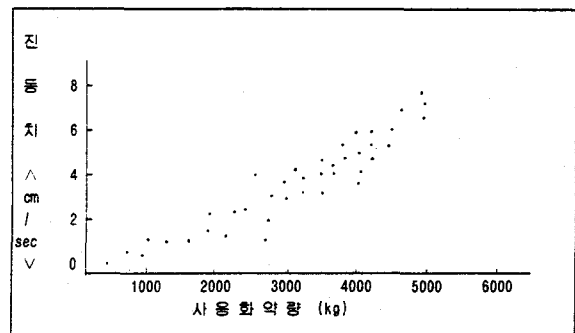


그림 3 사용 화약량별 진동치

발파공수	화약량(kg)	진동치(cm/sec)	비 고
14	760	0.41	측정거리 300m
26	1,195	0.79	
32	1,908	1.45	
44	2,969	2.51	
48	4,147	4.19	
69	5,175	5.91	

##### 4.1.2 발파원과 측정지점간 거리별 진동치 비교

발파원과 측정지점간의 거리는 자승근 환산거리나 삼승근 환산거리에 관계없이 발파 진동속도 에 많은 영향을 준다, 400m 후방 지점에서의 진 동치가 200m지점에서의 진동치 보다 화약량이 많음에도 불구하고 낮게 측정되었다.

측 정 지 점	화약량 (Kg)	진동치(cm/sec)
발파지점 100m후방	1,509	1.49
발파지점 200m후방	1,285	0.95
발파지점 400m후방	1,408	0.42
발파지점 600m후방	1,492	0.11

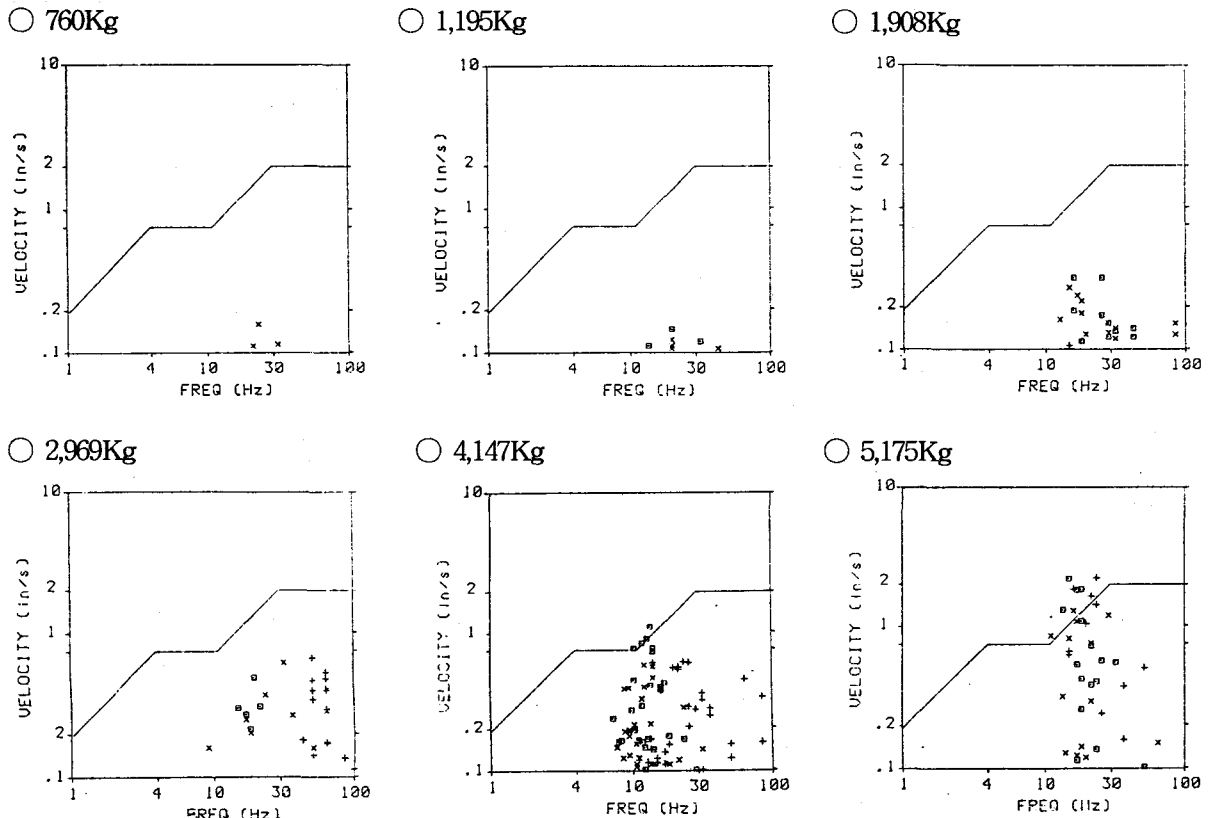


그림 4 OSM Alternative criteria analysis

그림 4에서와 같이 발파진동속도와 화약량, 진동측정거리와의 관계를 알아보았다. 그러므로 석회석 생산시 수행되는 발파가 광산건물(Primary Crusher,S/Cr,O.S.P,각 Belt구조물, 정비고건물)의 기초에 붕괴의 위험요소가 되지 않기 위해서는 보다 철저한 관리가 필요하다.

따라서 측정된 Data를 기준으로 하여 다음과 같은 기준을 정할 수 있었다.

발파지점과 건물과의 거리	최대 화약사용량(Kg)
50 m 이내	1,000
100 m 이내	1,500
200 m 이내	2,500
300 m 이내	4,000
300 m 이상	4,000

#### 4.2 뇌관종류별 진동치 비교

뇌관별로 시차를 두지않고 한번에 발파되는 순발 뇌관은 각 공의 뇌관별로 시차를 두는 MS전

기 뇌관보다 화약량이 적음에도 진동치가 높게 측정되었다. 또한 여름철 낙뢰로 인한 자연발파를 방지하기 위하여 사용하는 도폭선은 진동치가 매우 높게 나타났다. 따라서 순발뇌관의 사용시는 화약량을 3,000Kg이하로 통제하고 도폭선을 사용한 발파시는 화약량을 2,200Kg이하로 관리하며 하절기 낙뢰 위험시에 부득이하게 화약량을 2,200Kg이상 사용해야 하는 경우에는 비전기식 뇌관(Nonel뇌관)의 사용이 검토되어야 하겠다.

#### 4.3 MS전기뇌관 배열별 진동치 비교

MS전기뇌관의 배열별로 진동치를 비교하여 보면 같은시간에 발파되는 뇌관수에 따라 진동속도

뇌 관 종 류	화약량(Kg)	진동치(cm/sec)
MS 전기뇌관	3,874	3.52
순발전기뇌관	3,160	3.96
도 폭 선	3,357	5.44
도 폭 선	2,157	3.86

는 변화한다. 즉 한공마다 시차를 두고 발파하면 동시에 발파되는 공의 수가 적어지므로 진동속도가 낮게 나타난다.

따라서 발파시 1공마다 다른시차의 너판을 사용하는것이 좋으나 현재 우리광산의 석회석 품위가 고르지 못하여 석회석이 섞이게 되면 품위관리가 용이치 못하므로 5공씩 같은번호의 MS너판을 사용하여 발파하고 있다.

너 판 배 열	화약량 (Kg)	진동치 (cm/sec)	비 고
MS 전기너판 5공씩	3,495	3.59	Kodeto No 2~9
MS 전기너판 10공씩	3,432	3.67	1~5
MS 전기너판 15공씩	3,509	3.91	4,5,6

#### 4.4 석회석과 Dolomite의 진동치 비교

석회석과 폐석중 45%(약 80만톤)를 차지하는 Dolomite의 진동치를 비교해 보면 균열층이 많아 진동을 흡수하고 절리가 발달하여 발파효과가 좋은 Dolomite의 진동치가 적게 나타난다. 그러므로 Dolomite 발파시에는 화약량을 5,000Kg까지 증가 시킬 수 있다.

구 분	화약량(Kg)	진동치(cm/sec)	비 고
석 회 석	1,908	1.35	
Dolomite	1,892	1.09	
Dolomite	3,335	2.55	
Dolomite	5,172	4.07	

#### 4.5 주변 주거지역에서의 진동치 비교

가행되는 광산에서의 최대화약량, 즉 4,000Kg에 근접한 화약을 사용하여 광산에서 가장 가까운 가옥이 있는 덕천리와 여천 초등학교에서 발파진동을 측정 하였더니 아파트, 일반가옥의 진동한계(0.5cm/sec)를 초과하지 않았다.

또한 남한강을 건너 위치한 도담리 주민들의 요청으로 진동을 측정하여 보았으나 덕천리와 같은 결과를 나타냈다.

따라서 가행광산의 진동규제로 주변 주거지역까지 진동에 대한 피해를 방지할 수 있을 것이다. 향후 광산 개발이 진행되면서 주변지역과 발

파 장소가 가까워지면 발파진동 속도가 상승되므로 당 광산의 개발지역의 채광이 진행된다면 그 지점의 최대 화약사용량은 감소 되어야 할 것이다.

측정장소	발 파 장 소 (측정지점에서)	화 약 량 (Kg)	진동속도 (cm/sec)	비 고
덕천리	약 750M 거리	4,147	0.46	
여천초등교	약 800M 거리	3,865	0.39	
도담삼봉	약 1100M거리	4,045	0.25	남한강
단양83호	약 300M 거리	455	0.21	갱내채굴

한편 갱내채굴을 실시하는 단양83호 광구에서 가장 가까운 주거지역에서 진동을 측정한 결과, 민원발생의 억제를 위해 0.2cm/sec이하, 즉 최대 화약량을 400Kg이하로 통제 하였으나 민원이 계속 발생 하여 현재는 진동감소에 효과적으로 개발된 Hideto너판(8호너판)의 사용을 검토중에 있다.

### 5. 결 론

위와 같이 측정, 비교하여 본 결과 다음과 같은 결론을 얻을 수 있었다.

구 분	최 대 화 약 사 용 량 ( Kg )				
	50m 이내	100m 이내	200m 이내	300m 이내	300m 이상
석 회 석	1,000	1,500	2,500	4,000	4,000
Dolomite	1,250	1,800	3,100	5,000	5,000
도폭선 발파	-	1,000	1,500	2,200	2,200
단양 83호광산					400
전기너판 배열	5개씩 같은시차의 너판을 사용 함.				

위와 같이 최대화약량을 관리 한다면 주변가옥이나 광산건물에 발파시에 발생하는 발파진동에 대한 피해를 방지할 수 있을것이며 또한 민원발생에 대해서도 효과적으로 대처할 수 있을 것이다.

한편 기업이 가지고 있는 환경에 대한 인식이 크게 바뀌었지만 지역 주민들의 기업에 대한 불신, 지역이기주의, 무지에서 오는 불만 등이 심화되어 가고 있다. 이러한 사고를 변화 시킬 수 있는 것은 우리들의 환경에 관심과 투자가 계속되고 그들에게 우리의 이러한 모습을 인식 시켜야 하겠다.