

발파 소음·진동 수준의 변환 연구

김남수*, 양형식**

A study on the transformation of blasting noise and vibration level

Nam-Soo Kim, Hyung-Sik Yang

ABSTRACT

Blasting vibration and air blast were measured by particle velocity and overpressure as well as environmental unit, dB(V) and dB(A). Variables for vibration and noise show good relationship and proportional equations are suggested. But there are some variations, and it means that predictions by design variables are not valid for human damage estimation or limit application of regulations.

1. 서론

주민들의 의식 수준이 향상됨에 따라 각종 건설 현장에서 발파로 인해 발생하는 소음과 진동에 더욱 더 민감하게 반응하고 있다. 그래서 시공자는 각종 민원을 조기에 예방하고 피해 보상을 줄이기 위해서 시공중에 소음진동 계측을 실시하고 있다.

발파 소음진동의 계측에는 구조물에 영향을 주는 설계목적의 계측으로 음압레벨 dB(L)과 진동속도(mm/s)가 있고, 인체를 위주로 한 환경목적의 계측으로 소음레벨 dB(A)와 진동레벨 dB(V)로 구분할 수 있다. 현재 우리나라 소음진동 규제법에 명시된 소음진동 측정 항목에는 A특성 청감보정회로를 수행한 소음레벨과 수직방향 인체응답 보정을 수행한 진동레벨을 계측하도록 명시하고 있다.

그러나 실제 건설 발파현장에서 사용하고 있는 소음진동 계측기는 거의 음압레벨과 진동속도를 측정하는 기기를 사용하고 있다. 이와 같은 이유는 대부분의 계측기는 외국 제품을 사용하고 있는데, 외국에서는 발파와 같은 단발성 충격소음과 진동에 대한 규제기준이 연속 소음진동에 비하여 대단히 높기 때문에 구조물 기준의 발파 소음진동 항목으로 설계목적의 계측에 사용하기 때문이다. 반면 우리나라에서는 충격소음진동과 연속소음진동에 대한 규제치가 구분되어 있지 않고 인체를 위주로 한 생활소음의 규제치에 포함되어서 환경목

적의 계측을 실시하기 때문에 대부분 사용하고 있는 계측기로 측정되어진 데이터는 실제 민원이 발생할 경우에 법적인 효과가 별로 없는 실정이다.

본 연구에서는 이와 같은 문제점을 해결하기 위하여 실제 계측된 발파 소음진동 데이터를 이용하여 소음수준과 진동수준의 상호변환식을 구하고 그 문제점을 고찰하였다.

2. 발파 소음·진동의 발생과 규제

2.1 발생 소음의 측정

소음진동 규제법에는 인체의 응답에 기초하여 청감보정한 소음레벨을 측정하도록 되어 있다. 청감보정회로로는 거의 A 특성 보정을 채택하고 있다. 소음은 피해 대상에 따라 구조물 피해, 인체 피해, 가축 피해로 나눌 수 있다. 인체 피해는 Weber·Fechner의 법칙에 따라 대수척도로 대응하므로 대수척도인 dB를 사용하며 청감보정한 소음레벨 dB(A)가 타당한 규제 기준이 된다.

반면 구조물의 피해는 폭풍압에 기인한 부가적으로 수반되는 지반진동에 의해서 발생한다. 이때 발생하는 저주파의 진동에 의해서 구조물에 피해를 입히는 것으로 알려져 있다. 그래서 구조물의 피해를 표현하는 방법에는 폭풍압과 이를 선형적으로 표현하는 음압레벨 dB(L)이 더 타당하다.

2.2 발파 진동의 측정

발파로 인한 주변 구조물이나 인체의 피해는 크게 나누어 매질에 따라 폭풍압에 의한 피해와 지

* 학생회원, 전남대학교 대학원 자원공학과

** 정회원, 전남대학교 공과대학 자원공학과

반진동에 의한 피해 및 비석에 의한 피해로 나눌 수 있다. 폭풍압(air blast)을 표현하는 방법에는 압력(Pa)과 음압레벨(dB)이 있다. 인체가 감지할 수 있는 음압의 크기가 너무 광범위하기 때문에 이를 레벨로 표현한 음압레벨이 많이 사용되고 있다.

$$SPL = 20 \log \frac{P}{P_r} \quad (1)$$

P_r : 최소 가청음압 ($2 \times 10^{-5} Pa$)

발파진동의 크기를 표현하는 방법에는 변위 (cm), 속도 (cm/s, kine), 가속도 (cm/s², gal) 등이 쓰이는데 그 중에 구조물에 미치는 피해는 진동속도에 가장 잘 비례하는 것으로 알려져 있다. 따라서 발파진동은 속도를 계측한다. 파동은 파의 전달 방향 성분(longitudinal)과 수직(vertical) 성분 및 접선(transverse) 성분을 계측하며, 세 방향 성분의 시차별 벡터 합이 최대가 되는 값 PVS(peak vector sum)로 구조물 피해 기준에 적용한다.

구조물에 대해서는 이러한 척도가 잘 적용될 수 있으나 인체의 감각은 Weber·Fechner의 법칙에 따라 대수적으로 대응하므로 레벨로 표현한 진동레벨 dB(V)을 사용한다. 진동레벨은 진동가속도레벨(Vibration Acceleration Level)에 수직 방향 진동에 대한 인체의 상대응답으로 보정한 진동레벨(Vibration Level)로 나타낸다.

$$\text{가속도레벨 } VAL = 20 \log \frac{A}{A_0} \text{ (dB)} \quad (2)$$

A: 측정치의 가속도 실효치 (m/s^2)

A_0 : 기준치 ($10^{-5} m/s^2$)

$$\text{진동레벨 } VL = VAL - W_n \text{ dB(V)} \quad (3)$$

W_n : 수직 방향 진동에 대한 주파수 보정치

2.3 기존 변환식과 그 문제점

현실적으로 발파현장에서는 설계목적으로 진동속도와 dB(L)을 계측하며 민원 발생시에는 이를 환산한 진동레벨과 소음레벨로 피해를 입증하고 있다. 환산식으로는 진동속도의 peak치와 진동레벨의 관계로부터 진동수 8 Hz 이상의 조화진동일 때

$$dB(V) = 20 \log v + 71 \quad (4)$$

로 변환이 가능하다.(그림 1) 여기서 v 는 최대 진동속도치(mm/s), dB(V)는 수직 보정한 진동레벨이다. 이 식은 평균예상식이 아니고 sine파에 근사하는 연속진동에 잘 맞으나 충격진동에는 잘 맞지

않으며 충격 진동의 경우 진동레벨이 과대평가 되는 경향이 있다.

그림 1에서 충격진동 데이터로 재구성하여 그림 2에 나타내었다. 데이터 처리 결과 상관계수는 0.9로 상당히 높은 관계를 보였고 상관식은 (5)식과 같다.

$$dB(V) = 17 \log v + 67 \quad (5)$$

그림에서 높은 상관 관계에도 불구하고 $\pm 5dB$ 정도의 편차가 있음을 볼 수 있다.

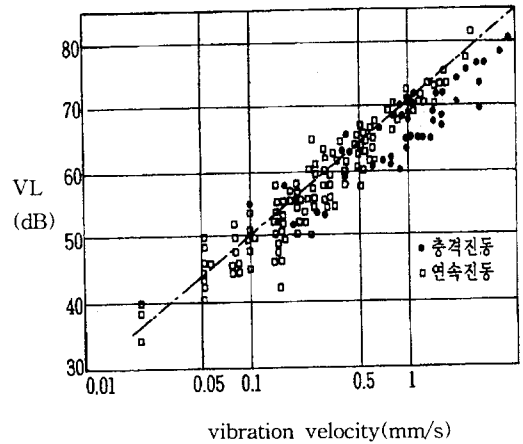


Fig. 1 Relationship between vibration velocity and vibration level

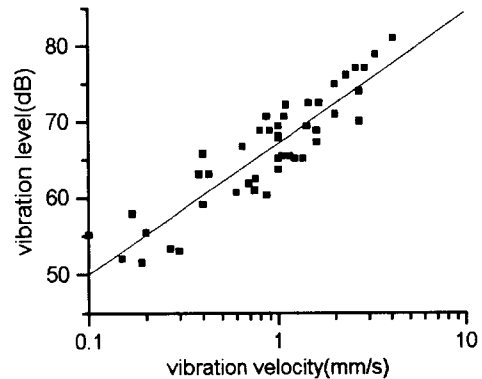


Fig. 2 Relationship between impulse vibration velocity and vibration level

3. 연구의 방법 및 변환 결과

3.1 소음 수준의 변환

발과 소음으로 인한 구조물 피해의 척도로 타당한 음압레벨 dB(L)과 인체의 피해 척도인 소음레벨 dB(A)의 상호 변환을 위하여 연구를 수행하였다. 현장에서 측정된 음압레벨을 소음레벨로 바꾸기 위해서는 주파수 분석기를 사용해야 하지만 고가 장비가 필요한 관계로 할 수 없는 형편이다.

또 음압레벨 dB(L)에서 소음레벨 dB(A)로의 변환은 시간 영역의 history가 있는 경우에는 어렵지만 가능하다. 반면 소음레벨에서 음압레벨로의 변환은 주파수 분석 과정이 생략되기 때문에 이를 추정하기는 대단히 어렵다. 그리고 현장에서 사용하는 기기 중에는 history가 없는 경우가 허다하기 때문에 본 연구에서는 간이 전환의 가능성을 확인하기 위하여 발과 현장에 음압레벨만을 측정하는 계측기와 소음레벨까지 측정하는 계측기를 설치하여 매 발과시 동시에 소음을 측정하였다. 계측에 사용된 소음계측기는 Canada Instantel의 DS 077, DS677, Minimate plus, Japan Rion의 NL-14이며, 계측지점은 광주와 여천 일대의 건설현장이다.

자료처리 결과는 그림 3과 같고, 상관식은

$$dB(A) = 0.77dB(L) - 26 \quad (6)$$

으로 나타났다.

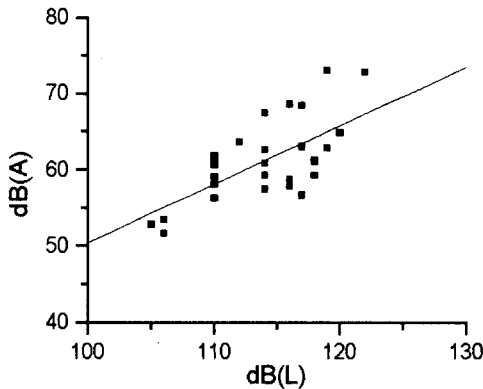


Fig. 3 Relationship between sound pressure level dB(L) and sound level dB(A)

3.2 진동 수준의 변환

발과 진동도 소음과 마찬가지로 피해 대상에 따

라 구조물의 피해는 진동속도, 인체의 피해는 진동레벨을 평가 척도로 하여야 한다. 그래서 진동속도와 진동레벨의 상호 변환을 위해서 다음과 같은 실험을 실시하였다. 발과 현장 계측 지점에 진동속도를 측정하는 계측기와 진동레벨을 측정하는 환경진동계를 동시에 측정하여 계측한 데이터를 분석하였다. 계측에 사용된 진동계측기는 Canada Instantel의 DS 077, DS677, Minimate plus, Japan Rion의 VM-52를 사용하였고, 계측지점은 광주와 여천 일대의 건설현장이다.

첫째, 진동속도의 PVS(peak vector sum)와 진동레벨의 상관 관계를 구하였다. 자료처리 결과는 그림 4와 같고 진동속도 PVS와 진동레벨의 상관식은

$$VL = 12\log v + 56 \quad dB(V) \quad (7)$$

이다. 이때 v 는 진동속도(mm/s)이며 상관계수는 0.60으로 나타났다.

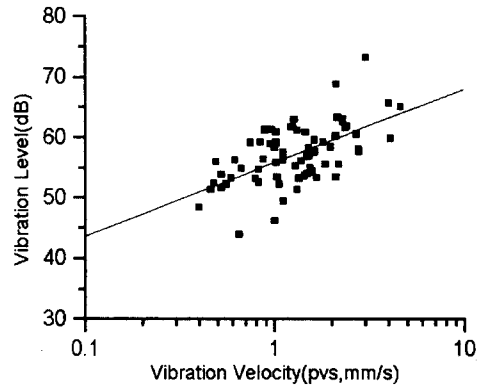


Fig. 4 Relationship between peak vector sum velocity (pvs) and vibration level

둘째, 진동속도의 세 방향 성분 중에서 수직방향 성분 PPV(peak particle velocity)와 진동레벨의 상관 관계를 구하였다. 자료처리 결과는 그림 5와 같고 진동속도 중에서 수직방향 성분 PPV와 진동레벨의 상관식은

$$VL = 15\log v + 58 \quad dB(V) \quad (8)$$

이고, 상관계수는 0.70으로 PVS와 진동레벨의 상관식 보다 더 높은 적합도를 보였다.

5. 결 론

건설현장의 발파 작업에서 발생하는 소음 수준의 음압레벨과 소음레벨의 변환과 진동 수준의 진동속도와 진동레벨의 변환을 실시하였다. 변환 결과 다음의 결론을 얻을 수 있었다.

1. 발파 소음의 음압레벨과 소음레벨 상호변환의 간이 변환식을 제시하였다.
2. 진동속도와 진동레벨의 상호변환에서 주로 계측하는 벡터합 진동속도보다는 수직방향 성분에 더 비례하였다.
3. 변환식의 상관관계가 높음에도 $\pm 5\text{dB}$ 정도의 편차가 발생할 수 있으므로 변환에 의한 진동 피해의 산정이나 판리는 어려울 것으로 판단된다.

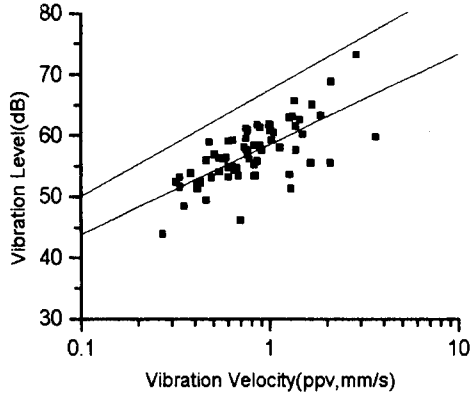


Fig. 5 Relationship between vertical component velocity (ppv) and vibration level

4. 고 찰

그림 4와 그림 5를 비교하면 세 성분 벡터합성치의 진동속도와 진동레벨 변환식보다 수직방향 성분의 PPV와 진동레벨의 변환식이 더 근사하게 추론할 수 있음을 알 수 있다. 진동레벨이 진동의 수직 성분을 계측한 것임을 감안하면 이러한 결과는 충분히 설명된다.

그림 1,2와 그림 4,5에서 보는 바와 같이 진동속도와 진동레벨은 높은 상관관계를 보이고는 있으나 $\pm 5\text{dB}$ 이상의 오차를 보이는 것도 사실이다. 그러므로 상호 변환으로 추정하는 소음 진동 수준은 상관관계가 비교적 높음에도 불구하고 편차가 크므로 이에 의한 피해의 판정이나 규제는 무리가 많다. 따라서 환경규제의 목적에는 별도의 계측이 필요하다고 생각된다. 또 국내에서 흔히 통용되고 있는 변환식 (4)는 충격진동에는 오차가 크다는 점을 직시하여야 할 것이다. 예로서 0.1 kine 수준에서는 4dB(V) , 1 kine 수준에서는 7dB(V) 에 달하는 오차가 발생하므로 진동속도의 계측에 의한 진동레벨의 추정이 과대평가 되었음을 알 수 있다.

구미선진국의 경우 환경규제 기준량인 진동레벨이나 dB(L) 의 계측치를 사용하는 이유는 발파진동과 소음의 특성을 고려하여 인체에 대한 기준을 적용하지 않거나 사실상 구조물 피해 기준으로 산정하기 때문이다. 우리나라도 외국과 같이 발파 소음진동의 특성을 고려하여 규제 기준을 완화하여야 할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- (1) 양형식, 1992, "지표발파의 진동특성에 관한 기초연구", 터널과 지하공간(한국암반역학회지) 2,2, 199-211
- (2) 양형식, 1997, "암 발파에서의 소음·진동 규제 기준과 저감 방안", 한국소음진동공학회지, 제7권 제4호, pp. 555~560
- (3) Bollinger, G.A. 1980, Blast Vibration Analysis, S. Illinois Univ. Press, Carbondale, 95p
- (4) Dowding C.H., 1985, Blast Vibration Monitoring and Control, Prentice Hall, Englewood cliffs, 288p