

# 디지털 필터를 이용한 소음의 변환 연구

## Transformation of Measured Blasting Sound Data to Sound Level by Digital Filter

김용국 · 김 식 · 이상은<sup>1)</sup> · 양형식<sup>2)</sup>

Yong-Kuk Kim, Sik-Kim, Sang-Eun Lee, Hyung-Sik Yang

<sup>1)</sup>한암발파기술사 사무소 <sup>2)</sup> 전남대학교

### 초 록

현재까지 폭발음은 음압과 음압레벨로 측정되어 왔다. 그러나 발파 소음에 의한 인체의 반응이나 가축의 피해 산정 등의 문제에서는 현행 소음진동규제법에서 명시하는 바, 인체의 청감보정이 이루어진 소음레벨을 사용하므로 변환문제가 발생한다.

본 연구에서는 발파 진동 계측기기로 측정한 데이터를 디지털 필터로 처리하여, 소음레벨로 변환하는 프로그램을 개발하고, 이를 실제 발파계측결과에 적용하였다. 그 결과, 국내에서 널리 사용되고 있는 Instantel Inc.의 Blastmate series에서 측정한 소음데이터가 정밀도 높은 소음레벨로 변환이 가능하였다. 비슷한 정밀도로 계측결과를 ASCII file로 송출할 수 있는 기종에서 측정한 자료도 같은 정도로 처리할 수 있을 것으로 판정되었다.

핵심어 : 디지털 필터, FFT, 실효값

### 1. 서 론

우리나라 국토의 70%가 산림으로 이루어져 있기 때문에, 사회기반 시설, 도심지의 건축공사, 도로공사 등 각종 건설현장에서 암반의 돌출은 필연적이며, 암반의 제거 방법으로 발파는 필요한 공사 방법의 하나가 되어있다. 그러나, 공사 중 발파로 인하여 발생하는 소음은 주변의 구조물과 인체에 영향을 미치게 되어 공사장 주변에 있는 주민과 마찰을 일으키게 된다. 이 때, 측정한 소음자료는 공사 중 주변 구조물과 인체에 대한 피해 판정의 중요

한 자료가 되는데, 우리나라 소음·진동 규제법<sup>1)</sup>에서는 발파의 소음 계측항목으로 소음레벨 dB(A)을 측정하도록 규정하고 있다. 그러나 현장에서 사용하는 계측기의 대부분은 음압과 음압레벨 dB(L)로 측정되고 있어, 민원이 발생하였을 때는 시공 중 측정한 음압레벨 자료는 피해를 입증하는 근거로서 이용되지 못하고, 새로운 소음레벨의 계측자료를 필요로 하게 된다. 그러므로, 처음부터 소음레벨 측정기로 측정되지 않은 자료는 무의미하게 되며, 피해판정을 위하여 다시 계측해야 하는 번거로움이 발생하게 된다<sup>2)</sup>. 현재까지 소음을

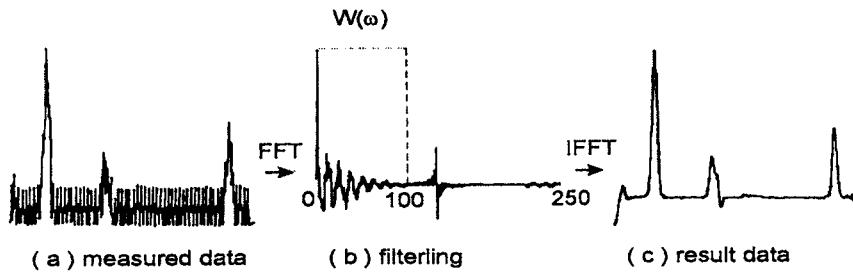


Fig. 1. Data processing by digital filter

변환하는 방법으로 근사식에 의한 방법과 주파수에 의한 보정방법, FFT에 의한 방법<sup>3)</sup> 등이 이용되어 왔으나, 현장에 따라 상관성과 근사식의 차이가 크고 상관성이 낮고 표준편차가 크게 나타나 실제 적용에는 어려움이 있다.

본 연구에서는 위와 같은 소음레벨 계측기를 별도로 사용하지 않고, 발파 진동·소음 계측기로 계측한 음압레벨 데이터를 디지털 필터로 처리하여, 소음레벨로 변환할 수 있는 방법을 개발하였다.

## 2. 디지털 필터의 설계

### 2.1 디지털 필터의 정의

디지털 필터의 기본이 되는 convolution은 푸리에 변환에서 곱셈으로 나타내어진다. 시간의 연속함수로 표현하는 측정 파형, 전달함수, 필터링 결과를 디지털화 하면 각각  $x(t)$ ,  $w(t)$ ,  $y(t)$ 이며, 각각의 푸리에 변환을 각주파수  $\omega$ 의 함수로 나타내면  $X(\omega)$ ,  $W(\omega)$ ,  $Y(\omega)$ 로 되고, 이들은 다음과 같은 시간의 관계가 성립된다(단, \*은 convolution 연산을 나타낸다)

$$y(t) = x(t) * w(t)$$

$$\Rightarrow Y(\omega) = X(\omega) \cdot W(\omega)$$

위와 같은 방법을 이용한 전달함수의 푸리에 변환은 주파수의 특성  $W(\omega)$ 로 나타나게 된다. 이것은  $W(\omega)$ 가 일반적인 필터함수가 된다.

주파수영역에 대한 필터링은 측정 파형을 푸리에 변환하여 대응하는 직접 필터함수를 곱하는데 이것의 결과를 푸리에 역변환을 실시하면 필터링된 파형을 얻을 수 있다. 따라서, 푸리에 변환 조작은 2번이 필요하다. 푸리에 변환은 통상 고속푸리에변환(FFT)의 알고리즘을 이용한다.<sup>4,5)</sup>

Fig. 1.은 잡음성분을 주파수 영역법으로 제거한 예이다. Fig. 1의 (a)는 생성 데이터이고, (b)는 데이터의 512점을 FFT를 이용한 변환의 결과로 실수부만을 나타내고 있다. 여기에서 잡음성분을 분리하기 위해서는 필터함수로 이 부분을 제거한다. (c)는 푸리에 역변환의 결과로써 고주파의 잡음이 제거된 그림이다.

### 2.2 Filtering

발파에 의하여 발생하는 소음은 주주파수가 15hz로서 저주파수가 대부분이므로, 발파소음 측정기는 디지털 샘플링 주기를 1/ 1024 초로 음압이나 음압레벨을 측정한다. 음압과 음압

레벨과의 관계는 다음과 같다.

$$SPL = 20 \log_{10} \frac{P}{P_0} \quad (1)$$

여기서 SPL(sound pressure level)은 음압 레벨, P는 폭풍압(Pa), P<sub>0</sub>는 인간의 최소가청 음압으로  $2 \times 10^{-5}$ Pa 이다. 이러한 음압과 음압레벨은 소리의 압력에 관한 표현으로 주파수에 관계없이 일정하다. 그러나, 음의 물리적 강약은 음압에 따라 변화하지만, 사람이 귀로 듣는 음의 감각적 강약은 음압 뿐만 아니라 주파수에 따라 변한다. 사람의 가청 주파수 범위는 20~20,000(Hz)의 음압레벨 0~130(dB)정도<sup>6)</sup>를 가청할 수 있다. 귀로 느끼는 소음의 감각량은 저주파일수록 둔하게 감각하기 때문에, 소음의 dB단위는 주파수에 따른 사람의 청감에 따라 Fig. 2.와 같은 청감보정 회로를 사용해야한다. 소음레벨기는 측정되는 아날로그 음압파형이 이러한 청감보정회로를 통과하여 필터링되고 시간반응회로를 통과하여 실효치로 바뀐 후 레벨변환기를 통과하고 지시계를 통해 dB(A)로 표시된다.

본 연구에서 이용된 발파소음필터는 이러한 청감보정회로를 이용하여 설계하였다. 그러나, 발파소음 측정기의 샘플링 주기가 1/1024 초 이고, 250Hz 이상의 주파수대의 측정 자료는 에일리어싱(aliasing)현상과 샘플링의 오차가 발생하기 때문에, 20~250Hz 주파수대에서 청감보정회로를 이용하여 적절하게 필터링하였다. 측정된 음압 data를 소음레벨로 변환하는 대략적인 과정은 다음과 같다.

여기에서, 필터함수  $w(t)$  는 보정곡선의 주파수에 따른 값(평균값)에서 청감보정회로를 이용한 함수이며, (2)식과 같은 4차 다항식으로 표현한다.

$$dB = A + Bx + Cx^2 + Dx^3 + Ex^4 \quad (2)$$

여기서, x는 주파수, A = -182.28, B = 156.47, C = -53.23, D = 9.44, E = -0.78

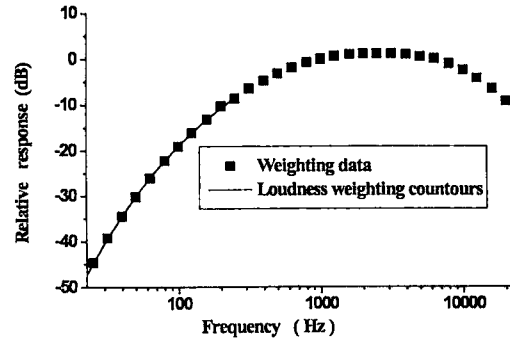


Fig. 2. Weighting curve used by frequency

### 2.3 실효값(root mean square)의 적용

소음은 파동 현상의 일종으로, 파동의 진폭에 있어서 진동수와 진폭은 중요한 역할을 하게된다. 그래서 소음은 파동론의 범주에 속하는 문제로 다루는 경우가 많다. 가장 단순한 평균값은 순간 측정값 자체의 시간 평균을 구하는 것이다. 그러나, 소음은 시간에 따라서 빠르고 불규칙하게 변하기 때문에 양의 측정을 위해서는 새로운 평균값의 개념을 도입해야 한다. 시간 신호 순간값의 평균값은 그 신호에 포함된 에너지 양과 직접 관련되는 양으로 물리적으로 중요한 개념이다. 어떤 물리량 X(t)의 측정시간 폭 T에 대한 실효값<sup>6)</sup>은 다음과 같다.

$$실효값 X_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T X^2(t) dt} \quad (3)$$

진폭은 어떤 순간에 있어서의 진동량 최대치(peak value)이다. 진동하는 물리량을 일정한 크기의 물리량이 지속되는 경우와 대비하기 위하여 진폭에 대한 비례치로 표현한 것이 실효치이다.

본 연구에서는 소음레벨계측기의 시간반응

회로 즉, 동특성에 따라서 Slow이면 Slow 반응회로와 유사한 값이 되도록 하기 위하여 식 (3)에서 적분구간을 1초로 하여 계산하고 Fast이면 오름시간이 0.125초이고 내림시간이 0.125초이므로 적분구간을 0.125초로 하여 1/1024초 간격으로 측정시작시간부터 종료시간까지 반복하여 적분한다. 현행 법규에서는 발파에 대한 소음을 측정할 때는 Fast로 측정하도록 되어있으므로 현장에서 측정한 데이터는 모두 Fast로 측정하고 실효치를 계산하였다.

### 2.4 소음변환 알고리즘

본 프로그램은 발파소음 측정자료를 FFT를 수행하여 주파수별로 음압에 보정치를 곱한다. 식(2)에서의 보정치는 Log함수 내에서 곱으로 계산하는데, 이 과정을 필터링이라 한다. 보정된 주파수별 음압은 역푸리에 변환을 통하여 다시 시간에 대한 음압으로 나타나게 된다. 이렇게 하여 얻어진 음압의 실효치를 계산하여 (1)식에 대입하면 소음레벨이 계산된다. 프로그램의 대략적인 연산과정을 Fig. 3에 나타냈다.

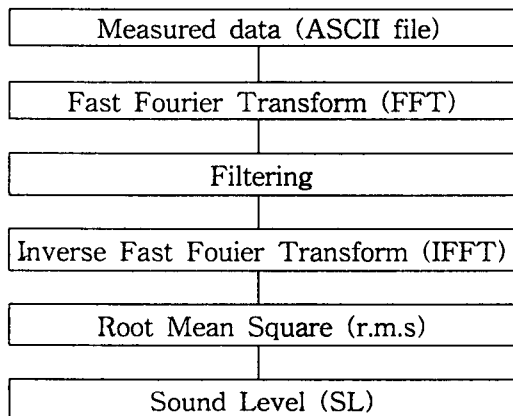


Fig. 3. Algorithm of digital filter.

## 3. 발파소음 계측 및 고찰

### 3.1. 계측 및 현장조건

본 연구에서 소음레벨측정기로 측정된 소음레벨값과 음압 data를 Digital Filter로 처리한 소음레벨값과의 비교·검토를 위하여, 음압은 sampling rate가 1,024 samples /second인 Instantel Inc.의 Blastmate II (DS-477)로 계측하였으며, 소음레벨은 Rion사의 NL-14로 계측하였다. 발파소음 계측장소는 전주-구이간 도로공사 현장과 남원 노암로 도로 공사현장이며, 음압과 소음레벨을 동시에 측정하였다. 전주-구이간 도로공사 현장의 지질 분포는 상부는 풍화토층으로 덮여 있고, 하부는 수직, 수평절리가 발달한 편마암 계열의 암석이 주류를 이룬다. 지발당 장약량은 5~13 kg을 사용하였으며, 계측 지점은 발파장소에서 90~110m 떨어진 단독주택 마당이다. 남원 노암로 도로공사 현장은 발파지점 상부만이 약간 풍화된 화강암이고, 그 이외는 절리가 거의 존재하지 않는 신선암이다. 압축강도는 1950 kg/cm<sup>2</sup>로 비교적 높은 강도를 갖고 있다. 지발당 장약량은 0.5~1 kg이며, 계측지점은 발파장소에서 40~50m떨어진 지점이다.

### 3.2 소음변환결과 고찰

소음레벨변환의 정밀도를 기존의 주주파수(z-c frequency)에 의한 방법 및 근사식에 의한 방법과 본 연구에서 개발한 디지털 필터에 의한 방법에 대해서 비교·검토하였다.

#### 3.2.1 주주파수에 의한 소음레벨 변환법

주주파수에 의한 변환법은 기존의 연구방법 중에서 가장 간단하게 변환할 수 있는 방법으로 최대음압레벨과 그때의 주파수에 해당하는 청감보정을 수행하는 방법이다. 주주파수에 의한 변환방법과 소음레벨과의 관계는 Fig. 4

와 같이 상관계수가 0.3이고 표준편차가 6.55 dB(A)로서 상관성이 낮고 편차가 크게 나타나 실제 적용에는 어려움이 있다.

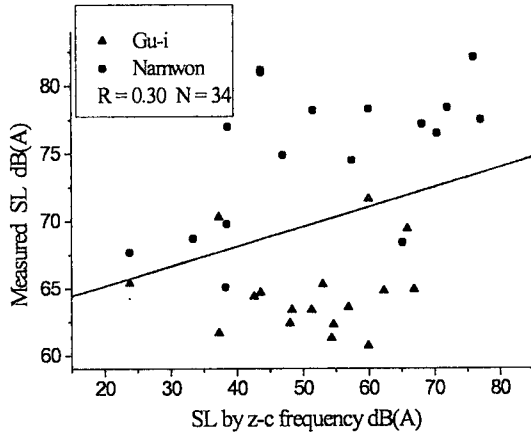


Fig. 4. Relationship between SL by z-c frequency and measured SL.

### 3.2.2 근사식에 의한 소음레벨 변환법

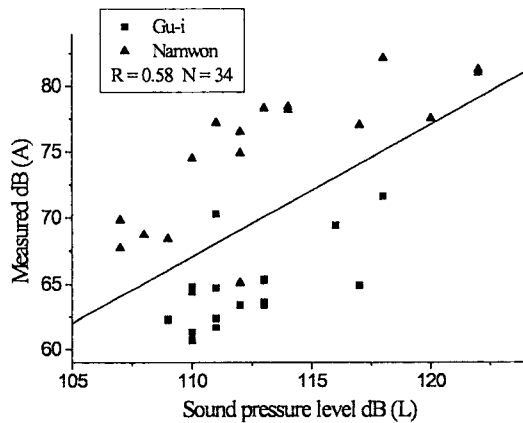


Fig. 5. Relationship between sound pressure level and measured SL.

현장에서 측정된 음압레벨과 소음레벨과의 근사식은 Fig. 5에 나타난 바와 같다. 상관계수가 0.58이고 표준편차가 5.62 dB(A)로서 주주파수에 의한 방법에 비교하여 상관성과 정

확성은 좋으나 이 방법 또한 실제 적용에는 상관성과 정확성이 낮아 어렵다.

### 3.2.3 디지털 필터에 의한 소음레벨 변환법

Fig. 6은 디지털 필터로 처리한 소음레벨과 소음레벨기로 측정한 소음레벨과 관계를 나타낸 그림으로 상관계수가 0.91이고 표준편차가 2.78 dB(A)로서 상관성과 정확성이 기존의 방법과 비교하여 매우 높다.

Fig. 4에 나타난 주주파수에 의한 방법 결과와 Fig. 5에 나타난 음압레벨과 소음레벨과의 근사식에 의한 분석결과를 보

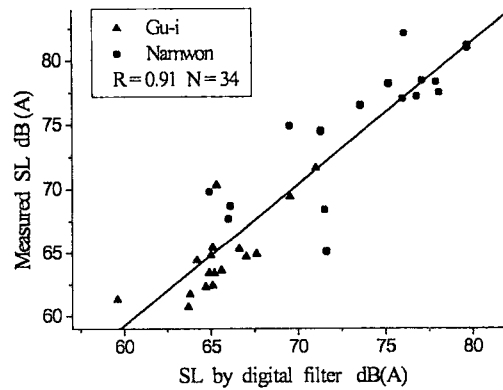


Fig. 6. Relationship between SL by digital filter and measured SL.

면 구이-전주간 도로공사현장의 자료와 남원의 자료가 평균선을 중심으로 상·하로 분리되어 분포되고 있고 각 현장의 자료 또한 평균선에 대하여 대칭이 되지 않는다. 따라서 이러한 방법은 현장에 따라서 상관성과 근사식이 다를 수 있다는 것이다. 그러나 본 연구에 의한 방법으로 변환한 결과는 두 현장의 자료가 평균선에 대하여 대칭을 이루고 있음을 알 수 있어 발파조건에 관계없이 높은 정밀도의 소음레벨변환을 기대할 수 있을 것이다.

음압을 소음레벨로 변환하기 위한 세 가지 방법의 결과를 Table 1에 정리하였다. 주파수를 이용하여 변환하는 방법과 음압레벨과 실측된 소음레벨에 의한 근사식으로 변환하는 방법보다는 디지털필터를 이용하여 변환하는 방법이 상관성이 매우 높아 실제 적용에 유효할 것으로 판단된다.

#### 4. 결론

본 연구에서 디지털 필터를 이용하여, 발파 현장에서 계측된 음압을 소음레벨로 변환하기 위한 연구에서 다음과 같은 결론을 얻었다.

Table 1. Relationship between filter, app. function, and z-c frequency

	Coef. of determination	Standard deviation dB(A)
Z-c frequency	0.30	6.55
Approximation function	0.58	5.62
Digital filter	0.91	2.78

1) 본 연구에서 개발한 발파소음 변환 프로그램을 사용하여 음압을 소음레벨로 변환한 결과는 상관계수가 0.91이고 표준편차는 2.78 dB(A)를 나타냈으며, 최대음압과 그 때의 주파수를 이용하여 변환하는 방법과 음압과 소음레벨에 의한 근사식으로 변환하는 방법에 비해 신뢰성이 매우 높기 때문에 실용적일 것으로 판단된다.

2) 현장조건 및 발파규모가 서로 다른 경우에도 소음레벨변환 결과는 상관성이 매우 높게 나타나므로, 다른 종류의 계측기도 ASCII파일로 출력할 수 있다면 현장조건 및 발파규모에 상관없이 높은 정밀도의 소음레벨 변환결과를

기대할 수 있다.

#### 참고 문헌

- 1) 소음진동 규제법, 제정 1991.8.1, 법률 제 4259호(최신개정 1997.3.7).
- 2) 양형식, 김남수, 1998, 소음·진동 규제법의 문제점, 터널과 지하공간, 한국암반공학회지, 제8권 제3호, pp. 178~183.
- 3) 김남수, 1999, 건설소음·진동의 예측기법과 그 적용에 관한 연구, 전남대학교 대학원 박사학위 논문.
- 4) 南 茂夫, 1996, 科學計測のための 波形データ 處理, pp. 102~105.
- 5) 배준기, 조남익, 1997, 신호와 시스템, 교보문고, pp. 73~95.
- 6) 은희준 외, 1997, 소음으로 인한 피해의 인과관계 검토기준 및 피해액 산정방법에 관한 연구, 환경부 분쟁조정위원회, p.33, pp. 51~57.