

발파진동측정을 위한 측정지침

Field Practice Guidelines for Blasting Seismographs

선우 춘

Choon Sunwoo

한국지질자원연구원

초록

발파진동 및 소음은 일반적으로 발생원인이 사회간접자본의 건설이나 자원의 개발이라는 공익성과 관련되는 것이 대부분이다. 최근에는 환경문제에 대한 관심이 높아지면서 발파진동이나 소음에 대한 관심이 높고, 또한 많은 민원이 발생되고 있다.

아무튼 발파진동의 측정은 발파에 의해 발생하는 지반 및 구조물의 진동을 파악하여 발파진동 규제기준의 수행 여부를 평가하거나 또는 발파성능을 평가할 목적으로 관련 기관들에 의해 진동측정이 실시되고 있다. 따라서 규정의 준수에 대한 판정은 발파소음과 지반진동 측정의 정확도와 신뢰도에 의존하게 된다. 그러나 발파진동측정에 대한 통일적인 방법이나 지침이 없기 때문에 현장실무에서 측정방법이나 자료처리방법 등에 많은 어려움이 따르고 있다. 따라서 ISEE의 발파진동측정을 위한 실무지침을 중심으로 진동계측자료가 신뢰성을 보장하기 위한 작업의 일환으로 발파진동 측정시 고려해야 할 사항들에 대해 고찰함으로써 발파진동 측정방법에 대한 이해를 높이고자 한다.

핵심어 발파진동, 발파풍, 발파진동계측기, 트리거 수준, 지침

1. 서론

진동 및 소음규제는 건축물 등의 재산피해의 방지와 사람 및 가축에게 피해를 주는 것을 방지하기 위해 설정된 것이다. 발파진동 및 소음은 일반적으로 발생원인이 사회간접자본의 건설이

나 자원의 개발이라는 공익성과 관련되는 것이 대부분이다. 규제기준을 준수하여 발파를 설계하고 시공하는 경우에는 과학적 지식으로 볼 때 발파로 인한 진동 및 소음의 피해가 발생하지 않을 것으로 판단한다. 그러나 발파진동소음은 대단히 짧은 시간동안 지속

되고 소멸된다는 특성이 있지만 규제와 관련 규정에서 이러한 특성들이 충분히 반영되지 않고 있다.

아무튼 발파진동의 측정은 발파진동 규제기준의 수행 여부를 평가하거나, 발파성능을 평가하기 위해 주로 사용된다. 따라서 규정의 준수에 판정은 발파소음과 지반진동 측정의 정확도와 신뢰도에 의존하게 된다.

여기서 ISEE(International Society of Explosives Engineers)의 발파진동 측정을 위한 실무지침을 중심으로 모든 진동계측기들 사이의 발파풍과 지반진동의 측정자료가 신뢰성이 있고 시종일괄된 기록을 보장하기 위한 작업의 일환으로 발파진동 측정시 고려해야 할 사항들을 살펴보기로 한다.

2. 일반지침

발파진동측정기는 발파작업현장에서 발파에 의해 발생하는 발파풍과 지반진동을 측정하기 위해 사용된다. 측정자료의 정확성이 필수적이기 때문에 아래에서 언급될 지침들은 발파작업현장에서 발파진동계를 사용할 때 측정자들이 주의해야 할 것들을 정의하기 위한 것이다.

1) 계측장비 매뉴얼의 숙지

모든 진동측정기는 사용자 매뉴얼이 있다. 장비마다의 특성과 제한사항과 정확한 사용방법을 파악하기 위해서 사용자는 발파진동을 측정하기 전에 반드시 관련된 항목들을 읽고 숙지하

여야 한다.

2) 발파진동측정기의 정기적인 교정의 실시

센서의 감도 및 특성은 센서를 구입했을 때 첨부되어 있는 특성표 또는 특성곡선을 사용해도 좋지만 원칙으로는 수신부에서 기록부에 이르는 연결계통의 상태에서 종합감도특성 및 종합 주파수특성을 파악하고, 측정계통을 교정해두어야 한다. 구입후 1년이상 경과하였거나 때때로 측정에 사용한 센서는 최저 1년에 1회 정도는 교정을 해주도록 한다. 센서의 교정은 충분히 정도가 높은 교정장치를 이용하여 시행하는 것이 원칙이나 편법으로 교정의 기준으로 삼기 위해 보관되고 있는 같은 종류의 센서(표준수준기)를 이용하는 방법도 있다.

3) 적절한 기록의 유지

발파진동측정시 발파진동측정기록에는 다음의 것들을 기록하도록 한다.

- 사용자 이름
- 날짜와 시간
- 사업 또는 조사명
- 조사지역명
- 진동측정 대상의 종류(지반진동은 구조물 진동과 구별하고, 구조물의 경우에는 구조물의 종류를 기록한다)
- 구조물관련 자료
- 지형 및 지질관련 자료

4) 발파에 대한 기록

발파원과 관련된 상황과 발파기 사

용시간 등의 사항들을 기록한다.

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. 실제에 있어서 각 발파가 충분히 측정될 수 있도록 예상진동속도를 고려하여 충분히 낮게 트리거 수준(trigger level)을 설정한다.

5) 발파진동의 전체 파형의 기록

진동측정의 목적에 따라 연속적인 측정과 같이 모든 진동을 모니터링할 수도 있지만, 목적에 따라서는 어느 수준이상의 발파진동의 전체 파형을 기록할 필요가 있다. 이러한 경우에는 많은 발파진동측정기에서 발파진동을 모니터링하기 위해서 사용되는 연속기록의 옵션을 사용하지 않도록 한다.

6) 발파진동측정기가 설치된 위치에 대한 정보의 기록

구조물관련 자료로서는 구조물의 이름과 주소 그리고 구조물의 특성을 파악할 수 있는 구조물의 형태, 구조물 건설후의 경과 년수(증축, 개축 및 보수 현황 등 포함)등의 자료를 기록한다. 그리고 발파진동측정기가 구조물과 관련하여 어떠한 성질을 가지는 곳에 설치하였는지를 포함시킨다. 누구라도 정확한 측정위치를 알 수 있고 또한 나중에 그 위치에 설치할 수 있

도록 한다.

7) 측정거리의 기록

발파원에서 측정까지의 거리는 원칙적으로는 최단거리를 기록한다. 고도차가 2.5:1(수평:수직)을 초과하는 곳에서는 사거리나 실제거리를 사용해야 한다.

발파원에서 발파진동측정기까지의 수평거리는 적어도 2자리의 유효숫자를 알 수 있도록 한다. 예를 들면 1,000m내에 발파원이 있다면 수 십m까지 측정되어야하고, 10,000m이내면 수 100m까지는 측정되어야 한다.

또한 발파원과의 관계를 고려하면 측정거리의 기점은 발파원과 측정과의 거리가 먼 경우에는 장약부의 중심을 기점으로 측정한다. 여러 공을 제발발파할 때는 각 공의 장약량이 거의 동일한 경우에는 거리가 가까우면 가장 가까운 발파공을 기점으로 하고, 장약량이 현저히 다른 경우에는 장약량이 많은 발파공을 기점으로 한다.

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

8) 발파진동측정기의 자료처리시간의 속지

장비에 따라서는 자료를 프린터하고 처리하는 데 5분이상 걸리는 것들도 있다. 만약에 한 발파후에 연속되는 다음 발파가 이 자료처리시간 내에 다

음 발파가 수행된다면 두 번째 발파의 발파진동은 놓칠 수밖에 없다. 따라서 발파진동측정기의 자료처리시간을 숙지함으로써 발파간격을 조절해야 한다.

9) 발파진동측정기의 메모리 용량이나 기록용량의 숙지

발파진동들을 기록할 수 있는 충분한 메모리 용량이 있어야만 한다. 자료의 저장은 digital recording system에서는 물리적 신호를 정해진 시간동안 일정 간격으로 신호의 크기를 기록한다. 일반적으로 초당 1,000개의 sample이 기록되며 보다 정밀한 경우는 보다 많은 샘플이 기록되기도 한다.

디지털이거나 아날로그 형태이던 나중에 참조할 수 있도록 전체 진동파형이 저장되어야만 한다.

이런 기록자료들은 관련 소프트웨어를 이용하여 시간이력에 따른 주파수와 관련된 정보, 진동속도의 크기 등을 분석을 할 수 있다.

10) 작성해야 하는 보고서의 성질 즉 목적을 숙지

예를 들면 현장에서 hard copy로 자료를 제공하는 것인지 또는 영구기록으로서의 수치자료를 저장해야 하는 것인지 아니면 두 경우 모두 해당하는 것인지를 알아야 한다. 만약에 발파작업에 대한 발파진동이 현장에서 결과가 출력이 되어야 한다면 결과출력을 위한 프린터가 필요할 것이다.

11) 발파진동측정기의 설치시간

발파진동측정기를 적절하게 설치하기 위해 충분한 시간을 갖도록 해야 한다. 진동측정에서 많은 실수는 발파진동측정기를 서둘러 설치함으로써 발생한다. 사용자가 측정장소에 도착하여 발파때 까지 일반적으로 15분 이상의 설치시간을 가지도록 해야 한다. 설치장소의 지반상황에 따라서는 센서를 설치하는 데 많은 시간이 소요될 수도 있다.

12) 발파진동측정기의 온도특성의 숙지

배터리 등의 성능 때문에 극한 기후에서는 발파진동측정기는 여러 제작사마다 작동특성이 다르기 때문에 발파진동측정기가 작동하는 온도를 알아두어야 한다.

13) 케이블의 확인

발파풍압으로 트리거 수준을 설정했을 경우 케이블이 매달려 있거나 바람 또는 다른 기타의 원인으로 자유롭게 움직일 수 있는 케이블은 마이크를 통해 잘못된 트리거를 발생시킬 수 있다.

3. 발파진동의 측정

진동센서의 위치와 지반과의 접촉상태가 발파진동 측정결과를 보증할 수 있는 중요한 2개의 요소가 된다.

3.1 진동센서의 배치

진동센서는 발파원을 향해 측정 대상이 되는 구조물 양측면의 지반속이나 지반위에 위치시켜야 한다. 측정대상 구조물은 가옥, 배관, 전신주 등 일 수 있다. 차도나 인도위에서의 진동측정은 가능한 피한다.

1) 구조물과 관계있는 곳에 설치

진동센서는 측정된 자료가 보안구조물에서 받는 진동수준을 충분하게 나타낼 수 있는 곳에 위치시켜야 한다. 센서는 구조물에서 3m내에 위치하거나 적어도 발파원에서 측정까지 거리의 10%내에 위치시켜야 한다.

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.

2) 지반상태의 점검

흙을 채워 넣어라. 진동센서를 설치하는 동안에 모래, 다져지지 않은 흙, 화단의 짚이나 다른 특이한 매체들이 적절하게 취급되지 않는다면 기록의 정확성에 영향을 줄 수 있다.

3) 진동센서의 수평 설치

진동센서의 작동 원리상 가능하면 수평으로 설치하여야 하기 때문에 수준기를 이용하여 수평이 되도록 설치한다.

4) 진동센서의 설치방향

진동센서의 진행방향의 성분은 센서에 표시된 방향표시와 발파원의 방향이 항상 일치하도록 설치하고, 그 방위각을 반드시 기록하도록 한다.

발파원의 장소가 다른 여러 발파의 경우는 센서의 방향과 일치하지 않기 때문에 그 상황을 기록해둔다.

5) 접근이 곤란한 보안물건

보안 구조물이나 사유재산에 접근할 수 없는 곳에서는 진동센서를 교란이 되지 않은 지반중에 발파원에 가까운 곳에 설치하도록 한다.

3.2 진동센서의 설치

발파진동측정에서 가장 중요한 관건 중의 하나가 지반에 어떻게 센서를 설치하는 가이다. 기본적으로는 센서와 지반운동이 같이 거동할 수 있도록 지반위나 구조물상에 센서를 견고하게 고정시켜야 한다.

만약에 진동가속도가 0.2g를 초과하면, 진동센서가 미끄러지는 문제가 발생할 수 있다. 예상되는 가속도의 수준에 따라서 진동센서를 스파이킹하거나, 땅에 매설하거나 또는 모래주머니로 센서를 덮는 작업 등이 필요하다.

1) 진동가속도에 따른 설치방법

a) 진동가속도가 0.2g이하인 경우에는 매설이나 부착이 필요 없다.

b) 진동가속도가 0.2와 1.0g사이인 경우에는 매설이나 부착이 좋다. 스파이크로 박아 진동센서를 설치하는 것

도 랜찮다.

c) 진동가속도가 1.0g보다 큰 경우에는 매설이나 견고한 부착이 요구된다 (USBM 8506).

표 1 가속도가 0.2g와 1.0g일 때 주파수에 따른 입자운동속도의 예

주파수 Hz		4	10	15	20	25
입자속도 (mm/s)	0.2g	78.0	31.2	20.8	15.5	12.4
	1.0g	391.2	156.2	104.1	77.5	62.2
주파수 Hz		30	40	50	100	200
입자속도 (mm/s)	0.2g	10.4	7.9	6.4	3.0	1.5
	1.0g	52.1	39.4	31.8	15.2	7.6

2) 부착이나 매설방법

a) 매설방법은 센서의 높이보다 3배가 넘지 않게 구멍을 뚫는다(ANSI S2.47-1990, R1997). 그리고 구멍의 바닥에 비닐주머니에 센서를 넣고 물거나 센서에 부착된 스파이크를 이용하여 지반에 박고, 센서의 주위와 위를 흙으로 견고하게 다진다.

b) 지반이 매우 굳거나 콘크리트와 같은 구조물 그리고 암반과 같은 장소에 설치할 경우에는 고정판을 이용하여 볼팅이나 앵커로 고정시키거나 또는 석고, 시멘트 몰타르, 양면 접착제, 엑포시 수지, 고무 찰흙, 진흙덩어리 등을 이용하여 암반표면이나 지반에 접착을 시킨다.

c) 구조물의 기초가 지표에서 ±30cm내에 위치한다면 센서를 구조물의 기초에 부착할 수 있다(USBM RI

8969). 이 방법은 매설, 스파이크로 박거나 모래주머니를 덮는 방법이 어려울 경우에만 사용한다.

구조물에서의 측정은 구조물의 진동 응답을 대표할 수 있는 장소 혹은 진동 응답을 알 필요가 있는 장소에 부착용구, 접착제 등을 사용한다. 특히 건물에 설치하는 경우에는 건물의 진동은 복잡하고 다른 진동 응답을 나타내는 일이 있기 때문에 설치장소, 설치방법 등에 대해서는 명시해둘 필요가 있다.

3) 센서의 다른 설치 방법

a) 스파이킹은 흙의 교란을 최소화 하면서 뗏장을 제거하고, 스파이크가 부착된 센서를 지반에 견고하게 압착시킬 필요가 있다.

b) 센서의 스파이크가 지반에 삽입되지 않을 경우에는 모래주머니를 이용한다. 모래주머니를 덮는 것도 흙의 교란을 최소화 하면서 뗏장을 제거하고, 설치공간에 센서를 놓고 센서 위에 모래주머니를 덮는다. 모래주머니는 충분히 커야 하고 5-12kg 정도의 모래로 느슨하게 채워야 한다.

센서위에 모래주머니를 놓을 때는 지반과 최대한 견고하게 접촉할 수 있도록 수직단면은 가능한 한 낮게 그리고 넓게 하여 고르게 덮어 센서에 하중을 가해 줌으로써 지반과 같이 움직이도록 해준다. 그러나 이 방법은 진동수준이 높지 않은 곳에서 사용하도록 제안되고 있다.

c) 보다 더 좋은 커플링을 위해서는 스파이크와 모래주머니를 동시에 사용하도록 한다.

3.3 수행명령입력시 고려할 사항

발파진동측정기에 수행명령을 입력할 때 측정조건들에 따라 명령들이 수행되도록 한다.

1) 지반진동의 트리거 수준

트리거수준의 설정은 측정목적에 따라 예상진동속도를 고려하여 트리거수준을 설정해야 한다. 트리거 수준은 발파진동으로부터 장비가 작동할 수 있도록 충분히 낮게 설정한다. 그리고 트리거 수준을 너무 낮게 하면 센서주위의 자동차 통행, 사람의 보행 등과 같은 불필요한 진동들에 의해 작동될 수 있기 때문에 이런 것들에 의해 작동되는 것을 최소화할 수 있도록 주위 환경을 고려하여 충분히 높게 설정하여 낮은 수준의 발파진동이 그대로 통과하지 않도록 트리거 수준을 입력한다. 1.0mm/sec로 출발하는 것이 좋다.

일반적으로 트리거 수준의 설정형태는 지반진동이나 발파풍압을 기준으로 트리거를 설정하지만 일반적으로 진동을 기준으로 트리거를 설정한다.

2) 작동영역과 해상도

만약에 발파진동측정기에 자동영역함수(auto range fuction)가 설치되어 있지 않다면 사용자는 예상되는 진동 범위를 추정해야하고 그리고 적당한

범위를 입력해야 한다. 기록될 파형의 해상도는 측정된 파형이 발파에 의한 파형인지 아닌지를 확인하는 데 필요하다.

3) 기록시간

진동기록시간은 음속과 발파원과의 거리 그리고 발파지속시간을 고려하여 진동기록시간을 설정하여 입력한다.

발파지속시간보다 긴 2초를 설정하고 발파원으로부터 매 300m 마다 1초씩을 추가한다. 보수적으로 900m 이하의 거리는 5초, 900~2,250m는 10초, 2,250m이상은 15초 정도로 설정한다 (GeoSonic Manual).

지발발파에서는 발파소요 시간을 고려하여 최대발파 소요시간보다 높은 단계의 시간을 설정하도록 한다.

4. 발파풍 측정

발파풍압은 발파에 의해 생성되는 공기압력파로 발파진동과 마찬가지로 구조물에 영향을 줄 수 있다. 대부분 장비에는 발파풍압을 측정할 수 있는 마이크로폰이 부착되어 있으나, 발파풍압을 측정하기 위해 소음측정기를 단독으로 운영하는 경우가 있다.

구조물과 관련하여 소음측정센서(마이크로폰)의 위치가 가장 중요한 요소이다.

4.1 소음측정센서의 위치

발파원에 가장 가까운 구조물의 측

면을 따라서 설치해야 한다.

1) 바람의 영향

바람의 영향을 줄이기 위해 소음측정 센서는 제작사에서 제공하는 바람막이용 스크린을 부착하고 진동센서가 가까이에 설치한다.

비가 내리는 경우는 비에 의한 손상을 줄이기 위해 마이크 센서를 약간 아래로 숙이도록 한다.

발파폭압을 측정하는 경우는 바람에 따라 상당한 영향을 받기 때문에 그날의 기상조건을 명시하는 것이 좋다.

2) 소음측정센서의 설치높이

소음측정센서의 높이는 지상 90cm 정도가 좋고, 땅속에서는 4cm이내가 적당하다. 다른 높이의 설치도 실제적인 이유로 인해 허용될 수 있다.(ANSI S12.18-1994, ANSI S12.9-1992/Part2, USBM RI8508)

3) 소음 방해물

실제 측정에 있어서 건물, 자동차 다른 장애물들 가까이에 위치하게 되는 소음 측정용 마이크는 이러한 것들에 의해 발파로부터의 발파풍이 방해를 받아서는 안 된다.

만약에 이러한 방해물들을 피할 수 없다면 방해물과 소음측정용 마이크 사이의 수평거리가 마이크 보다 위에 위치하는 방해물의 높이보다는 더 커야 한다.

4) 구조물에 의한 반향

만약에 소음측정 센서를 구조물에 너무 가까이 설치한다면, 폭풍압이 건물 표면으로부터 반사되어 더 높은 진폭이 기록될 수 있다. 또한 구조물의 응답소음이 기록될 수도 있다. 소음측정 센서를 구조물의 모서리에 설치함으로써 반향을 최소화 시킬 수 있다.

4.2 수행명령입력시 고려사항

폭풍압을 기록하기 위해 발파진동측정기에 수행명령을 입력할 때 현장조건에 요구되는 작업에 따라 수행명령이 달라진다.

1) 트리거의 수준

오직 폭풍압만의 측정이 요구될 때는 폭풍압에 의해 장비가 작동할 수 있도록 트리거 수준을 충분히 낮추어야 하며, 동시에 잘못된 소음들의 발생에 의한 작동을 최소화하기 위해 주위환경을 고려하여 충분히 높게 설정되어야 한다.

2) 기록시간

오직 폭풍압만의 측정이 요구될 때는 기록시간을 발파지속시간보다 긴 적어도 2초 이상을 설정해야 한다. 지반진동과 폭풍압의 측정의 동시 기록이 요구되는 때는 앞장에서 설명된 지반진동의 설정지침을 따른다.

5. 요약 및 토의

일관되고 신뢰할 수 있는 정확한 자

료의 획득을 위해 계측과 관련된 지침에 대해 살펴보았다.

정확한 발파진동의 측정에는 센서가 발파에 기인하는 지반거동과 같이 거동할 수 있도록 지반이나 구조물에 견고하게 설치하는 것이 무엇보다 중요하다. 또한 대표적인 진동특성을 나타낼 수 있는 측정위치나 진동이나 발파풍이 간섭받지 않는 장소의 선택도 중요하다. 또한 측정장비의 특성, 센서의 특성 등에 관한 사항들을 숙지하는 것도 좋은 측정결과에 획득하는 데 있어 중요하다.

측정의 목적에 따르는 장비 및 센서의 선택, 센서의 설치방법 및 설치시 주의사항, 트리거 수준의 설정, 발파원의 상황, 발파패턴 및 측정전에 실시해야 할 사항 즉 거리측정, 측정주변 상황 파악, 발파후에 파악해야 할 사항 등 결과해석을 위해 필요로 하는 자료 및 사항과 측정결과의 정리 등도 중요하다.

일관되고 신뢰할 수 있는 정확한 자료의 획득을 위해서는 발파진동계측과 관련된 지침이 학회를 중심으로 빠른 시간내에 제안되어야 할 것이다.

참고문헌

선우춘, 류창하, 2000, 발파진동 측정에 대한 고찰, 대한화약발파공학지, vol.18, No.4, p7-17.

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.

Dowding, C.H., 1985, Blast vibration monitoring and control, Prentice-Hall, Inc., 297p.

ISEE, 2000, Field practice guidelines for blasting seismographs, J. of Explosives Engineering, May/June, pp.38-42.

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.

Operator manual for MiniMate Plus, Instantel, Canada.

Operation manual for the SSU 2000DK Seismograph, GeoSonics, USA.