도로공사 노천발파
설계·시공 요령

2006. 12.

건 설 교 통 부

목 차

Ⅰ. 제정 목적 및 적용 범위 ····· 1
1. 목적 ····· 1
2. 적용 범위 ····· 2
3. 용어의 정의 ····· 3

Ⅱ. 암발파 설계 ····· 11
1. 개요 ····· 11
2. 암발파 업무 흐름도 ····· 14
3. 발파공법 설계 ····· 16
4. 설계 발파진동 추정식 ····· 20
5. 발파공법 분류 기준 ····· 24
6. 표준발파공법과 패턴 ····· 28

Ⅲ. 시험발파 및 시공 ····· 56
1. 발파 전 사전 조사 ····· 56
2. 시험발파 ····· 58
3. 시공 및 계측 관리 ····· 68
4. 자료 수집 ····· 69
5. 발파진동 추정식 산출방법 ····· 70
6. 발파설계 적용 사례 ····· 72
7. 발파진동, 폭음 허용 기준 ····· 79

Ⅳ. 수량 산출기준 ····· 88
1. 일반 기준 ····· 88
2. 평면도 및 횡단면도상 수량산출 방법 예 ····· 89
3. 유의 사항 ····· 91

도로공사 노천발파 설계·시공 요령

Ⅰ. 제정 목적 및 적용 범위

1. 목적

도로공사 노천발파 설계지침(이하 “지침”이라 말함)은 도로건설공사의 암 발파로 인하여 발생되는 진동·발파소음으로 인한 민원발생을 사전에 예방하고 현장 여건에 적합한 경제적인 발파공법을 적용하기 위하여 암발파 설계 및 시험발파, 시공 등에 관한 사항을 정한 것이다.

이 요령은 지침의 내용을 해설하고 원활하게 사용할 수 있도록 예시하여 암발파 설계를 할 수 있도록 하는데 그 목적이 있다.

지침의 제정 목적에 충실하기 위하여 잠정지침의 장점을 그대로 살리고 불가피한 것만을 개정하기로 하였으며 다음과 같은 점에 주안점을 두었다.

(1) 민원 자체의 발생을 가급적 피할 수 있는 수준으로 설계기준을 설정한다.

(2) 지나치게 설계기준이 높아져서 비용이 증가되는 것을 지양한다. 이를 위하여 적산용으로 표준발파패턴을 정할 때 허용장약량 범위 내에서 시공성이나 경제성 양면에서 대표성이 있는 것으로 정한다.

(3) TYPE I 공법에 대해서는 새로이 정의를 하고 앞으로의 운용방법을 강구한다.

(4) 시험발파 및 계측 방법을 상세히 기술하여 계측오류를 최소화한다.

2. 적용 범위

도로공사 노천발파 설계·시공 요령은 도로법에 규정된 고속국도, 일반국도, 국가지원지방도의 노천발파에 대하여 적용한다. 본 요령에 규정하지 않은 사항은 「도로공사 표준시방서」,「도로공사 노천발파 설계·시공 지침」에 따른다.

본 요령은 허용 진동수준이 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1, 5 cm/s인 통상의 발파 환경에서 적용이 될 수 있다. 현재 발파 현장에서 사용할 수 있는 허용진동수준은 법규로 정해진 바 없어 시방서 등에서 정한 기준을 적용되고 있으므로 이 범주를 벗어나는 경우에는 그 허용기준을 적용하여야 할 것이다. 그러나 그런 경우에도 요령에서 제시한 설계 발파진동 추정식을 사용하여 공법을 적용할 범위를 계산할 수 있다.

한편 발파 소음에 관해서는 추정식의 상관계수가 낮아서 설계에 직접 사용하는 데는 무리가 많고 세계적으로도 기준이 설정되어 있는 국가가 거의 없다. 따라서 발파소음에 민감한 인체나 가축 또는 관련 시설이 포함되어 있는 경우에는 발파소음 등을 계측하여 관리하고 발생된 소음을 저감하는 방법에 대해 별도의 대책이 필요하다. 소음 저감 방법으로도 소음 수준의 조절이 불가능한 경우에는 별도의 발파공법을 고려할 필요가 있다.

3. 용어의 정의

2차 파쇄 : 발파공의 장약장이 천공장에 비하여 지나치게 짧은 경우 폭력이 미치지 못하는 발파공의 상부부분의 암반이 파쇄되지 않고 균열만 발생되거나 큰 덩어리로 파괴되는 경우 브레이커 등을 이용하여 표준 규격으로 잘게 파쇄하는 작업

LP 전기뇌관 : 전기로 점화하는 뇌관으로서 100~500 ms 시차로 기폭되는 뇌관

Langefors 방식 노천발파 설계 : 스웨덴에서 개발된 체계적인 노천발파 설계방식. 천공경으로부터 주장약과 상부장약의 밀도(단위길이당 장약량), 최소저항선 등을 결정하는 방식

$$B_{max} = \frac{d}{33}\sqrt{\frac{ps}{\bar{c}fS/B}}$$

B_{max} : 최대저항선(m)

d : 천공 직경(mm)

p : 장전밀도 (kg/m)

s : 폭약계수. (에멀젼 폭약 = 0.95)

c : 암석계수. (kg/m^3)

$\bar{c}$: 보정 암석계수. 계단고 1.4~15 m의 경우 = c + 0.05

f : 경사보정계수. (수직공 1, 3:1 경사공 0.95)

S/B : 저항선에 대한 공간격의 비.

MS 전기뇌관 : 전기로 점화하는 뇌관으로서 20~25 ms시차로 기폭되는 뇌관

Oloffson 방식 노천발파 설계 : Langefors의 방식을 단순화하고 도표로 만든 설계방법.

$B_{max} = 1.45\sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2$ 에멀젼계 폭약

$B_{max} = 1.36\sqrt{l_b} \times R_1 \times R_2$ ANFO 폭약

B_{max} : 최대저항선(m)

l_b : 장약집중도 (kg/m)

R_1 : 경사보정치

R_2 : 암석계수 C에 대한 보정치

PPV(peak particle velocity) : 진동 최대치

각선 : 뇌관에서 전류를 공급하는 전선 부분

감쇠지수 : 진동이 전파될 때 발파원에서 멀어질수록 진동의 크기가 적어지는 현상을 나타내는 변수. 진동 추정식의 n

거리~지발당 장약량 조견표 : 설계 발파진동 추정식에 의해 이격거리별로 사용가능한 지발당장약량을 산출하여 정리한 표

공발현상 : 발파공의 최소저항선거리에 비하여 폭력이 약하거나 발파공의 깊이에 비하여 전색장이 짧은 경우에는 폭약이 폭발할 때 발생되는 가스압이 공구방향으로 분출하는 현상. 공발현상이 발생되면 공구부분의 암반이 파쇄되어 함께 비산되므로 비산석에 의하여 위해가 발생될 수 있다.

과장약 : 암반의 강도나 천공경과 최소저항선 거리에 비하여 폭약량이 많은 경우. 진동 또는 전방 비산의 가능성이 있다.

권고기준 : 객관적으로 안전하다고 판단되어 작업의 관리기준으로 제시하는 기준

기폭단차 : 지발뇌관의 기폭 시간 차

기폭약(primer) : 발파공의 주 폭약을 폭발시키기 위하여 장전하는 폭약으로 뇌관이 삽입되어 있다.

긴 로드 : 일반적으로 크롤러드릴에 장착하는 3.0 m 길이의 표준로드보다 긴 로드. 대개 3.6 m 정도임.

단위 파쇄량당 장약비 : 암반 1㎥를 파쇄하기 위하여 필요한 폭약량.(= 비장약량)

로드(rod) : 발파공을 뚫기 위하여 착암기와 비트를 연결하는 봉

발파 보호공 덮개 : 발파공에 폭약을 장전하고 나머지 구멍 부위를 모래 등으로 전색하여도 폭약이 폭발할 때 공구방향으로 폭력이 분출되는 현상이 발생될 수 있기 때문에 이를 방지하기 위하여 공구 부분을 덮고 발파하는 덮개

발파 지장물 : 발파작업에 의해 피해를 입을 수 있는 보호대상물

발파 패턴 : 천공장, 천공간격, 저항선의 길이, 천공경, 천공 경사, 장약의 종류와 양, 기폭 시스템 및 배열, 장약장과 전색장 등 발파를 위한 일련의 제원.

발파공법 적용영역 : 발파공법은 규모에 따라서 암반 파쇄량과 발생 진동도 달라진다. 보안물건과의 이격거리에 따라 진동의 수준을 조절하기 위해 발파공법을 달리하는데 공법을 적용할 영역은 보안물건으로부터의 거리 영역으로 표시된다.

발파영향권 : 발파작업을 시행할 때 발생되는 소음과 진동이 주변의 보호대상물에 영향을 미칠 수 있는 거리.

발파원 : 발파공 폭약이 폭발하는 지점

발파제원 : 천공경, 천공장, 계단고, 공 경사, 최소저항선거리, 공간격 등.

발파진동 수준 관리 : 매 발파작업에 의하여 발생되는 진동을 계측하여 진동값이 허용기준이내에서 발파작업이 이루어지는 가를 확인하는 작업

발파진동 추정식 : 발파로 발생된 탄성파의 진동 크기를 장약과 거리에 따라 감쇠하는 정도를 예측하는 식으로 발파 조건과 지반의 특성 등에 의해 결정된다.

벤치고(높이) : 노천발파에서 1회에 발파되는 계단의 높이. 천공장보다 적다.

보안물건 : 발파로 인해 피해를 입을 수 있는 가옥 또는 시설 구조물.

비 뇌관 수 : 암 1 m^3를 파쇄하는데 소요되는 뇌관의 수

비 장약량 : 암 1 m^3를 파쇄하는데 장약하는 폭약의 량(kg/m^3)

비 천공장 : 암 1 m^3를 파쇄하는데 천공하는 구멍의 길이

비전기식 뇌관 : 전기를 사용하지 않고 튜브 내의 고성능 폭약을 이용하여 점화하는 뇌관으로 낙뢰나 누설전류에 대하여 안전하나 가격이 비싸다.

비트 마모도 : 비트 선단의 마모와 직경의 마모로 구분하는데 여기서는 비트 직경의 마모도를 말함. 발파공을 천공하는 비트는 천공연장이 길어질수록 비트의 가장자리와 선단이 마모되어 비트의 수명이 짧아지거나 천공 직경이 적어진다.

상관계수 : 데이터를 회귀분석할 때 데이터가 회귀선에 적합한 정도를 나타냄. 상관계수가 클수록 적합성이 높다.

소음레벨 : 인체의 청감을 고려하여 A 보정회로를 거쳐 보정된 소음 수준. 단위는 dB(A)이다.

소음•진동 저감 방법 : 소음과 진동을 저감 시키는 방법으로서 발생원에서 조절하는 방법과 전파경로에서 저감하는 방법이 있다. 일반적으로 소음은 장약량을 줄여서 조절하기는 어려우므로 진동은 발생원 조절을, 소음은 전파경로 저감법을 사용한다.

순발뇌관 : 뇌관의 시간지연장치가 없는 뇌관으로 점화하면 즉시 폭발하는 뇌관

스파이크 : 계측기 센서를 지반에 고정시키기 위해 부착한 대못

시험발파 : 발파 시공에서 설계 시 반영되지 못하였던 특성들에

의해 설계와 다른 변수를 나타낼 수 있으므로 암반의 실제적인 특성과 전파경로의 특성 등을 고려한 발파진동 추정식을 도출하기 위해 표준패턴에 가까운 방법으로 발파하고 계측하는 작업을 말함.

안정적 설계 : 현장 시공에 적용하는 발파패턴을 설계하여 발파하였을 때 허용진동수준을 초과하지 않도록 설계하는 것.

암발파 설계 : 암반을 발파하기 위하여 발파규모에 알맞은 발파패턴을 설계하는 것을 말함.

약장약 : 암반의 강도나 천공경과 최소저항선거리에 비하여 폭약량이 부족한 경우. 파쇄정도가 불량하고 진동 또는 상향 비산의 가능성이 있다.

약통경 : 미진동파쇄기나 미진동파쇄약의 직경

역기폭 : 기폭 약포를 공 바닥에 먼저 넣는 방식.

에멀젼 폭약 : 수용성의 산화제가 불용성 기름으로 쌓인 폭약으로 최근 가장 보편적으로 사용되는 폭약

영역경계 부근 : 서로 다른 발파공법을 적용하는 영역의 경계선 부근

유효한 계측치 : 지반을 통하여 전파된 발파진동이 거리에 따라서 일정한 변화값을 나타나 합리적인 분석처리가 가능한 계측치를 유효한 계측치라 함

응용발파패턴 : 동일한 발파구역 내에서 표준발파패턴을 적용하는 위치 보다 보호대상물에 근접하거나 더 멀리 이격되어 있는 지점의 암반에 대하여 발파진동규제기준을 초과하지 않고 경제적으로 암반을 파쇄할 수 있는 발파공법. 또는 같은 장약량이라도 천공이나 화약류의 제원을 달리한 패턴.

장약장 : 발파공에서 폭약이 장전되는 길이

전색장 : 폭약을 장전하지 않고 메지로 채우는 부분

전색(tamping)효과 : 재료에 따라 전색의 효과가 다르며 전색이 충분하지 않을 경우 불완전한 파쇄, 높은 폭음의 원인이 된다.

조화진동 : 하나의 고유한 진동수와 일정한 진폭으로 진행되는 가장 단순한 진동.

주 폭약 : 발파의 주력이 되는 폭약

지반의 진동전달능력 : 지반의 밀도와 불연속면의 존재, 기반암과 표토층의 성질, 지형 등에 의하여 좌우되는 전파속도, 진동속도, 우세 주파수 및 진동감쇠 특성

지발뇌관 : 뇌관의 내부에 시간지연장치를 설치하여 외부에서 점화를 시키면 뇌관 내부에서 점화가 이루어진 후 일정한 시간이 경과되어야 뇌관이 폭발하는 뇌관

지발당 장약량 : 8 ms 이내의 시차로 기폭되는 발파공에 장전된 폭약량 합계

진동레벨 : 서 있는 인체의 공진주파수를 고려하여 보정한 진동수준. 단위는 dB(V)이다.

진동배율(진동증폭율) : 지반진동에 대한 구조물이나 계측기의 공진진동의 크기 비.

천공시간 : 발파공을 드릴로 천공하는데 소요되는 시간. 동일한 암반에서 동일한 깊이로 천공할 때 소요되는 시간은 천공하는 비트(bit)의 직경의 자승에 반비례한다.

초과천공장 : 굴착 계획선보다 더 천공해야 하는 길이.

초유폭약(ANFO) : 질산암모늄과 경유를 혼합하여 사용하는 폭약으로 저렴하고 정적효과가 뛰어나 대규모 발파에 적합하다.

총장약량 : 발파공을 연결하여 한 번에 발파하는 전체 폭약량

최소저항선 : 폭약으로부터 자유면에 이르는 최소 거리.

충격진동 : 발파, 충돌 등에 의해 발생하는 진동

크롤러 드릴 : 압축공기 또는 유압을 이용하는 착암기를 장착하고 자주할 수 있도록 무한궤도를 장착하여 수평 또는 수직하향으로 발파공을 천공하는 장비

폭약의 제원 : 폭약의 직경, 길이, 무게 등

폭원과 수진점 : 발파공이 위치한 지점과 발파진동을 측정하는 지점

폭음(발파풍) : 발파로 인한 소음은 가청영역과는 다른 주파수 특성을 가지므로 이를 구별하여 일컫는 말.

표준발파패턴 : 보안물건으로부터의 거리에 따라 결정된 공법의 허용장약량 범위 내에서 대표적으로 적용할 수 있는 공법이며 주로 공사비를 산출하는 기준으로 제시된 발파패턴

허용 장약량 : 목표 진동수준 이내로 진동을 발생시키기 위해 사용할 수 있는 지발당 장약량. 발파진동 추정식으로부터 구한 허용 환산거리에 의하여 산출한다.

허용 진동수준 : 보호대상물의 종류에 따라서 차별화된 진동의 규제기준을 설정하고 발파작업에서 발생되는 진동이 규제기준 이하로 발생될 때 허용하는 진동의 크기(cm/s)를 말함.

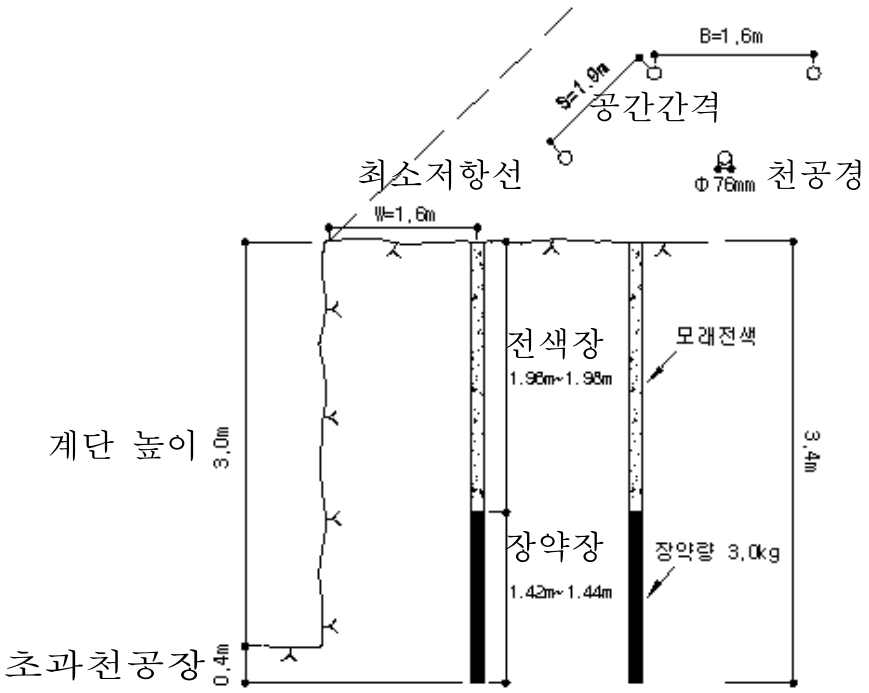
허용환산거리 : 목표 진동 수준 이하의 진동을 얻기 위해 확보해야 하는 최소의 환산거리.

환산거리 : 장약량과 이격거리가 다른 발파를 비교할 때 1 kg의 장약량으로 환산한 거리. 환산거리가 같을 때는 같은 정도의 진동이 예상되는 것으로 간주하나, 실제로는 발파규모 등에 따라 약간씩 차이가 있다. 환산거리가 작을수록 더 많은 폭약을 사용할 수 있다.

회귀분석식 : 발파에 의하여 발생되는 진동은 전파되는 거리에

따라서 진동이 대수함수로 감소되는데 이와 같은 현상을 통계 처리하는 수식

후방파쇄(back break) : 앞 열의 발파공에 의해 뒷 열의 공이 파괴되는 현상. 경사공으로 천공하면 이를 피할 수 있다.



Ⅱ. 암발파 설계

1. 개요

지침에서 발파 설계는 시험발파에 의해 진동 추정식을 산출하고 이로부터 허용진동수준을 감안하여 허용환산거리를 구한 다음 거리별로 장약량을 산정하여 적용하고 설계용 발파진동 추정식을 제안하여 시험발파를 하기 전이나 개념설계 단계에서의 물량 산정 등에 사용할 수 있도록 하였다. 즉 발파의 규모를 감안하여 발파공법을 6가지 Type으로 표준화하였고 설계 발파진동 추정식을 이용한 “거리~지발당 장약량 조견표”를 제시하여 허용진동수준과 보안물건까지의 거리에 따라 쉽게 장약량과 적용공법을 채택할 수 있도록 하였다.

발파진동의 크기는 주로 지발당 장약량과 거리에 의해 결정된다. 따라서 장약량과 거리를 조절하여 진동의 크기를 제어할 수 있다. 발파원과 보안물건의 이격거리가 정해져 있는 경우에는 장약량만 변수가 된다. 여기서 장약량은 총장약량이 아니라 지발당 장약량을 의미하며 따라서 지발당 장약량이 한정될 때 그 약량의 범위 내에서 발파가 이루어질 수 있도록 발파 패턴을 달리 하여야 한다.

지침에서는 발파의 규모에 따라 미진동 굴착, 정밀진동제어발파, 소규모 진동제어, 중규모 진동제어, 일반발파, 대규모발파의 6가지 Type으로 공법을 분류, 표준화하였다.

보안물건의 진동 허용기준은 대상물건의 종류, 구조적 안전도, 재료적 건전도 등에 따라 다를 수 있다. 또 최근에는 구조물에 대한 진동허용기준 보다 인체나 가축에 대한 허용기준이 훨씬 더 많은 민원을 야기하고 있는 형편이므로 이에 대한 기준 설정도

대단히 중요하다.

구조물과 인체 등에 대한 진동소음허용기준에 대해서는 Ⅲ장 7절에서 별도로 다루도록 한다.

“거리-지발당 장약량 조견표”는 시험발파를 하지 않은 상태에서 개략적인 설계를 하거나 시험발파를 계획하는데 사용된다. 이 조견표는 우리나라의 일반적인 지반조건에서 보편적으로 사용할 수 있도록 하기 위하여 우리나라에서 최근 3년간 실측된 자료를 기초로 하여 작성되었으며 비교적 안전측의 설계가 될 수 있도록 작성되었다. 따라서 이 조견표에 따라 설계를 하게 되면 대체로 안전하게 목표 진동수준 이하의 발파를 할 수 있다.

지침에서 채택한 설계용 발파진동 추정식은 신뢰성 높은 현장 계측 자료 중에서 약 84 %를 포함하는 추정식으로 약 75 %에 해당하는 잠정지침의 발파진동 추정식 보다 높게 설정되었다. 이러한 결과로 지발당 장약량이 같을 경우 새로운 추정식에 의한 공법 범위가 잠정지침보다 더 멀리 형성되므로 발생 진동수준은 더 낮게 나타나게 된다. 따라서 잠정지침을 적용했을 때보다 진동으로 인한 민원의 발생 가능성은 더 낮아지게 되며 환경 피해의 가능성도 그만큼 줄게 된다.

한편, 표준패턴이 영역 내에서 대표적인 것으로 선택됨에 따라 설계의 합리성이 향상되고 넓은 영역에 걸쳐서 이루어지는 중규모 이상의 발파공법에서 표준패턴에 의한 시공비의 감소가 예상되어 전체적으로 예산도 절감될 것으로 기대된다.

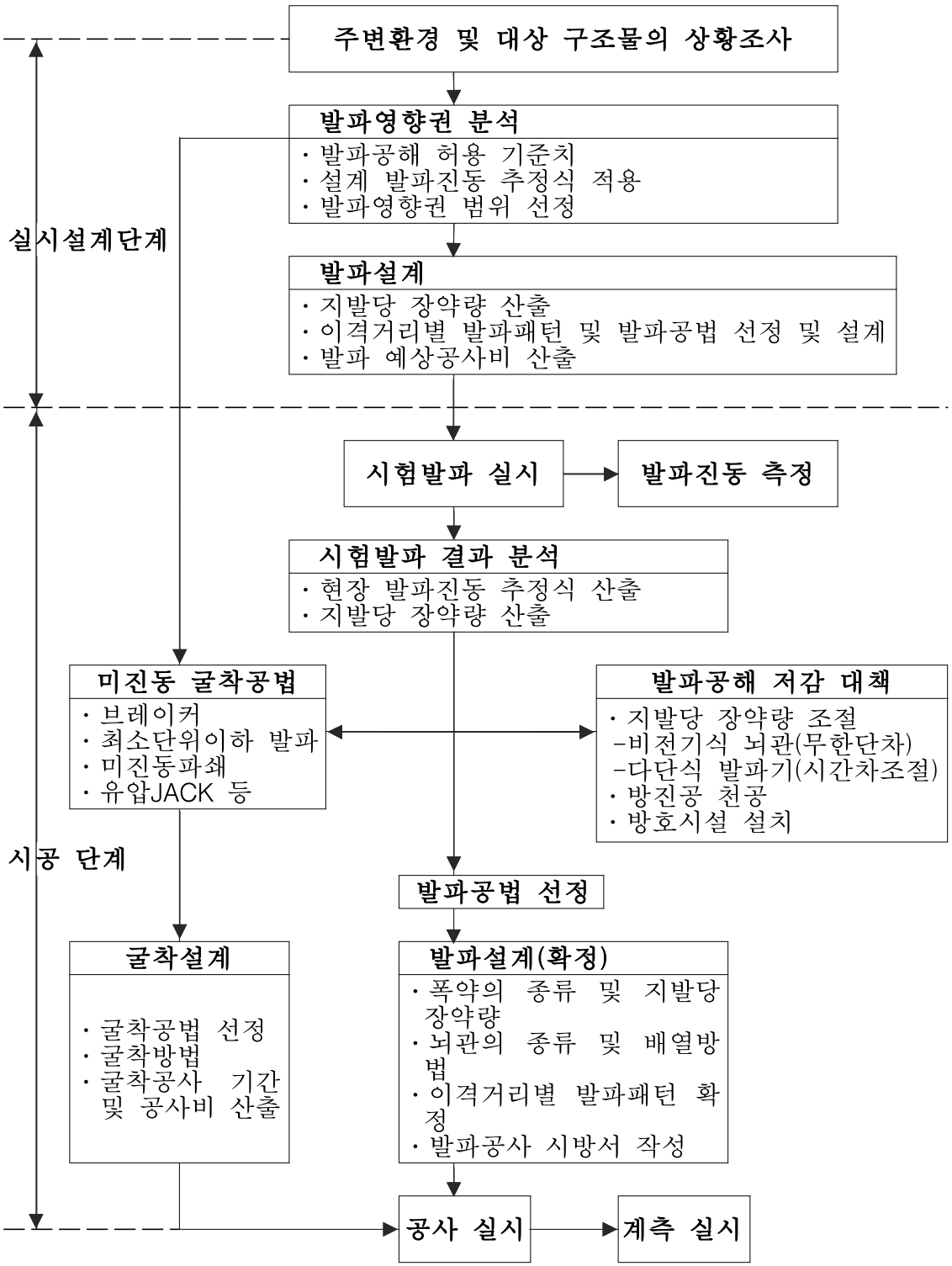
설계 발파진동 추정식은 우리나라 6개 지방국토관리청 산하 70여 개소 도로공사 현장에서 계측된 자료를 반영한 것이어서 사실상 우리나라를 대표할 수 있는 추정식으로 판단된다. 그러나 진동의

크기를 특징짓는 것은 약량과 거리 외에도 기반암의 심도나 방향성, 강도와 탄성파 전달속도 등의 지반 조건과 발파 현장과 보안물건의 고도차나 단층이나 계곡구조 등 진동을 차단할 수 있는 자연적인 지형 조건 그리고 폭약의 종류, 기폭시스템의 종류, 발파 천공의 패턴, 전색의 종류와 정도 등 발파 설계와 관련된 조건 등 많은 요소가 함께 작용하는 것이므로 실제 발생하는 진동의 크기는 예측된 것과 다를 수 있다. 따라서 현장 상태를 감안한 설계가 되기 위해서는 시험발파에 의해 지반의 진동전달능력과 여러 가지 조건이 반영되도록 하여야 한다.

이러한 시험발파를 통하여 현장에서 직접 계측한 자료로부터 도출한 발파진동 추정식은 설계 발파진동 추정식보다는 현장 조건이 더 잘 반영된 식일 것이며 이를 통하여 계산한 허용 장약량에 따라 영역별로 발파 공법을 선정하고 발파를 설계하여야 한다.

이 요령에는 적산용의 표준패턴과 함께 다양한 응용패턴을 제시하였다. 적산용의 표준패턴은 해당 공법 적용 영역 중에서 적용할 수 있는 여러 가지 패턴 중에서 평균 정도에 해당하는 장약량으로 설계된 패턴이다. 따라서 보안물건에 가까운 쪽 영역경계 부근에서 이 패턴으로 시공하면 결과적으로 진동수준이 넘어갈 개연성이 높다. 따라서 이 경계 부근에서는 응용패턴 중에서 최소장약패턴을 적용하는 것이 안정적인 시공이 된다.

2. 암발파 업무 흐름도


주변환경 및 대상 구조물의 상황조사
발파영향권 분석
· 발파공해 허용 기준치
· 설계 발파진동 추정식 적용
· 발파영향권 범위 선정
실시설계단계
발파설계
· 지발당 장약량 산출
· 이격거리별 발파패턴 및 발파공법 선정 및 설계
· 발파 예상공사비 산출
시험발파 실시
발파진동 측정
시험발파 결과 분석
· 현장 발파진동 추정식 산출
· 지발당 장약량 산출
미진동 굴착공법
· 브레이커
· 최소단위이하 발파
· 미진동파쇄
· 유압JACK 등
발파공해 저감 대책
· 지발당 장약량 조절
-비전기식 뇌관(무한단차)
-다단식 발파기(시간차조절)
· 방진공 천공
· 방호시설 설치
시공 단계
발파공법 선정
굴착설계
· 굴착공법 선정
· 굴착방법
· 굴착공사 기간 및 공사비 산출
발파설계(확정)
· 폭약의 종류 및 지발당 장약량
· 뇌관의 종류 및 배열방법
· 이격거리별 발파패턴 확정
· 발파공사 시방서 작성
공사 실시
계측 실시

암발파의 업무 흐름은 실시설계 단계와 시공단계로 대별된다. 실시설계는 발파지장물을 조사하고 설계 발파진동 추정식을 이용하여 얻어진 "표준발파공법 및 진동규제기준별 적용되는 이격거리표"를 이용하여 현장 내에 구획을 정하고 적용 공법과 장약량을 반영한 발파패턴을 설계한다. 시공단계에서는 시험발파를 통하여 현장의 조건이 반영된 발파진동 추정식을 구하고 이를 이용하여 설계를 변경한다. 현장 내 각 구역에서의 발파패턴을 변경하여 시공한다. 시공 중에는 계측을 병행하여 발파진동의 수준을 관리한다.

3. 발파공법 설계

1) 현장조사를 거쳐 보안물건(가옥, 상가, 축사, 아파트 등)에 대한 허용 발파소음·진동 규제기준을 정한다.

실시설계 단계에서는 먼저 발파현장 주변 환경 및 건축물 등의 상황을 조사하여 발파 공사로 인해 피해를 입을 수 있는 영향권을 검토하고 고려 대상이나 보안 물건을 파악한다. 피해 예상 대상의 종류에 따라 구조물에 대한 진동허용기준, 인체나 가축에 대한 진동 소음 허용기준치를 설정한다.

가축에 대해서는 잠정적으로 0.1 cm/s, 유적이나 문화재는 0.2 cm/s, 주택이나 아파트 등은 물건의 상태에 따라 0.3~0.5 cm/s, 철근콘크리트 및 공장 등은 1~5 cm/s의 진동기준을 채택할 수 있다.

인체에 대한 환경규제기준은 소음진동규제기준법의 시행규칙에 제시된 바 있으나 진동레벨과 소음레벨로 되어 있어 이를 설계에 반영하기는 어렵다. 따라서 이 기준들은 발생된 진동과 소음 수준을 관리하기 위한 기준으로 한다.

가축에 대한 진동 소음 규제기준은 세계적으로도 정해진 곳이 드물고 미국의 경우 70 dB(V)와 70 dB(A)가 권고기준으로서 소개되어 있다.

2) 이격거리는 발파원으로부터 보안물건까지의 사거리를 기준으로 측정하여 적용한다.

발파진동 추정식을 산출하거나 발파 진동이 보안물건에 미치는

영향 판정에 사용되는 거리는 사거리를 기준으로 한다.

공법 적용영역은 보안물건으로부터의 사거리 기준으로 확정한다. 보안물건이 다수일 때 각 물건으로부터 영역을 도시하여 정하고 물량을 산정한다.

3) 설계 발파진동 추정식 $v = 200(\frac{D}{W^{1/2}})^{-1.6}$을 이용한「거리~지발당 장약량 조견표」를 참고하여 보안물건에 대한 발파진동 허용기준 및 이격거리에 맞는 지발당 장약량을 구하고, 이에 적합한 발파공법을 선정한다.

설계를 위한 진동허용수준이 결정되면 설계 발파진동 추정식으로부터 각각의 공법을 적용할 영역을 구한다. 지침에서는 설계 발파진동 추정식 $v = 200(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}})^{-1.60}$이 제시되어 있고 이 식으로부터 진동허용수준별로 구한 각 공법의 적용 영역 범위가 「거리~지발당 장약량 조견표」로 제시되어 있으므로 이 표를 이용하여 각 지점의 지발당 장약량을 확인할 수 있고 이에 적합한 발파공법을 적용할 영역을 정한다.

4) 설계도에는 설계에 반영한 TYPE별 표준발파패턴을 첨부하고, 발파공법별 수량산출은 Ⅳ.수량산출기준을 참고하여 공법별로 각각 발파수량을 산출하고, 단가적용은 표준품셈에 따라 계상한다.

발파 공법은 허용장약량의 범위에 따라 나누어진다. 따라서 한 공법이 적용되는 영역 내에서도 허용장약량이 다르고 이에 따라 발파패턴도 달라지므로 영역 내에서 발파작업이 가능하도록 최소

지발당장약량에서부터 최대지발당장약량에 이르는 범위로 발파할 수 있는 패턴을 설계하여 영역별로 차등화하여 시행해야 한다. 설계에는 표준발파패턴을 첨부하도록 되어 있는데 이는 수량산출을 위한 것이며 이 패턴을 전체 영역에 적용해서는 아니 된다.

5) 발파공사 시행 전에는 설계에 적용된 표준발파패턴 및 공법을 기준으로 하되 현장 상황이 허락하는 한 실제 시공과 비슷한 조건으로 시험발파를 시행하여야 하며, 그 결과에 따라 현지 암반별 발파진동 추정식(K, n)을 구하여 발파설계를 수정·보완하여 변경한다.
시험발파 적용대상은 일반발파, 대발파를 제외한 미진동굴착공법, 정밀진동제어, 소규모, 중규모 진동제어발파를 적용하되, 일반발파, 대발파인 경우에도 보안물건에 발파영향을 미치는 경우에는 시험발파를 실시할 수 있다.
시험발파 횟수는 보안물건이 있는 경우 4 km 범위 내에서 1회를 적용하되, 암반특성 및 현장여건에 따라 추가할 수 있다.

발파공법이 적용될 영역에서는 시험발파를 통하여 지반의 진동전달능력을 파악한다. 먼저 시험발파를 할 장소와 발파패턴 및 계측계획 등을 포함하는 시험발파계획을 수립한다. 시험발파는 발파진동 추정식의 신뢰도를 높이기 위해 발파의 규모를 가급적 시공 조건과 유사하도록 정밀진동제어발파~일반발파에 이르는 다양한 규모로 실시하고 계측지점도 다양하게 변화시킨다.

시험발파를 할 장소는 발파 예정지 내에서 가급적 보안물건에 가까운 지역을 택하되 시험발파로 인한 피해가 발생하지 않도록 발파의 규모와 발파지점을 조정한다.

발파예상지점의 현지 암반 조건이 영역별로 현저하게 다른 경우에는 각 암반별로 시험발파를 하고 각각의 발파진동 추정식을 구하여야 한다. 그러나 그 영역이 넓지 않으면 전체 암반을 동일한 조건으로 간주하고 시험발파를 한다.

시험발파를 실시하면서 진동을 측정한다. 시험발파를 통하여 30점 이상의 유효한 계측치를 얻으면 이를 분석하여 발파진동 추정식을 산출한다. 발파진동 추정식은 환산거리와 각 발파의 최대 진동계측치를 양대수지(로그로그지)에 도시하거나, 수치해석하여 K와 n 값을 구한다. 현장 조건이 반영된 진동추정식을 설계에 반영하여 수정 보완한다. 진동추정식과 허용진동수준으로부터 이격거리별 지발당 장약량을 계산하고 이로부터 각 공법을 적용할 영역 범위를 구한다. 실시설계에서와 같은 방법으로 보안물건으로부터의 사거리로 새로운 영역을 산정하고 영역 내에서 각각의 허용 지발당 장약량을 감안하여 발파패턴을 설계한다. 폭약의 종류와 뇌관의 배열은 표준패턴과 응용패턴을 참조하여 현장사정에 맞게 조절할 수 있다.

현장 주변에 중요한 지장물이 없다고 판단되어 설계단계에서 일반발파 또는 대발파로 분류된 지역에서는 시험발파를 실시하지 않아도 된다. 그러나 보안물건이 있어서 영향을 미칠 수 있을 것으로 판단되면 시험발파를 실시하는 것이 바람직하다.

현지 암반 조건이 영역별로 현저하게 다른 경우에는 각 암반별로 시험발파를 하고 각각의 발파진동 추정식을 구한다. 그러나 그 영역이 넓지 않으면 전체 암반을 동일한 조건으로 간주한다.

4. 설계 발파진동 추정식

발파진동 추정식은 시험발파 등을 통하여 결정되는 것이나 설계단계에서 이러한 절차수행에는 현실적으로 적용하기에 무리가 있으므로, 효율적인 설계추진을 위하여 진동예측을 위한 설계단계에서의 발파진동 추정식 결정이 필요하다.

설계단계에서는 발파를 할 수 있는 진입로나 작업장 등이 마련되어 있지 않고 장비들도 확보되어 있지 않기 때문에 일반적으로 시험발파를 하기가 곤란하다. 따라서 보편적으로 적용할 수 있는 설계 발파진동 추정식을 이용하여 설계를 하게 된다. 이 식은 설계자가 적절히 선택할 수도 있지만 표준화를 위하여 지침에서 직접 제시하고 있다.

설계단계에서 예비검토를 위한 설계 발파진동 추정식은 아래와 같다.

$$v = 200\left(\frac{D}{\sqrt{W}}\right)^{-1.60}$$

여기서, v : 진동속도 (cm/s)

D : 폭원으로부터 이격거리 (m)

W : 지발당 최대장약량 (kg)

이 추정식은 미광무국의 환산거리 진동 추정식 형태이며 여러 가지 추정식 중에서도 적합도가 높고 장약량 설계가 편리하여 일반적으로 사용되고 있다. 진동속도는 PPV(peak particle velocity) 성분으로서 단위는 cm/s이다. 이격거리는 폭원과 수진점의 거리를 의미하며 지층 내의 다양한 경로를 통해 파가 전파되므로 추정식에서는 폭원과 수진점을 잇는 최단거리를 의미한다. 지발당 최대장약량은

여러 가지 지발뇌관을 혼용하여 쓸 때 가장 많은 량의 폭약을 기폭하는 지발에서의 장약량을 의미한다. 순발 뇌관일 때는 같이 폭발되는 장약량 전체를 의미한다.

본 지침에서 제시한 상수는 국내 도로공사 현장의 실 계측자료로부터 구한 K=200, n=-1.60이다. 이 추정식은 일반적인 환경에서 예비검토를 위한 추정식으로 사용하며 발파규모는「발파소음·진동·비석 영향권」분석에 의해 설정한다.

【거리~지발당 장약량 조견표】

단위 : kg

적용공법	진동속도 / 이격거리(m)	0.1 ㎝/s	0.2 ㎝/s	0.3 ㎝/s	0.5 ㎝/s	1.0 ㎝/s	5.0 ㎝/s	적용공법
TYPE Ⅰ 미진동 굴착공법	5	0.00	0.00	0.01	0.01	0.03	0.25	TYPE Ⅱ
	10	0.01	0.02	0.03	0.06	0.13	0.99	TYPE Ⅲ
	15	0.02	0.04	0.07	0.13	0.30	2.24	TYPE Ⅳ
	20	0.03	0.07	0.12	0.22	0.53	3.98	
	25	0.05	0.11	0.18	0.35	0.83	6.21	TYPE Ⅴ 일반발파
	30	0.07	0.16	0.27	0.50	1.20	8.95	
	40	0.12	0.28	0.47	0.89	2.13	15.9	TYPE Ⅵ 대규모발파
TYPE Ⅱ 정밀진동 제어발파	50	0.19	0.44	0.74	1.40	3.32	24.9	
	60	0.27	0.64	1.06	2.01	4.79	35.8	
	70	0.37	0.87	1.45	2.74	6.51	48.7	
	80	0.48	1.14	1.89	3.58	8.51	63.6	
TYPE Ⅲ 소규모 진동제어	90	0.61	1.44	2.39	4.53	10.8	80.5	
	100	0.75	1.78	2.95	5.59	13.3	99.4	
	110	0.90	2.15	3.57	6.76	16.1	120	
	120	1.08	2.56	4.25	8.05	19.1	143	
	130	1.26	3.01	4.99	9.45	22.5	168	
	140	1.47	3.49	5.79	11.0	26.1	195	
TYPE Ⅳ 중규모 진동제어	150	1.68	4.00	6.64	12.6	29.9	224	
	160	1.91	4.55	7.56	14.3	34.0	254	
	170	2.16	5.14	8.53	16.2	38.4	287	
	180	2.42	5.76	9.56	18.1	43.1	322	
	190	2.70	6.42	10.7	20.2	48.0	359	
	200	2.99	7.11	11.8	22.4	53.2	398	
	210	3.30	7.84	13.0	24.7	58.6	438	
	220	3.62	8.61	14.3	27.1	64.4	481	
	230	3.96	9.41	15.6	29.6	70.3	526	
	240	4.31	10.2	17.0	32.2	76.6	573	
	250	4.67	11.1	18.4	34.9	83.1	621	
TYPE Ⅴ 일반발파	260	5.05	12.0	20.0	37.8	89.9	672	
	270	5.45	13.0	21.5	40.8	96.9	725	
	280	5.86	13.9	23.1	43.8	104	779	
	290	6.29	15.0	24.8	47.0	112	836	
	300	6.73	16.0	26.6	50.3	120	895	
TYPE Ⅵ	450	15.1	36.0	59.8	113	269	2013	

0.06	미진동 굴착공법	0.25	정밀진동제어발파	1.00	소규모 진동제어발파
3.00	중규모진동제어발파	7.50	일반발파	20.0	대규모발파

【주】 1. 위 발파공법별 적용거리 기준 및 지발당 장약량은 설계 발파진동 추정식 $v = 200(D/\sqrt{W})^{-1.6}$에 의하여 설정한 것으로, 발파 대상 현장의 암반특성 및 관리 대상 보안물건의 특성에 따라 증·감될 수 있다.

2. 발파소음의 제어는 지반진동보다 훨씬 어려우므로 만약, 발파소음에 민감한 가축 사육시설 또는 요양원, 종교시설 등이 근접한 경우에는 별도 공법을 적용할 수 있다.

3. TYPE별 공법 설계는 상기기준에 맞게 하되 현장여건에 따라 조정할 수 있다.

4. 발파진동은 보안물건의 노후도나 상태, 암반상태, 진동주파수 등에 따라 달라지므로, 설계자 및 발파자는 보안물건상태, 현장조건과 관련법규 등을 검토하여 발파진동 허용기준치를 설정하고 이에 대한 이격거리별 지발당장약량을 산정하여야 한다.

거리~지발당 장약량 조견표는 설계 발파진동 추정식으로부터 허용진동수준별, 거리별로 지발당 장약량을 역산하여 나열한 표이다. 진동속도는 허용진동속도를 의미하며 보안물건의 종류에 따라 채택한다.

이 표를 활용하는 방법은 다음과 같다.

1) 먼저 허용진동수준을 결정한다.
2) 거리별로 지발당 장약량을 확인한다.
3) 영역별로 적용 공법을 확인한다. 이 때 영역의 경계는 적절히 조정한다.

예로서 진동허용수준을 0.3 cm/s로 결정하였다면 50 m 지점에서 사용할 수 있는 지발당 장약량은 0.74 kg이다. 이 약량은 0.5 kg 이상, 1.6 kg 미만이므로 TYPE Ⅲ 소규모 진동제어발파에 해당되며 이 공법을 적용하는 범위는 보안물건으로부터 40~70 m 영역이다.

TYPE Ⅲ의 표준발파패턴에서는 1.0 kg의 장약량을 사용하고 있다. 이 표준패턴은 수량 계산을 위한 것이므로 영역 전체에서 일괄 적용해서는 안 된다. 예컨대 표에서 40 m 지점에서는 0.47 kg을 쓸 수 있도록 되어 있는데 40 m 부근에서 1 kg을 적용하면 목표 진동을 크게 초과할 수 있다. 따라서 40~70 m 영역에서는 TYPE Ⅲ 소규모 진동제어발파를 적용하되 40~50 m 영역에서는 0.5 kg을, 50~60 m 영역에서는 0.75 kg, 60~70 m 영역에서는 1 kg의 지발당 장약량을 갖도록 발파패턴을 차등 적용하여야 한다.

5. 발파공법 분류 기준

5.1 표준발파공법별 분류 기준

구 분	TYPE Ⅰ 미진동 굴착공법	TYPE Ⅱ 정밀진동 제어발파	TYPE Ⅲ·Ⅳ 진동제어발파		TYPE Ⅴ 일반발파	TYPE Ⅵ 대규모 발파
			소규모	중규모		
공법개요	보안물건 주변에서 TYPE Ⅱ 공법 이내 수준으로 진동을 저감시킬 수 있는 공법으로서 대형 브레이커로 2차 파쇄를 실시하는 공법	소량의 폭약으로 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이커에 의한 2차 파쇄를 실시하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 존재하는 경우 "시험발파" 결과에 의해 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법		1공당 최대 장약량이 발파규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물건과 이격된 영역에 대해 적용하는 공법	발파영향권 내에 보안물건이 전혀 존재하지 않는 산간 오지 등에서 발파효율 만을 고려하는 공법
주 사용폭약 또는 화공품	최소단위미만폭약 미진동파쇄기 미진동파쇄약 등	에멀젼 계열 폭약	에멀젼 계열 폭약		에멀젼 계열 폭약	주폭약:초유폭약 기폭약:에멀젼
지발당장약량 범위(kg)	폭약기준 0.125 미만	0.125 이상 0.5 미만	0.5 이상 1.6 미만	1.6 이상 5.0 미만	5.0 이상 15.0 미만	15.0 이상
천공직경	ϕ51mm 이내	ϕ51mm 이내	ϕ51mm 이내	ϕ76mm	ϕ76mm	ϕ76mm 이상
천공장비	공기압축기식 크롤러 드릴 또는 유압식 크롤러 드릴 선택 사용					
표준패턴	미진동 굴착공법	정밀진동 제어발파	진동제어발파		일반발파	대규모 발파
			소규모	중규모		
천공깊이(m)※	1.5	2.0	2.7	3.4	5.7	8.7
최소저항선(m)※	0.7	0.7	1.0	1.6	2.0	2.8
천공간격(m)※	0.7	0.8	1.2	1.9	2.5	3.2
표준 지발당 장약량(kg)	-	0.25	1.0	3.0	7.5	20.0
파쇄 정도	균열만 발생 (보통암 이하)	파쇄 + 균열	파쇄 + 균열		파쇄 + 대괴	파쇄 + 대괴
계측관리	필 수	필 수	필 수		선 택	선 택
발파보호공	필 수	필 수	필 수		불 필 요	불 필 요
2차 파쇄	대형브레이커 적용	대형브레이커 적용	-		-	-

※ 천공 깊이, 최소저항선, 천공간격 치수 등은 평균적으로 제시한 수치이며, 공사시행 전에는 시험발파에 따라 현장별로 검토·적용할 것.

발파공법을 발파효율과 진동제어를 위한 장약량 규모별로 나누어

6가지로 나누었으며 각각의 표준규격은 표와 같다. 공법의 분류와 규격에 대한 설명은 6절에서 따로 다루었다.

5.2 표준발파공법 패턴별 특성

Type	명칭	설계 지발당 장약량 (kg)	발파제원※ W×E×H(m)	천공경 (mm)	공당 파쇄량‡ (m^3/공)	사용폭약
Ⅰ	미진동 굴착공법	폭약기준 0.125 미만	0.7×0.7×1.3	ϕ 51 이내	0.637	
Ⅱ	정밀 진동제어발파	0.25	0.7×0.8×1.8	ϕ 51 이내	1.01	에멀젼 폭약 등 (ϕ25~32mm)
Ⅲ	소규모 진동제어발파	1.0	1.0×1.2×2.4	ϕ 51 이내	2.88	〃 (ϕ32mm)
Ⅳ	중규모 진동제어발파	3.0	1.6×1.9×3.0	ϕ 76	9.12	〃 (ϕ50mm)
Ⅴ	일반발파	7.5	2.0×2.5×4.8	ϕ 76	24.0	〃 (ϕ50mm)
Ⅵ	대규모발파	20.0	2.8×3.2×7.3	ϕ 76 이상	65.4	주폭약 : ANFO 기폭약 : 에멀젼

【주】※ W:최소저항선 E:공간간격 H:벤치고 ‡ 공당파쇄량은 평균값임.

1. 설계 지발당 장약량 기준은 설계 발파진동 추정식 $v = K(D/W^b)^n$에 의한 "거리~지발당 장약량" 조견표 기준임. (진동상수 K = 200, n = -1.6, b = 1/2)
2. 발파대상 암반의 강도나 지형특성 등에 따라 설계지발당 장약량과 발파제원이 변동될 수 있음
3. 미진동파쇄기와 유압잭 및 브레이커 파쇄공법 등은 진동전파 특성에 따라 일반폭약과는 상이하므로 시험시공에 의해 지발당장약량과 천공패턴 등의 굴착방법을 설정할 것
4. 장소가 협소하거나 현장여건상 크롤러드릴의 사용이 곤란한 장소에서는 착암기를 사용한 발파공법을 적용할 수 있음.

이 표에서는 앞에서 설명한 발파공법에서 표준 장약량을 표시하였다. 발파제원은 최소저항선과 공간간격 그리고 벤치고로 나타내었다. 벤치고는 수직 천공인 경우 천공장에서 초과천공장을 뺀 값으로 결정되며 일반발파와 대규모발파의 경우에는 70° 경사천공이어서 경사까지 보정하여 제시한 값이다.

천공장의 선택은 일반적으로 현장에서 사용하는 로드(rod)의

길이와 수에 의해 결정된다. 통상 로드의 연결 작업에 시간과 노력이 많이 소요되므로 가능한 한 천공을 끝까지 하는 것이 효과적이다. 따라서 천공장은 현장에서 사용하는 규격을 감안하여 가장 효과적인 것으로 채택하였다. 각 공법별로 설계 지발당 장약량으로 표시하였는데 이 값은 해당영역에서 대표적으로 시공될 수 있는 장약량을 나타낸 것이며 전체 영역에 걸쳐서 이 패턴을 적용하면 경계부근에서는 약장약 또는 과장약이 되므로 영역 내에서도 장약량을 변경하여 시공하여야 한다.

공당 파쇄량은 저항선과 공간간격 그리고 벤치 높이에 의해 결정되는 채석량이며 파쇄 전 원석의 체적을 나타낸다. 실제 발파의 경우 바닥부분은 정확하게 면으로 나타나지 않는다. 파쇄량은 바닥고르기 발파의 내용을 포함하지 않았다.

5.3 표준발파공법 및 진동규제기준별 적용되는 이격거리(m)

단위 : cm/s

TYPE	발파공법	v=0.1	0.2	0.3	0.5	1.0	5.0
I	미진동 굴착공법	40m까지	25m까지	20m까지	15m까지	5m까지	3m까지
II	정밀 진동제어발파	40~80	25~50	20~40	15~30	5~20	3~7
III	소규모 진동제어발파	80~140	50~90	40~70	30~50	20~30	7~10
IV	중규모 진동제어발파	140~260	90~170	70~130	50~90	30~60	10~25
V	일반발파	260~450	170~290	130~220	90~160	60~110	25~40
VI	대규모발파	450m이상	290m이상	220m이상	160m이상	110m이상	40m이상

이 표는 “거리~지발당 장약량 조견표”로부터 각각의 허용진동수준별 적용할 수 있는 공법의 적용범위를 정리한 것이다. 범위는 조견표를 참조하여 개략적으로 정리한 것으로 경계선은 현장에서 사용하기 편하도록 10 m 단위로 나누었으며 근접거리에서 발파를 하는 경우에는 5 m 간격으로 나누었고 설계 발파진동 추정식이 계측결과의 약 84 % 포함선임을 감안하여 가까운 쪽으로 나타내었다.

경계를 엄밀하게 나타낸다면 허용진동속도가 0.1 cm/s일 때 미진동굴착공법을 적용할 경계선은 40 m와 50 m 사이에 위치할 것이나 최소포장단위 허용장약량 0.1~0.125 kg을 감안하면 40 m가 타당한 선이 될 것이다. 같은 방법으로 정밀진동제어 발파와 소규모 진동제어발파의 경계선은 0.50 kg에 아주 가까운 점을 감안하여 80 m까지로 선정하였고 소규모와 중규모 진동제어 발파의 경계선도 140 m에서 결정하였다. 중규모 진동제어와 일반발파의 경계는 250 m와 260 m 사이가 되나 5 kg에서 더 가까운 260 m까지로 정하면 더욱 안전적인 선택이 된다.

6. 표준발파공법과 패턴

6.1 표준발파공법 적용 기준

- 표준발파패턴은 시험발파 이전단계의 실시 설계 시에 개략공사비를 산출하기 위해서 제시하였다.
- 표준발파패턴이나 응용패턴은 여러 가지 선택 가능한 패턴 중의 하나일 뿐이며 시공 시에는 암반의 상태와 보안물건의 거리 등을 감안하여 적절히 변형하여 적용한다. 예로서 영역 내에서 보안물건과 거리가 가까운 경계 쪽은 공법 내 최저장약패턴이나 이를 변형한 패턴을 적용한다.
- 실시설계 단계에서는 주변 환경조사, 암반의 물리적 특성, 굴착대상 암반의 높이, 시공성, 안전성 등을 고려한 사전 발파영향권 분석을 통해 발파공법을 적용하며 공사시행 시에는 시험발파를 통하여 현장에 적합한 발파공법을 선정하여 적용한다.
- 발파패턴에서 적용한 계산식은 일반적으로 많이 적용되고 있는 Langefors 제안식과 Oloffson 방식을 채택하였으며 실시설계와 시험발파 단계에서 현장조건을 감안하여 조정이 가능하다.
- 보안물건에 대한 발파공해 허용기준치는 타당한 기준에 근거하여 설계자가 설정한다.
- 암반은 보통암 기준으로 적용하며 이에 대한 에멀젼 폭약의 정상발파 비장약량을 0.3~0.35 kg/m^3로 반영하였다.
- 폭약은 국내외적으로 가장 많이 사용되고 있는 에멀젼 폭약을 기준폭약으로 적용하였으나, 다이너마이트 등 유사종류 폭약도 적용이 가능하다. 대규모 발파는 주 폭약으로 ANFO를, 기폭약으로 에멀젼 폭약을 적용하였다.

- 발파패턴 설계 시에 장약량은 포장단위로 대략 0.5개 단위로 적용하였으며, 제조사별로 폭약의 제원이 상이하므로 장약장과 전색장은 범위로 나타내었다.
- 발파 보호공 덮개는 이격거리가 비교적 가까운 진동제어 발파공법까지 적용하였으나 일반발파공법은 선별적으로 적용이 가능하다.

6.2 공법별 발파 패턴

TYPE Ⅰ: 미진동 굴착공법

1) 개요

미진동 굴착공법은 보안물건 주변에서 TYPE Ⅱ 공법 이내 수준으로 진동을 저감시킬 수 있는 공법들을 통칭하는 공법이다.

이 공법은 최소단위미만의 폭약이나 미진동파쇄기 또는 미진동파쇄약 등을 사용하는 발파공법과 대형 브레이커, 유압식 할암공법 또는 비폭성파쇄제 등의 굴착공법으로 대별할 수 있으며 여기서는 발파공법에 대해서만 다룬다. 최소단위 미만의 폭약이라 함은 상용으로 생산되는 에멀젼 폭약 또는 다이너마이트의 최소 포장단위인 100~125 g 미만의 장약을 의미한다. 실제 적용에는 상용 포장단위의 폭약을 쪼개서 적용하거나 미진동파쇄약처럼 특수한 장치에 50 g 정도의 폭약을 넣어서 위력을 줄인다. 미진동파쇄기는 폭속이 낮은 화약으로 만든 화공품이며 포장단위는 180 또는 360 g으로 되어 있고 1~2개를 장약할 수 있으나 폭약으로 환산하면 100 g 미만이 된다.

미진동 굴착공법은 공기압축기식 또는 유압식 크롤러 드릴을 사용하여 직경 51 mm 이내의 공을 천공한다. 미진동 파쇄기의 경우 천공장은 1.5 m, 최소저항선과 공간격은 0.7 m 정도로 한다. 이 공법은 보통암 이하의 암반에 대하여 균열만 발생시키는 것으로 나머지 파쇄는 대형브레이커를 적용한다.

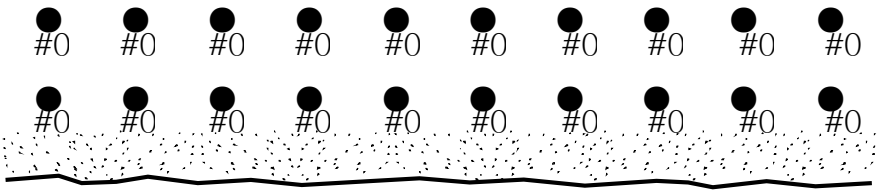
미진동 굴착공법은 일반 발파와는 진동의 발생 기구가 다르므로 진동수준을 예측하고 평가하기 위한 시험발파가 별도로 수행되어야 하고 계측관리가 필수적이다. 또 천공장이 짧아서 폭음이나 공발현상도 우려되므로 발파덮개 등의 보호공이 필수적이다.

2) 표준패턴

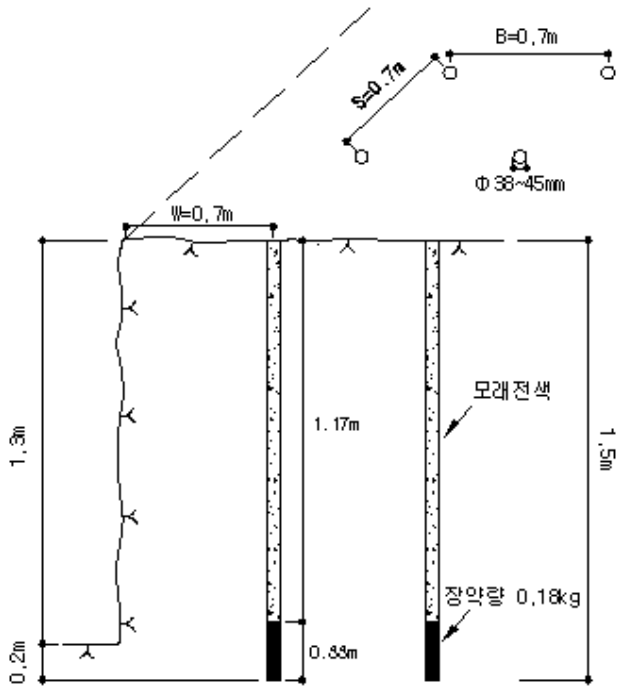
미진동 굴착공법은 다양한 공법이 있을 수 있으므로 표준패턴을 제시하지 않고 화약류를 사용한 공법인 미진동파쇄기와 미진동파쇄약의 응용패턴만을 제시한다.

3) 응용패턴 1 미진동파쇄기

천공 평면도



천공 단면도



특기 사항

① 주 용도는 도심지에서 암반발파, 콘크리트 파쇄작업을 수행하는데 사용되며, 특히 근접한 시설물을 보호하기 위한 장소에 적합하다.

② 고열을 이용한 가스 팽창으로 암 균열이 주로 이루어지므로, 발파공 사이로 가스가 새어 나오지 않도록 전색을 철저히 하여야 한다.

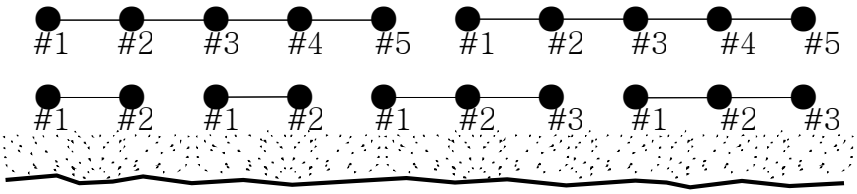
③ 본 제품은 약통경이 30~36 mm이므로 tamping효과, 파쇄효과 등을 고려하여 ø38~45 mm의 비트를 사용하는 것이 바람직하다.

④ 천공장이 짧아 공발현상이 일어날 우려가 있거나, 암질이 강해 장약량이 많이 필요한 경우에는 경사공으로 천공하여야 한다.

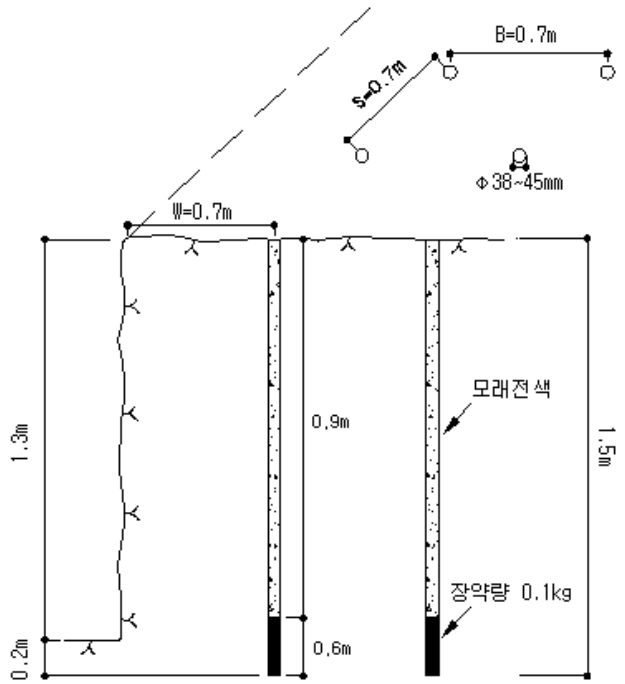
⑤ 이 제품은 순발이므로 보안물건과 근접된 장소에서 대량으로 기폭시킬 경우 1열 단위로 분할하여 적정 수량을 동시 기폭시키도록 한다.

3) 응용패턴 2 미진동 파쇄약

천공 평면도



천공 단면도



특기 사항

① 근접발파용으로 만들어진 제품이다.

② 공발현상이 우려되므로 전색을 철저히 하여야 한다.

③ 본 제품은 약통경이 32 mm이므로 tamping 효과, 파쇄효과 등을 고려하여 ø38~45 mm 비트를 사용하는 것이 바람직하다.

④ 천공장이 짧아 공발현상이 일어날 우려가 있거나, 암질이 강해 장약량이 많이 필요한 경우에는 경사공으로 천공한다.

⑤ 이 제품은 지발이지만 보안물건과 근접된 장소에서 대량으로 기폭시킬 경우 1열 단위로 분할하여 적정 수량을 기폭 한다.

TYPE II 정밀진동 제어발파

1) 개요

정밀진동제어발파는 최소포장단위 이상 0.5 kg 미만의 소량의 폭약으로 발파하여 암반에 균열을 발생시킨 후, 대형 브레이커로 2차 파쇄를 실시하는 공법이다. 최소포장단위는 제조 회사에 따라 다르며 대개 100~125 g으로 되어 있다.

표준패턴의 장약량은 0.25 kg으로 하였다. 사용 폭약은 에멀젼 폭약을 기준으로 하고 대상 암반은 보통암으로하여 표준패턴을 제시하였다.

폭약이 소량이므로 공경은 51 mm 이내로 하고 공기 압축기식 또는 유압식 크롤러 드릴을 사용하여 천공한다. 천공장은 2.0 m로 하고 저항선과 공간 간격은 각각 0.7 m, 0.8 m로 한다.

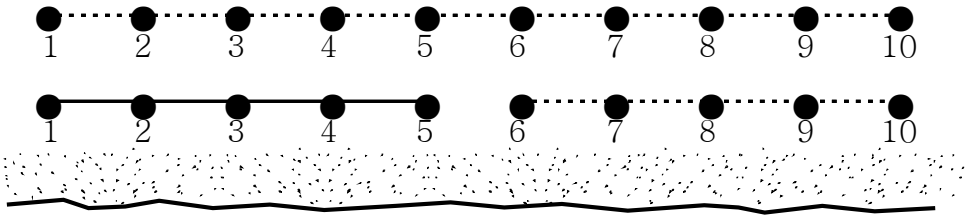
이 공법에서는 대형브레이커를 적용하며 이때 화약에 의한 1차 파쇄 및 균열 발생과 브레이커에 의한 2차 파쇄 작업을 70:30으로 적용한다.

이 공법은 화약류의 힘을 충분히 발휘하지 못하게 조절하여 비장약량이 0.3 kg/m^3에 미치지 못한다. 따라서 발파 에너지의 대부분이 파쇄에 사용되지 못하므로 약장약에 의한 폭음의 발생이 우려된다. 또 불완전발파로서 예기하지 못한 진동의 발생도 가능하므로 계측과 발파 보호공이 필수적이다.

특히 극경암이나 경암에서는 자유면이 형성되지 않으면 암반의 파쇄가 불가능하거나 공발현상이 일어나 표면암반만 발파되어 비석 우려가 있으므로 적용에 주의해야 한다.

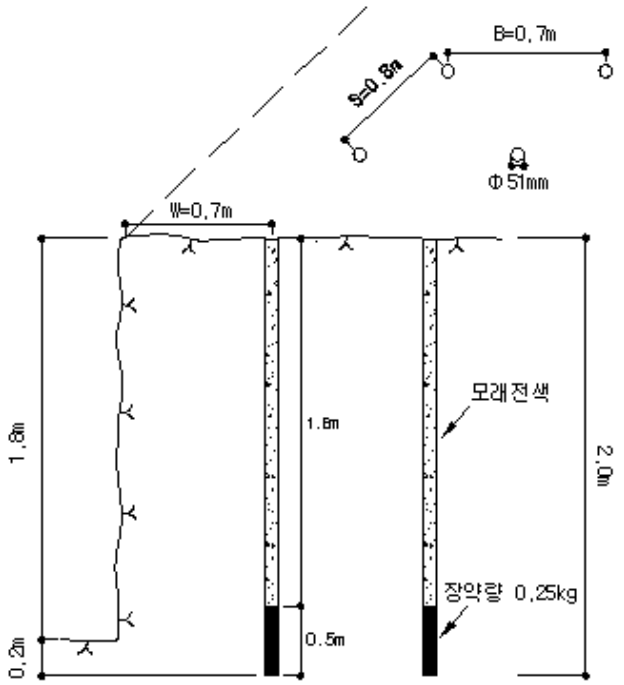
2) 표준패턴 : 장약량 0.25 kg

천공 평면도



번호는 뇌관이 기폭되는 순서를 나타냄.

천공 단면도



특기사항

① 본 발파패턴은 정밀 진동제어발파 공법으로 비장약량을 감소시켜 균열을 형성시킨 후 불도저로 리핑 또는 브레이커로 2차 굴착처리하는 방법으로 암반굴착지역이 주택지 등 보안물건이

근접하여 있는 경우에 효과적인 방법이다.

② 뇌관은 MS지발뇌관을 사용한다.

③ 표준패턴은 보통암 기준으로 작성되어 있다. 풍화암에서 중경암까지는 천공간격이나 천공경, 장약량에 융통성이 있으나, 경암에서는 공간격이나 장약량이 발파성패를 좌우하게 되므로 천공시 공간격 결정에 특히 유의한다.

④ 극경암이나 경암에서는 자유면이 형성되지 않으면 공발현상이 일어나거나 표면암반만 발파되어 비석우려가 있으므로 가능한 자유면을 형성하도록 한다.

⑤ 정밀진동제어 발파개념의 분류는 편의상 지발당 허용장약량 0.5 ㎏ 이하의 개소에서 크롤러드릴 천공 시에 적용하는 것을 원칙으로 한다.

⑥ 본 발파패턴은 전색이 불충분할 때 비석 발생의 우려가 있으므로 필히 비석방호를 위한 적절한 발파보호공을 설치해야 한다.

⑦ 발파보호공은 50 kg/㎡ 이상의 중량물로서 내구성이 우수한 것으로 한다.

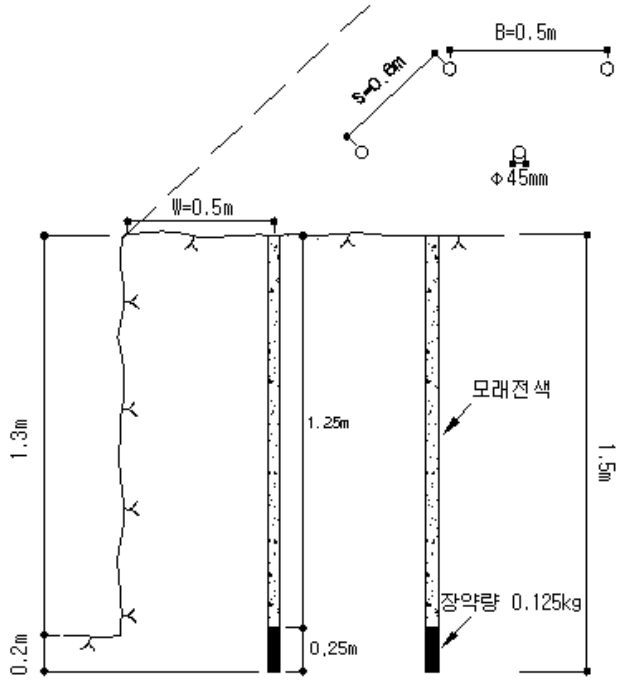
⑧ 본 발파패턴은 발파 후 대형브레이커에 의한 2차 굴착이 수행되므로 뇌관은 필히 역기폭 방식으로 기폭해야 한다.

⑨ 브레이커에 의한 2차 파쇄 시 잔류약 타격에 의한 폭발사고의 가능성을 배제하기 위해 다이너마이트의 사용을 금한다.

3) 응용패턴

응용패턴 1 (최저장약패턴) : 0.125kg 장약

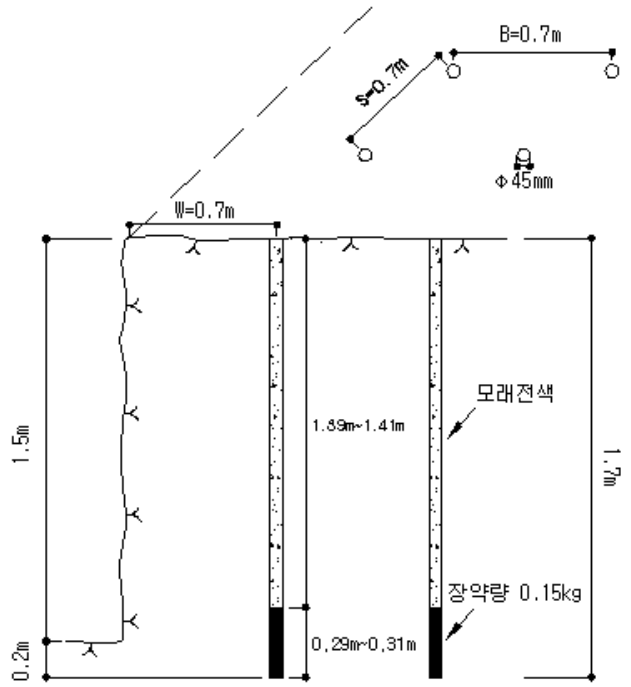
천공단면도



특기사항

최저장약패턴은 미진동 굴착공법 영역과 정밀진동제어공법의 경계 쪽에서 적용해야 할 패턴이다.

응용패턴 2 : 0.15 kg 장약



TYPE III 소규모 진동제어발파

1) 개요

발파영향권내에 보안물건이 존재하는 경우 시험발파 결과에 의해 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법이며 0.5 kg 이상 1.6 kg 미만의 폭약을 사용한다. 표준패턴에 사용되는 장약량은 1 kg으로 하였고 에멀젼 계열 폭약을 기준으로 한다.

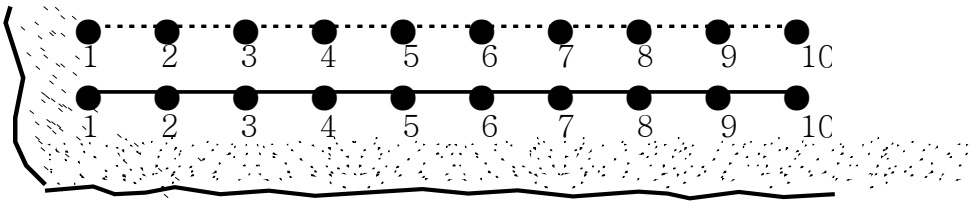
공기 압축기식 또는 유압식 크롤러 드릴을 사용하여 천공하는데 직경 51 mm 이내 공을 표준으로 적용한다.

표준 천공장은 2.7 m로 하고 저항선과 공 간격은 보통암 기준으로 각각 1.0 m와 1.2 m로 한다.

진동제어 발파는 폭약에 의한 파쇄와 균열의 발생을 유도한다. 계측관리가 필수적이며 발파 보호공도 필수적이다. 대형브레이커에 의한 2차 파쇄는 필요하지 않다.

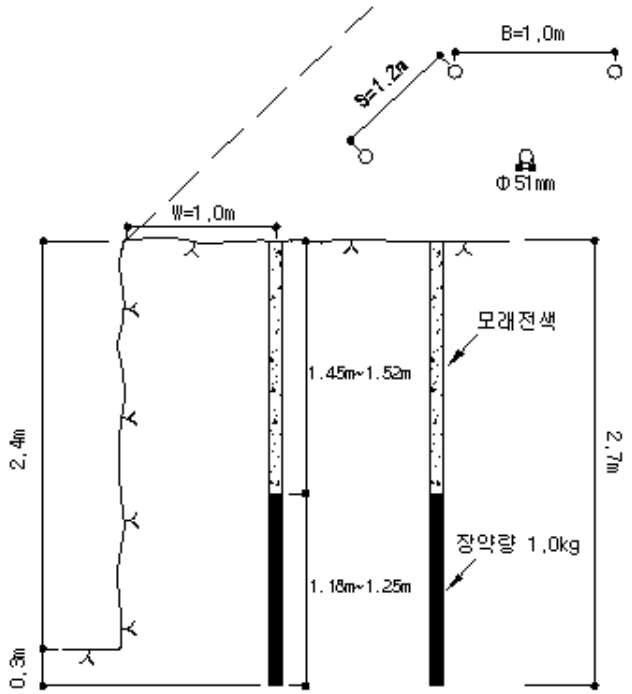
2) 표준패턴 : 장약량 1 kg

천공 평면도



번호는 뇌관이 기폭되는 순서를 나타냄.

천공 단면도



특기사항

① 본 발파패턴은 소규모 진동제어발파 공법으로 매 발파작업 시 계측과 병행 실시해야 함.

② 적용 폭약은 Φ32mm 에멀젼 폭약을 기준으로 하였음.

③ MS 전기뇌관을 사용하며, 각선의 길이는 천공장 + 1.0 m를 기준으로 함.

④ 10공을 기준하여 1회 발파로 설정하였으나 시험발파 결과에 의해 증감가능

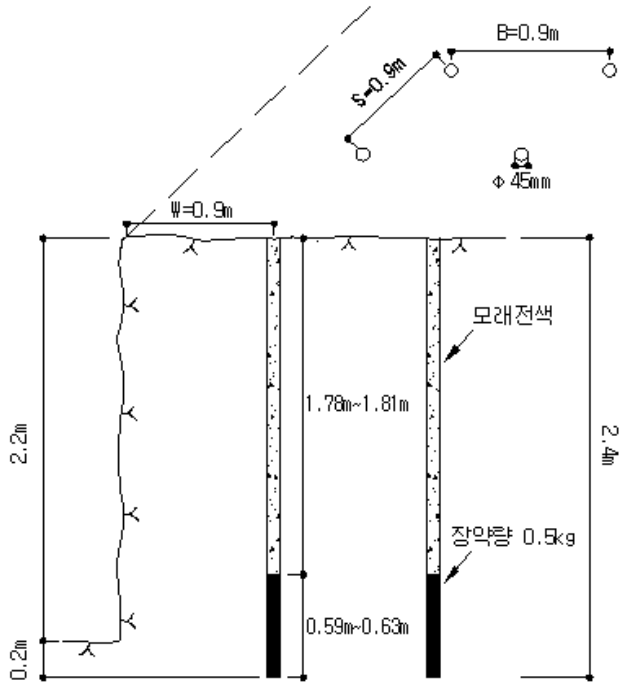
⑤ 본 발파공법은 분할발파를 실시하므로 전회 발파에 의해 후방파쇄(back break)가 발생할 경우 비석 발생 위험성이 있음. 경사공으로 시공하거나 비석방호를 위한 적절한 발파보호공을 설치할 것.

⑥ 발파보호공은 50 kg/㎡ 이상의 중량물을 사용하고 내구성이 우수한 것으로 할 것.

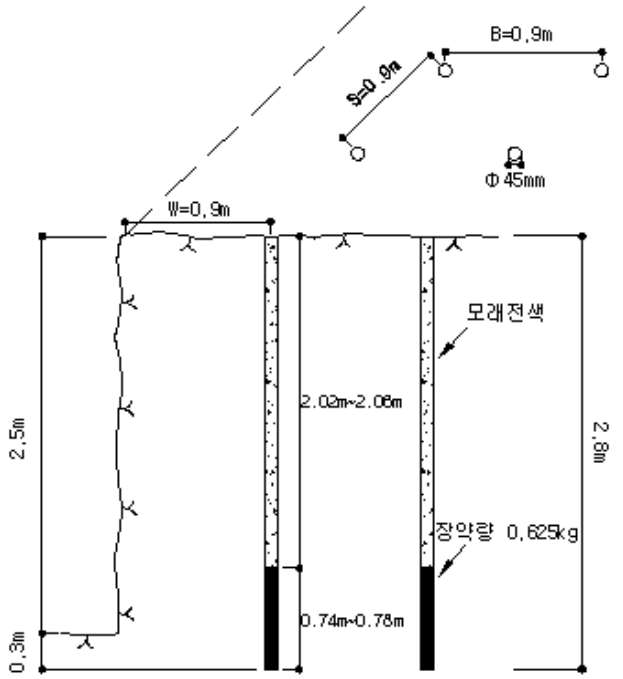
3) 응용패턴

응용패턴 1 (최저장약량 패턴) : 0.5 kg 장약

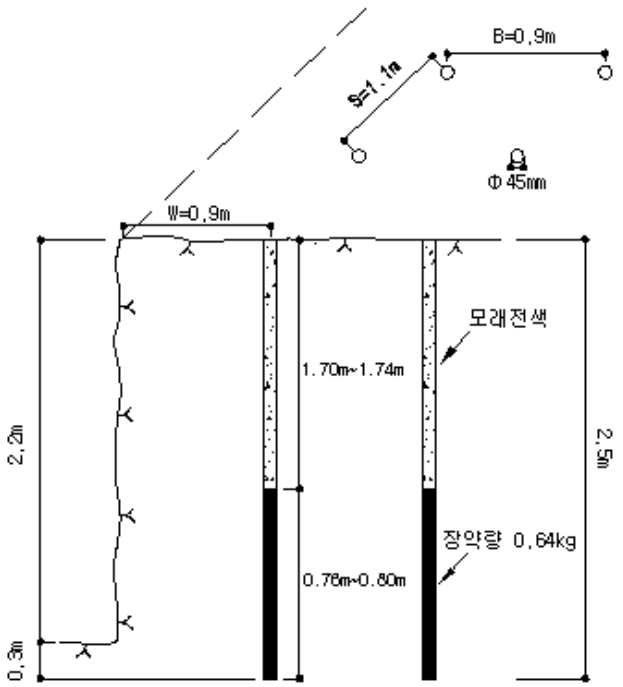
천공단면도



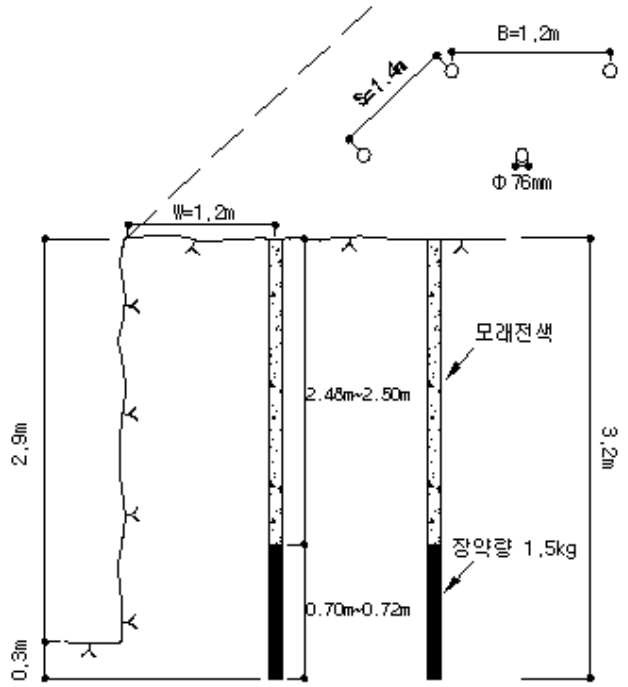
응용패턴 2 : 장약량 0.625 kg



응용패턴 3 : 장약량 0.64 kg



응용패턴 4 : 장약량 1.5 kg



TYPE Ⅳ 중규모 진동제어발파

1) 개요

발파영향권내에 보안물건이 존재하는 경우 시험발파 결과에 의해 발파설계를 실시하여 규제기준을 준수할 수 있는 공법이며 1.6 kg 이상 5 kg 미만의 폭약을 사용한다. 표준패턴에 사용되는 장약량은 3 kg으로 하였고 에멀젼 계열 폭약을 기준으로 한다.

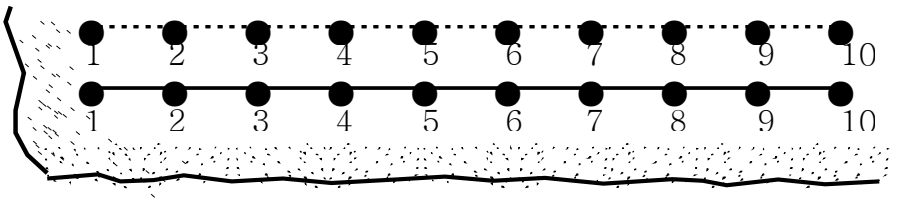
공기 압축기식 또는 유압식 크롤러 드릴을 사용하여 천공하는데 직경 76mm 공을 표준으로 적용한다.

표준 천공장은 긴 로드를 사용하여 천공장을 3.4 m로 하고 저항선과 공 간격은 보통암 기준으로 각각 1.6 m와 1.9 m로 한다.

진동제어 발파는 폭약에 의한 파쇄와 균열의 발생을 유도한다. 계측관리가 필수적이며 발파 보호공도 필수적이다. 대형브레이커에 의한 2차 파쇄는 필요하지 않다.

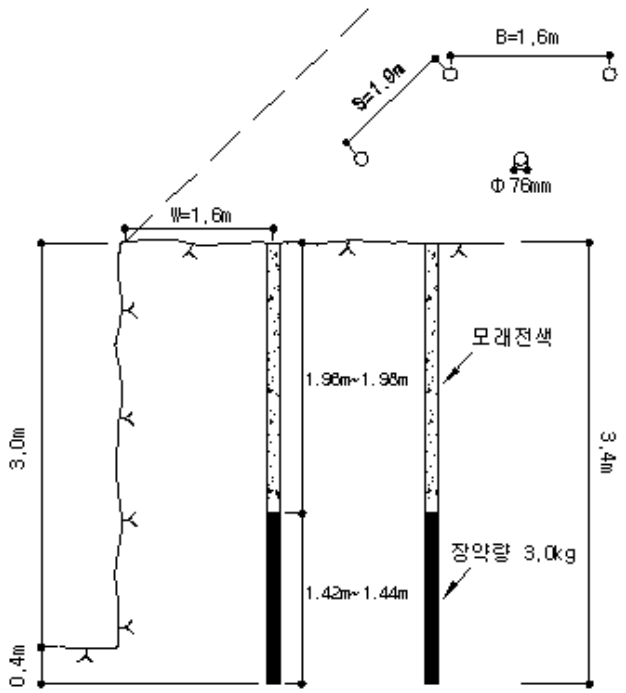
2) 표준패턴

천공 평면도



번호는 뇌관이 기폭되는 순서를 나타냄.

천공 단면도



특기사항

① 본 발파패턴은 중규모 진동제어발파 공법으로 매 발파마다 계측과 병행 실시해야 함.

② 적용 폭약은 Φ50 mm 에멀젼 폭약을 기준으로 하였음.

③ MS 전기뇌관을 사용하며, 각선의 길이는 천공장 + 1.0 m를 기준으로 함.

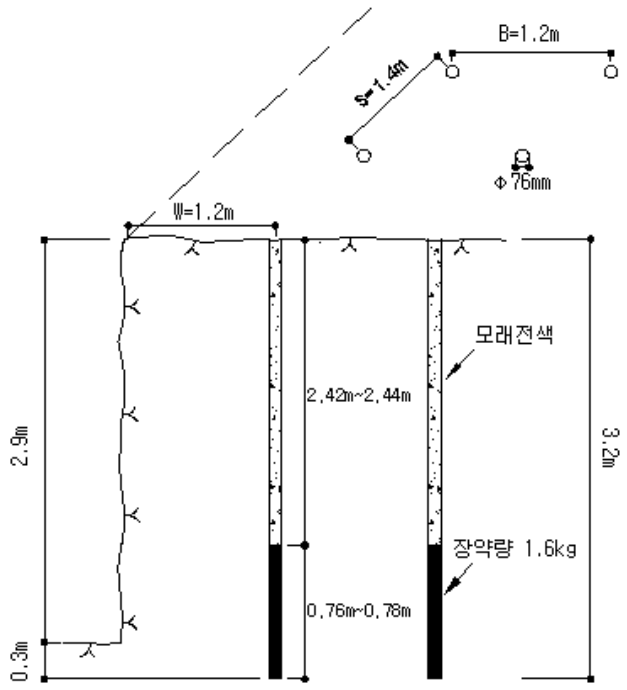
④ 10공을 기준하여 1회 발파로 설정하였으나 시험발파 결과에 의해 증감할 수 있음.

⑤ 본 발파공법은 분할발파를 실시하므로 전회 발파에 의해 후방파쇄가 발생할 경우 비석 발생 위험성이 있음. 경사공으로 시공하거나 비석방호를 위한 적절한 발파보호공을 설치할 것.

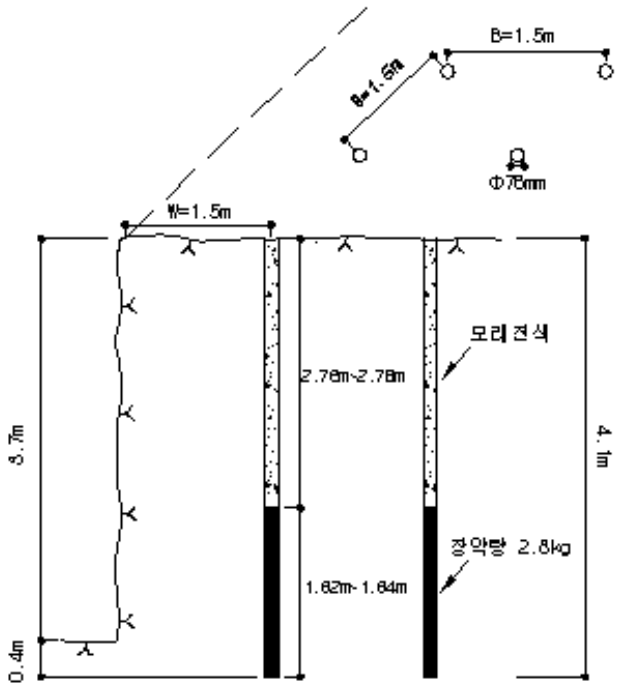
⑥ 발파보호공은 50 kg/㎡ 이상의 중량물을 사용하고 내구성이 우수한 것으로 할 것.

3) 응용패턴

응용패턴 1 (최소장약 패턴) : 1.6 kg



응용패턴 2 : 장약량 2.8 kg



TYPE Ⅴ 일반발파

1) 개요

공당 최대 장약량이 발파규제기준을 충족시킬 수 있을 만큼 보안물건과 이격된 영역에 대해 적용하는 공법이며 화약류에 의한 발파파쇄의 효과가 충실히 나타나는 효율적인 발파공법이다.

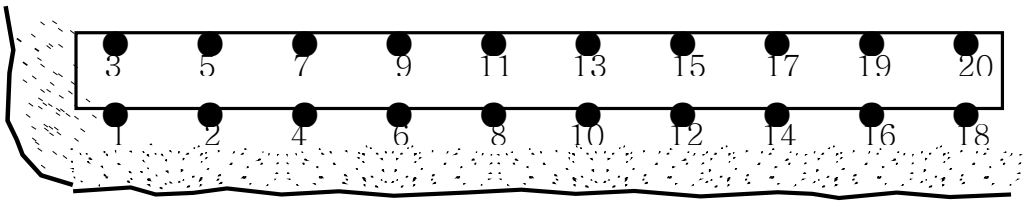
설계는 에멀젼 계열 폭약을 기준으로 하며 장약량의 범위는 5 kg 이상 15 kg 미만이며 현장에서의 작업성을 감안하여 표준패턴 장약량은 7.5 kg으로 하였다.

천공은 76 mm 직경으로 공기 압축기식 또는 유압식 크롤러 드릴로 작업한다. 천공장은 두 rod를 연결하여 5.7 m 정도로 하며 저항선과 공간간격은 2.0 m와 2.5 m를 표준으로 한다. 일반 발파의 경우 전색구간이 비교적 길어져서 파쇄와 함께 대괴가 발생할 수 있다.

계측은 선택적이나 가급적 실시하는 것이 유익하다. 계단고가 높아서 발파보호공은 실시하기가 어렵다. 그러나, 공발현상 등의 위험이 있을 경우 덮개를 실시할 수 있다.

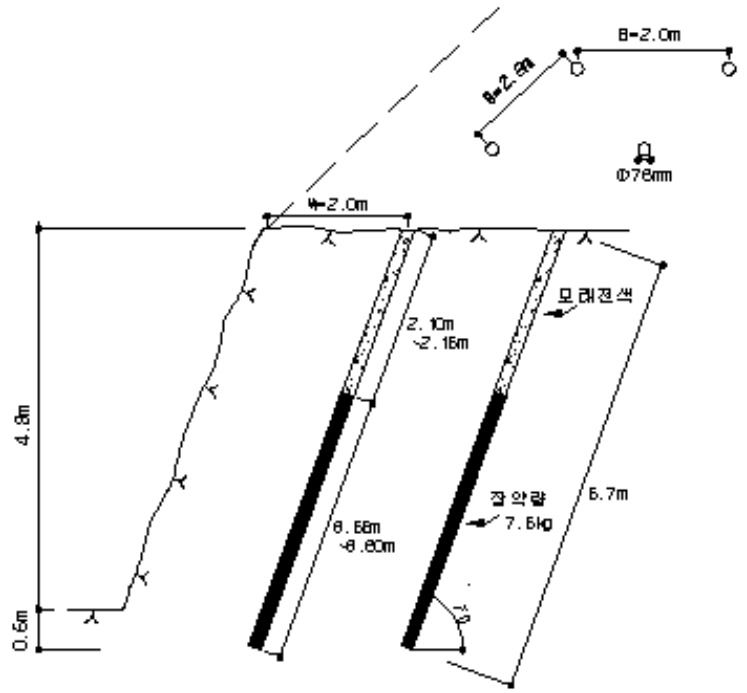
2) 표준패턴

천공 평면도



번호는 뇌관이 기폭되는 순서를 나타냄.

천공 단면도



특기 사항

① 적용 폭약은 Φ50 mm 에멀젼 폭약을 기준으로 하였음.

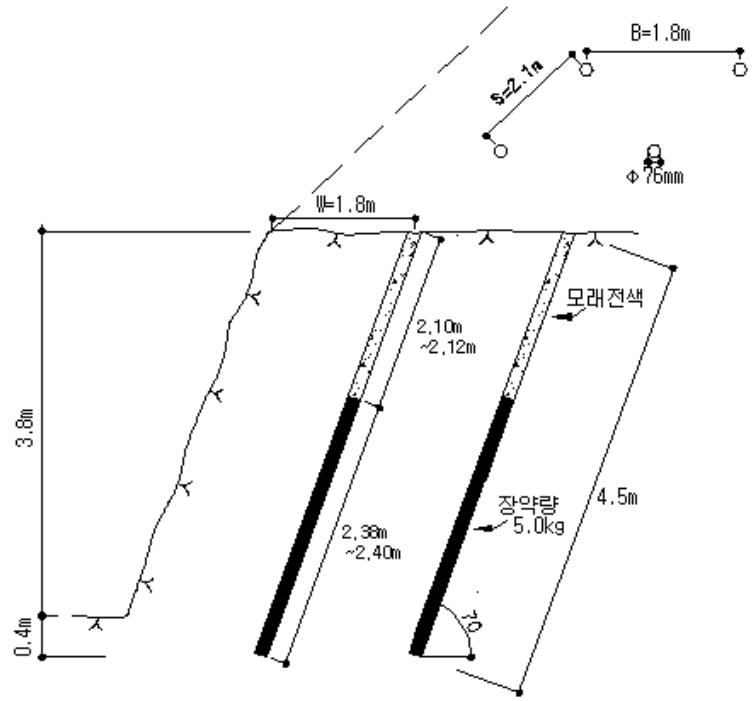
② MS 전기뇌관을 사용하며, 각선의 길이는 천공장 + 1.5 m를 기준으로 함.

③ 20공을 기준하여 1회 발파로 설정하였으나 시험발파 결과에 의해 증감할 수 있음.

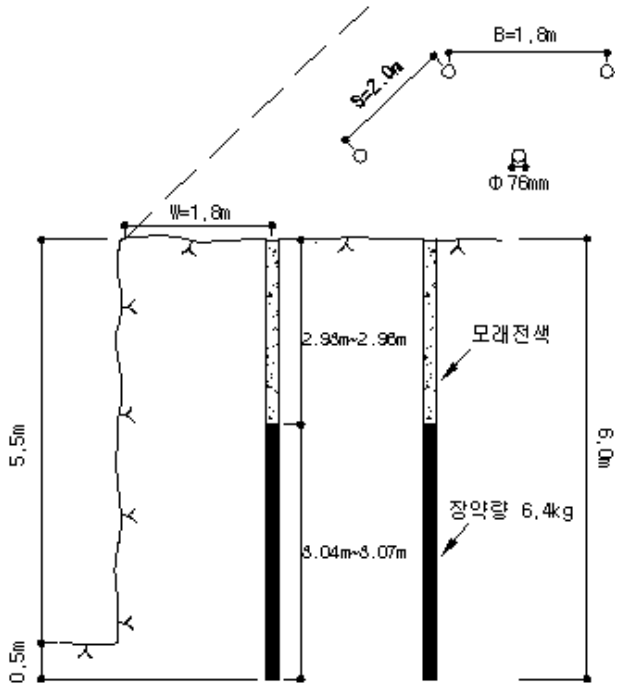
④ 지발당장약량은 7.5 ㎏으로 기준하였으나, 이격거리 및 시험발파 결과에 따라 14 ㎏까지 증가할 수 있음

3) 응용패턴

응용패턴 1 (최저장약패턴) : 5.0 kg



응용패턴 2 : 장약량 6.4 kg



TYPE VI 대규모 발파

1) 개요

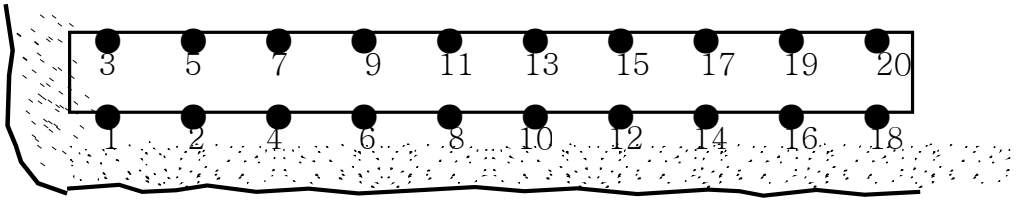
발파영향권내에 보안물건이 전혀 존재하지 않는 산간 오지 등에서 발파효율 만을 고려하는 공법이며 초유폭약(ANFO)을 주폭약으로 하고 기폭약은 에멀젼 폭약을 사용하며 역기폭으로 발파한다.

초유폭약은 저비중 폭약이므로 공경은 큰 쪽이 유리하며 적어도 ϕ76 mm 이상으로 한다. 천공은 3 rod로 천공할 수 있는 한도로 8.7 m를 택하였고 보통암에 대한 비장약량 0.3~0.35 kg/m^3를 감안하여 저항선 2.8 m, 공간격 3.2 m를 표준패턴으로 채택하였다.

대규모 발파는 비교적 전색장이 길어 파쇄와 함께 대괴의 발생 가능성이 있으므로 이를 감안하여야 한다. 계측은 일반적으로 불필요한 곳에서 적용되며 벤치고가 높아서 발파보호공도 적용할 수 없다.

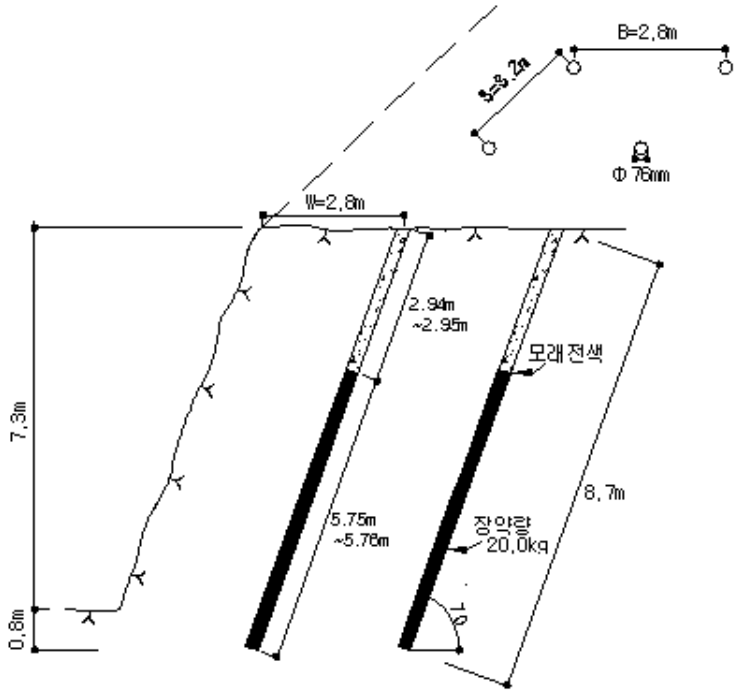
2) 표준패턴

천공 평면도



번호는 뇌관이 기폭되는 순서를 나타냄.

천공 단면도



특기사항

① 적용 폭약은 주 폭약으로 초유폭약(ANFO)을 적용하였다.

② 기폭약(primer)은 에멀젼 폭약으로 설정하였다.

③ MS 전기뇌관을 사용하며, 각선의 길이는 천공장 + 1.5 m를 기준으로 함.

④ 20공을 기준하여 1회 발파로 설정하였으나 시험발파 결과에

의해 증감할 수 있음.

⑤ 기폭약포의 위치는 천공저부로부터 50 cm 상부에 설치할 것.

⑥ 만약, 천공에 용수가 발생할 경우에는 초유폭약 대신 에멀젼 폭약 등으로 대체할 것.

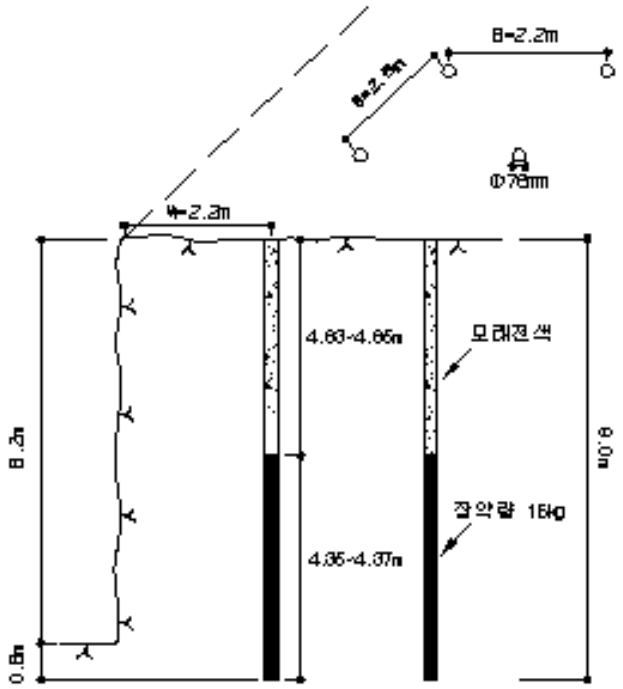
⑦ 초유폭약은 사용하는 비트의 마모도에 따라 단위 길이 당 장약량이 변화하므로 소정의 전색장(기준 2.5 m 이상)을 준수할 수 있도록 조치할 것.

⑧ 초유폭약은 정전기에 의한 위험이 있으므로 천공이 완료된 후 적어도 30분 이상 경과한 후 장약을 할 것.

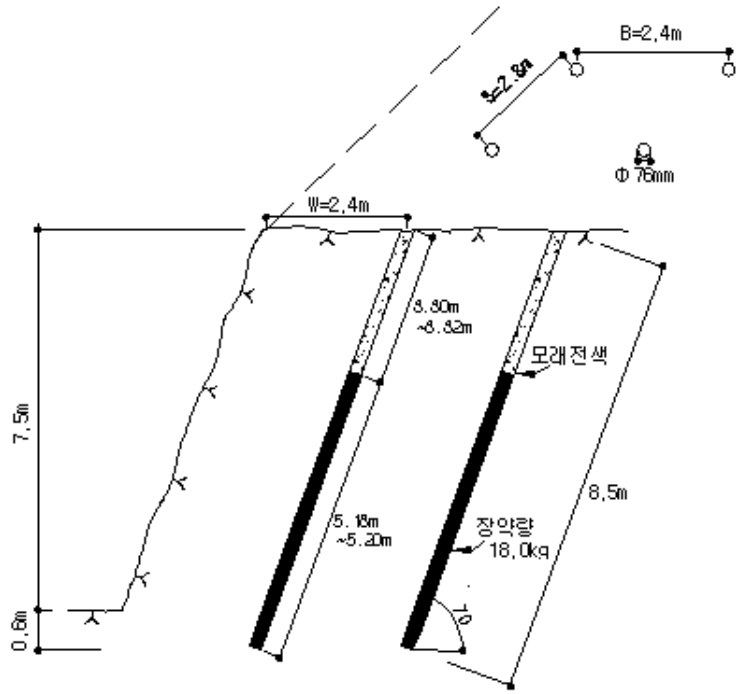
⑨ 석회암 지대에서는 암반에 공동이 존재할 수 있으므로 천공 및 장약 시에 이를 관찰하여 과장약이 되는 일이 없도록 조치할 것.

3) 응용패턴

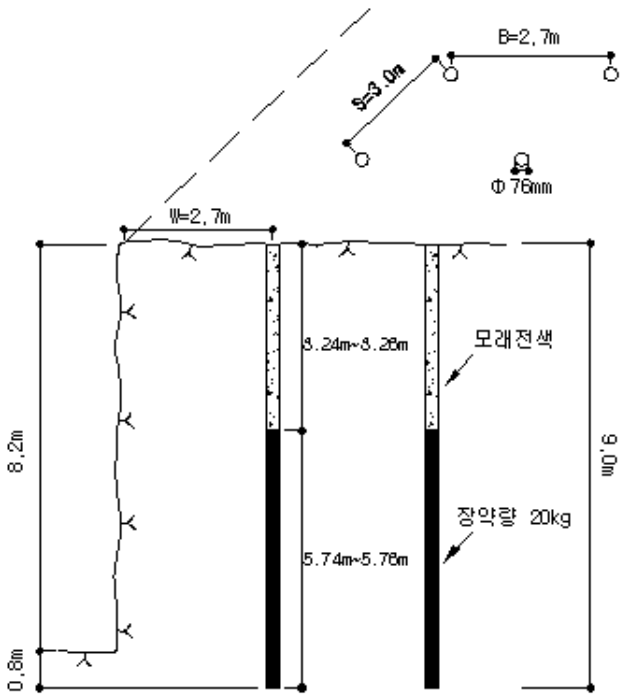
응용패턴 1 (최소장약패턴) : 15 kg



응용패턴 2 : 장약량 18 kg



응용패턴 3 : 장약량 20 kg



6.3 표준발파공법 요약 및 수량산출 예시

구분	단위	발파 설계 결과 제원					
		TYPE 1 미진동 굴착공법	TYPE 2 정밀진동 제어발파	TYPE 3 소규모진동 제어발파	TYPE 4 중규모진동 제어발파	TYPE 5 일반발파	TYPE 6 대규모 발파
지발당 허용 장약량	kg	폭약기준 0.125미만	0.125 이상 0.5 미만	0.5 이상 1.5 미만	1.5 이상 5 미만	5 이상 15 미만	15 이상
적용 굴착공법			정밀제어+ 브레이커	제어발파	제어발파	일반발파	일반발파
천공장비		크롤러드릴	크롤러드릴	크롤러드릴	크롤러드릴	크롤러드릴	크롤러드릴
천공직경	mm	Φ51mm 이내	Φ51mm 이내	Φ51mm 이내	Φ76mm	Φ76mm	Φ76mm 이상
계단 높이	m	**1.3**	**1.8**	**2.4**	**3.0**	**4.8**	**7.3**
천공장	m	**1.5**	**2.0**	**2.7**	**3.4**	**5.7**	**8.7**
최소 저항선	m	**0.7**	**0.7**	**1.0**	**1.6**	**2.0**	**2.8**
천공간격	m	**0.7**	**0.8**	**1.2**	**1.9**	**2.5**	**3.2**
공당 장약량	kg/공	**0.18** (미진동파쇄)	**0.25** (에멀젼폭약)	**1.0** (에멀젼폭약)	**3.0** (에멀젼폭약)	**7.5** (에멀젼폭약)	**20.0** (초유폭약)
비천공장	m/㎥	**2.355**	**1.984**	**0.938**	**0.373**	**0.238**	**0.133**
비장약량	kg/㎥	**0.283**	**0.25**	**0.35**	**0.33**	**0.31**	**0.31**
비뇌관량	ea/㎥	**-**	**0.992**	**0.347**	**0.110**	**0.042**	**0.015**
공당 파쇄량	㎥/공	**0.637**	**1.01**	**2.88**	**9.12**	**24.0**	**65.4**

【주】

1. 위 발파패턴은 설계 발파진동 추정식 $v = K(D/W^{b})^{n}$을 기초로 하여 산정한 "거리~지발당 장약량" 조견표에 의해 각 발파공법별 평균치를 적용한 것임. (진동상수 K = 200, n = -1.6, b = 1/2)
2. 위 발파패턴은 개략 공사비를 산출하기 위한 것으로 참고용이므로 시험발파를 실시하여 발파패턴을 확정한 후 공사비를 산출할 수 있다.
3. 시험발파 결과는 감독원의 승인을 받아 시행할 것.
5. 미진동 굴착공법은 응용패턴의 일례임
6. 미진동 굴착공법은 진동감쇠 특성이 일반폭약과는 상이하므로 별도 시험발파에 의해 지발당 장약량과 천공패턴을 설정한다.

Ⅲ. 시험발파 및 시공

시공회사는 설계도서를 검토하고 발파영향권 내 보안물건 등을 조사하여 시험발파, 본 발파, 계측관리계획을 수립하여 시행한다.

1. 발파 전 사전 조사

발파영향권 검토를 위하여 발파현장에 대한 현황 조사와는 별도로 시공사에서는 민원방지를 위해 다음과 같이 조치한다.

일반적으로 건축물이나 기타 시설물에 발생되는 균열은 지반침하, 습도의 변화 및 온도변화 등 여러 가지 요인에 의해 자연적으로 발생되고 있다. 그러나 발파작업이 인근에서 진행될 때 추가로 발생되는 균열이 진동으로 인한 피해인지의 여부를 판정하기에는 어려움이 있고, 많은 시간이 소요되며 민원 발생 시 공사 지연 등 막대한 피해가 예상된다.

따라서, 설명회 개최 등 주민들에 대한 홍보를 실시하고, 발파진동에 따른 피해여부를 파악하기 위해 주민들과 충분한 대화를 바탕으로 주민, 시설물소유자, 감독관 입회하에 사전조사를 실시한다.

발파 착수 전 주변 보안물건에 대해 건물현황과 균열상황을 파악하여 발파진동이 미칠 수 있는 현황을 조사하고, 발파영향권 내에 있는 모든 시설물의 균열 상태를 사진과 비디오로 촬영하여 추후 민원 발생 시 피해여부를 판단할 수 있는 근거자료로 확보하는 것이 바람직하다.

민원에 대항하기 위하여 필요한 경우 사전조사 업무는 발파피해 판정의 능력이 있는 전문기관으로 하여금 대행하게 할 수 있다.

1.1 조사 내용

⑴ 건물의 구조형태, 노후정도, 균열발달 상태

⑵ 대표적 균열상태의 정량적 측정

⑶ 건물의 지반상태

⑷ 건물의 시설물 현황 등

⑸ 가축의 현황 및 축종 파악

1.2 조사 방법

⑴ 발파영향권 내에 있는 주변 보안물건에 대해 건물현황과 균열 발달 상태 및 측정 결과를 비디오와 카메라로 촬영하여 차후 민원 발생 시 피해여부를 판단할 수 있는 증거자료로 활용한다.

⑵ 조사 시 날짜 등을 명시하기 위해 날짜가 기록된 간행물과 조사 현장에 시계와 달력 및 TV, 라디오를 켜서 비디오에 삽입 시킨다.

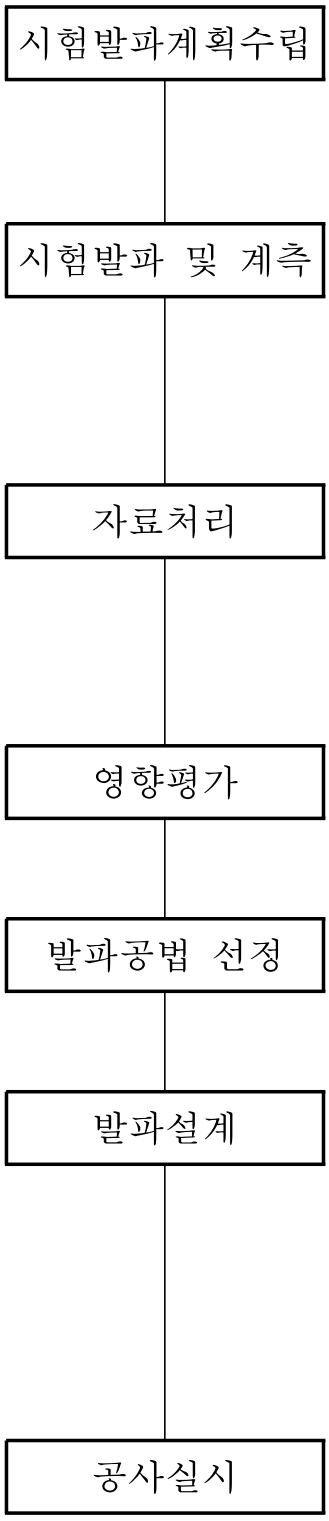
2. 시험발파

시험발파는 현장조건 및 암반특성에 따라 발파횟수와 시험발파 장소를 정하여 시행한다.

2.1 시험발파의 목적

실시 설계한 발파공법을 적용하여 현장의 지반조건 및 지형적 특성에 맞는 현장 발파진동 추정식을 산출하는데 목적이 있으며, 이를 근거로 이격거리별 지발당 허용장약량을 산출하여 발파공법 적용구간 설정 및 발파패턴을 설계하는 자료로 활용한다.

2.2 시험발파 세부 절차



- 주변환경을 고려한 허용기준 검토
- 설계 발파진동 추정식을 이용한 발파영향권 검토
- 설계발파패턴 검토

- 가급적 주변 보안물건에 근접하나, 보안물건에 피해없는 안전한 곳에서 실시
- 가능한 한 설계패턴에 가까운 천공, 장약 실시
- 신뢰성 있는 분석을 위해 30점 이상의 계측 자료 확보

- 도면 또는 전산프로그램을 이용하여 회귀분석 실시
- 현장특성에 맞는 발파진동 추정식 산출
- 거리 및 장약량 변화에 따른 감쇠지수 파악
- 이격거리별 지발당 허용장약량 산출

- 주변환경을 고려한 허용기준 검토
- 발파영향권 검토

- 지발당 허용장약량에 따른 발파공법 선정
- 발파공해 허용기준 이내의 발파공법 적용성 검토

- 선정된 발파공법에 적합한 폭약 및 지발당 장약량 결정
- 사용뇌관의 종류 및 기폭방법 검토
- 이격거리별 발파공해 허용기준을 고려해 발파패턴 설계
- 설계된 발파패턴의 안전성 검토 후 적용
- 발파공사 특별시방서 작성

- 보안물건과의 이격거리별 설계패턴 적용
- 설계패턴별 장약량 등 천공패턴 준수
- 발파작업과 병행하여 발파계측 실시

2.3 시험발파 방법

시험발파는 발파공사에 대한 중요도 및 위험요인을 감안하여 엔지니어링기술진흥법에 의한 용역업체(화약류관리) 또는 기술사법에 의한 화약류관리 기술사사무소 등 발파전문기관에 의뢰하여 실시하고, 발파진동과 발파소음에 대한 계측결과는 화약류관리 전문기술자에 의해 검토와 검증절차를 거쳐 객관적인 자료를 유지한다.

시험발파 설계패턴이 자료와 경험에 의한 추정으로 설계되기 때문에 시험발파 위치는 가급적 보안물건과 근접된 지점을 선택하되 위험을 피하기 위하여 각종 시설물에 피해가 미치지 않는 범위 내에서 가능한 한 실시설계에 가까운 규모로 한다.

또한, 시험발파 시 신뢰성을 확보하기 위해 공사관계자(발주청, 시공회사, 감리단), 현지 경찰관과 발파영향권내 시설물소유자 또는 주민 입회하에 합동으로 실시함을 원칙으로 한다.

발파진동의 크기는 궁극적으로 발파조건에 좌우되며, 발파조건의 주요 요소로는 다음과 같다.

① 사용 화약류의 종류 및 특성
② 지발당 장약량
③ 기폭 방법 및 뇌관의 종류
④ 폭원과 보안물건(측점)과의 거리
⑤ 전색상태와 장전밀도
⑥ 자유면의 수
⑦ 전파경로와 지반상태(지형, 암질, 지하수상태)

발파진동을 예측할 수 있는 일반적인 발파진동공식은 다음과 같이 사용된다.

$$v = K\left(\frac{D}{W^{b}}\right)^{n} \qquad \text{식 (1)}$$

여기서, v : 진동속도 (cm/s)

D : 폭원으로부터의 거리 (m)

W : 지발당 장약량 (kg)

K : 발파진동 상수

b : 장약지수

n : 감쇠지수

이 식에서 K, n은 정량적으로 평가할 수 없는 인자에 의한 영향을 대표하는 값으로서 지질조건, 발파방법, 화약류의 종류에 따라 변화되므로, 시험발파에 의한 계측결과를 분석하여 그 현장에 적합한 발파진동 추정식을 구하는 것이다.

지발당 장약량을 고정시키고 계측점을 달리하여 측정함으로써 거리에 따른 감쇠지수를 파악한다. 즉, 계측기 5 대 이상을 일정한 건축물이나 시설물에 대해 일직선상으로 거리를 달리하여 설치하고, 30 측점 이상의 계측 결과치를 얻어 분석을 실시한다.

또한, 거리를 고정시키고 지발당 장약량을 달리하여 측정함으로써 장약량 변화에 따른 발파진동상수와 장약지수 등을 파악하도록 한다.

암발파의 경우는 발파진동 지속시간과 발파 소음의 전파성향을 파악하기 위하여, 동시발파 공수(보통 5~20 공 정도)를 달리하고 뇌관의 기폭단차도 달리하여 실시한다.

이는 지속시간에 따른 인체의 반응이 현저하게 다르게 나타나므로, 이에 따른 분석으로 각종 민원을 예방하기 위함이다.

2.4 진동측정 방법

1) 측정방법

측정은 원칙적으로 수직방향(V, vertical)과 상호 직교하는 수평의 2 방향 즉 진행방향(L, longitudinal)과 접선방향(T, transverse)에 대한 3 성분을 동시에 측정한다.

거리에 따른 진동감쇠를 측정하고 싶은 경우에는 넓은 범위의 환산거리를 고려하여 최상의 감쇠 관계를 구하기 위해 적어도 5개 이상의 측정점에 대해 동시계측을 실시한다. 거리에 따른 감쇠 곡선은 대수 그래프에 작성하는 일이 많기 때문에 대수 그래프 상에서 등간격이 되는 위치에 측정점을 선택하면 편리하지만, 때로는 측정지형에 따라 적절하게 운용한다.

또한 최상의 감쇠 관계를 구하기 위해서는 지질상황이 일정한 지역에 측선을 설정하여 장비를 배치한다. 이상적으로는 토층의 두께가 일정한 지역에 측선을 설정하는 것이 바람직하며, 단층과 같은 큰 구조의 지질적 불연속면을 가로지르는 것을 피한다.

구조물의 진동을 측정할 경우에는 구조물과 동시에 지반 위의 진동을 측정해두고, 지반에 대한 진동배율을 구할 수 있도록 하는 것이 바람직하다.

2) 센서의 설치

센서와 지반운동이 같이 거동할 수 있도록 지반 위나 구조물상에 센서를 견고하게 고정시킨다. 단단한 지반에서는 센서에 부착된 스파이크(spike)를 이용하여 지반에 견고하게 설치한다.

또한 진동수준이 높지 않은 곳에서 센서의 스파이크가 지반에

삽입되지 않을 경우에는 모래주머니를 이용하여 센서를 완전히 고르게 덮어주어 하중을 가해 줌으로써 지반과 같이 움직이도록 해준다.

센서의 설치 방향은 센서에 표시된 방향표시와 발파원의 방향이 항상 일치하도록 설치하고, 발파원의 장소가 다른 여러 발파의 경우는 센서의 방향과 일치하지 않기 때문에 그 상황을 기록해둔다.

2.5 시험발파 결과분석

1) 분석방법

시험발파의 진동 추정식은 다양한 저자들에 의해 여러가지 형태로 연구되어 왔다. 그 가운데서 설계용으로 가장 많이 채택되고 있는 식은 미광무국(USBM) 식으로 알려진 환산거리 추정식으로 가장 중요한 변수인 거리와 장약량으로 구성되어 설계과정이 단순하고 편리하다. 지침에서도 환산거리 방식을 사용하여 설계하도록 하고 있다.

측정된 결과치를 거리별, 장약량별로 정리한 후 식 (1)에서 변수 b를 1/2과 1/3로 취하고, D/W^b를 SD(환산거리, scaled distance)라 하면 식 (2)와 같이 표현된다.

$$v = K(SD)^n \qquad \text{식(2)}$$

대개의 경우 변수 b는 1/2을 채택하며 이때 (2)식을 자승근 환산거리식이라 한다.

측정된 진동값에 대한 회귀분석(regression analysis)을 실시하기 위해 대수 눈금 그래프에 나타내면, 직선관계가 성립되어 K값과 n값이 최종적으로 결정되며, 당 현장에 적합한 발파진동 추정식을 얻게 된다.

이에 대한 결과치가 많으면 수 계산이 복잡해지므로 도표를 작성하거나 정확도를 높이기 위해 회귀분석 전산프로그램을 이용한다.

평균 추정식은 환산거리에 따른 예상 진동수준 평균을 구할 수 있는 식으로 도면에서는 자료를 가장 잘 나타낼 수 있는 추세선을 의미한다. 설계변경에 적용하는 발파진동 추정식은 95 % 수준의 발파진동 추정식이다. 여기서 95 % 발파진동 추정식이라 함은 추세선과 같은 기울기를 가진 식으로서 최대치(PPV) 진동기록 자료의 95%가 추세선 아래에 위치하게 되는 식을 뜻한다.

2) 시험발파에 대한 결과 분석내용

- 발파진동 및 발파소음에 대한 회귀분석
- 발파진동 및 발파소음 전파 추정식 산출
- 발파진동 및 발파소음 허용기준치 적합성 여부
- 거리별 지발당 허용장약량 제시
- 공당장약량 및 시험발파 패턴의 적합성 여부
- 발파공해(발파소음, 진동, 비석 등)에 대한 저감대책

발파소음의 경우 추정식은 대체로 상관계수가 낮기 때문에 설계에 사용하려는 목적이기 보다는 감쇠의 경향을 확인하기 위해서 실시한다. 따라서 소음 추정식의 산출은 의무적인 것은 아니다.

환경 민원의 대항을 위해서는 시험발파 때부터 시공 완료에 이르기까지 진동레벨과 소음레벨을 계측하며 관리하는 것이 필요하다. 진동레벨과 소음레벨의 계측은 환경부 소음·진동 공정 시험방법에 따른다.

3) 주의사항

발파진동 추정식의 설정을 위해서는 통계적 의미가 있는 수의 측정 자료가 필요하며, 적어도 30점 이상의 자료를 측정하여 신뢰도를 높인다.

계측결과 추정식의 상관계수가 0.70에 미치지 못하는 경우에는 시험발파를 다시 실시하여야 한다.

2.6 분석결과 검토 및 적용

① 시험발파 결과분석에 의해 발파진동 추정식을 얻게 되면 시험발파에 따른 발파설계 패턴의 적합성을 판단하고, 주변 건축물이나 시설물에 미치는 피해 영향 등을 검토하여 현장에 맞는 지발당 허용장약량을 구한다.

② 지발당 허용장약량을 기준으로 장비 및 작업효율 등을 감안하여 천공장, 천공경, 천공간격, 저항선 등 발파패턴을 설계한다.

③ 발파이론과 경험에 입각해 발파공해 저감대책 및 발파작업 시 제기된 문제점을 검토하여 현장에 가장 적합한 발파계획을 수립한다.

2.7 시험발파 보고서 수록내용

○ 개요

○ 시험발파의 목적

○ 시험발파 위치도 및 주변현황

○ 발파원 지역의 지질현황

○ 발파진동·소음 허용기준치 검토·설정

○ 시험발파 조건 및 방법

○ 발파진동·소음 측정방법 및 결과

○ 발파진동 추정식

○ 지발당 허용장약량 결정

○ 발파패턴 설계

○ 발파공해 저감대책 등

2.8 발파검측대장

감리는 다음과 같은 발파검측대장을 작성 관리한다.

발 파 검 측 대 장

일자	공사개요		검 측 내 역									비고
	측점	발파 수량 (㎥)	보안시설물의 위치 및 이격거리 (m)	공 법 type	천공 깊이 (m)	천공경 (mm)	최소 저항선 (m)	공 간격 (m)	장약량		화약 종류	
									공당 (kg/공)	지발당 (kg/delay)		
		주1)										

주1) 금일작업량(공법별 구분)

3. 시공 및 계측 관리

시공 및 계측관리는 시공회사의 책임 하에 시행하며 매 발파 시 계측을 실시하여 발파에 따른 주변 보안물건에 대한 피해 영향을 파악하고, 계측치를 분석하여 안전한 발파 작업을 시행하여야 한다.

실제 발파작업이 진행됨에 따라 암반의 지질적 특성 및 발파조건이 현장상황에 따라 변할 수 있으므로, 시험발파에 의해 설정된 발파진동 추정식을 계측 및 분석을 실시하여 필요한 경우 현지에 맞도록 발파방법을 변경시행하고, 공사비의 증감이 발생할 경우에는 사전에 발주청의 승인을 받도록 한다. 발주청은 발파 결과를 추후 정산처리하고 계측관리에 필요한 분석비용 등을 설계에 반영한다.

설계를 위해 계측한 자료는 진동속도이며 환경 규제기준은 dB(V) 단위로 표기되는 진동레벨과 dB(A) 단위로 표기되는 소음레벨이므로 민원에 대처하기 위해서 별도로 이들 진동레벨과 소음레벨을 계측하고 관리할 필요가 있다.

4. 자료 수집

발주청은 시험발파 및 발파설계자료, 시공 시 계측 및 분석자료, 발파에 영향을 미치는 제 요인 계측자료 등을 보관(CD-ROM, 보고서 등)하여 추후 발파진동식 정립이나 동 지침 등 개정작업에 활용토록 한다.

5. 발파진동 추정식 산출방법

측정된 발파진동치는 최소자승법에 의한 회귀분석(regression analysis)을 실시하여 발파진동 추정식을 산출한다.

발파진동산출을 위한 회귀분석은 회귀분석과 다중회귀분석으로 나눌 수 있다. 여기서 진동 상수를 추정하기 위하여 사용된 분석법은 단순회귀분석으로 한 개의 독립 및 종속변수간의 선형관계(linear relation)에 관한 분석법을 말한다.

이는 진동 관계식 $v = \mathrm{K}(\frac{\mathrm{D}}{\sqrt{\mathrm{W}}})^{\mathrm{n}}$을 이용하여 표본회귀식으로 변환하고, 이 때 양변에 Log를 취하면

$$\log v = \log \mathrm{K} + \mathrm{n} \log(\frac{D}{\sqrt{W}})$$

여기서 $\log v = \mathrm{y}$, $\log \mathrm{K} = \mathrm{a}$, $\log(\frac{\mathrm{D}}{\sqrt{\mathrm{W}}}) = \mathrm{x}$, $\mathrm{n} = \mathrm{b}$ 라 하면

$$\mathrm{y} = \mathrm{a} + \mathrm{bx}$$

상기 식을 모회귀직선(표본회귀식)이라 하며, 모회귀 직선을 생성할 때 발생하는 오차들의 자승합을 최소로 하는 방법을 최소자승법(least square method)이라고 하며, 이 방법을 사용하여 발파진동상수를 산출한다. 최소 자승법에 의하여 구해지는 a, b를 최소 자승 추정량이라 한다.

$$\mathrm{a} = \frac{\sum \mathrm{y}}{\mathrm{n}} - \mathrm{b}\frac{\sum \mathrm{x}}{\mathrm{n}}$$

$$b = \frac{\mathrm{n}(\sum \mathrm{xy}) - (\sum \mathrm{x})(\sum \mathrm{y})}{\mathrm{n}(\sum \mathrm{x}^2) - (\sum \mathrm{x})^2}$$

$$\mathrm{n} = \mathrm{b},\ \mathrm{K} = 10^{\mathrm{a}}$$

안전성과 신뢰도를 높이기 위해서는 95% 신뢰도의 발파진동식을 산출하며, 위에서 구해진 회귀 직선식의 기울기 b를 동일하게 한 상태에서 y절편을 이동시켜 새로운 절편을 계산하여 구한다.

절편 a의 표준편차 (SE)는

$$SE(a) = \left(\sqrt{\frac{1}{n} + \frac{\bar{x}^{-2}}{\sum x^2 - (\sum x)^2}}\right) \times \delta$$

여기서 $\delta^2 = \left((\sum X^2) - \frac{\sum Y^2}{n} - \frac{\left(\frac{(\sum xy) - (\sum x)(\sum y)}{n}\right)^2}{(\sum x^2) - \frac{(\sum x)^2}{n}} \right) \times \frac{1}{n-2}$

절편 a는 t 분포에 따르며 95% 신뢰값은 $a(95\%) = a \times t_a \times SE(a)$ 이다.

6. 발파설계 적용 사례

6.1 시험발파 내용

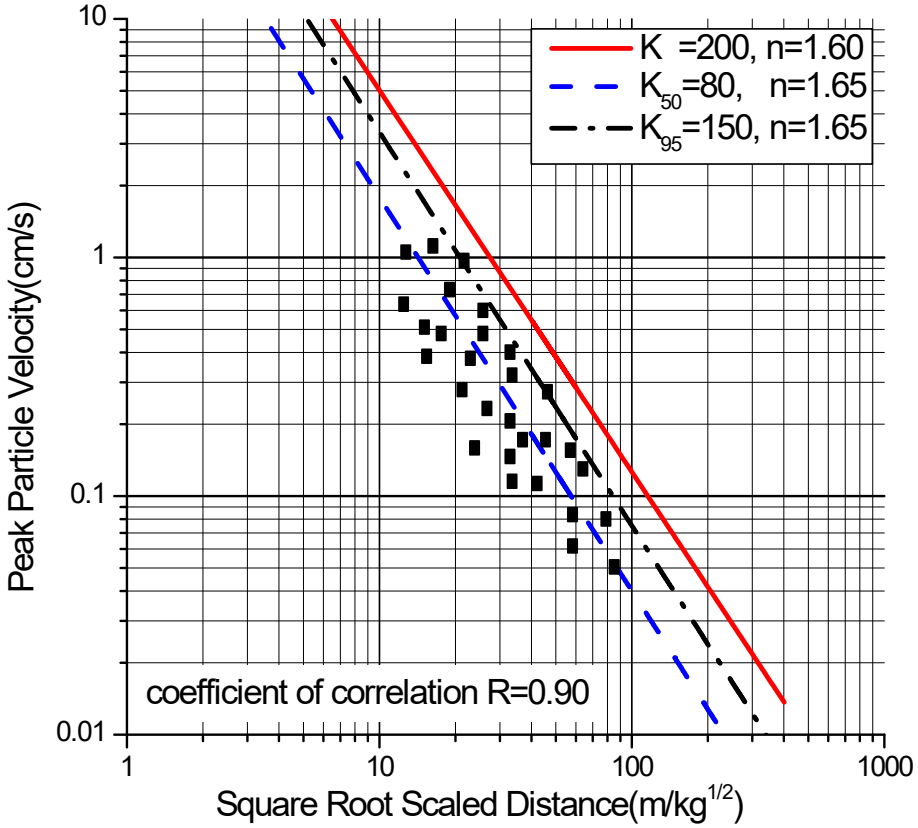
발파순서 / 구분	진동제어발파				비 고
	TYPE-Ⅱ	TYPE-Ⅲ	TYPE-Ⅳ	TYPE-Ⅴ	
	1,2회	3,4회	5,6회	7,8회	
천공장비	크롤러 드릴	크롤러 드릴	크롤러 드릴	크롤러 드릴	
천공구경	Φ45㎜	Φ51㎜	Φ76㎜	Φ76㎜	
사용폭약	에멀젼 폭약	에멀젼 폭약	에멀젼 폭약	에멀젼 폭약	
사용뇌관	MS#0~#4	MS#0~#4	MS#0~#4	MS#0~#4	전기뇌관
천공장 (m)	2.0	2.7	3.4	5.7	
최소저항선 (m)	0.7	1.0	1.6	2.0	
천공간격 (m)	0.8	1.2	1.9	2.5	
공당장약량 (kg)	0.25	1.0	3.0	7.5	
지발당 장약량 (kg)	0.25	1.0	3.0	7.5	

6.2 현장 발파진동 추정식 산출

- 시험발파 계측치 30 측점 이상을 얻어 회귀분석 프로그램을 이용하여 분석
- 시험발파 결과로부터 제곱근 발파진동 추정식을 도출함
- 설계 발파진동 추정식 $v = 200(\mathrm{S.D})^{-1.6}$과 비교

6.2.1 설계변경으로 진동제어구간이 축소된 경우

1) 발파진동 추정식 선정



- 본 현장 시험발파 진동 추정식도출

  $v_{50\%} = 80(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}})^{-1.65}$

  $v_{95\%} = 150(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}})^{-1.65}$

  상관계수 R=0.90

- 단일 현장에 대한 자료이고 설계 발파진동 추정식과 크게 상이하므로 현장지반의 진동전달 특성을 반영한 95 % 수준 시험발파 진동 추정식을 설계에 반영.

2) 이격거리별 지발당 허용장약량에 따른 발파공법 선정

설계 발파진동 추정식에 의해 적용된 장약량별 굴착공법 적용구간을 현장 시험발파결과 산출된 현장 발파진동 추정식에 의한 이격거리별 지발당 허용장약량에 따라 구분하면 다음 표와 같이 변화됨을 알 수 있다.(허용기준 v = 0.3 cm/s의 경우)

구 분	설계 발파진동 추정식 $v = 200(D/\sqrt{W})^{-1.6}$		현장 시험발파 진동 추정식 $v_{95\%} = 150(D/\sqrt{W})^{-1.65}$	
이격거리 (m)	가옥(조적조) 기준	굴착공법 구분	가옥(조적조) 기준	굴착공법 구분
10	0.03	미진동 굴착공법	0.04	미진동 굴착공법
15	0.07		0.08	
20	0.12		0.15	
30	0.27	정밀진동제어발파	0.33	정밀진동제어발파
40	0.47		0.58	
50	0.74	소규모 진동제어발파	0.91	소규모 진동제어발파
60	1.06		1.31	
70	1.45		1.79	중규모 진동제어발파
80	1.89	중규모 진동제어발파	2.33	
90	2.39		2.95	
100	2.95		3.65	
110	3.57		4.41	
120	4.25		5.25	
130	4.99		6.16	일반발파
140	5.79	일반발파	7.15	
150	6.64		8.20	
160	7.56		9.33	
170	8.53		10.5	
180	9.56		11.8	
190	10.7		13.2	
200	11.8		14.6	
210	13.0		16.1	대규모발파
220	14.3		17.7	
230	15.6	대규모발파	19.3	
240	17.0		21.0	
250	18.5		22.8	
260	20.0		24.7	
300	26.6		32.8	

3) 당초설계 대비 시험발파 결과에 따른 굴착공법 적용구간 비교

거리(m) / 구분	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
당초설계기준 굴착공법구분	미진동 굴착	정밀진동제어	소규모 진동제어	중규모 진동제어				일반발파				대규모발파	
시험발파결과 굴착공법구분	미진동 굴착	정밀진동제어	소규모 진동제어	중규모 진동제어				일반발파				대규모발파	

4) 현장적용 발파공법 선정

상기 검토된 내용에 따라 다음 사항을 고려해 발파 공법을 선정

① 암발파 공법 구역과 보안물건과의 이격거리

② 주변 환경 조건을 고려한 발파공해(진동・폭음・비석 등) 제어 능력

③ 이격거리별 지발당 허용장약량

④ 현장 시험발파에 따른 이격거리별 발파공법 적용구간은 다음 표와 같다.

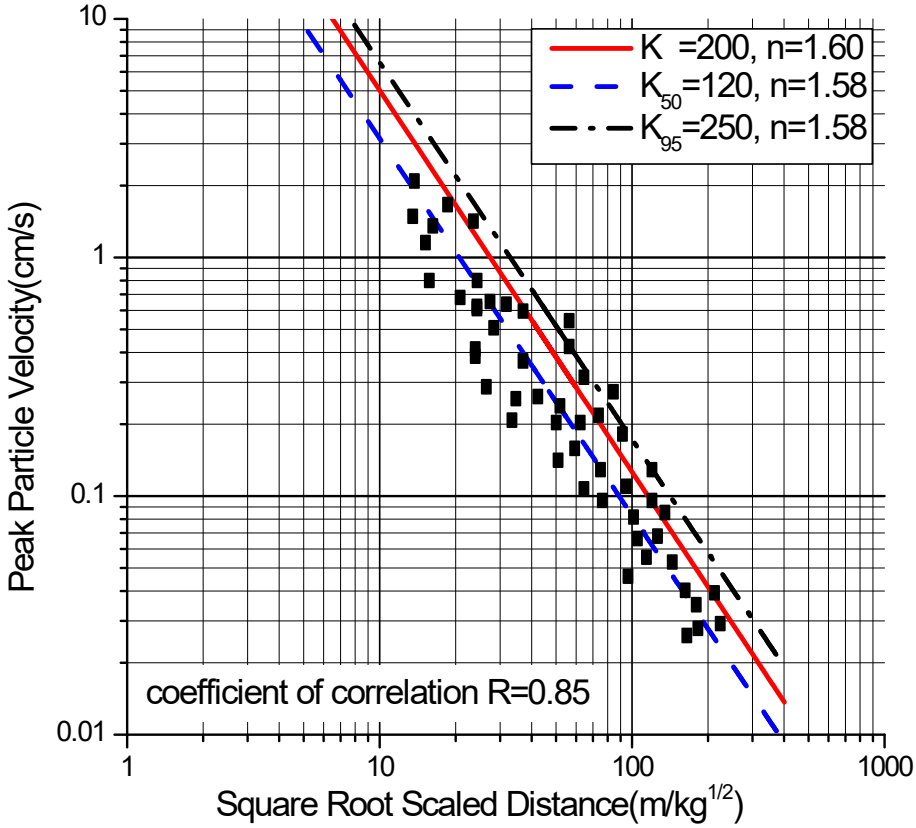
거리(m) / 구분	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
굴착공법 변경안	미진동 굴착	정밀진동제어	소규모 진동제어	중규모 진동제어				일반발파				대규모발파	

5) 발파패턴 설계

현장 시험발파에 따른 발파공법 선정 후 이격거리에 따른 지발당 허용장약량 범위 내에서 발파패턴을 설계한 후 본 공사에 적용한다.

6.2.2 설계변경으로 진동제어구간이 확장된 경우

1) 발파진동 추정식 선정



- 본 현장 시험발파 진동 추정식 도출

  $v_{50\%} = 120\,(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}}\,)^{-1.58}$

  $v_{95\%} = 250\,(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}}\,)^{-1.58}$

  상관계수 R=0.85

- 단일 현장에 대한 자료이고 설계 발파진동 추정식과 크게 상이하므로 현장지반의 진동전달 특성을 반영한 95 % 수준 시험발파 진동 추정식을 설계에 반영.

2) 이격거리별 지발당 허용장약량에 따른 발파공법 선정

설계 발파진동 추정식으로 구한 장약량별 굴착공법 적용구간과 현장 시험발파 결과 산출된 현장 발파진동 추정식으로 구한 이격거리별 지발당 허용장약량을 비교하면 다음 표와 같이 변화됨을 알 수 있다.(허용기준 v = 0.3 cm/s의 경우)

구 분	설계 발파진동 추정식 $v = 200(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}})^{-1.6}$		현장 시험발파 진동 추정식 $v = 250(\mathrm{D}/\sqrt{\mathrm{W}})^{-1.58}$	
이격거리 (m)	가옥(조적조) 기준	굴착공법 구분	가옥(조적조) 기준	굴착공법 구분
10	0.03	미진동 굴착공법	0.02	미진동 굴착공법
20	0.12		0.08	
30	0.27	정밀진동제어발파	0.18	정밀진동제어발파
40	0.47		0.32	
50	0.74	소규모 진동제어발파	0.50	
60	1.06		0.72	소규모 진동제어발파
70	1.45		0.98	
80	1.89	중규모 진동제어발파	1.29	
90	2.39		1.63	
100	2.95		2.01	중규모 진동제어발파
110	3.57		2.43	
120	4.25		2.89	
130	4.99		3.39	
140	5.79	일반발파	3.94	
150	6.64		4.52	
160	7.56		5.14	
170	8.53		5.80	일반발파
180	9.56		6.51	
190	10.7		7.25	
200	11.8		8.03	
210	13.0		8.86	
220	14.3		9.72	
230	15.6	대규모발파	10.6	
240	17.0		11.6	
270	18.5		14.6	
280	20.0		15.7	대규모발파
300	26.6		18.1	

3) 당초설계 대비 시험발파 결과에 따른 굴착공법 적용구간 비교

거리(m) / 구분	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
당초설계 기준 굴착 공법구분	미진동 굴착	정밀진동 제어	소규모 진동제어	중규모 진동제어				일반발파				대규모발파	
시험발파 결과 굴착 공법구분	미진동 굴착	정밀진동 제어	소규모 진동제어	중규모 진동제어					일반발파				대규모 발파

4) 현장적용 발파공법 선정

상기 검토된 내용에 따라 다음 사항을 고려해 발파 공법을 선정

① 암발파 공법 구역과 보안물건과의 이격거리

② 주변환경 조건을 고려한 발파공해(진동・폭음・비석 등) 제어 능력

③ 이격거리별 지발당 허용장약량

④ 현장 시험발파에 따른 이격거리별 발파공법 적용구간은 다음 표와 같다.

거리(m) / 구분	20	40	60	80	100	120	140	160	180	200	220	240	260
굴착공법 변경안	미진동 굴착	정밀진동 제어	소규모 진동제어	중규모 진동제어					일반발파				대규모 발파

5) 발파패턴 설계

현장 시험발파에 따른 발파공법 선정 후 이격거리에 따른 지발당 허용장약량 범위 내에서 발파패턴을 설계한 후 본 공사에 적용한다.

7. 발파진동, 폭음 허용 기준

7.1 개요

진동이나 소음에 대한 영향평가를 위해서는 반드시 평가대상이 되는 구조물이나 인체에 대한 손상 또는 피해 기준을 토대로 하여 수립된 허용수준이 제시되어 있어야 한다. 세계적으로 이와 같은 허용수준이 규제법규로서 제정되어 있는 나라들도 있으나 우리나라를 포함한 많은 나라들에서는 아직까지 법적인 규제기준이 마련되지 않고 있다.

따라서 지침에서는 Ⅱ장 3절 발파공법 설계에서 현장조사 과정에서 허용기준을 설정하도록 규정을 하고 있으나 구체적인 값은 제시하지 않고 설계자가 적절히 판단하여 선택할 수 있도록 하였다.

현재로서는 설계자들이 각 국, 각 기관의 경험적인 허용수준을 제각기 인용하여 적용하고 있지만 허용수준의 설정문제는 당장의 필요성에 따라 외국의 기준을 그대로 차용하여 설정할 문제는 아닌 것으로 판단되며, 국내의 암반조건과 발파여건, 건물이나 구조물의 재료나 건축양식에 따라 우리 실정에 맞는 허용수준을 수립할 필요가 있을 것이다.

여기서는 설계자의 판단을 돕기 위하여 통상적으로 적용되어 온 기준을 제시한다. 그러나 이러한 기준으로 설계하고 시공한다고 하더라도 소음진동규제법과 그 시행령 및 시행규칙 등 환경관련 법규를 만족하는 것은 아니며 따라서 이러한 법규들에 저촉되지 않도록 여러 가지 대책들을 마련하여야 한다.

7.2 구조물에 대한 기준

1) 국내의 통상적인 발파진동 허용기준치

서울지하철 공사 등 주요 발주청에서 구조물에 대한 발파진동 기준으로 제시하였으며 시방서들을 통하여 통상적으로 적용되고 있다.

구 분	유적, 문화재, 컴퓨터시설물	주택, 아파트	상가	철근콘크리트 건물 및 공장
진동치 (cm/s)	0.2	0.3~0.5	1.0	1.0~5.0

2) 구조물 손상기준 발파진동 허용치(대한터널협회, 1999)

구분	진동 예민 구조물	조적식(벽돌, 석재 등) 벽체와 목재로 된 천장을 가진 구조물	지하기초와 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 조적식 건물	철근 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 조적식 건축물	철근 콘크리트 골조 및 슬래브를 갖는 대형 건축물
	문화재 등	재래가옥, 저층 일반가옥	저층 양옥, 연립주택 등	중, 저층 아파트, 중소상가 및 공장	내진구조물, 고층아파트, 대형건물 등
허용 진동속도 (cm/s)	0.3	1.0	2.0	3.0	5.0

3) 건축물에 대한 발파진동 허용기준

(환경분쟁조정위원회. 연구수행기관 : 한국자원연구소)

단위 : 진동속도, ㎝/s

건전도 등급[1]	주파수대역 / 대상 건축물	< 10 Hz	10~40 Hz	40~100 Hz	>100 Hz
Ⅰ	철근콘크리트조 건물	1.5	1.5~4.5	4.5~5.0	5.0
Ⅱ	콘크리트, 벽돌조 건물	1.0	1.0~2.5	2.5~3.0	3.0
Ⅲ	조적조 시멘트 블록조 건물	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0	2.0
Ⅳ	Ⅲ의 건물을 개축한 건물. 역사적 보호건물	0.25	0.25~0.75	0.75~1.0	1.0

주1. 건전도는 건축물의 종류와 상태의 양호함을 의미하며 전문가의 평가를 요함
주2. 건축물의 기초 또는 폭원 방향 지반의 진동속도

4) 독일의 발파진동에 의한 건물피해기준(DIN 4150 Part3, 1986)

단위 : 진동 속도, ㎝/s

측정위치 / 주파수 / 구조물 형태	구조물 기초			최상층 바닥면
	< 10 Hz	10-50 Hz	50-100 Hz	전체주파수대역
상업용, 산업용 건물 및 이와 유사한 건물	2	2~4	4~5	4
주거용 및 이와 유사한 건물	0.5	0.5~1.5	1.5~2.0	1.5
진동에 취약한 건물 (문화재 및 기타 중요건물)	0.3	0.3~0.8	0.8~1.0	0.8

① 건물기초 3방향 진동 속도 중 최대치

② 측정방법 : 진동원과 직면하는 건물의 가장 낮은 층의 기초 내벽 또는 외벽, 지하실이 없는 경우는 지반 상부의 0.5 m 이하 구조의 3 방향에 대하여 동시에 측정, 건물 최상층 슬라브의 중앙 z-방향.

③ 피로 파괴를 고려하지 않은 수준의 충격 진동, 연속 충격과 구조물의 공진을 야기하는 진동은 정상진동으로 취급.

④ 100 Hz 이상의 주파수에 대해서는 50~100 Hz의 주파수 범위의 규제치를 사용.

⑤ 슬라브(floor) 진동허용 규제치는 수직방향 최대 진동속도 2.0 ㎝/s 이하.

7.3 인체에 대한 기준

진동보다는 폭음이 인체에 대한 영향이 큰 것으로 알려져 있다. 그러나 발파의 경우 장약량 조절에 의한 폭음의 제어가 사실상 어렵다. 따라서 설계에는 진동에 주안을 두어 조절하고 폭음의 경우는 관련 환경법인 소음진동규제법을 참고하여 소음원을 관리하고 방음벽 등의 소음저감 장치로서 조절하는 것이 합리적이다.

여기서는 설계에 반영할 진동허용수준과 환경관리 기준으로 적용할 규제기준을 제시하였다.

1) 인체에 대한 권고기준
(환경분쟁조정위원회. 연구기관:한국자원연구소)

장 소	시간[1]	제안기준[2]		ISO 기준	
		dB(V)	cm/s	dB(V)	cm/s
병원,수술실,정밀연구소 등 특수작업장	주/야	54	0.01	54	0.01
주거·녹지 지역, 운동·휴양 지역, 자연환경 보전지역,학교·병원·공공 도서관의 부지 경계선에서 50m이내의 지역 등[3]	주간	85	0.4	83-93	0.3-0.9
	야간	60	0.02	57-80	0.01-0.2
상업·공업지역, 농림·준 농림지역, 미고시 지역 등[4]	주간	90	0.6	90-96	0.6-1.28
	야간	60	0.02		

주1. 주간(06:00-22:00), 야간(22:00-06:00)

주2. ISO의 충격진동에 대한 빌딩 내 인체의 기준에 상응하며 진동속도는 ISO 수치를 채택함

주3. ISO의 거주지 항목에 상응함

주4. ISO의 사무실, 공장 항목에 상응함

2) 소음진동규제기준

환경법상의 규제기준은 소음진동규제법의 시행규칙 별표에 제시되어 있는 생활소음·진동규제기준이 있고 현재로서는 이 기준이 최상위의 기준이므로 현장에서의 진동 소음관리에 이 기준을 적용하여야 한다.

[별표 7의2] <개정 2004.1.15, 2005.12.31>

생활소음·진동의 규제기준(제29조의2제3항관련)

1. 생활소음 규제기준

가. 2008년 12월 31일까지 (단위 : dB(A))

대 상 지 역	시간별 / 소음원		아침, 저녁 (05:00~08:00, 18:00~22:00)	낮 (08:00~18:00)	밤 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역 안에 소재한 학교·병원·공공도서관	확성기	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥 외로 소음이 나오는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장·사업장		50 이하	55 이하	45 이하
	공 사 장		65 이하	70 이하	55 이하
그 밖의 지역	확성기	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장·사업장		60 이하	65 이하	55 이하
	공 사 장		70 이하	75 이하	55 이하

비 고

1. 소음의 측정방법과 평가단위는 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 실외에 설치한 확성기의 사용은 1회 3분 이내로 하여야 하고, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.
5. 공사장의 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB을, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
6. 발파소음의 경우 주간에 한하여 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.
7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에 한하여 -5dB를 규제기준치에 보정한다.
   가. 주거지역
   나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교 및 「도서관 및 독서진흥법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역

나. 2009년 1월 1일부터 (단위 : dB(A))

대 상 지 역	시 간 별 / 소 음 원		아침, 저녁 (05:00~08:00, 18:00~22:00)	낮 (08:00~18:00)	밤 (22:00~05:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역안에 소재한 학교·병원·공공도서관	확성기	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥 외로 소음이 나오는 경우	50 이하	55 이하	45 이하
	공장·사업장		50 이하	55 이하	45 이하
	공 사 장		60 이하	65 이하	50 이하
그 밖의 지역	확성기	옥 외 설 치	70 이하	80 이하	60 이하
		옥내에서 옥외로 소음이 나오는 경우	60 이하	65 이하	55 이하
	공장·사업장		60 이하	65 이하	55 이하
	공 사 장		65 이하	70이하	50 이하

비 고
1. 소음의 측정방법과 평가단위는 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 「국토의 계획 및 이용에 관한 법률」에 의한다.
3. 규제기준치는 생활소음의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 옥외에 설치한 확성기의 사용은 1회 3분 이내로 하여야 하고, 15분 이상의 간격을 두어야 한다.
5. 공사장의 소음규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB을, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
6. 발파소음의 경우 주간에 한하여 규제기준치(광산의 경우 사업장 규제기준)에 +10dB을 보정한다.
7. 공사장의 규제기준 중 다음 지역은 공휴일에 한하여 -5dB를 규제기준치에 보정한다.
   가. 주거지역
   나. 「의료법」에 따른 종합병원, 「초·중등교육법」 및 「고등교육법」에 따른 학교 및 「도서관 및 독서진흥법」에 따른 공공도서관의 부지경계로부터 직선거리 50m 이내의 지역

2. 진동 규제기준

(단위: dB(V))

시 간 별 / 대상지역	주 간 (06:00~22:00)	심 야 (22:00~06:00)
주거지역, 녹지지역, 관리지역 중 취락지구 및 관광·휴양개발진흥지구, 자연환경보전지역, 그 밖의 지역 안에 소재한 학교·병원·공공도서관	65 이하	60 이하
그 밖의 지역	70 이하	65 이하

비 고
1. 진동의 측정방법과 평가단위는 소음·진동공정시험방법에서 정하는 바에 따른다.
2. 대상지역의 구분은 국토의계획및이용에관한법률에 의한다.
3. 규제기준치는 생활진동의 영향이 미치는 대상지역을 기준으로 하여 적용한다.
4. 공사장의 진동규제기준은 주간의 경우 특정공사의 사전신고대상 기계·장비를 사용하는 작업시간이 1일 2시간 이하일 때는 +10dB을, 2시간 초과 4시간 이하일 때는 +5dB을 규제기준치에 보정한다.
5. 발파진동의 경우 주간에 한하여 규제기준치에 +10dB을 보정한다.

7.4 가축에 대한 기준

가축은 그 종류와 품종에 따라서 진동이나 소음에 대한 반응 정도가 현저히 다르므로 일괄적인 기준을 적용할 수 없다는 것이 정설이다. 세계적으로도 허용진동소음기준이 제정되어 있지 않고 일부 국가에서 권고규정을 두고 있는 정도이다.

미국의 경우도 권고규정으로서 진동은 70 dB(V)와 소음은 70 dB(A)를 적용하고 있다.

7.5 허용진동수준의 권고

지침에서는 허용진동수준을 0.1, 0.2, 0.3, 0.5, 1.0, 5.0 cm/s로 제시하고 있지만 구체적으로 어떤 수준을 택할 것인지는 설계자의 판단에 맡기고 있다.

대체적으로는 법원의 판례 등을 감안하여 인체나 가축에 대한 고려가 필요한 경우 0.1 cm/s를 설계기준으로 채택하는 것이 무난하다.

문화재(국보, 보물, 사적, 명승, 천연기념물 등)는 국가에서 지정한 역사적으로 보호할 가치가 있는 것들을 말하며, 이러한 문화재나 진동에 대해 예민한 건축물의 경우에는 0.2 cm/s를 기준으로 적용할 수 있다.

주택이나 아파트 등은 물건의 상태에 따라 0.3~0.5 cm/s, 철근콘크리트 및 공장 등은 1~5 cm/s의 진동기준을 채택할 수 있다.

내진설계가 된 구조물의 경우에는 통상의 허용 진동기준보다 높은 진동기준을 택할 수 있다.

7.6 진동수준과 진동레벨의 변환식

발파 진동속도를 진동레벨로 변환하기 위해서는 진동속도를 가속도로 변환해야 하고 또 인체의 응답을 보정해주기 위해서 진동주파수를 알아야 한다. 대개 진동속도를 계측할 때 진동파형을 같이 계측하면 이러한 변환은 이루어질 수 있다. 따라서 진동주파수 분석을 할 수 있도록 설정하여 계측하는 것이 좋다.

반면에 진동레벨계로 계측을 할 때는 파형계측이 이루어지지 않고 레벨계에 내장되어 있는 응답회로를 거친 결과만 기록되는 경우가 대부분이므로 이 경우 진동레벨로부터 진동속도를 변환할 수 없다.

이러한 이유로 진동속도 수준과 진동레벨을 같이 계측하고 그 상관관계로부터 변환식을 적용하기도 한다. 진동레벨 변환식으로 다음의 식이 흔히 인용된다.

$$VL = 20\log v + 71 \qquad \text{dB(V)}$$

여기서 v는 진동속도(mm/s), VL은 진동레벨이다.

그러나 이 식은 연속 조화진동을 이용하여 실험실 규모로 실험, 유도한 식으로 발파 진동의 예측이나 피해 판정에 적용해서는 안 된다.

동 실험에서 충격진동 결과만으로 구한 진동레벨 변환식은

$$VL = 17\log v + 67 \qquad \text{dB(V)}$$

이며 상관계수가 0.9 정도로 높으나 실험실 규모로 구한 식이고 발파진동 계측에 의한 식이 아니므로 적용에 무리가 많다.

발파진동의 실측치로부터 구한 변환식도 보고된 바 있다.

$\mathrm{VL} = 15 \log v_{\mathrm{PPV}} + 55$, r=0.68 dB(V)

$\mathrm{VL} = 16 \log v_{\mathrm{V}} + 59$, r=0.78 dB(V)

여기서 v_{PPV}는 진동속도 최대치(peak particle velocity)이며 v_{V}는 수직성분 최대치이다. 이 식은 몇몇 현장에서 진동레벨과 진동속도를 동시에 계측하여 구한 537개 자료로부터 회귀분석한 식이다. 이러한 변환식은 상관계수도 크지 않고 분산이 ±5 dB에 달하므로 평균 변환식의 적용이 타당한지 불분명하여 일반적인 목적으로 사용하기 어렵다.

결국 진동레벨과 진동속도 관계식을 이용하여 진동레벨로 환산하고 이를 피해 판정의 도구로 사용하거나 설계에 이용하는 것은 적절하지 않다. 이 식들은 참고용으로만 사용해야 한다.

Ⅳ. 수량 산출기준

1. 일반 기준

1) 암발파 깍기부 비탈면 경사는 비탈면 안정검토 결과에 따라 적용하며(소규모인 경우는 리핑암 및 발파암별로 표준경사를 적용할 수 있음), 공사의 효율성과 민원발생 방지를 위하여 발파원에서부터 보안물건까지의 사거리 기준으로 산출한다.

2) 발파 진동 허용기준치와 각 보안물건과의 이격거리를 고려하여 발파공법을 선정하고, 공사 시행 시 시험발파를 실시하여 발파진동상수 및 지발당 허용장약량을 결정한 후 지발당 허용장약량을 감안하여 발파공법의 적용구간을 조정·적용할 수 있다.

- 천공 제원
- 진동허용 기준치
- 지발당 허용 장약량
- 발파원에서 보안물건까지의 사거리
- 적용 발파공법 등

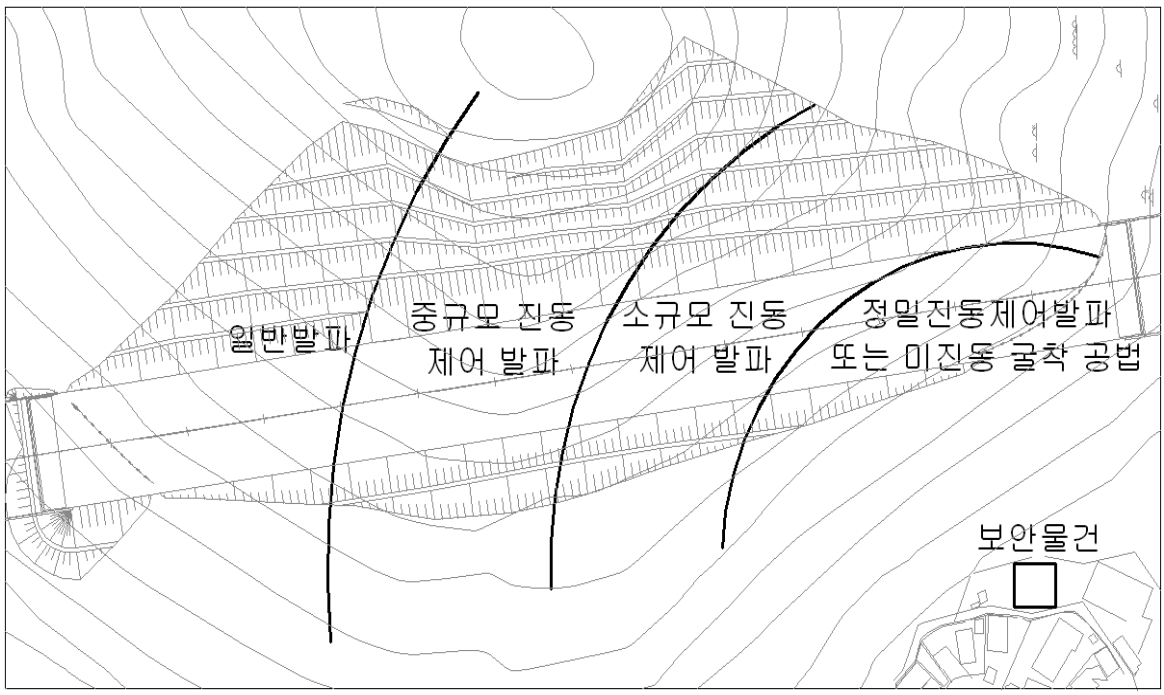
3) 표준발파 TYPE별 공법

- 미진동 굴착공법
- 정밀진동제어 발파공법
- 소규모진동제어 발파공법
- 중규모진동제어 발파공법
- 일반 발파공법
- 대규모 발파공법

2. 평면도 및 횡단면도상 수량산출 방법 예

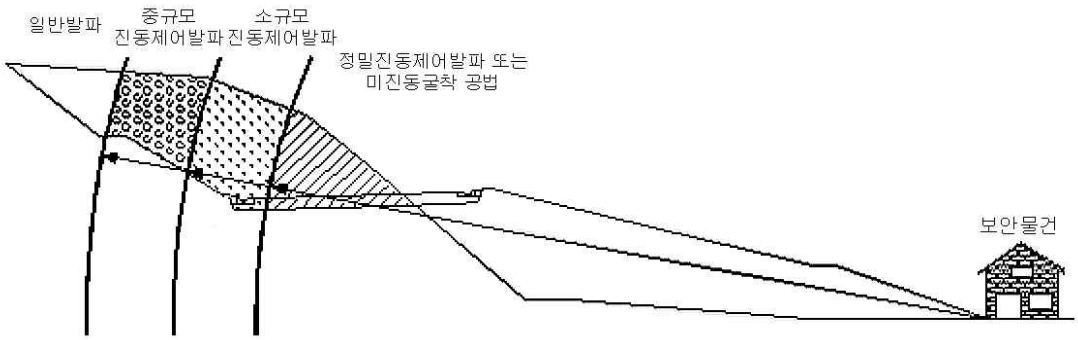
1) 평면도상

(○○~○○ 도로건설공사 STA.6+700지점 우측)



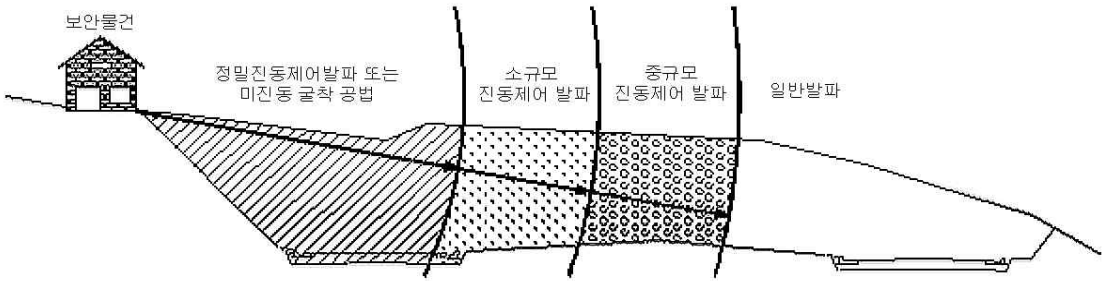
2) 횡단면도상

(1) 보안물건이 발파지역보다 낮은 경우



① 평면도상 발파공법별 기준에 따른 이격거리를 산출하여 횡단면도에 원호를 그린다.
② 원호로 그은 선에 의하여 발파공법별 암 발파량을 구분하여 수량을 산출한다.
③ 수량 산출을 용이하게 하기 위해 필요한 경우 원호와 계획선 및 지표선의 교차점을 잇는 현으로 직선화하여 수량을 산출할 수 있다.

(2) 보안물건이 발파지역보다 높은 경우



① 평면도상 발파공법별 기준에 따른 이격거리를 산출하여 횡단면도에 원호를 그린다.
② 원호로 그은 선에 의하여 발파공법별 암 발파량을 구분하여 수량을 산출한다.
③ 수량 산출을 용이하게 하기 위해 필요한 경우 원호와 계획선 및 지표선의 교차점을 잇는 현으로 직선화하여 수량을 산출할 수 있다.

실제로는 천공의 방향이나 벤치의 형성 상태에 따라 수량계산에서 정한 경계대로 정확하게 발파할 수는 없으므로 수량계산 시에는 수량이 증가되지 않는 범위 내에서 경계를 직선으로 처리하여 계산을 단순화 할 수 있다.

3. 유의 사항

1) 도로 건설공사의 발파공법은 보안물건으로부터 발파소음, 진동, 비석 등의 환경피해 및 민원발생의 원인이 되므로, 환경피해를 저감시킬 수 있도록 현지여건을 고려한 시공성, 경제성, 안전성 등을 감안하여 적정한 발파공법을 선정한다.
2) 공사 시에는 시험발파에서 제시된 천공간격, 지발당 허용장약량, 발파패턴 등에 따라 발파공사를 시행하되, 계측관리를 철저히 시행하여 안전하게 발파하여야 한다.
3) 설계 발파공법이 변경될 경우 발주청과 협의하여 설계변경을 하여야 한다.