

建設現場에서의 制御發破 設計에 관한 考察

A Study on Controlled Blasting Design in Construction Field

李 和 昌*

Lee,Hwa chang

要 旨

발파는 폭약의 폭발에너지를 이용해서 물체를 파괴하는 작업으로 그 이용면은 대단히 넓고, 파괴의 대상인 피파괴물의 종류도 암석, 광석, 석탄등 자연물과 콘크리트, 철재로 된 구조물, 교량 구조나 건축물등 모든 물체에 적용되고 있다. 따라서 발파를 목적에 맞도록 합리적으로 실시하기 위해서는 피파괴물의 성질이나 폭약의 성질을 충분히 이해한 후에 관계하는 모든 조건을 면밀하게 고려해서 계획과 설계를 하여야 한다. 그리고 또한 주변상황과 환경에 대한 영향을 고려하여 안전성이 높은 발파패턴을 선택하여야 하며 진동, 폭풍압, 비산석 등이 재해요인을 억제할 수 있는 방호대책을 세워야 한다. 본고에서는 이와 같은 제어발파 기술에 대해 검토하고자 한다.

Abstract

Blasting is a work that destruct an object by use of explosive. Its use covers a wid range, and it is applicable to blast the rocks, minerals, coal, steel and concrete structures, bridges, etc.

To execute the blast plan most effectively, the properties of the object and the explosives should be well understood, and all the other conditions must ve incorporated in its design and plan.

A safe blasting pattern and procedure should be selected considering the envirinmental effects and dther conditions. At the same time, a protective protective pricedures should be utilized to prevent the safety hazards such as the excessive blast vubration, air pressure, and the flying fragments. This study reviews the controlled blasting techniques in these regards.

*(株) 大宇엔지니어링 海洋本部 課長

1. 머리말

근대의 산업용 폭약류가 발명된 이래 폭약류는 국토 및 지하자원의 개발은 물론이고 산업의 여러분야에서 널리 이용되고 있다.

국토개발에 이용되는 사례를 다열거할 필요는 없겠지만 우리주변에서 터널, 댐, 각종지하공간등은 물론이고 간척사업, 재개발, 각종 부지조성등 건설분야에서 암(岩)을 파쇄하기 위하여 발파공법이 광범위하게 활용되고 있다.

그러나 최근에는 위와 같은 발파작업시 생성되는 지반의 진동, 폭풍압, 비산석 등의 공해 유발로 사용에 제한을 받고 있는 현실이다.

특히 도심지의경우 밀집된 건물 및 각종시설, 진동에 민감한 전자부품 및 기계류, 그리고 생활 수준 향상에 따른 쾌적한 환경추구 및 욕구증대 등으로 발파작업의 시행은 날로 어려워지고 있고 심지어 시골이나 산악지역에서의 발파 마저도 일부지역을 제외하고는 제한을 받기도 한다. 이에 따라 발파작업을 대신하여 Road Header, Breaker 등 파쇄장비가 개발, 활용되고 있으나 그 경제성 및 시공능력면에서 아직까지는 발파보다 월등한 대체공법은 없는 것으로 알려지고 있다.

따라서 각종 건설현장에서 화약의 사용이 급증함에 따라 발파 공해에 대한 문제가 심각하게 대두하게 되었고 이러한 발파공해는 인접구조물 및 건설중인 현장구조물에 손상을 야기하거나, 인근 주민에게 불안감을 주어 민원으로 인한 공기지연, 손해배상 등의 경제적 손실을 초래할 수 있고 시공중인 구조물에 영향을 미쳐 콘크리트 품질관리상의 문제를 유발시킬 수도 있다. 이러한 발파공해는 통상 예기치 못한

사소한 상황에서부터 시작되어 때로는 상당한 불이익을 가져올 수도 있으므로 이러한 발파공해를 사전에 예측하여 발파공해를 최소화할 수 있는 대책을 강구하고 또한 발생된 문제에 대해서는 최적의 대처방안을 모색하여 경제적 손실을 줄이고, 건설 품질을 향상시키기 위한 기술적 관리적 검토가 설계, 시공의 전과정에 걸쳐 세심하게 다루어질 필요가 있다.

2. 발파설계 수행절차의 일반사항

2.1 발파설계 수행절차 및 개요

1) 주변환경 조사

발파작업으로 인해 인근에 미치는 영향을 사전에 예측하기 위해 아래와 같은 사항을 조사하여야 한다.

① 주변현황 조사

- 병원, 학교, 문화재, 사찰, 주택가, 고압선, 가스관리, 도로등의 주변환경
- 인근 구조물의 노후정도 및 구조형태
- 작업장의 지질형태, 암반의 강도, 지형, 지하수위
- 기타 작업조건

② 현황도 작성

인근 주변현황을 파악하여 현황도를 작성

2) 발파영향권 분석

주변현황조사 자료를 참조로 하여 공사기간, 작업방법등을 계획하고 발파작업으로 인한 주변환경에 미치는 영향을 사전에 예측분석한다.

3) 허용기준치 설정

지반진동, 폭풍압, 비산석 등의 발파공해에 대한 허용 기준치가 설정되어야 한다. 이러한 기준치 설정은 각종 문헌, 보고서 및 유사공사

수행사례 등을 참조로 하며, 인제 및 동식물에 미치는 감응, 인근 구조물의 사용용도, 위험도, 형태 및 노후정도 등을 감안하여 설정하여야 한다.

4) 발파진동을 예측하는 추정식 결정

발파진동예측을 위한 추정식을 산정하는데는 두가지 방법이 있다.

① 거리와 장약량을 달리하고 그외의 조건들을 동일하게 정한 후, 발파진동을 반복측정하면 실험식을 구할 수 있으므로 이와같은 방법으로 산정된 기존의 경험식을 우선 설계에 적용하고 시공중에 확인측정을 수행하여 그결과에 따라 진동 전파식으로 보정하는 방법

② 굴착공사 착수전에 시험발파를 행하고 발파진동을 계측함으로써 대상지역의 발파진동전파식을 산정하여 설계에 적용하고 계측함으로써 결정하는 방법이다.

물론 이 경에도 시공중에 검측을 시행하여 작업의 안정성과 효율성을 확보하여야 한다.

5) 시험발파

$$V=K(D/W^b)^n \text{ (우리나라 적용식)}$$

여기서 V: 지반진동속도(Particle Velocity
cm/sec)

K: 발파진동상수(Blasting Constant)

D: 폭원과 측점과의 거리(m)

W: 지발당 장약량(Charge Per
Delay, kg)

b: 장약지수(Charge Index)

n: 감쇄지수(Attenuation Constant)

상기식에서 K, b, n은 정량적으로 평가할 수 없는 인자에 의한 영향을 대표하는 값으

로서 시험발파 결과로부터 얻어야만 하며 지질 및 암반 발파방법, 화약의 종류 등에 따라 다른 값을 보여준다.

따라서 거리를 고정시키고 장약량을 변화시켜 장약량에 대한 진동 수준을 구하고, 장약량을 고정시키고 거리를 변화시켜 거리의 진동수준을 구해서 그 현장에 알맞는 진동식을 결정한다.

6) 시험발파 결과분석

측정결과치를 거리별, 장약량, 화약의 종류별로 정리한 후에 $V=K(D/W^b)^n$ 의 식에서 변수 b를 1/2과 1/2로 취하고 D/W^b 를 S.d (Scaled Distance)라 놓으면 $V=K(S.D)^n$ 이 되며 측정한 진동값에 대한 선형회귀분석(Linear Regression Analysis)을 실시하기 위해 log-log 그래프에 나타내면 직선관계가 성립되어 K값과 n값이 결정되며 최종적으로 진동 추정식을 얻게 된다.

7) 발파설계

상기절차를 거쳐 현장 허용진동 기준치와 발파진동식이 결정되면 거리에 따른 지발당 허용 장약량이 산출된다.

허용장약량 범위에서 작업을 수행할 수 있도록 아래와 같은 내용의 발파설계가 이루어진다.

- 포약의 종류 및 뇌관의 시간차와 종류
- 지발당 폭약량 및 뇌관배열 방법
- 천공경, 저항선, 천공간격, 천공장의 결정
- 발파공해(진동, 비산석, 폭풍압)에 대한 제어대책
- 장비조합
- 채석량

3. 발파공해에 관한 고찰

3.1 발파진동

1) 발파진동의 개요

발파란 포약과 뇌관을 사용하여 물체를 파괴하는 것으로 화약류의 폭발에 의하여 급격히 발생하는 충격압고 생성가스의 팽창에 의하여 피폭파물이 파쇄되는 것이다.

그러나 이 발파에너지가 목적하는 피폭파물에 완전히 소비되지 않고 잔류에너지가 암반내를 전파하게 되어 매질내에 진동파를 발생시켜 지반진동을 일으키게 되는데 이를 발파진동이라 한다.

2) 발파진동이 이론

발파진동은 자연적인 지진동에 비하여 고주파(수십 Hz~수백 Hz)이며 자연지진은 진동시간이 수분동안 지속되는 수가 있으나 발파진동은 길어야 1~2초인 점이 다르다. 또한 주파수는 발파공수가 많아 발파시간이 길게되면 적어지고 발파시간이 짧으면 커진다.

① 진도차의 종류와 입자운동(Dowding)

- P파 : 종파, 진행성분방향, 지표면을 통해서 가장 먼저 도착 하는 파(Longitudinal, Radial)
- S파(Transverse) : 횡파, 접선성분방향, 지표면을 통해서 중간에 도착하는 파로 자유면이나 다른 매질을 만나서 수직진동으로 변환되는 파
- R파(Veritcal) : Rayleigh파라 하며 수직파로 전형적인 지표면이동파, 지반진동의 문제가 되는 파

② 진동속도(Groud Particle Velocity)

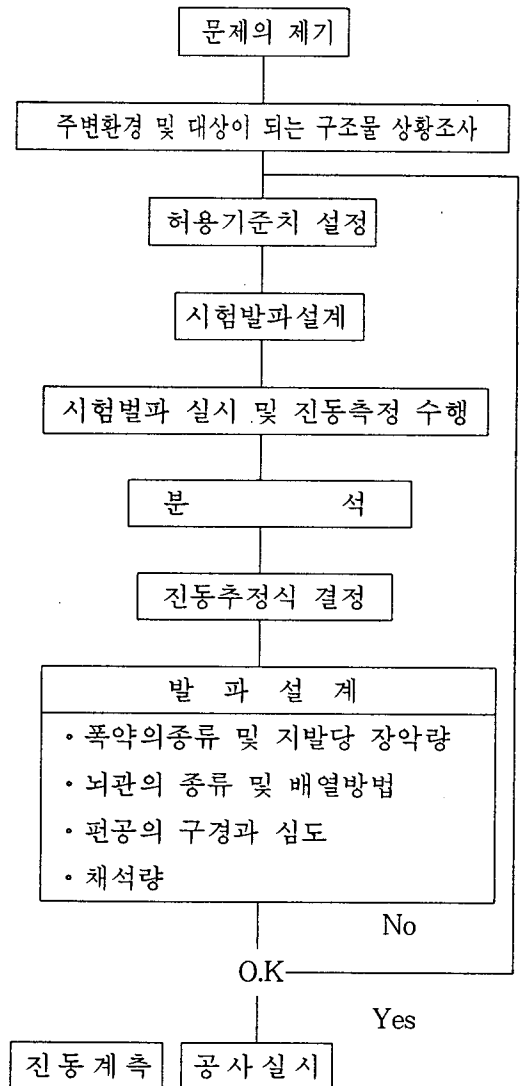
지반진동에 의해 지반중의 입자가 움직이는

진폭을 진동변위라 하며 이 진동변위의입자속도를 진동속도라 하고 단위로는 cm/sec (Kine) 또는 mm/sec로 표시한다.

자연지진 및 진도속도, 피해손상전도의 관계는 표 3-1과 같다.

$$1Gal = 908gal = 980cm/sec^2$$

3.2 발파설계 수행계획도



발파진동과 자연진동과의 관계는 Logv

$$= \frac{S}{2} - 1.4$$

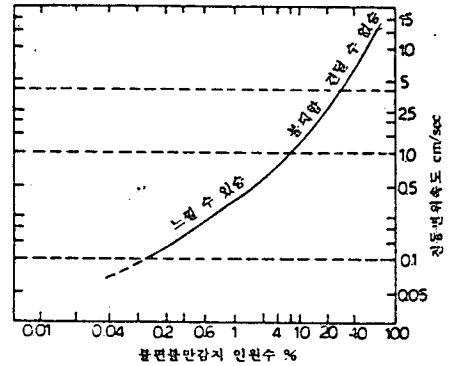
(단, v : 진동속도 Kine, S : 진도)

3) 발파진동의 인체에 대한 규제

진동에 대한 인체의 반응은 구조물보다 훨씬 민감하다. 그림 3-1에서 보는 바와 같이 입자속도 0.5cm/Sec이면 많은 사람들이 진동을 느끼게 되고 5cm/Sec이면 인체는 건물이 무너질 듯한 느낌을 받지만 실제 건물은 극히 가벼운 피해가 생기는 것으로 알려져 있다.

실제로 인체의 반응은 주관적이어서 개인차

가 크고 자세나 진동의 입력방향에 따라 크게 다르기 때문에 통계적으로 처리할 수 밖에 없다.



<그림 3-1> 발파진동에 대한 인체의 반응

<표 3-1>

자연지진 진도표

진도	명칭	최대진동속도 (Kine)	최대진동가속도 (Gal)	패해손상정도
0	무감	0.13이하	0.8이하	인체에 무감
1	미진	0.13~0.40	0.8~2.5	가만히 서있는 사람이, 주의를 기울일때 감지가가능
2	경진	0.40~1.26	2.6~8.0	일반인이 감지 가능
3	약진	1.26~4.0	8.0~25	가옥이 흔들리고 종이문이 울리고 전등, 물그릇의 수면이 흔들림
4	중진	4.0~12.6	25~80	가옥이 흔들림이 커지고 실내의 사람이 무서워 밖으로 나오고 물건이 쓰러지며 물그릇이 엎질러지고 걸으면서 느낀다.
5	강진	12.6~39.8	80~250	벽에 금이가고 묘비, 석등 등이 쓰러지며 굴뚝과 흙담이 파손된다.
6	열진	39.8~63.7	250~400	가옥이 30%이하가 쓰러지고 산이 붕괴되고 당이 갈라지며 서있을 수가 있다.
7	격진	63.7이상	400이상	가옥이 30%이상 쓰러지고 산이 붕괴되고 당이 갈라지며 단층이 생긴다.

4) 발파진동의 구조물에 대한 허용진동 속도

발파진동의 크기를 비교하거나 허용기준을 설정하는데 있어서 발파진동을 표시하는 척도가 필요하다.

Duvall과 Fogelsom(1962)은 미광무국의 지원 아래 지상구조물의 피해에 대하여 연구한 결과 진동속도가 구조물의 피해 정도와 가장 깊은 상관관계를 갖는다고 결론지었다. 이어서 1971년에 미광무국에서는 그때까지의 연구 결과를 종합하여 건물의 피해정도를 진동속도로 나타내는 것이 가장 적합하다고 강조 하였다.

또한 유럽, 캐나다 등 여러나라에서 연구한 결과도 주파수가 수십~수백 Hz의 진동에서 구조물의 피해정도는 진동속도에 비례한다고 보고 하였으며 이를 발파진동 규제의 대상으로 삼고 있다. 그러나 발파진동에 의한 구조물에

피해는 대상 구조물에 따라 다양하게 나타나며 여러학자들에 의해 많은 실험결과와 측정예가 보고 되고 있으나 일정하지 않다. 또한 나라마다 진동속도의 허용기준치가 다르므로 미국, 독일 등의 선진국을 중심으로 허용 기준치를 살펴보기로 한다.

① 미국의 진동허용 기준치

진 동 가 속 도	
0.1gal(1gal=1cm/sec ²) 이하	건물에는 피해가 없다.
0.1~1.0gal	경미한 피해
1.0gal이상	건물이 피해를 입음

1G=980gal,

1m/sec²=10²cm/sec²,

1 gal=1cm/sec²

② 포르투갈 진동허용 기준치

지반조건 건축물 종류	발파진동값 (vector sum peak particle velocity,cm/sec)		
	결집력이 없는 토양 및 자갈이 혼합	어느 정도 결집력이 있는 토양, 균일하고 높은 등급의 모래	결집력이 있는 토양,암석
	C<1,00cm/sec	C=1,00~2,00 cm/sec	C>2,000cm/sec
유적,병원,매우높은 빌딩 통상적인 건물 천근콘크리트 건물, 내진 구조물	0.25 0.5 1.5	0.5 1.0 3.0	1.0 2.0 6.0

*C:P과 속도, $V = \sqrt{V_T^2 + V_R^2 + V_V^2}$

③ 스웨덴에서의 발파진동에 의한 피해수준(Langefors, 1958)

지반조건 진동범위	지하수준 이하의 점토 모래, 자갈	퇴석(Morain) 슬레이트(Slate) 연약한 석회석	강한 석회석, 석영 질 사암, 편마암, 화강암, 현무암	피해정도
종파의 전파속도 (m/sec)	300~150	2000~3000	4500~6000	
발파에 의한 진동속도 (cm/sec)	0.4~1.8	3.5이하	7.0이하	피해없음
	0.6~3.0	5.5	11.0	무시할 수 있는 피해(피해한계)
	0.8~4.0	8.0	16.0	균열생성
	1.2~6.0	11.5이상	23.0이상	상당한 피해발생

④ 독일의 허용 진동치(DIN 4150)

건축물의 종류	허용진동치 (cm/sec)
유적이거나 고적 등의 문화재	0.2
결함이 있는 건물, 빌딩이나 균열이 있는 저택	0.4
균열이 있고 결함이 없는 빌딩	0.8
회벽이 없는 공업용 콘크리트 구조물	1.0~4.0

⑤ 우리나라

부산지하철 굴진발파 진동속도 허용치(D.W.E)

구 분	문화재	주택,아파트	상가	철근콘크리트 빌딩 및 공장	COMPUTER 시설물 주변	비고
건물기초에서의 허용진동치	0.2	0.5	1.0	1.0~4.0	0.2	

발파진동 허용기준치의 제안(단위:cm/sec)

건축물의 종류	주파수 영역	
	30Hz이상	30Hz이하
유적이거나 고적 등의 문화재	0.2	0.2
결함이 있는 건물, 빌딩이나 균열이 있는 저택	0.5	0.4
균열이 있고 결함이 없는 건물	1.0	0.8

5) 발파에 의한 진동속도 산출식

① 기초이론

폭약이 장약공에서 폭발하면 주위암반은 강력한 폭굉충격을 받는다.

이때 장약된 화약의 성질과 폭발속도에 따라 엄청난 충격압이 발생하며 암반으로 이전된 에너지의 일부로서 바로접촉된 암반이 고온, 고압상태에 도달되어 녹아내리는데 이를 용융권이라 하고 그 다음은 분쇄권, 파쇄권과 균열권을 이루고 그 다음이 진동권으로서 암반의 응력과 발파에 의한 폭력위력이 서로 작용과 반작용을 거듭하면서 암반내를 전달되어가는 것을 진동이라 하며 이 진동의 입자변위 속도를 진동속도라 칭하고 있다.

발파에 의한 지반운동은 변위(Displacement), 속도(Velocity), 가속(Acceleration)의 3종류로 표시되고 이들 사이에는 수학적 관계가 있어서 서로 변환이 가능하다.

$$\bullet D = \int v \cdot dt, V = \frac{dD}{dt}$$

$$\bullet D = \int A \cdot dt, V = \frac{dD}{dt}$$

$$\bullet D_{max} = \frac{V}{2\pi f}, V = 2\pi f \cdot D_{max}$$

$$\bullet V_{max} = \frac{A}{2\pi f}, V = 2\pi f \cdot V_{max}$$

$$\bullet f = \frac{1}{T}$$

D: 변위

V: 진동속도

Dmax: 최대변위

Vmax: 최대진동속도

f: 최대변위에서의 진동주파수

T: 최대변위에서의 진동주기

② 연구발표된 발파진동속도 공식

-Crandell(1949년)

$$E.R = KW^2 \left[-\frac{50}{D} \right]^2$$

K: 발파진동상수
E.R: 에너지비

-Atfewell(1965년)

$$V' = K \left[\frac{W}{D^2} \right]^n$$

V': 진동속도의 약2배값
K: 발파진동상수(0.05~0.23)
W: 장약량(kg)
D: 폭원과 측정과의 거리(m)
n: 감쇄지수(0.64~0.96)

-Devine(1966년)

$$V = K \cdot W^{0.75} D^{-0.15}$$

-Lanfegors

$$V = K \sqrt{-\frac{W}{D^{3/2}}} = KW^{0.5} D^{-0.75}$$

6) 발파진동을 감소시키는 방법

- 표준발파의 실시: 최적의 표준발파가 이루어지면 폭약의 폭발력이 암석의 파괴에 소모되고 잔여에너지가 적게되어 진동이 줄어든다.

- 자유면의 최대한 활용: 자유면이 많으면 진동은 경감된다.

- 지발발파의 효과를 이용한다.

o DS 뇌관, MS 뇌관을 이용한 지발발파 시행

$$(시차: \frac{25}{100} \text{Sec} \sim \frac{25}{1000} \text{Sec})$$

- 분할발파의 실시 및 지발뇌관당 장약량의 감소

- 소구경 Bit를 사용한다.
- Deck Charge를 하고 지발쇠관은 Deck 마다 충전한다.
- 지발발파기를 사용한다.

- 적당한 비장약(Specific Charge)을 사용

- 과도한 비장약 : 발관진동, 폭풍압 증가, 암석비산유발
- 과소한 비장약 : 자유면에서 반사되는 충격파의 효과를 감소시켜 발파효과를 줄이고 발파진동 증가

- 계단발파에서 공간격과 최소저항선의 비는 같게 하거나 가능한 보다 크게한다(연약암반에서는 1보다 작게 사용).

- 천공방향이 주변구조물로 향하지 않게 한다.

- 차단벽을 이용한 진동저감 : 구조물에 영향을 주는 표면파(Rayleigh 파)를 차단시키는 방안으로 그 종류로는 Open Trench, Infilled Trench, Sheet Pile Wall, 주열상 파일 차단벽(Rows of Pile)사각차단벽(Rectangular Wave Barrier)등이 있다.

3.3 발파폭풍압

1) 폭풍압(Air Blastr)의 개요

최근도심지의 주거밀집지역 인근에서 발파작업이 행해지고 있는 경우가 많아지고 있어, 여기서 발생하는 발파소음은 발파진동과 함께 중요한 재해의 하나이다.

일반적으로 발파에 의한 소음은 공기를 매질로 하여전파되는 파동중에서 사람의 귀에 들리는 가청영역의 주파수를 가지는 파동을 말한다.

그러나 가청영역이 아닌 저주파의 파동도 사

람의 귀에는 들리지 않지만 진물을 진동시켜 이차적 소음을 발생시키거나 균을 전파시키게 되므로 가청영역의 파동보다 오히려 더 위험하다.

따라서 가청영역의 소음(20Hz이상)과 저주파의 파동(20Hz이하)을 통털어 폭풍압으로 표현한다.

발파작업과정에서 폭풍압의 생성원인은 다음과 같다.

- 발파지점에서의 직접적인 암반의 변위로 인한 공기압력파(Air Pressure Pulse, APP)

- 지반진동에 의해 공기로 전달되는 파 (Rock Pressure Pulse, Rpp)

- 파쇄된 암반의 틈을 통해서 나오는 가스의 분출(Gas Release Pulse, Grp)

- 불완전한 전색에 의해 전색물이 분출되면서 나오는 가스의 분출(Stemming Release Pulse, SRP)

2) 폭풍압의 이론

공기중에서 폭약이 폭발했을때 생기는 폭풍은 폭발점을 중심으로 하여 충격파의 형태로 구면상으로 넓어져 간다.

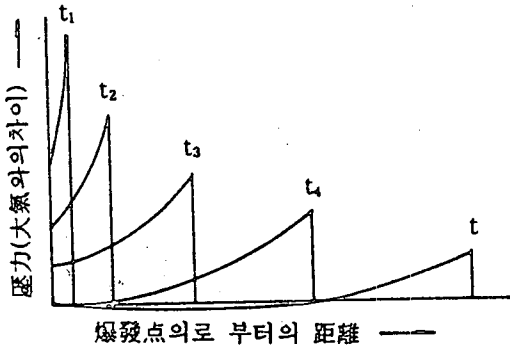
이충격파는 공기중을 전파하는 중에 약해져서 최후에는 음파로 된다.

폭풍은 처음에는 큰 Plus의 압력을 가지고 있으나 그후에 Minus의 압력을 갖는 영역이 계속된다. 그리고 시간적으로 후자편이 길다.

폭약을 대기중에 폭발시켰을때 폭풍의 형태는 시간과 함께 그림 3-2와 같이 변화여 간다. 따라서 Minus의 압력이 나타나는 영역은 폭발점으로 부터 조금 떨어진 곳부터이다.

폭발점으로 부터 거리 r만큼 떨어진 지점에서 받는 폭풍압의 시간 t에 따른 변화를 p(r,t)라 하면 그 형은 Model적으로 그림 3-3과 같이 나타난다.

폭풍의 Parameter로서는 그림에 표시한 Peak압 P, 폭풍의 도달시간 t, Plus압의 계속



<그림 3-2> 衝擊波의 形成

벤치발파에서 발생하는 폭풍압은 폭약의 폭굉에 의해 암반내 발생하는 응력파가 최소 저항선 근처의 벤치면으로부터 공중에 투사됨으로써 발생된다.

따라서 벤치발파에 있어서 환산거리의 함수로서의 폭풍압의 크기는 그림 3-4와 같이 나타난다.

한편 가로 a(m), 세로 6(m)이 면은 원으로 부터 L_0 (dB)의 음파가 공중으로 투사된 경우에 면음원의 중심축으로부터의 거리 x(m)만큼 떨어진 위치에서 음압수준 L(dB)은 다음식과 같다.

$$L = L_0 + 10 \log_{10} \left(\frac{1}{\pi} \sin^{-1} \frac{1}{\sqrt{1 + X^2 \sqrt{1 + (X/\xi)^2}}} \right)$$

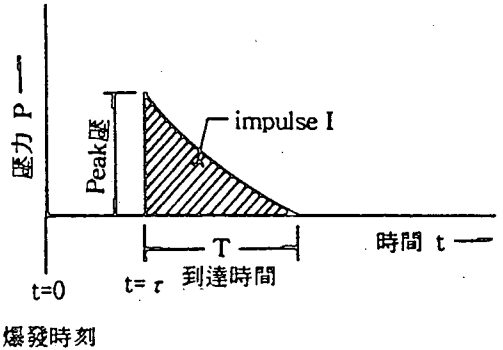
여기서, $X = x/a, \xi = b/a$

발파에 의한 폭풍압의 세기는 압력의 단위나 사람의 청각 보정을 가하여 음압수준(dB)시간 T 및 P(t)의 적분치인 Impulse I 등이다. P와

I는 다음과 같이 정의된다.

$$\text{Peak압 } P(r) = P(r,t)$$

$$\text{Impulse } I(r) = \int_{t_p}^{t+T} (r,t) dt$$



<그림 3-3> 衝擊波의 Parameter P

단위로 표시할 수 있다. 이 두단위 사이의 관계는 다음식과 같다.

$$L = 20 \log_{10} P + 194$$

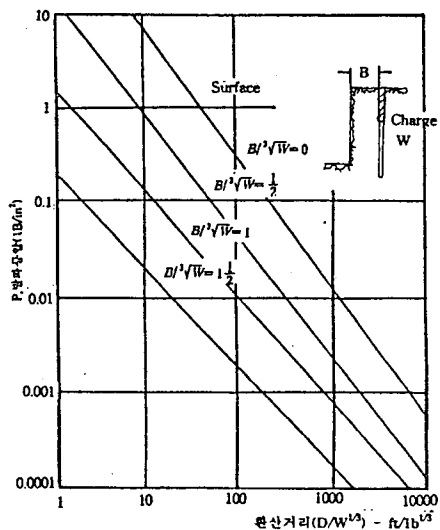
여기서, L: 음압수준 (dB)

P: 발파풍압 (atm)

이러한 두단위는 소음과 같은 가청영역에서 생각할 때는 구별을 해야 한다.

즉 압력의 단위는 소리의 압력 그 자체를 가리키고 있으며 주파수에 관계없이 일정하다. 그러나 소음의 dB 단위는 주파수에 따른 사람의 청각에 따라 보정을 가한 단위이다. 이는 폭풍압의 측정시 측정대상 주파수 영역에 따라 적절한 보정회로를 사용해야 한다는 것을 의미한다.

3) 폭풍압이 구조물 및 인체에 미치는 영향 일반적으로 발파진동 보다 폭풍압이 구조물에 미치는 영향은 크지 않다. 그러나 구조물보다 감수성이 예민한 인체의 경우에는 구조물에 영향을 미치지 않는 음압수준에서도 불쾌감을



<그림 3-4> 벤치발파에 있어서 환산거리의 함수로서의 폭풍압

느끼며, 심한 경우에는 고막손상, 청력의 장애 등을 초래하기도 한다.

폭풍압에 따른 구조물과 인체의 반응, 미광 무국 등에서 제안한 허용기준치는 표 3-2와 같다.

우리나라에서도 지역별, 시간대, 소음원에 따라 정하고 있으나 (표 3-3) 일반소음과는 별도로 발파작업에서 발생하는 발파소음의 특성이 반영되어야 할 것이다.

4) 폭풍압의 감소 대책

폭풍압의 경감대책은 발파진동의 경감대책과 유사한 점이 많다. 다만 폭풍압의 경우 바람이나 온도의 영향을 많이 받기 때문에 이러한 점

<표 3-2>

음압수준에 따른 인체 및 구조물의 반응

dB	psi	
180	3	← 구조물 손상
170	0.95	← 대부분의 유리창 깨짐
150	0.095	← 일부 유리창 깨짐
140	0.030	← 피해 한계
		미광무국 허용한 계치
130	9.5×10^{-3}	←
		미광무국 안전수준
120	3×10^{-3}	← 고통한계
		불평한계(접시나 창문이 흔들림)
110	9.5×10^{-4}	←
70	9.5×10^{-6}	←
		일상적인 대화
60	3×10^{-6}	←
40	3×10^{-7}	← 병실
20	3×10^{-8}	← 속삭임
0	3×10^{-9}	← 가청한계

을 고려해야 하며, 발파진동의 경우에는 전파 경로에서 차단하는 방법이 비교적 효과가 적지만 폭풍압의 경우에는 매우 효과적이고 실용적인 방법이 될 수 있다.

- 완전한 전색이 이루어지도록 한다.
- 벤치높이를 줄이거나 천공지름을 작게 하는 등의 방법을 통해 지발당 장약량을 감소시켜야 한다.
- 온도나 바람 등의 기후조건이 인근 구조물에 폭풍압의 집중을 초래할 가능성이 있는 장소에서는 발파를 연기하거나 피해야 한다.

- 기폭방법에서 정기폭(Top hole initiation)보다는 역기폭을 사용

- 방음벽을 설치하거나 발파부위에 Blasting mat를 사용하여 소리의 전파를 차단한다.
- 불량한 암질, 풍화암 등에서 폭발가스가 새어 폭풍압이 발생하는 곳에 주의하고 전색효과가 좋은 전색물을 사용한다.
- 소할발파에 부치기 발파를 하지 말것과 짧은 천공발파를 하는 경우 모래 주머니 등으로 덮는다.
- 도폭선 사용을 피한다.

<표 3-3> 발파로 인한 소음(폭풍압)의 기준치(생활소음규제기준 제157조)

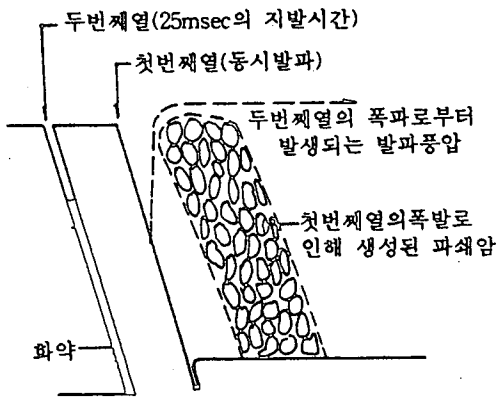
단위 : dB

대상 지역	시간별 대상소음	조식 (5-8,12-22)	주간 (8-18)	심야 (22-5)	
주거지역, 녹지지역, 취락지역중 주거지구, 관광휴양지역, 자연환경보전지역, 학교, 병원의부지 경계선으로부터 50m 이내의 지역	화성기에 의한 소음	옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	50이하	55이하	45이하
	공장 및 사업장의 소음		50이하	55이하	45이하
	공사장의 소음		65이하	70이하	55이하
상업지역, 준공업지역 일반공업지역, 취락지역중 주거지구 외의 지구	화성기에 의한 소음	옥외설치	70이하	80이하	60이하
		옥내에서 옥외로 방사되는 경우	60이하	65이하	55이하
	공장 및 사업장의 소음		60이하	65이하	55이하
	공사장의 소음		70이하	75이하	55이하

비고 : 1. 대상지역의 구분은 국토이용 관리법에 의하여 도시지역은 도시계획법에 의한다.

2. 공장장 소음의 규제기준은 주간의 경우 소음발생이 1일 2시간 미만일 때는 +10dB, 2시간 이상 4시간 이하일 때는 +5dB를 보정한 값으로 한다.

제1열은 각공을 MS 전기뇌관을 사용하여 지발발파를 하고 그 다음열은 앞열의 기폭 시간으로 부터 0.25초정도 이내로 지연하여 앞열과 같은 단수의 MS 지발발파를 하는 것이 효과적이다.



(그림 3-5) 파쇄암에 의한 폭파풍압의 차단

3.3 비산석

1) 비산석의 개요

발파에 의해 생긴 파쇄조각은 그것에 주어진 에너지의 크기에 따라 원위치에서 날아서 상당히 먼곳까지 비산한다.

비산석은 방향이나 거리 여하에 따라서는 인체나 구조물에 피해를 주게 된다.

발파사고나 비산석 사고 중 최근의 토여기에 따르면 화약류 소비주에서 총사고 건수나 비산석에 의한 사고건수가 해마다 감소되는 경향이 있으나 비산석에 의한 사고건수는 총 사고건수의 60~75%를 차지하며 그 비율은 반드시 감소경향을 나타내고 있지 만은 않다.

이와 같이 비산석에 의한 사고는 화약류 소비중에 생기는 사고 중 가장 큰 비율을 차

지하는 것이므로, 발파를 실시할 때는 비산석 방지에 충분히 주의를 기울여 공해발생을 미연에 방지하여야 한다.

2) 비산석의 이론

발파에 의한 암반의 파괴는 화약류의 발파에 의한 암반내에 유기(誘起)되는 응력파에 의한 파괴작용이 폭발생성가스의 압력에 의해 다시 조장되어 파괴가 이루어진다.

특히 자유면 가까이에서의 암반의 파괴에는 응력파가 중요한 역할을 하며 스포일(충격파에 의해 일어나는 자유면 가까이의 박리)에 의한 파괴가 탁월하다.

파두응력치(波頭應力值)가 σ_0 인 평면 압축파가 자유면에 수직으로 입사해서 단일 스포링을 생기게 할 경우 파쇄조각의 비상 초속도(初速度) V_s 은 다음과 같다.

$$V_s = \frac{2\sigma_0 - S_t}{\rho C}$$

여기서, S_t : 암반의 동적인장 강도

ρ : 암반의 밀도

C : 암반중의 평면압축파 전파속도

σ_0 의 값이 S_t 의 몇배 이상일 경우에는 스포링은 연속적으로 생기지만, 2회째 이후, n 회째의 스포링에 의한 파쇄조각의 비상초속도 $\frac{2\sigma_0 - (2n-1)S_t}{\rho C}$ 이다.

따라서 최초의 스포링에 의해서 생긴 파쇄조각 비상의 초속도가 가장 큰 값을 취한다.

한편 파쇄조각이 질점(質點) 입자를 가정하고 초속도 V_s 로 수평면과 θ 의 각도를 이루는 방향으로 경사지게 던져진 것으로 생각하여 파쇄조각이 도달하는 수평거리 l 을 구

하면 다음과 같다.

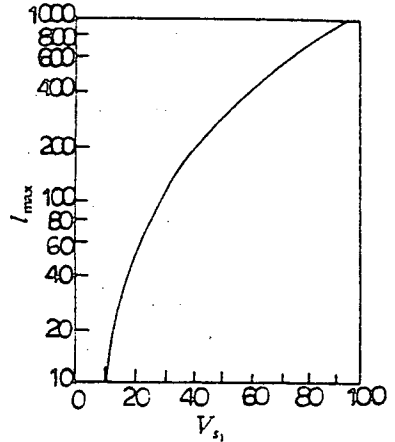
$$l = (V_d^2/g) - \sin 2\theta \quad (g: \text{중력가속도})$$

$$l = V_d^2/g \quad (\theta = 45^\circ)$$

실제로는 파쇄조각 그 자체가 질점이라고 생각할 수 없는 어떤 형태나 크기를 가지므로 공기의 저항 등을 고려하면 실제로 도달하는 거리는 상기의 계산치 보다는 상당히 작을 것으로 판단된다.

3) 비산적 경감대책

-장약량 조절 : 암석에 균열이 많거나 천공장과 천공구경이 클수록 비산의 위험이 높다. 그러므로 천공경과 천공장을 최소화하며 최소저항선 조절에 의해 장약밀도를 0.3kg/m 정도로 저하시킨다.



(그림 3-6) l_{max} 와 V_d 과의 관계

-M.S.발파 : M.S 발파의 경우 앞단계의 파쇄 암석이 다음열의 발파시 장벽으로 작용될 수 있으므로 비산을 방지할 수 있도록 M.S 뇌관을 사용해야 한다.

<표 3-4>

파쇄조각의 비산초속도의 측정예

측정자명	암반의 종류	화약류의 종류	장약량 (g)	발파공법	천공길이	최소저항선의 길이(cm)	파쇄조각의 비산 초속도(m/s)
大川貞三	석회석	신동(新桐)다이 나마이트	35	MS발파	34	60	3.6
			85		120	75	3.5
Noren CH	화강편마암	40% Extra Dy- namite		단발발파	180	18	94
					180	23	77
					180	28	52
					180	54	34
Patter- son, EM.	석 탄 사 암 혈 암	Unigel Polar ammon gelnignite	570	웨지커트	140	97~100	11.5
			570	웨지커트	120	90	15.0

-정밀한 천공을 실시하여 국부적 장약집중 현상을 방지한다.

-전색을 충분히 하여 공발이 되지 않도록 한다.

-발파공에 불순물이 들어 있지 않도록 공청소를 철저히 한 후 장약한다.

-BLASTING MAT를 사용한다.

-정밀한 천공을 실시하여 국부적 장약집중

현상을 방지한다.

-전색을 충분히 하여 공발이 되지 않도록 한다.

-발파공에 불순물이 들어 있지 않도록 공청소를 철저히 한 후 장약한다.

-BLASTING MAT를 사용한다.

4. 결론

발파란 자연상태인 암반을 대상으로 하기 때문에 암반공학적 특성 즉, 절리, 단층, 공동(Cavity)등 불확정요소가 많으므로 주어진 각

현장마다 단조로운 화약류의 선택과 몇종의 발파공법 만으로 대응하기에는 미흡한 점이 많고 이론적 정립과 확실한 신뢰도를 가지고 적용할 수있는 경험식을 도출하기도 어려운 상황이다.

따라서 안전한 발파수행을 위해서는 각종공해 발생원인, 지반 및 암반의 특성, 주변환경등 발파공해로 인한 영향권을 사전에 분석 예측하여 발파가능 여부를 판단하고 국내외에 발표된 각종 실무사례를 중심으로 분석, 검토하여 발파이론과 경험을 조화시켜 피해를 줄수 있는 모든 인자를 종합적으로 검토한 신중한 설계가 이루어져야 할 것이다.

春季大韓火藥技術學會 Seminar

1. 日 時 : 1996. 6. 4(火) AM10:00-PM5:00
2. 場 所 : 서울特別市 地下鐵 建設本部 10層 講堂
(서울市 中區 무교동 19 舊 大韓體育會 빌딩)
3. 講 師 : 地下鐵廣町作業所 清水宏 所長
4. 受 講 料 : 一金 壹拾五萬원(W150,000 : 教材代 包含)
但, 서울 地下鐵建設本部 技術職 公務員은 除外
5. 送 金 處 : 韓美銀行 : 計座番號 : 102-53109-252
預 金 主 : 大韓火藥技術學會
住宅銀行 : 計座番號 : 532002-95-112549
預 金 主 : 許 填

① 當日 9時 정각에 시작함으로 受講料는 미리 送金해 주시기 바랍니다.