

# 건설진동 측정 및 분석기기의 응용

박 연 수\*  
김 용 석\*\*

## 1. 서 언

진동측정은 일반적으로 물체의 상대운동을 변위, 속도, 가속도 등으로 측정한다. 측정방법을 크게 분류하면, 픽업(pick-up)을 진동체 위에 설치하여 진동을 측정하는 방법과 진동체의 외부에 설치한 부동점과 진동체와 상대적 운동을 측정하는 방법으로 분류된다. 이동하는 차량 등의 진동은 외부에 부동점을 설치하는 것이 어렵기 때문에 픽업이 진동체에 붙여지게 된다. 또 구조물에서 비교적 단주기 진동의 경우는 픽업이 직접 진동체에 붙여지나, 주행하중에 의한 교량의 처짐을 측정할 경우 처짐의 변화가 완만하기 때문에 외부에 부동점을 설치하여 측정한다. 그러나 통상 진동측정이라고 하면 전자의 픽업을 사용하는 방법이 대부분이다.

발과 및 항타 등의 건설공사에 의해 야기되는 건설진동의 경우도 픽업을 사용하는 일반적인 진동측정 원리가 보통 이용되고 있다. 본고에서도 건설진동 측정 및 분석에 픽업을 사용하는 방법을 소개하고자 한다.

## 2. 진동측정 및 분석절차

그림1은 건설진동의 측정 및 분석절차를 보여주

\* 정회원, 일본 교토 대학 토목공학과 유학중  
\* 정회원, (주) 대우엔지니어링 구조부장, 공학 박사

고 있다. 즉, 건설진동의 측정을 위해 압전형 가속도계(1축, 3축 방향)를 대상지점의 지반 또는 구조물에 안착시킨다. 이들 픽업으로부터 탐지된 가속도는 증폭기를 거쳐 증폭시키고 해석을 위하여 주파수 응답범위가 DC-625Hz인 4채널 FM Data Recorder의 자기테이프에 기록하고, 현장용 FFT 진동분석기를 사용하여 시간 및 주파수영역에서 건설진동을 분석한다.

## 3. 진 동 계

진동계는 일반적으로 픽업과 증폭기를 조합한 것으로 이것에 대해 살펴보면 다음과 같다.

### 3.1 픽 업 (Pick-up)

픽업은 진동을 검출하는 장치로서 스프링과 추로 이루어진 진동계와 거기서 검출한 상대운동을 전기량으로 변환시키는 변환부의 조합으로 이루어진다. 픽업을 분류하면, 출력의 종류에 의해 1) 가속도, 2) 속도, 3) 변위 픽업, 변환방법에 의해 1) 동전형, 2) 압전형, 3) 기타로 분류한다.

건설진동의 측정시 사용한 가속도계는 707LF와 707Z(표1)로 각각 1축방향(Z축)과 3축방향(X, Y, Z축)을 동시에 측정할 수 있고 주파수 응답범위가 0.2~5000Hz 그리고 3~5000Hz로, 지반 또는 구조물의 진동을 측정할 수 있는 압전형 픽업이다. 이들 가속도계의 감도는 각각 100 mV/G±20%, 100mV/G±10%이고 기저 Noise

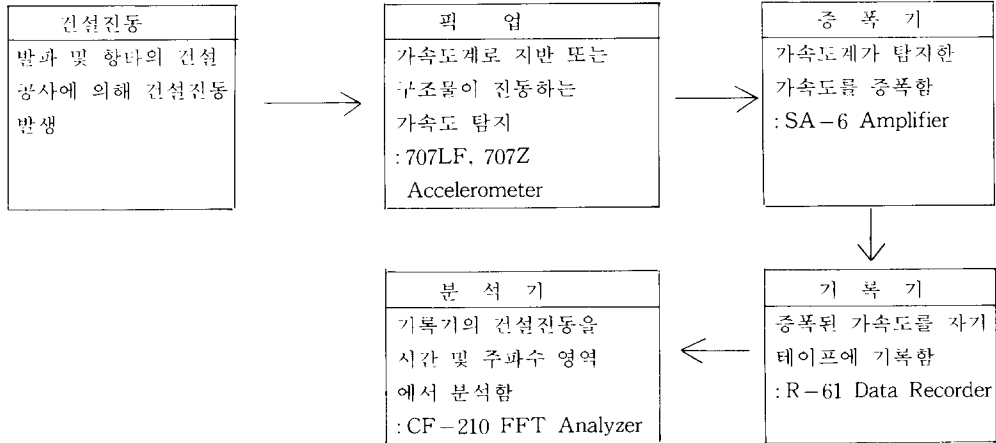


그림1. 건설진동의 측정, 분석 시스템

가 20 $\mu$ Vrms인 고감도 타입으로서 주변온도 및 자외선 등에 거의 영향을 받지 않는다.

표1. 가속도계의 모델 및 특징

모델명	707LF	707Z
감도	100mV/G $\pm$ 20%	100mV/G $\pm$ 10%
회감도 (max)	5%	5%
기저 Noise (max)	20 $\mu$ Vrms	20 $\mu$ Vrms
직선성	$\pm$ 1%/ $\pm$ 15G	$\pm$ 1%/ $\pm$ 15G
작동온도범위	-20 $^{\circ}$ ~+110 $^{\circ}$ C	-20 $^{\circ}$ ~+100 $^{\circ}$ C
응답주파수범위	0.2~5.000Hz	3~5.000Hz
공진주파수	약 10kHz	약 20kHz
사용최대가속도	$\pm$ 15G	$\pm$ 15G
내충격성 (PEAK)	500G	1,000G
출력 Impedance	300 $\Omega$ 이하	300 $\Omega$ 이하
중량	약 42g	약 160g
크기	17HEX $\times$ 35H	38W $\times$ 41.5H $\times$ 38D
비고	저주파 타입	3축형

### 3.2 증폭기

픽업으로부터의 전기출력은 일반적으로 수 mV 정도의 작은 것으로서 기록기를 작동시킬 수가 없기 때문에, 이 미소한 전기신호를 증폭하는 회로가 필요하다. 이 증폭회로를 갖는 증폭기에는 수 Hz이상의 교류만을 증폭하는 교류증폭기와 직류로부터 상한진동수까지의 신호를 증폭하

는 직류증폭기가 있다. 교류증폭기의 회로는 작성하기가 비교적 쉬우나 직류증폭기는 제작이 기술적으로 곤란하여 고가로 된다. 증폭기의 증폭도는 그 사용 주파수 전역에 걸쳐 일정하지 않고 다소의 변동이 있다. 따라서, 엄밀한 증폭도가 필요로 하는 경우 증폭도의 주파수 특성을 검정하여 둘 필요가 있다.

가속도계 707LF와 707Z의 전용증폭기인 증폭기 SA-6는 주파수 응답특성이 0.2Hz~20kHz이므로 건설진동을 충분히 증폭시킬 수 있을 뿐만 아니라 전지식 소형 교류증폭기로 입력진동을 100배까지 증폭시킬 수 있어 현장에서 손쉽게 사용할 수 있다.

### 4. 진동기록기

진동계로부터의 출력신호를 기록하는 기록기의 종류를 대별하면 기록지상에 파형을 나타낸 Penoscillograph, 전자 Oscillograph, Brown관 상에 파형을 사출하는 Cincross Scope, Memory Scope 및 원파형을 직접 자기테이프에 기록하는 Data Recorder 등으로 분류된다.

Data Recorder는 자기테이프를 사용하여 진동계의 전기신호를 그대로 Tape에 기록재생하는 것으로 원리적으로는 일종의 Tape Recorder와 같으나 일반 가정용의 것과 구별하는 의미로서 특히

Data Recorder라 부르고 있다. 신호가 수십Hz이하의 저주파를 갖고 있지 않을 경우에는 일반 가정용과 같은 방식으로 신호를 Tape에 기록한다. 이것을 직접기록방식이라 부르고 Tape의 보내는 속도에 의해 다르나 최고 300kHz까지 기록이 가능하다. 그러나 직류에 가까운 저주파 성분이 많이 함유될 경우에는 신호를 자기기록에 적합한 반송파로 변조하여 변조파의 형태로 기록재생하는 방식을 택하고 있다. 이런 방식에는 주파수 변조방식(FM 방식)과 펄스폭변조방식(PWM 방식)의 두가지가 있으나, 주파수변조방식이 기록정도가 좋고 여러가지로 유리한 점이 많기 때문에, 대부분 이 방식을 사용하고 있다. 주파수변조방식에서 Tape로 보내는 속도는 152cm/sec로 할 경우 DC~20kHz의 신호기록이 가능하다.

이와같은 Data Recorder는 다른 기록기에 비하여 매우 빠른 현상을 기록할 수 있고 수십채널을 병렬로 설치하여 수십 Data를 1개의 Tape에 동시에 기록할 수 있다. 또 보전이 용이하고, 필요할 때에는 언제나 Data가 원형대로 재생될 수 있고, Tape 전송 속도를 기록시와 재생시 바꾸어 재생 Data의 시간축을 변경할 수 있으며, 그리고 각종 시험조건인 상황을 음성으로 기록할 수 있는 것등 탁월한 장점을 갖고 있다. 이 때문에 Data Recorder는 진동측정 뿐만이 아니라 각 분야의 여러가지 측정용도에 사용되고 있다.

진동기록기 R-61은 주파수변조방식(FM)과 직접기록방식(DR) 겸용의 Data Recorder로 증폭기 SA-6에서 증폭된 건설진동을 진동분석기나 컴퓨터로 전송시키기 위해서 측정용 자기테이프(CT-90 Type 11)에 기록한다. R-61 Data Recorder는 채널수가 4개로 건설진동의 3축성분 및 거리에 따른 진동치를 동시에 기록하여 진동분석기 CF-210 FFT Analyzer로 전송시킬 수 있는 기능을 가지고 있으며, 개략적으로 그 특징을 살펴보면 다음과 같다.

\* 기록/재생방법: — 주파수변조방식(FM) 4채널  
                           — 직접기록방식(DR) 2채널

\* 채널구성: — CH-1 FM/DR  
                   — CH-2 FM/DR  
                   — CH-3 FM(Noise 보정에도 사용)

— CH-4 FM(Memo에도 사용)

\* 주파수 특성: — FM : DC~625Hz  
                           — DR : 50Hz~8kHz

## 5. 진동분석기

불규칙적으로 변동하는 진동은 많은 주파수 성분을 함유하고 있어서 그 속에 탁월한 주파수 성분을 분다든지 그 진동의 주파수 성분을 알고자 할 때 주파수 분석을 행한다. 주파수 분석방법에는 Band Pass Filter에 의하여 Octave 분석이나 1/3 Octave 분석을 행하는 방법과 Fourier 변환을 이용하여 Spectrum 해석을 행하는 방법이 있다. Fourier Analyzer는 Fourier 변환의 계산을 고속화한 연산방식인 FFT를 채용한 것이다. 이것은 불규칙 과정을 포함하여 일반적 과정을 주파수에 따라 분석한 것으로, Power-Spectrum 밀도가 정의되고 있다. Power-Spectrum 밀도는 주파수 Spectrum을 제공한 값, 즉 Power가 주파수 영역에 어떻게 분포되어 있는가를 밀도로 나타낸 것이다. Fourier Analyzer에는 이 Power Spectrum이나 Fourier Spectrum 등의 Spectrum 해석등이 쉽게 행해지고 또 이 Spectrum을 이용하여 여러가지 해석이 가능하다.

측정된 건설진동을 시간 및 주파수 영역에서 분석하기 위해서는 진동분석기가 사용된다. 진동분석기에는 여러 종류가 있으나, 실제 건설공사현장에서 직접 건설진동을 분석하기 위해서는 현장용 진동분석기가 필요하다. CF-210 FFT Analyzer는 R-61 Data Recorder에 기록된 건설진동을 현장에서 손쉽게 분석할 수 있도록 고안된 진동분석기로서, 여러가지의 진동 신호처리용 Software가 내장되어 있고 주요 기능은 다음과 같다.

### 1) 주요 처리기능

- \* 입력진동을 주파수영역에서 분석 표시
  - Power Spectrum
  - Linear Spectrum
  - 3차원 Spectrum Display
- \* 입력진동을 시간 영역에서 표시
  - Transient Waveform Function
  - Time-Axis Averaging Function

- \* 1/3 Octave Analysis
  - \* 확률밀도함수 및 분포함수로 표시
  - \* 진동의 최고치를 표시
  - \* 미적분 수행
  - \* RS-232 인터페이스를 통해 컴퓨터에 데이터 전송.
- 2) 기억장치
- \* Transient Memory (4K Words)
  - \* Analysis Data Frame Memory (64 Frames)
  - \* Panel Condition Memory
  - \* Power OFF Storage Function
- 3) Display Section
- \* 타입(Type) : Dot Matrix LCD
  - \* X 축 Unit : Hz, CPM, ORD, S
  - \* Y 축 Unit : V, dBV, EU (공학단위), dBEU
  - \* Scaling : Linear, Logarithmic
- 4) 주파수 특성 : 14개 범위(1, 2, 5, 10, 20, 50, 100, 200, 500, 1K, 2K, 5K, 10K, 20KHz)
- 5) 주파수 Resolution : 해석범위의 1/200 또는 1/400
- 6) 샘플수 : 512 또는 1024

## 6. 결 언

이상에서 진동측정의 원리와 건설진동 측정 및 분석기기에 대하여 살펴보았다. 이러한 건설진동을 포함한 일반적인 진동측정, 분석시 가장 중요한 것중의 하나는 측정대상의 진동 특성을 고려하여 진동측정 및 분석기기를 선택하는 것이다. 즉, 측정의 대상이 되는 진동이 어느 정도의 크기인가, 또 어떠한 주파수 성분이 함유되어 있는가를 조사하여, 소정의 분해능력과 주파수 특성을 가진 픽업을 선택하는 것이 필요하다. 그리고 얻어진 진동 Data에서 고주파의 잡음이나 대상으로 하지 않는 주파수 성분의 제거와 진동파의 주파수 분석 그리고 해석의 정도를 고려하여 진동 분석기를 선택해야 한다.

본고에서 소개한 건설진동 측정 및 분석시스템을 사용하여 그동안 많은 건설진동의 영향평가 및 문제해결을 위해 측정, 분석이 실시된 바 있으며, 향후 도심지의 지하철 및 통신구 터널 발파진동, 국내의 채석장 노천발파진동, 기초공사의 항타진동, 그리고 각종 건설장비에 의해 야기되는 건설진동에 많은 활용이 기대된다.