



1. 머리말

우리 생활의 주변에서 발생하는 기계, 건설, 생활, 도로, 철도 등의 여러 진동 문제를 정확히 평가하고 그 해결책을 제시하기 위한 목적으로 진동의 계측이 점점 중요한 문제가 되고 있다. 발생하는 진동 문제는 그 진동의 주파수, 진폭, 위상을 정확히 평가하고 분석함으로써 해결될 수 있다. 현재는 최근의 발달된 전자공학의 도움으로 이전에는 상상하지 못하던 정도의 정확성과 다양한 기능을 갖춘 측정장비를 사용하고 있다. 이러한 측정장비의 특성을 정확히 파악하고 사용하여야 원하는 진동을 정확히 평가하고 그 대책을 세울 수가 있다. 지금까지 개발된 진동과 관련한 다양한 계측 장비는 다음과 같이 나눌 수 있다.

- (1) 총진동 측정계(overall level vibration meter)
- (2) 오실로스코프(oscilloscope)
- (3) 소인-필터 분석기(swept filter analyzer)
- (4) 트래킹 필터 분석기(tracking filter

analyzer)

- (5) FFT 데이터 수집기(FFT data collector)
- (6) 실시간 스펙트럼 분석기(real time analyzer)
- (7) 아날로그/디지털 테이프 레코더(ana-logue/digital tape recorder)

이런 장비들 중에서 휴대성, 사용의 간편함 그리고 저렴한 가격 때문에 일반적인 산업현장에서 가장 흔히 볼 수 있는 것은 측정된 진동의 대표값을 지시하는 단순 진동계(vibration meter or vibrometer 이하 진동계)이다. 특히, 설비의 상태를 과학적으로 평가하고 발생하는 문제를 해결하기 위한 목적으로 기계진동을 평가함에 있어서 진동계는 오랫동안 주요장비로 인식되고 있었다. 하지만 진동계는 근본적으로 진동이 가진 특성 중에서 진폭만을 측정할 수 있기 때문에 최근의 예측보전(predictive maintenance)에서는 그 성능이 부적합하여 설비의 상태 감시/분석 업무에 적절하지 않은 장비이다. 하지만 아직도 많은 경우에서 예측보전을 위해 부적절하게 진동계를 사용하고 있다.

이 글에서는 진동계의 구조와 기능을 다

* E-mail : lgm@nadasnv.co.kr

시 정확히 확인하여 사용자가 그 특징과 한계를 정확히 숙지하고 특히, 설비보전 업무와 관련하여 올바르게 사용할 수 있도록 도움을 주고자 한다.

2. 진동계의 용도와 기본적 구성

2.1 진동계의 용도

진동계는 가속도, 속도 혹은 변위의 형태로 총진동(overall level vibration)이라 불리는 값을 측정하는데 사용된다. 예측보전의 경우에는 이렇게 측정된 진동값을 이용하여 진동값의 시간에 대한 변화를 나타내는 경향선도(trend plot)가 작성된다. 이

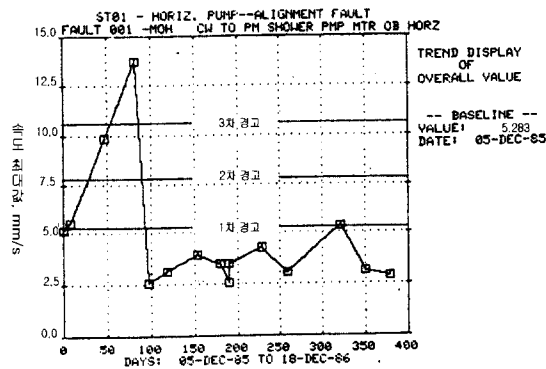


그림 1 경향 선도

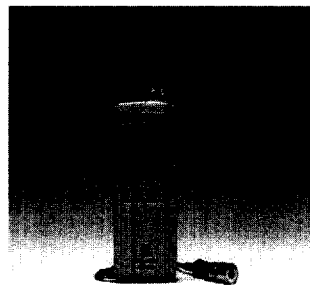


그림 2 단순진동계

경향선도를 이용하여 설비의 상태변화를 감시하게 된다.

그림 2는 가장 단순한 진동계로서 현장에서 가장 많이 사용하고 있는 형태의 진동 측정장비이다. 그림에서 보는 바와 같이 대부분 하나의 센서와 손에 잡을 수 있는 크기의 계측기 몸체로 구성되어 있다. 이전에는 센서에서 발생된 전기신호를 바늘의 움직임으로 표시하는 아날로그형식의 진동계였지만 현재는 액정화면(LCD)에 숫자로 표시하는 디지털 형식이 대부분이다.

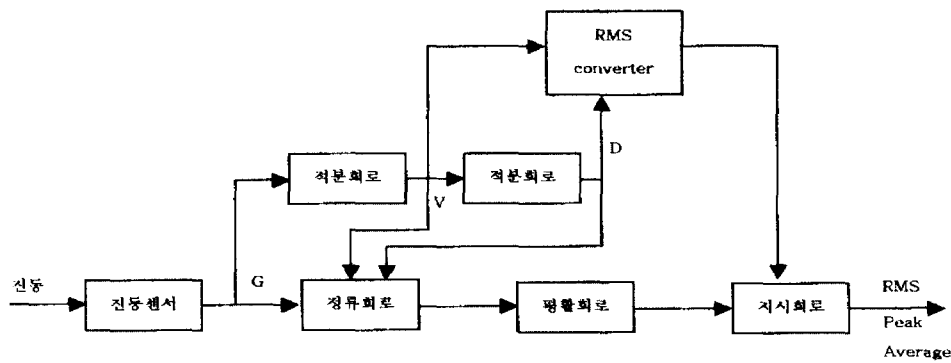
진동계의 가격은 500,000~3,500,000원 정도이며 일반적인 수준의 경우에 1,500,000원 정도로 주파수 분석이 가능한 장비들에 비해서 매우 저렴하며 배터리로 작동되어 일반적인 중량은 0.5~1 kg 정도로 휴대가 간편하고 사용법이 단순하다. 하지만 진동계의 일반적인 측정 주파수 대역은 2~10 kHz 정도로 다른 진동 측정장비들에 비해서 상대적으로 작다.

2.2 진동계의 기본적 회로

센서를 통해서 기계진동이 전기신호로 바뀌어지고 진동계에서 진동의 크기가 측정되게 된다. 진동계에는 가속도계, 속도계, 변위계 등이 모두 사용할 수 있지만 최근의 일반적인 휴대용 진동계에는 넓은 주파수 범위에 대해서 평탄한 응답특성을 가지는 가속도계가 기본적으로 사용된다.

가속도계에서 측정된 신호가 진동계 내의 전자회로를 통해서 처리되면 속도, 변위 등으로 변환되어 표현될 수 있다. 다음 그림은 일반적인 형태의 진동계 회로를 나타내고 있다.

그림 3의 진동계 회로에서는 생략되어



RMS : 실효값, Peak : 최대값, Average : 평균값, G:가속도 V: 속도 D: 변위

그림 3 진동계의 회로

있지만 센서에서 들어오는 신호는 증폭기를 거쳐서 증폭이 되며 고주파 통과 필터(high pass filter)와 저주파 통과 필터(low pass filter)를 함께 거침으로써 관심이 있는 주파수 대역의 신호의 크기를 나타내게 된다. 일반적인 기계 시스템에서는 주로 10~1,000 Hz의 비교적 좁은 주파수 대역에서 대부분의 진동 에너지를 갖기 때문에 기계 감시의 경우에는 주로 이 대역의 진동 신호의 대표값을 측정하고 있다.

과거의 변위나 속도센서를 사용하는 진동계에서는 미분회로를 이용하여, 속도나 가속도를 나타냈지만, 잡음(noise)의 조화 성분(harmonics)이 미분회로에 의해 강조되어 신호 대 잡음비(S/N ratio)가 저하되기 때문에, 최근에는 거의 사용되지 않는다.

회로에 최대값 유지(peak hold) 회로를 추가하면 어느 측정 시간에서 신호의 최대값을 나타내고 더 큰 값이 나타나기 전까지 진동계의 지시값을 유지할 수 있다. 이것은 특히 기계적인 충격이나 짧은 간격의 과도신호(transient signal)를 측정하는데 유용하다. 또한, 선형-대수 변환기를 통과

한 후 대수 척도로 측정값이 표시될 수 있다.

일부 진동계의 경우에는 외부로 처리된 진동 신호들을 출력시키는 출력단(output socket)이 있다. 이를 통해서 외부의 오실로스코프, 테이프 레코더 등으로 측정된 신호를 입력시킬 수가 있다.

3. 진동계의 측정값

3.1 실효값(RMS)

진동은 시간에 대하여 연속적으로 변하므로 진동을 값으로 표현하기 위해서는 이에 대한 대표값이 필요하다. 일반적으로 계측기에서 측정된 진동 진폭의 표현방식은 power, PSD(power spectral density), 최대값(peak), 실효값(RMS), 평균값(ave.) 등 여러 가지가 있지만 진동계에서는 실효값, 최대값 등을 일반적으로 사용한다. 실효값을 의미하는 RMS는 Root Mean Square의 약자이며, 말 그대로 하면 제곱(square)을 해서 평균(mean)을 취한 후,

제곱근(root)을 구한 값이다.

$$RMS = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T v(t)^2 dt}$$

$v(t)$: 진동을 나타내는 함수, T : 주기

측정되는 진동이 하나의 주파수 성분만을 가진 정현파라면 진동계에서 측정되어 지시되는 값은 실효값이 된다 또한 다음의 수식이 성립된다.

$$Peak = S \times \sqrt{2}$$

$$Peak - Peak = Peak \times 2$$

실제적인 경우에 기계에서 발생하는 진동을 주파수 분석기로 분석해보면 여러 가지 주파수 성분들이 복합되어 있게 된다. 실제 현장에서 측정되는 진동은 기준 위치를 중심으로 +)방향과 -)방향의 진폭과 형상이 다르기 때문에 최대값과 실효값 사이에 $\sqrt{2}$ 를 곱함으로써 변환시킬 수 있는 관계가 더 이상 성립되지 않는다. 또한, 순간적인 충격 등으로 맥동(pulse)이 발생하는 진동 신호의 경우에 실효값에 의해 유도된

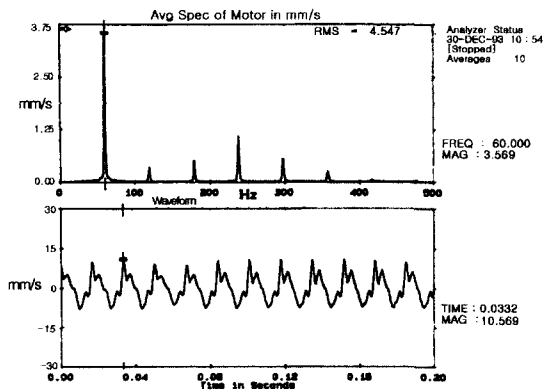


그림 4 전동기에서 측정된 시간파형과 스펙트럼

최대값과 실제적인 진동의 최대값과는 차이가 많이 나게 된다.

예를 들어서 위의 그림 4에 나타난 파형의 실효값은 4.724 mm/s이며 피크값은 10.569 mm/s이다. 하지만 실효값에 를 곱하면 6.680 mm/s가 나타난다.

3.2 총진동(Overall Level Vibration)

총진동은 필터를 통과한 대역의 진동신호가 가지는 모든 주파수 성분들의 에너지를 평균한 대표값이다. 진동 에너지는 진동의 여러 요소 중에서 기계장치 손상에 관련된 가장 중요한 요소이다. 그러므로 기계장치 진동의 심각도를 평가하기 위해서는 최대값 보다는 실효값이 적절하며 ISO에서는 진동 속도의 실효값으로 기계장치의 진동 심각도를 규정하고 있다.

예를 들어 아래의 그림과 같이 두개의 주파수 성분 10 Hz와 30 Hz에 의해서 이루어진 두 가지의 진동이 있다고 가정하자. 두 주파수 성분들의 위상차이에 따라 합성 시간파형은 다음과 같이 달라질 수 있다.

위의 그림에서 두 진동은 각 성분간의

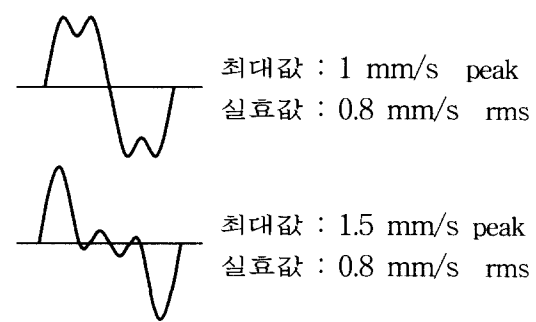


그림 5 10 Hz와 30 Hz 진동성분의 합성에 의한 진동 신호들

위상 차이가 같지 않기 때문에 두개의 전혀 다른 합성파형을 보여주고 있다. 그렇지만 두개의 그래프는 결국 10 Hz와 30 Hz의 합성파형이며 두개의 파형은 비슷한 진동에너지를 가지고 있다. 두 개의 합성파형에서 최대값과 실효값을 비교해보자. 최대값의 경우 각각 1 mm/s와 1.5 mm/s로 서로 차이가 나지만 실효값의 경우는 두개의 합성파형에서 0.8 mm/s로 동일하게 나타나는 것을 알 수 있다. 그러므로 실효값은 최대값과는 달리 진동의 에너지를 나타내는 데 유리하며 따라서 ISO에서는 기계에 영향을 미치는 10~1,000 Hz 범위에서 평탄한 특성을 가지는 진동의 속도에 대한 실효값으로 기계진동의 심각도를 규정하고 있다.

4. 센서의 설치방법

진동계의 경우에는 대부분 업무의 편의를 위하여 진동 신호를 취득하는 경우에 가속도계를 설치하는 방법이 자석 베이스를 이용하여 측정 대상의 베어링 하우스에 부착하거나 혹은 측정자가 손으로 잡고서 진동을 측정하는 방법을 사용한다. 이런 경우에 가속도계가 가지는 공진 주파수와 측정 가능한 대역의 주파수 범위가 변화하게 된다. 다음 그림은 가속도계의 부착방법에 따른 일반적인 측정 가능대역을 나타낸 것이다.

진동계를 사용하는 경우에 가장 일반적이며 권장할 수 있는 센서 고정방법은 평탄한 측정점에 영구자석을 이용하여 고정시키는 방법이다. 이 경우에 대략 2 kHz 정도의 범위까지의 진동에 대해서 어느 정

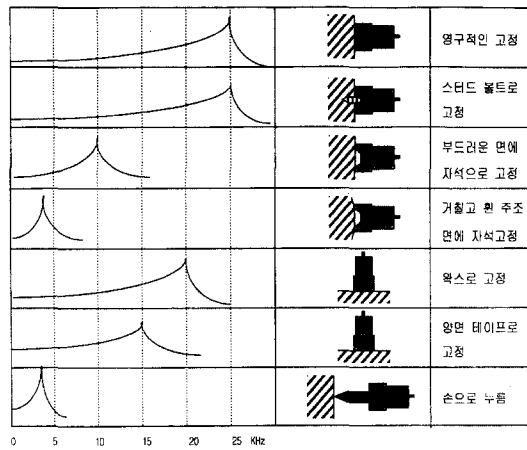


그림 6 가속도 센서의 고정방법에 따른 측정 주파수 범위

도의 신뢰성을 확보할 수가 있다. 하지만, 측정자가 손으로 센서를 잡고 측정하는 경우에는 접촉면 공진, 센서를 고정시키는 손의 힘, 그리고 측정 방향 등의 변화에 따라서 신뢰성 있는 주파수 범위는 대략 1 kHz 이하가 된다. 따라서 1 kHz 이상인 고주파 대역의 가속도 진동을 측정하여 기계 상태를 평가하는 경우에 특별한 상황이 아닌 이상은 가속도계에 탐침봉(probe)을 연결하여 진동값을 평가하지 않아야 한다. 또한, 5 kHz이상의 가속도 신호를 통하여 베어링 손상 등에 의한 맥동 신호를 복조 회로를 통해 구한 에너지 대표값-예를 들어서, shock pulse, spike energy-을 측정하는 경우에도 제조자 측에서 지정한대로 측정범위에 맞는 고주파 전용 가속도 센서와 지정된 설치방법을 이용하여야 보다 신뢰성을 갖춘 측정값을 얻을 수 있다.

흔히, enveloping이라고 하는 복조 회로와 그 측정값에 대한 자세한 내용은 이 글에서 다루지 않도록 하겠다.

5. 진동계의 한계

베어링 결함 주파수 성분과 같은 어떤 특정한 주파수 성분이라면 아주 작은 크기의 진동이라도 매우 분명하게 기계 결함을 나타낼 수 있기 때문에 진동문제의 정확한 측정과 해결을 위해서는 반드시 진폭과 함께 주파수의 측정, 분석이 병행되어야 한다. 진동계의 경우에는 단순히 진폭만을 나타내는 한계를 가지고 있기 때문에 일부 주파수 성분의 미소한 변화가 총진동 값의 변화로 나타나지 않으며 그림 5에서와 같이 전혀 다른 형태를 가진 진동 신호를 동일하게 나타나게 된다. 또한 휴대와 사용이 간편하도록 경량화 되고 자석이나 손으로 센서를 직접 고정하기 때문에 정밀분석기에 비해 장비의 주파수 측정 범위가 한정적이고 측정범위에 포함되지 않는 진동 성분이 고려될 수가 없으며, 시간을 기준으로 파형을 나타낼 수가 없다. 따라서, 점차 고속화, 대형화, 경량화 되는 기계에서 발생하는 진동의 특성을 정확히 측정하여 나타낼 수가 없으며 문제를 해결하기 위해 사용하기에는 더 이상은 적절하지 않다.

6. 적절한 진동계의 사용방법

위에서 살펴본 진동계의 특성과 한계를 바탕으로 다음과 같은 방법으로 진동계를 사용하는 것이 적절하다.

- (1) 진동계의 사양을 정확히 숙지하여 나타내는 최대값이 실효값에서 유도된 것인지 여부와 센서의 측정 주파수 대역 그리고 영구자석 베이스와 탐침봉

을 사용하는 경우의 정확한 측정 주파수 대역을 미리 확인하고 이용하라.

- (2) 관심 주파수 범위에 맞추어서 센서와 센서의 고정 방식을 선택하라. 가속도 신호를 측정하는 경우에는 손으로 센서를 고정하는 것이 바람직하지 않다.
- (3) 측정하는 동안에 센서가 미끄러지거나 흔들리지 않도록 확실히 고정시키라.
- (4) 손으로 센서를 잡는 경우에 센서에 일정한 힘을 가해서 측정한다.
- (5) 측정점의 표면은 깨끗하고 평탄하며 매끄러워야 한다.
- (6) 경향 관리를 위한 측정의 경우에 동일한 설비의 동일한 측정점에서 가능하면 동일한 사람에 의해 측정된 결과를 비교 평가하라.
- (7) 보다 정확한 문제의 원인을 파악하려면 주파수 분석을 실시하라.

7. 맺음말

최신의 급격한 전자기술의 발달에 의해서 작은 휴대용 진동계에서도 여러 가지 기능들이 제공되고 있으며 여러 가지 진동 문제를 진동계를 통하여 평가할 수 있을 것처럼 보인다. 측정되는 가속도 진동 신호를 복조하여 대표값을 구할 수도 있으며 또한 메모리 성능이 향상됨에 따라서 손으로 측정된 값을 기록하여 경향 관리하는 방식을 탈피하여 그 자리에서 측정된 값을 저장할 수 있으며 한 지점에서 여러 번 진동을 측정하여 그 평균값을 구할 수도 있다.

하지만, 복조된 신호의 대표값을 나타내는 최신형의 진동계에서도 베어링 결함,

기어 결함, 전동기 로터 바의 크랙 발생 등에 의한 설비의 심각한 문제들이 발견되지 않을 수 있으며 윤활, 캐비테이션, 고압 증기나 공기, 기어 상태 등에 의해 기계 상태가 왜곡될 수가 있다.

현재 많은 진동관련 계측기를 제작하는 업체들에서도 전자기술의 발달을 바탕으로 단순한 진동계의 제작을 줄이고 간단한 주파수 분석이라도 가능한 데이터 컬렉터와 같은 제품군에 주력하고 있다. 최근의 산업 현장에서는 진동계가 주파수 분석이 가능한 측정 장비를 보조하여 단지 비핵심 설비의 감시 등에 사용되고 있다.

앞에서 언급한 진동계의 간단한 특성과 기능을 정확히 이해하여 올바르게 사용하여 원하는 목적의 진동 측정과 평가 업무를 수행할 수가 있다.

이 글을 통하여 현장에서 널리 활용되고 있는 진동계에 대한 이해를 돕고 보다 올바르게 진동측정을 수행하여 업무에 도움이 되길 기원한다.

참고문헌

- (1) 牧修市, 1993, 진동법에 의한 설비진단의 실제, 일오출판사.
- (2) Eshleman, R. L. 1999, Basic Machinery Vibration, VI Press Inc.
- (3) 三輪修三, 1992, 회전기계의 진동소음 그 원인과 대책해석조사진단, 세화.
- (4) B&K Application Note, 1993, "소음 진동의 기초이론", B&K Korea.