

진동측정 매개변수

1. 개요

진동을 측정하는 매개변수는 가속도, 속도, 변위로 대별될 수 있습니다. 각 매개변수는 적절한 측정 범위와 효과적인 주파수 범위 및 특성을 가지고 있습니다. 각각의 설비에 따라 적절한 매개변수를 선택하는 것은 설비를 보호하고 최적의 상태진단 시스템 구축에 필수적이라 할 수 있습니다.

2. 매개변수

그림 1에서 조화 운동이 운동이나 변위의 용어로 서술되었다. 사실 조화 운동은 기계 분석 시 자주 마주치게 되는 두 가지 특성, 즉 속도와 가속도 (그림 2)를 가지고 있습니다. 속도는 시간의 변화율입니다.

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad (1)$$

가속도는 속도의 시간 변화율이며 변위의 2계 미분입니다.

$$a(t) = \frac{dv(t)}{dt} = \frac{d^2x(t)}{dt^2} \quad (2)$$

앞의 방정식들은 속도와 가속도의 일반적인 정의를 나타냅니다. 조화 운동의 특별한 경우, 그리고 이 조화 운동의 경우에서 만이 변위, 속도, 가속도 사이의 관계가 다음과 같이 간략화 될 수 있습니다.

$$v(t) = \frac{dx(t)}{dt} \quad (3)$$

$$v(t) = \omega x_{peak} \cos \omega t = v_{peak} \sin \left[\omega t + \frac{\pi}{2} \right] \quad (4)$$

$$a(t) = -\omega^2 x_{peak} \sin \omega t = A_{peak} \sin [\omega t + \pi] \quad (5)$$

가속도는 그림 2에서 보여주는 것과 같이 속도보다 위상각이 90° 앞서며 변위보다는 위상각이 180° 앞서는 관계에 있습니다.

어렸을 때 그네를 타 본 사람은 누구나 이러한 관계를 직감적으로 이해할 수 있습니다. 그림 3에서 보여주는 바와 같이 변위가 정지 위치로부터 최대가 될 때 속도는 Zero가 됩니다. 즉 그네가 순간적으로 멈추게 됩니다. 또한 변위가 Zero일 때 속도는 최대가 되며, 덜 직감적이기는 하지만(그러나 사실임), 가속도는 변위가 최대가 되고 속도가 Zero가 되는, 그네가 움직임 중에서 맨 끝에 있을 때 최대(그러나 방향은 반대임)가 됩니다. 진폭이라는 용어를 조화 운동의 변위, 속도, 가속도에 적용하는 것은 전혀 가치가 없습니다. 이것은 종종 사용(또는 잘못 사용)되는 것처럼 변위라는 용어를 대용할 수 없습니다. 전혀 가치가 없는 또 다른 사실은 진동 주파수(f)에 좌우되는 변위에서 속도나 가속도로의 변환, 또는 그 반대로의 변환 결과입니다. 일정한 변위 진폭에 대하여 속도 진폭은 주파수에 정비례하여 증가될 것이고, 또한 가속도 진폭은 주파수의 제곱으로 증가할 것입니다.

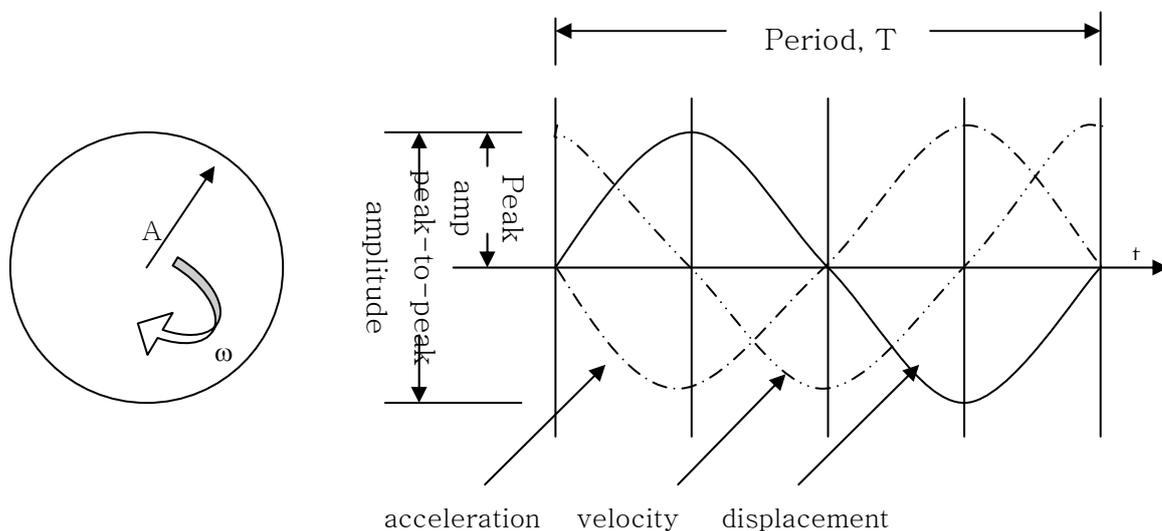


그림 2. 변위, 속도, 가속도의 관계

이러한 관계는 또한 그림 3에서 보여지는 그네로 직감적으로 설명될 수 있습니다. 그네의 최대 행정은 같은 상태에서 변위가 일정하고 주파수가 배로되면 그네는 같은 시간 증분 동안에 두배의 거리를 움직여야 하므로 속도는 두배가 되어야 합니다. 그네는 매 주기마다 두 번씩 방향을 바꾸어야 하므로 그네의 방향이 반대로 될 때 일어나는 가속도의 최대치는 주파수의 제곱만큼 증가할 것입니다.

주파수에 따른 속도, 가속도 값의 이러한 변화는 대단히 중요한 데 왜냐하면 이것이 진동 심각도 기준을 위한 기초가 되며, 특별한 결함을 감지하고 분석하기 위한 가장 대표적인 변수를 선택할 때의 지침을 제공하고, 잘못된 변수가 측정되었을 때 경고 없이 어떻게 고장이 발생할 수 있는 가를 설명해 주기 때문입니다.

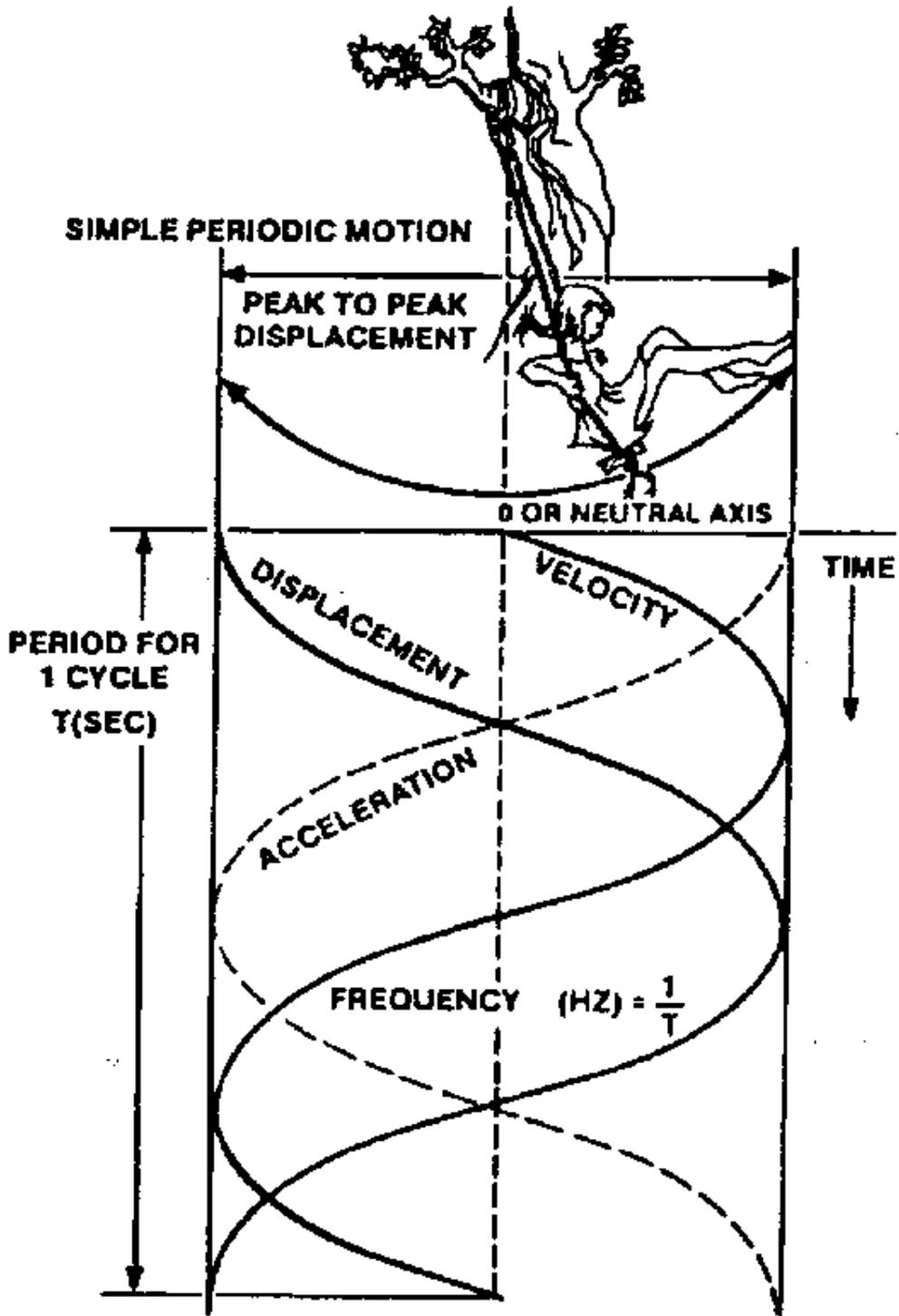


그림 3. 변위, 속도, 가속도의 관계를 이해하게 해주는 어린이용 그래프

3. 진동 측정용 센서

진동 변환기는 기계적인 운동을 동적인 AC 전기 신호로 변환시키는 장치입니다. 몇 가지 예외는 있지만 기계 진동을 감지하는 변환기는 감시, 표시, 분석, 기록 장치에의 사용과 전송을 위한 충분한 크기를 가진 출력 신호를 얻어내기 위하여 증폭이나 변환 회로가 필요합니다.

일반적으로 기계 상태를 감시하는 데 사용되는 진동 변환기는 다음과 같은 것들이 있다.

- 비접촉식 변위 변환기 (와전류 Probe, 축전식 Probe)
- 속도 검측기 (전자 기계식과 압전소자식)
- 가속도계 (압전소자식)

주어진 응답을 얻기 위해 필요한 힘들이 주파수에 따라 얼마나 크게 미치는가에 대해 알고 계실 것입니다. 그림 4에 나타난 바와 같이 힘은 또한 주어진 변환기에 가장 잘 맞는 측정 장치의 형식과 변환기의 선택에 영향을 미칩니다.

예로써 전형적인 Blade-Passing-Frequency를 나타내는 매우 높은 진폭인 10kHz에서의 100g의 가속도는 겨우 0.02 mils (0.5 μ m)의 변위를 나타내고 있습니다. 이 경우 그 값이 많은 변위 측정계에 명기된 주파수 응답의 범위에 있다고는 하지만 급박한 사고의 위험을 나타내는 힘의 수준인데도 불구하고 변위값은 실제적인 용도로 측정할 수 없는 작은 값으로 나타나는 특징을 가집니다.

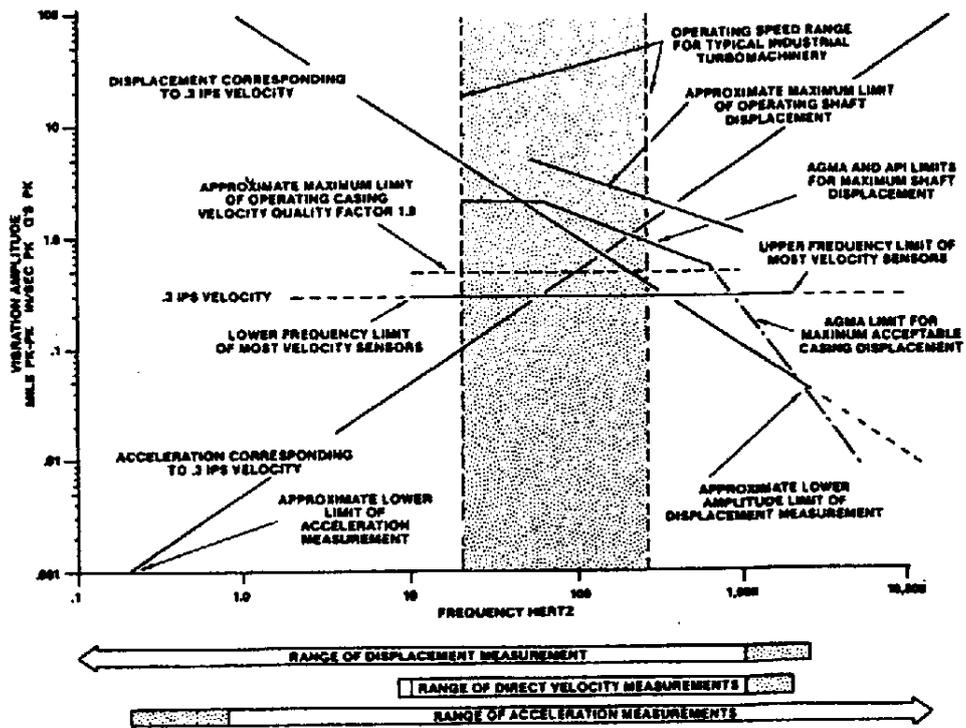


그림 4. 측정센서의 특징에 따른 주파수 응답

역으로 가속도 측정계도 비슷한 경우를 발생시킵니다. 주파수가 감소함에 따라 힘의 한계 때문에 적당한 운동 수준조차도 가속도계로 측정하기 어려운 수준까지 최대 허용 가속도와 신호 대 **Noise**의 비율을 계속적으로 감소시킬 것입니다.

변위, 속도, 가속도 변환기의 두 번째 중요한 차이점은 감지되는 운동의 형식입니다. 비접촉 변위 변환기는 부착점(보통 베어링 **Shell**)과 **Probe**에 의해 관측되는 표면(일반적으로 기계의 축)사이의 상대 운동을 감지합니다. 속도 **Pickup**과 가속도계는 그것들이 부착된 베어링 하우징이나 구조물의 절대 운동을 측정합니다. 상대 및 절대라는 표현의 기준점은 지구입니다. 이유는 인간이 생활하고 있는 지구는 실제로 공전과 자전을 하고 있으나 중력에 의해 고정되어 있다고 생각되므로 기준점을 지구의 중심에 두고 측정되는 모든 진동을 판단합니다. 변위센서는 지구 중심과 상관없이 고정된 부위에 상대적으로 측정되는 진동을 표시하며, 속도 및 가속도 센서는 지구 중심에 대한 변화를 측정할 수 있습니다.

변환기를 선택할 때 고려되어야 할 또 다른 물리적인 인자는 크기, 무게, 고유진동수의 위치, 외부의 영향(즉, 표면 결함, 전기나 자장에 의해 발생하는 것과 같은)에 대한 민감성 등이 포함됩니다. 이러한 많은 고려 사항은 주어진 적용에 따라 한정적이지만 일반적인 지침은 다음과 같습니다.

- 일반적으로 비접촉식 변환기에 의한 회전축의 변위 측정은 축의 결함으로부터의 **Noise** 와 힘(**Force**)을 고려할 때 1,000 에서 1,500Hz (60 ~ 90 kcpm) 사이의 최대 주파수로 제한됩니다. 정밀한 **DC** 를 사용한 축변위 측정은 축의 위치, 회전 주파수, **Subsynchronous Frequency** 의 가진, 저차수 조화운동, 유막과 자성 베어링을 가진 산업 기계에서의 펌프 **Vane Passing** 주파수 등을 측정하고 감시하는데 사용됩니다.
- 전자 기계식 속도 **Pick-up** 으로 측정할 때에는 그 구조적 특성 때문에 측정 범위는 약 10Hz 에서 1,500Hz (600 cpm – 90 kcpm)로 제한됩니다. 그러므로 전자 기계식 속도 **Pick-up** 은 중고속 기계류에서 회전 주파수 및 펌프 **Vane Passing** 주파수와 볼 베어링의 기본적인 특성 주파수를 감지해 내는데 사용될 수 있습니다.
- 압전 소자식 속도 **Pick-up** 은 전자 기계식 속도 **Pick-up** 과 비교할 때 약 2.5Hz(150cpm)에서 2kHz(120kcpm)이상까지 확장된 주파수 범위를 제공합니다. 그러므로 압전 소자식 속도 **Pick-up** 은 냉각탑의 **Fan** 및 제지용 기계의 베어링과 같은 저속 기계에도 적용할 수 있으며, 볼베어링의 특성 주파수를 관측하는데 유리합니다.
- 가속도 측정기는 1Hz (60cpm) 이하에서 20kHz (1,200kcpm) 이상의 범위에서 사용될 수 있습니다. 따라서 가속도 변환기는 대부분의 산업 기계의 회전 주파수에서 사용할 수 있으며, 고속의 **Gear Mesh** 주파수, 터보 기계의 **Blade, Vane Passing** 주파수, 볼베어링의 고주파수 특성 등을 관측할 수 있는 유일한 변환기입니다.

진동변환기는 주파수 스펙트럼의 어느 부분을 관측할 것인가 하는 창문과 같습니다. 따라서 각종 데이터가 기계의 상태를 정확하게 표현하기 위하여는 기계의 형식, 측정 위치, 평가되어야 하는 특성은 물론 변환기의 특성, 장점, 한계 등이 잘 이해되고 심사숙고되어야 합니다. 복잡한 분석 장비를 추가 설치하는 것은 분석 시간을 줄이고 정확도를 높일 수 있지만 데이터 자체가 가지고 있는 한계는 개선할 수는 없습니다.

4. 매개변수간의 변환

설비에 대한 진동을 측정하는 경우 다양한 장비를 이용하여 수행하게 됩니다. 각 측정장비에는 개별적인 특성이 있고, 부착된 센서가 제각각인 특징이 있습니다. 이러한 경우 상호간의 측정값에 대해 직접적인 비교가 불가능하여 상호간에 불신의 감정이 생길 수 있습니다. 매개변수들을 쉽게 변환할 수 있다면 그 상대적인 크기를 개략적으로 비교할 수 있고, 상호간의 측정결과와 의견에 대해 폭넓은 협의가 가능할 것이라 생각합니다.

진동신호상에서 진폭에 대한 기술은 다음과 같은 관계를 가지고 있습니다.

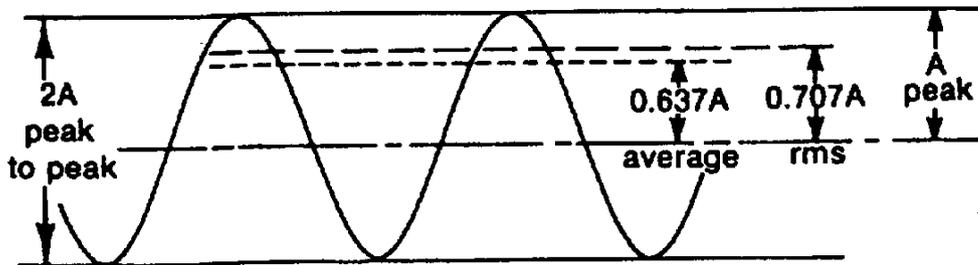


그림 5. 진폭의 단위

각 매개변수들과 진폭의 단위를 고려하여 이를 변환하는 환산식은 다음과 같습니다.

$$X_{peak} = \frac{1}{2} X_{peak-to-peak}$$

$$V_{peak} = 2\pi f X_{peak} = 6.28 f X_{peak}$$

$$= 3.14 f X_{peak-to-peak}$$

$$\begin{aligned}
A_{peak} &= 4\pi^2 f^2 X_{peak} = 39.47 f^2 X_{peak} \\
&= 19.74 f^2 X_{peak-to-peak} \\
&= 2\pi f V_{peak} \qquad \qquad = 6.28 f V_{peak}
\end{aligned}$$

Where,

	English	Metric
$X_{peak}, X_{peak-to-peak}$	<i>inches</i>	<i>meters</i>
V_{peak}	<i>inches / sec</i>	<i>meters / sec</i>
A_{peak}	<i>inches / sec²</i>	<i>meters / sec²</i>
G	386.09 <i>inches / sec²</i>	9.8067 <i>meters / sec²</i>
f	Hz (cycle/sec)	Hz

예를 들어 속도센서에 발생하는 mV 출력을 mm/s RMS로 변환하는 식은 다음과 같습니다.

1. Transducer sensitivity : 100mV/g peak
2. frequency : 100Hz
3. 1 g = 9.8067 m/s²
4. RMS = 0.707 x peak (in sine wave)
5. Input : 90mV peak-to-peak

$$A_{peak} = \frac{A_{peak-to-peak}}{2}$$

$$A_{peak} = 2\pi f V_{peak}$$

$$V_{peak} = \frac{A_{peak}}{2\pi f}$$

$$V_{RMS} = 0.707 \times V_{peak}$$

$$\begin{aligned}
V_{RMS} &= 0.707 \times \frac{A_{peak}}{2\pi f} \\
&= 0.707 \times \frac{90mV / 100 mV/g}{2 \times 3.1416 \times 100Hz} \\
&= 0.707 \times \frac{0.45g}{628.32Hz} \\
&= 0.707 \times \frac{0.45 \times 9.8067 \times 1000 mm/s^2}{628.32Hz} \\
&= 0.707 \times \frac{4413.02 mm/s^2}{628.32Hz} \\
&= 4.9656 mm/s \text{ RMS}
\end{aligned}$$

상기의 변환식을 이용함에 있어 간과하여서는 안되는 부분이 주파수 영역입니다. 특정 주파수 영역에 대해서만 측정된 데이터와 광범위한 영역에서 측정된 데이터를 직접적으로 변환한다면 그 오차는 결코 좁혀지지 않습니다.

특정 주파수에 대해서 제한적으로 그 결과치를 직접적으로 비교하는 것이 가능하며, 다양한 주파수 영역을 가진 신호에 대해서는 전자회로를 이용한 적분기나 웨이브폼 신호를 직접 소프트웨어에 입력하여 컴퓨터에서 적분하는 방법을 권고드립니다.

5. 매개변수 변환기

각각의 매개변수를 원하는 값으로 변환하는 것은 매우 번거로운 일이 아닐 수 없습니다. 이를 쉽고 간단하게 해결하는 것이 단위환산자입니다. 아래 사진에서와 같이 각 주파수별, 크기를 대입하면 원하는 다른 매개변수의 값을 쉽게 환산할 수 있습니다.

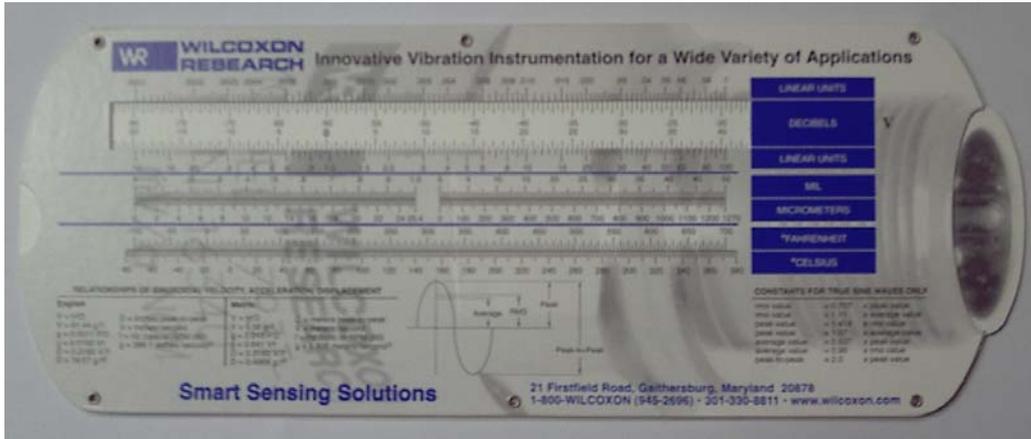


그림 6. Vibration Calculator (Wilcoxon Research Inc., 미국)

환산을 더욱 편리하게 수행할 수 있는 프로그램 및 인터넷 서비스 역시 이용 가능하므로 다음 Site에 접속하여 활용하시기 바랍니다.



그림 7. 인터넷 진동환산자