

발파진동 측정에 대한 고찰

Suggestions for Blast Vibration Monitoring

선우 춘, 류 창하
Choon Sunwoo and Chang-Ha Ryu
한국자원연구소 탐사개발연구부

초 록

일반적으로 발파진동은 건설공사에 따른 굴착작업, 채광 및 채석작업 등의 발파에 따라 발생되며, 최근에는 환경문제에 대한 관심이 높아지면서 발파진동이나 소음에 대한 관심이 높고 또한 많은 민원이 발생되고 있다. 발파 작업장 주변지역에서 발파에 따라 발생하는 지반 및 구조물의 진동을 파악하고, 발파에 의한 모든 영향을 파악하기 위한 자료획득을 목적으로 관계 기관에 의해 진동측정이 실시되고 있다. 그러나 발파진동측정에 대한 통일적인 방법이나 지침이 없기 때문에 현장실무에서 측정방법이나 자료처리방법 등에 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 발파진동의 측정방법들에 대해 고찰함으로써 발파진동 측정방법에 대한 이해를 높이고자 한다.

핵심어 : 발파진동, 발파풍압, 진동측정기, 진동측정방법

1. 서론

현장의 발파작업에서 발생하는 지반진동이나 건물진동의 측정은 여러 목적에 따라 관계기관에 의해 진동측정이 실시되고 있으며, 최근에는 환경문제에 대한 관심이 높아지면서 발파진동이나 소음에 대한 많은 민원이 발생되고 있는 실정이다. 일반적으로 발파진동의 측정은 건설공사에 따른 굴착작업, 채광 및 채석작업 등의 발파에 따라 작업장 주변지역에서 발생하는 지반 및 구조물의 진동을 파악하고, 발파에 의해 발생할 수 있는 영향을 명확하게 파악하기 위한 자료획득을 그 목적으로

한다.

외국의 경우는 발파진동측정에 대한 지침들이 제시되고 있지만(ISRM의 'Suggested method for blast vibration monitoring', 1992; 일본광업회와 물리탐광기술협회의 발파진동측정지침, 1992), 그러나 국내에는 이러한 진동측정에 대한 통일적인 방법이나 지침이 없기 때문에 현장실무에서 진동의 측정, 기재 및 자료처리 방법 등에 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 측정방법이나 측정결과의 처리방법 등과 같은 지침의 필요성 때문에 발파진동의 측정방법에 대해 고찰하고자 한다.

2. 발파진동측정 관련 자료

다음에 명시된 일반적인 자료들은 가능하다면 기록하여, 필요에 따라서 해석에 사용하거나 보고서 작성시 첨부하는 것이 좋다.

- (1) 사업 또는 공사명 또는 조사명
- (2) 조사지역의 지명 또는 주소
- (3) 진동측정 대상의 종류

지반진동은 구조물 진동과 구별하고, 구조물의 경우에는 구조물의 종류를 기록한다.

- (4) 지형 및 지질관련 자료

가. 조사지역의 지형도

나. 발파원과 진동측정지점과의 관계를 나타낼 수 있는 평면도 및 단면도

다. 조사지역의 지질 및 지질구조 상황

도면은 가능한 한 축척이 큰 것을 수집하는 것이 좋으며, 일반적으로 1/1,000 ~ 1/5,000 축척의 지형도를 사용한다. 이와 같은 지형도가 없을 경우에는 일반 지형도를 사용한다. 지질자료는 해당 조사지역 또는 그 부근지역의 지질도 외에 과거에 실시된 조사로부터 작성된 시추주상도, 탄성과 탐사결과, 종합지질도 등을 가능한 한 수집하는 것이 좋으며, 과거의 자료가 충분하지 않고 조사목적상 지질자료가 필요한 경우에는 지질조사를 실시하는 것이 바람직하다.

- (5) 구조물관련 자료

측정대상인 구조물의 특성을 파악할 수 있는 구조물의 형태, 구조물의 평면도 및 단면도, 구조물 건설후의 경과 년수(증축, 개축 및 보수 현황 등 포함)등의 자료와 발파원과 구조물과의 위치관계(평면도 및 단면도 등)들을 파악할 수 있는 자료들을 필요에 따라 수집한다. 구조물의 균열에 대한 조사의 경우는 발파전 건물의 균열조사와 사진을 촬영한다.

- (6) 과거의 측정자료

조사지역 부근에서 과거에 측정이 이루어진 발파진동 등의 측정자료가 있으면 조사에 이용할 수 있도록 수집한다.

3. 발파원과 관련된 사항

발파원과 관련된 암석 및 지질상황, 발파패턴, 장약상황 등의 사항들을 기록하고 필요에 따라서는 해석에 이용하거나 보고서에 첨부한다.

3.1 지질 및 암석상황

발파대상지역에 분포하는 암석의 종류, 암석의 물리적 및 역학적 성질(밀도, 인장 및 압축 강도, 점하중강도, 경도, 공극률, 흡수율, drillability, Protovakonov 계수 등) 그리고 절리, 층리, 단층 등과 같은 불연속면들의 분포 상황(방향, 간격, 연속성, 거칠기, 충전물, 간극, 변질정도 등), 코아회수율 및 RQD, P파 및 S파 속도의 분포 등 획득 가능한 자료들을 수집한다.

3.2 발파 패턴

발파패턴에 대한 평면도와 단면도를 작성하고 크기, 천공 배치도, 기폭순서, 각 공의 장약량, 발파번호 등을 기입한다(그림 1 및 그림 2 참조).

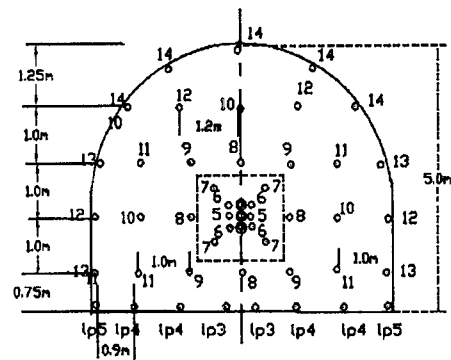


그림 1. 터널에서의 천공 및 발파패턴도

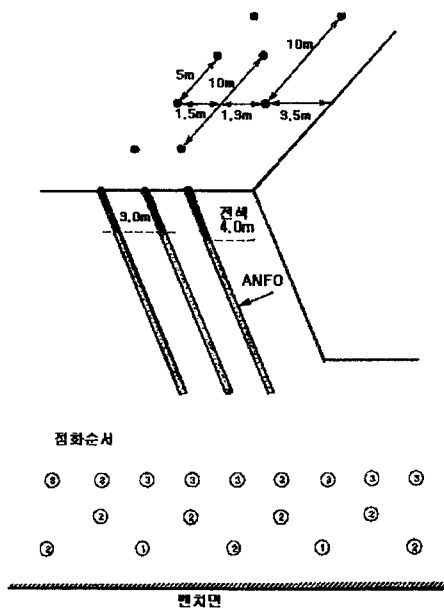


그림 2. 노천채광에서의 천공 및 발파 패턴도

3.3 장약상황

장약, 기폭 및 전색방법 등에 대해 기록한다(그림 3 참조).

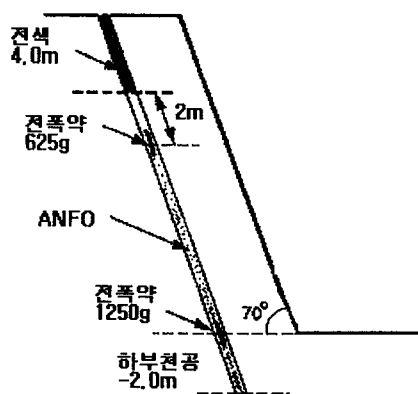


그림 3. 발파공 내의 장약 패턴도

가. 장약량: 폭약의 종류 및 제원, 전체 장약량, 1공당 장약량(약종별), 각 단마다의 장약량 등

나. 장약공 : 공경, 천공길이, 천공각도, 천공간격, 최소저항선의 길이

다. 장약방법 : 장전방법, 발파공 내의 장약상황

라. 기폭방법 : 기폭위치, 점화방법(도화선, 전기뇌관, 도폭선 등의 구별), 순발, 지발(MS, DS 등)의 구별

마. 전색조건 : 전색재료, 전색상황

3.4 발파실시후의 상황

발파실시 후에 발파가 예정대로 수행되었는지의 여부와 발파상황을 기재한다.

4. 진동측정기 관련

지반운동의 크기는 가속도, 입자속도 및 변위로 표시할 수 있지만 구조물의 영향을 평가하기 위한 척도로는 가장 일반적으로는 입자운동속도를 많이 사용한다. 이것은 발파에 의해 야기되는 균열에 대해 경험적인 관찰에 있어서 가장 좋은 관계를 갖기 때문이다. 사용기기의 제작사명, 형식, 성능 등을 보고서에 첨부한다.

4.1 측정기기

측정장치는 여러 성분을 동시에 측정할 수 있는 것이 바람직하며, 측정은 지반운동(가속도, 속도 및 변위) 및 발파풍압에 대해 이루어진다.

(1) 구성

측정장치는 그림 4에 표시된 것처럼 일반적



그림 4. 측정장치의 구성도

으로 수진부, 증폭부, 자료저장부, 출력부로 구성된다. 수진부는 물리적 운동이나 압력에 의해 전기적 신호로 변환되며(그림 5)출력된 전기적 신호는 cable을 통해 증폭부에 보내지며 증폭부는 이 신호를 정류 및 증폭을 시키며, 자기테이프나 디지털 컴퓨터 형태의 자료 저장부에서는 이 신호들을 저장하고 출력부에서 저장된 자료들을 출력하게 된다.

수진부로부터 출력부에 이르는 전체적인 계통에 있어서 전체적인 목적에 대응할 수 있는 충분한 감도특성 및 주파수 특성을 가지는 것을 사용한다. 측정기기의 기종선택은 발파방법, 장약량, 측정거리, 지질상황 등을 고려해 측정지점에 있어서 진동의 진폭 및 진동수를 추정하고 또한 기록할 때의 진동변위, 진동속도, 진동가속도 등을 고려한다.

센서의 형식에는 변위형, 속도 및 가속도형 있으며, 이 중에서 어느 것을 사용해도 좋지만 측정 목적에 맞는 것을 사용한다. 센서는 속도형이나 가속도형에 있어서도 적분회로나 미분회로를 이용함으로써 진동변위, 진동속도, 진동가속도의 어느 것이나 기록시킬 수도 있다.

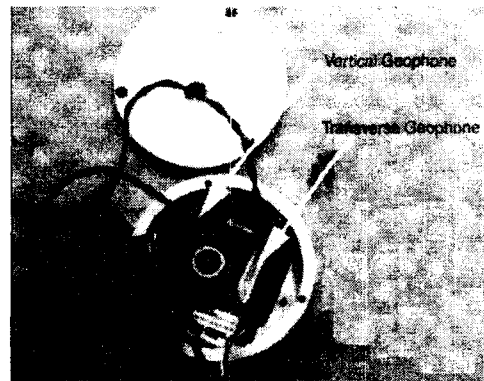


그림 6. 센서의 내부사진

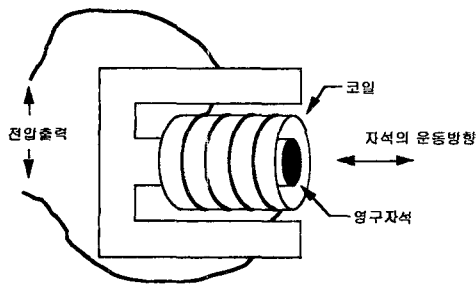


그림 5. 센서의 작동원리

(2) 수진부

수진부의 센서는 수평운동 및 수직운동과 함께 목적에 맞는 감도특성 및 주파수특성을 가지는 것을 사용한다(그림 6 및 그림 7 참조).



그림 7. 발파진동 센서들의 사진

발파풍압은 발파에 의해 생성되는 공기 압력파로 발파진동과 마찬가지로 구조물에 영향

을 줄 수 있다. 현재의 대부분 장비에는 발파 풍압을 측정할 수 있는 마이크로폰이 부착되어 있으나, 발파풍압을 측정하기 위해 소음측정기를 단독으로 운영하는 경우가 있다(그림 8 참조).

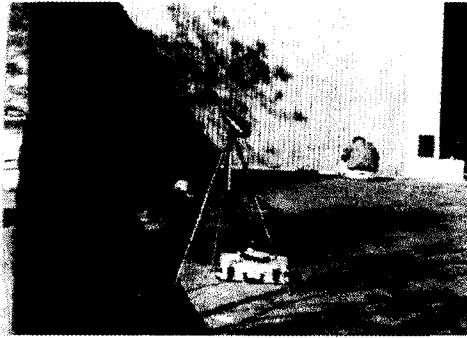


그림 8. 소음측정기

소리는 압력과 데시벨(dB)의 측정단위로 나타낸다. 데시벨의 척도는 10^{-7} 에서 10Pa 범위의 진폭을 50-170 dB의 범위로 변환시키며, 음압수준은 다음의 식에 의해 데시벨로 변환된다.

$$dB = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0}$$

P 는 측정압, P_0 는 $20 \times 10^{-6} N/m^2 (Pa)$

두 단위는 소음과 같은 가청영역에서는 구별을 해야한다. 압력의 단위는 소리의 압력 자체로 주파수와 관계없이 일정하지만, dB의 단위는 주파수에 따른 사람의 청감을 보정한 단위이다. 따라서 발파풍압의 측정시 측정대상의 주파수영역에 따라 적절한 보정회로를 사용해야 한다.

발파풍압의 세기는 선형인 dB(L) 또는 A 청감을 보정한 dB(A)로 측정할 수 있다.

고주파수 압력의 음향과 건물에 영향을 주는 저주파수 파동(1-30Hz)에 동등하게 응답하지 않는다. 50Hz이하의 주파수에서 발생하는

공기압력파동은 A 또는 C 보정회로를 사용할 경우 실제치보다 낮게 나타나므로 가청응답을 측정하는 데는 적합하지만 구조물응답과 관련된 필요정보를 얻기 위해서는 부적당하다. 따라서 발파에서는 구조물의 반응과 인간의 임계 가청범위의 압력을 모두 기록할 수 있는 선형보정(L)이 필요하다.

(3) 증폭부

증폭부의 증폭기는 센서의 형식에 대응하여 적절한 입력 임피던스를 가지는 것을 사용하고 진동 변위, 속도, 가속도에 대응하는 신호 중에 하나 이상을 출력해야 하고, 기록부에 충분한 신호를 공급할 수 있는 증폭을 및 출력 임피던스를 가질 필요가 있다.

대부분의 진동계는 single channel이나 multi channel로 되어 있지만 최근의 장비는 대부분 4 channel로 구성되어 지반운동의 세 성분(L, V, T) 및 발파풍압을 동시에 기록할 수 있고, 장비의 모든 구성요소가 일체 형식으로 제작되고 있기 때문에 증폭부의 증폭률이나 출력 임피던스 같은 것에 대해 염려할 필요는 없다.

센서가 속도형인 경우에는 적분회로의 증폭기를 사용하면 변위 파형을 출력하고 미분회로의 증폭기를 사용하면 가속도 파형을 출력할 수 있다. 또한 가속도형 센서에 적분회로의 증폭기를 사용해서 속도 파형 또는 변위 파형을 얻을 수 있다.

감도조정용 가변저항기가 사용되고 있는 증폭기를 이용하는 경우에는 항상 그 증폭율을 검토해야 한다.

(4) 자료저장부

자료의 저장은 digital recording system에서는 물리적 신호를 일정한 시간동안 일정 간격으로 신호의 크기를 기록한다. 일반적으로

초당 1,000개의 sample이 기록되며 보다 정밀한 경우는 보다 많은 샘플이 기록되기도 한다. 이러한 기록자료들과 관련 소프트웨어를 이용하여 시간이력에 따른 주파수와 관련된 정보, 진동속도의 크기 등을 분석을 할 수 있다.

자료저장부는 파형 관측, 파형 해석 등의 목적과 수신부, 증폭부와의 연결계통에 있어서 주파수범위, 진폭범위, 위상특성을 고려하여 측정 파형을 확실하게 기록할 수 있는 기종을 선정해야 한다. 운동에 대한 크기만을 기록할 경우는 암반의 변형이나 구조물의 반응을 일으키는 상세한 이력과 미세한 주파수 등에 대한 정보를 얻을 수 없기 때문에 시간의 이력에 따른 많은 자료가 필요하다.

현재 상품화되고 있는 진동측정장비는 상기와 같은 세부적 상황을 고려하지 않아도 되도록 일체화되고 있으며 측정 자료도 PC와 연계되어 관련 소프트웨어를 이용하여 자료를 쉽게 분석할 수 있다.

4.2 교정 (calibration)

센서의 감도 및 특성은 센서를 구입했을 때 첨부되어 있는 특성표 또는 특성곡선을 사용해도 좋지만 원칙으로는 수신부에서 기록부에 이르는 연결계통의 상태에서 종합감도특성 및 종합 주파수특성을 진동대를 사용해서 구하고, 측정 계통을 교정해두어야 한다.

구입후 1년 이상 경과하였거나 때때로 측정에 사용한 센서는 최저 1년에 1회 정도는 교정을 해주어야 한다. 센서의 교정은 충분히 정도가 높은 교정장치를 이용하여 시행하는 것이 원칙이나 편법으로 교정의 기준으로 삼기 위해 주의해서 보관되고 있는 같은 종류의 센서(표준수준기)를 이용하는 방법도 있다. 교정할 때 수신부와 증폭부를 연결하는 전선은 실제의 측정에 사용하는 것을 사용하면 좋

지만, 이것을 사용하지 않을 경우에는 가저항을 사용해서 특성이 변하지 않도록 하는 것이 바람직하다.

5. 측정

진동에 대한 측정위치는 지역에 따라 다르다. 북미의 경우는 관심대상이 되는 구조물의 지반에서 이루어지는 반면에 유럽의 경우는 구조물의 기초에서 측정되는 것이 일반적으로 이러한 차이는 역사적 배경에 따른다.

5.1 측정방법

(1) 개요

측정은 원칙적으로 수직방향(V, Vertical)과 상호간 직교하는 수평의 2방향 즉 진행방향(L, Longitudinal)과 접선방향(T, Transverse)에 대한 3성분을 동시에 측정한다. 단지, 장소에 따른 비교 또는 감쇠 등의 개략적 조사를 목적으로 할 때는 편법으로 동일 성분만 여러 측정점에서 동시에 측정하는 경우도 있다. 또한 구조물의 측정에서는 영향이 크다고 생각되어지는 성분의 것만을 측정하는 경우도 있다.

거리에 따른 진동감쇠를 측정하고 싶은 경우에는 넓은 범위의 환산거리를 고려하여 최상의 감쇠 관계를 구하기 위해 적어도 3-4개 이상의 측정점에 대해 동시계측이 필요하다. 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 바람

직하며, 단층과 같은 큰 구조의 지질적 불연속면을 가로지르는 것을 피하는 것이 좋다. 지질상황의 변화가 심한 곳은 두 개의 이상의 축선을 설정하도록 한다.

이 경우 다수 지점의 동시측정이 바람직하지만 측정기의 성분수가 적은 경우에는 기준점 1점을 설치해두고 그 외 다른 측정점을 발파 때마다 이동시켜 여러 차례의 측정을 실시해서 기준점의 진동에서 다른 점의 측정 진동을 보정함으로써 감쇠를 구할 수 있다. 그러나 이 경우에는 발파점 및 발파조건을 될 수 있는 한 변화하지 않도록 발파해야 하는 어려운 점이 있다.

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

(2) 센서의 설치

발파진동측정에서 가장 중요한 관건중의 하나가 지반에 어떻게 센서를 설치하는 가이다. 기본적으로는 센서와 지반운동이 같이 거동할 수 있도록 지반 위나 구조물상에 센서를 견고하게 고정시켜야 한다. 단단한 지반에서는 땅을 10~15 cm 정도를 파고 비닐주머니에 센서를 넣고 물거나 센서에 부착된 spike를 이용하여 지반에 견고하게 설치한다. 지반이 매우 굳거나 콘크리트와 같은 구조물과 같은 장소에서 센서를 설치할 경우에는 고정판을 이용하여 bolt나 anchor로 고정하거나(그림 9 참조) 또는 석고, 시멘트 몰타르, 양면 접착제, 에폭시 수지, 고무 찰흙, 진흙덩어리 등(그림 10 참조)을 이용하여 지반에 접착을 시켜야 한다.

연약한 지반에서 부착용 철판을 사용하여 철판이 충분히 지반과 접착하도록 놓고 그 위에 센서를 설치하면 접지면적이 커지기 때문

에 안정하게 설치할 수 있다. 그러나 이 경우에는 부착용 철판의 효과에 대해 충분히 검토할 필요가 있다.

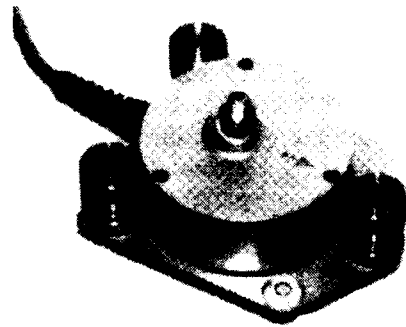


그림 9. 고정판을 이용하여 설치된 센서



그림 10. 찰흙을 이용하여 센서를 구조물에 고정

또한 센서의 spike가 지반에 삽입되지 않을 경우에는 12kg 정도의 모래주머니를 이용하여 센서를 완전히 고르게 덮어주어 하중을 가해 줌으로써 지반과 같이 움직이도록 해준다. 그러나 이 방법은 진동수준이 높지 않은 곳에서 사용하도록 제안되고 있다.

구조물의 측정에 있어서는 구조물의 진동 응답을 대표할 수 있는 장소 혹은 진동 응답을 알 필요가 있는 장소에 부착용구, 접착제 등을 사용하여 센서를 고정시켜 측정한다. 특히

건물에 설치하는 경우에는 건물의 진동은 복잡하고 다른 진동응답을 나타내는 일이 있기 때문에 설치장소, 설치방법 등에 대해서는 보고서의 첨부 건물 설계도에 명시해둘 필요가 있다.

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.

발파풍압을 측정하는 센서는 지상에서 1m 이상의 높이로 설치하도록 하고, 비가 내리는 경우는 비에 의한 손상을 줄이기 위해 마이크 센서를 약간 아래로 숙인다. 그리고 바람의 영향을 줄이기 위해 wind screen을 끼우도록 한다.

(3) 트리거 수준(Trigger Level)의 설정

진동측정의 목적에 따라 연속적인 측정과 같이 모든 진동을 측정을 할 수도 있지만, 목적에 따라서는 어느 수준이상 그리고 어느 기간동안의 진동만 필요할 경우가 있다. 이 경우 진동을 측정하기 위해서는 어느 수준이상의 진동에 응답하여 진동기가 작동할 수 있도록 트리거 수준을 설정해주어야 한다. 그리고 트리거 수준의 설정은 측정목적에 따라 예상

진동속도를 고려하여 트리거 수준을 설정해야 한다. 또한 진동기록시간은 음속과 발파원과의 거리 그리고 발파지속시간을 고려하여 진동기록시간을 설정한다. 보수적으로 900m 이하의 거리는 5초, 900~2,250 m는 10초, 2,250 m이상은 15초 정도로 설정한다(GeoSonic manual). 지발발파에서는 발파소요 시간을 고려하여 최대발파 소요시간보다 높은 단계의 시간을 설정하도록 한다.

일반적으로 트리거 수준의 설정형태는 지반 진동이나 발파풍압을 기준으로 트리거를 설정하지만 일반적으로 진동을 기준으로 트리거를 설정한다. 트리거 설정시 트리거 수준을 너무 낮게 하면 센서주위의 자동차의 통행, 사람의 보행 등과 같은 불필요한 진동들에 의해 작동될 수 있기 때문에 주위환경을 고려하여 설정해야 하지만 낮은 수준의 발파진동이 그대로 통과하도록 높게 설정되어서도 안 된다.

5.2 측정에 대한 상황기록

가. 측정할 때마다의 측정날짜 및 시간, 발파풍압의 경우는 바람에 따라 상당한 영향을 받기 때문에 그 날의 기상조건, 측정장소, 지질상황, 측정기관명 및 측정자의 이름을 명시한다.

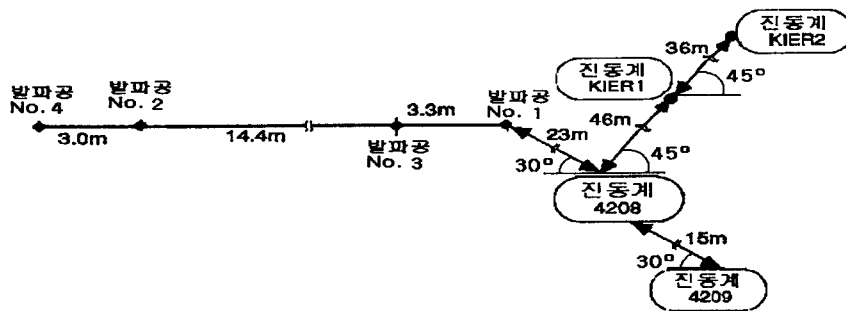


그림 11. 시험 발파공과 진동계의 배치도

나. 각 측정마다 측정명, 측정성분, 발파원에서 측정까지의 수평거리 및 고저차, 센서의 설치상황(그림 11), 주변조건(교통통행상황, 기계운전상황, 고압송전선 위치, 진동에 영향과 관련되는 모든 사항 등)을 기록한다.

센서의 설치상황에 대해서는 센서의 고정방법 및 센서의 수신방향과 발파원의 방향과의 관계 또는 수감방향과 구조물의 방향과 관계 등을 이해할 수 있는 도면을 첨부한다.

5.3 사진촬영

측정시 다음의 사항들을 나타낼 수 있는 사진들을 촬영하고 보고서에 첨부하는 것이 바람직하다.

가. 측정구역을 개관할 수 있는 전경사진(그림 12)

나. 발파대상 암반의 상황사진(그림 13)

다. 발파장소의 천공현황사진(그림 14)

라. 측정기기의 배치를 포함한 측정상황에 관한 사진(그림 15)

상기의 사진들 외에도 발파장소에 있어서 발파전후의 변화상태를 알 수 있는 사진을 촬영하는 것도 바람직하다.

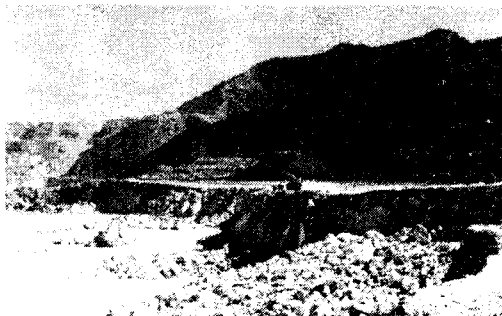


그림 12. 발파원의 전경



그림 13. 발파대상 암반의 상황을 나타내는 사진

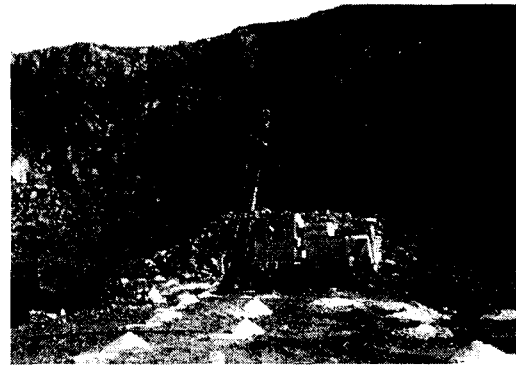


그림 14. 천공 및 발파공의 배치 사진

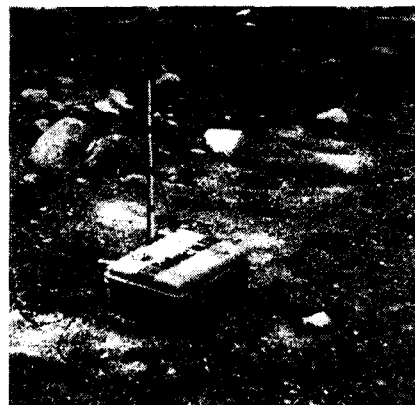


그림 15. 발파진동계의 현장설치 모습

5.4 측정거리의 산출

발파원에서 측정까지의 거리는 원칙적으로는 최단거리를 기록한다.

측정거리의 기점은 발파원과 측정과의 거리가 먼 경우에는 장약부의 중심을 기점으로 측정한다.

여러 공의 제발 발파에서 각 공의 장약량이 거의 동일한 경우에는 거리가 가까우면 가장 가까운 발파공을 기점으로 하고, 장약량이 현저히 다른 경우에는 장약량이 많은 발파공을 기점으로 한다.

지발발파에서 각 단의 장약량이 거의 동일한 경우는 가장 가까운 공의 거리를 기점으로 하고, 장약이 현저히 다른 경우에는 장약량이 많은 공을 기점으로 한다.

5.5 측정결과 기록

측정결과 기록은 다음의 사항들을 기록하는 것이 바람직하다.

가. 결과 기록지마다 사업명, 측정명 또는 지명, 측정일시, 측정번호, 진동변위, 속도 및 가속도 등의 사항을 기입한다. 최근의 장비들은 일반적으로 측정량에 대한 제원들은 측정 결과의 출력시 동시에 기록된다(그림 16).

나. 측정기록의 각 채널마다 측정의 위치(될 수 있는 한 발파원으로부터의 거리 및 표고차), 진동성분(수직성분), 전후운동(진행방향), 좌우운동(접선방향)은 기록된 진동방향과 실제 진동방향과의 관계를 기입한다.

다. 파의 최대진폭, 진동수, 주파수 등의 판독 값과 장약, 발파원의 상황, 거리, 측정방향 등을 기록한다.

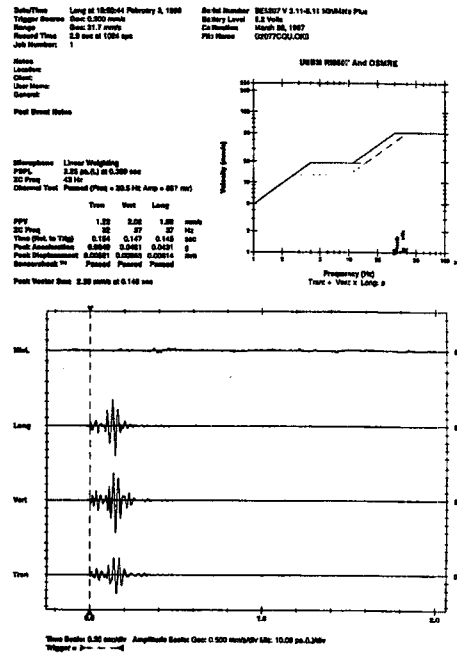


그림 16. 발파진동 계측자료

라. 거리에 따른 감쇠를 조사하는 경우에는 화약량과 거리에 따른 graph를 작성하고 장약량과 거리에 따른 지반진동에 대한 예측식을 구한다(그림 17).

마. 그 외의 측정조건과 관계되는 사항 중에 조사목적에 맞는 필요한 것들과 그들의 관계를 나타내는 도표를 작성한다.

바. 구조물의 진동을 조사하는 경우에는 구조물의 진동과 지반진동이 동시에 측정되고 있을 때는 구조물의 진폭을 지반의 진폭에서 제외된 비를 구한다.

사. 채광을 위한 발파의 경우는 파쇄도 등의 분석을 위한 자료의 수집도 필요하다.

아. 구조물의 균열조사를 위한 측정의 경우

는 발파전후의 균열의 변화상황을 기록한다.

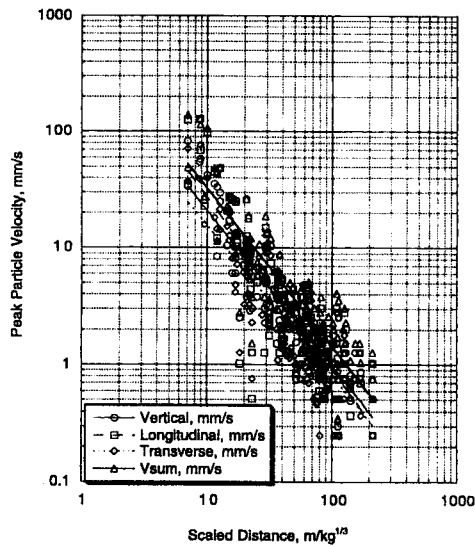


그림 17. 진동계측자료의 회귀분석 결과

6. 요약 및 토의

정확한 발파진동의 측정은 센서가 지반거동과 같이 거동할 수 있도록 지반이나 구조물에 견고하게 설치하는 것과 대표적인 진동특성을 나타낼 수 있는 측정위치의 선택이 무엇보다 중요하다. 측정목적에 따르는 장비 및 센서의 선택, 센서의 설치방법 및 설치시 주의사항, 트리거 수준의 설정, 발파원의 지질 및 암석 상황, 발파패턴 및 장약상황과 관련하여 측정 전에 실시해야 할 사항 및 자료수집, 거리측정, 측정주변상황 파악, 사진촬영, 발파 후에 파악해야 할 사항 등 결과해석을 위해 필요로 하는 자료 및 사항과 측정결과의 정리 등에 대해 언급하였다.

민원과 같은 이해관계가 걸린 경우는 서로 측정결과에 대해 신뢰하지 못하는 경우가 많이 있다. 그러므로 측정결과에 대한 신뢰도

뿐만 아니라 보다 정확한 자료의 획득을 위해서 빠른 시일 내에 발파진동계측에 대한 지침이 학회를 중심으로 제안되어야 할 것이다.

참고 문헌

1. 日本鑛業爆破振動に關する研究委員會 외, 1976, 發破振動測定指針について, 日本鑛業會誌, vol 92, pp637-642.
2. Carlos Lopez Jimeno et al. 1995, Drilling and blasting of rocks, Balkema, 391p.
3. Dowding, C.H., 1985, Blast vibration monitoring and control, Prentice-Hall, Inc., 297p.
4. ISRM, 1992, Suggested methods for blast vibration monitoring, Commission on Testing method, Int. J. Rock Mech. Min. Sci. & Geomech. Abstr, vol 29, no.2, pp 143~156.
5. Langerfors, U. and B. Kihlström, 1978, Rock blasting, John Wiley & Sons, 438p.
- Operator manual for MiniMate Plus, InstanTel, Canada.
6. Operation manual for the SSU 2000DK Seismograph, GeoSonics, USA.
7. Singh, B. et al., 1993, Blasting in ground excavation and mines, Balkema, 177p.