

# 응용 지침서

## PC420V Series LPS® 센서 적용



21 Firstfield Road,  
Gaithersburg, MD 20878 USA

T (1) 301-330-8811  
F (1) 301-330-8873  
E [sensors@wilcoxon.com](mailto:sensors@wilcoxon.com)  
[www.wilcoxon.com](http://www.wilcoxon.com)



인코시스(주)

경기도 성남시 분당구 구미동 18  
시그마2빌딩 C동 314호  
전화: 031) 719-9830  
팩스: 031) 719-9832  
전자 메일: [hybae@incosys.co.kr](mailto:hybae@incosys.co.kr)

## 1. 개요

4-20mA 출력을 제공하는 진동 센서를 사용하여 공장의 설비 관리자들은 PLC 또는 DCS에서 직접적으로 진동 크기를 알 수 있습니다. 이러한 적용방법은 설비 관리자들이 전체 진동 크기에 대한 경향 데이터를 공정 데이터와 직접적으로 취급할 수 있도록 합니다. 또한, 관리자들은 특정 기계에 대해 상태에 근거하여 정비 계획을 수립하는데 도움을 줍니다. 그러나 다른 공정 관련 데이터, 예를 들어, 온도, 압력, 유량 등의 데이터로만은 설비의 상태를 판단하기에는 부족하며, 진동을 포함하는 것을 권고 드립니다. ISO10816-1 표준에는 각 기계 종류별로 진동 경보치 설정 방법을 명시하고 있습니다.

윌콕슨사의 Loop Powered Sensors (이하 LPS®)는 4-20mA 출력용 변환기를 센서에 내장하고 있습니다. 제품을 주문할 때 최대값, 주파수 범위, 필터 설정 등을 명시할 수 있어 기계 별로 최적의 감시 상태를 구현할 수 있습니다. 표준 진동 측정 방법이나 상태 평가 기법을 이용하여 어떤 상태의 기계라도 최적의 감시 범위를 추정할 수 있습니다. 이러한 적용 방법은 진동 상태에 근거하여 개별 설비의 상태를 평가할 수 있도록 합니다.

본 문서에서는 ISO10816-1 규격에 부합하는 4-20mA 출력 센서 선택 방법, 정확한 설치 방법 및 경보치 설정에 대해 고찰할 것입니다.

본 문서에서는 기계의 진동 문제를 분석하는 세부적인 절차를 언급하는 것은 아닙니다. 진동을 이용하여 설비의 상태를 분석하는 것은 다른 여러 가지 문서들을 활용하시기 바랍니다. 윌콕슨사의 홈페이지에서도 여러 종류의 문서를 찾을 수 있습니다.

## 2. 기계 진동

기계에서 발생하는 진동은 무엇입니까? 왜 기계들은 진동을 하는 것일까요? 모든 진동을 이용한 설비 관리 또는 예지 보전에서는 이러한 매우 어려운 질문들로 접근을 시작합니다. 물론 여기에는 중요한 이유들이 존재합니다. 만약 이러한 중요한 의미가 존재하지 않거나 진동의 원인이 없다면 진동을 감시하거나 측정하여 분석할 이유가 없습니다. 진동을 측정하고 그 경향 데이터를 분석함으로써 얻을 수 있는 장점이 있습니다.

첫 번째 질문에 대한 답으로 대부분 진동에 대한 정의가 될 수 있습니다. 다음은 Merriam-Webster Collegiate Dictionary에 수록된 정의입니다.

*vi•bra•tion, noun (1655)*

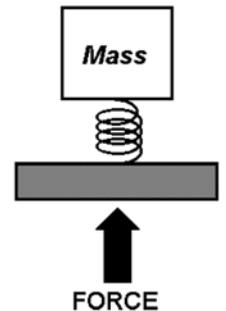
*1a : a periodic motion of the particles of an elastic body or medium in alternately opposite directions from the position of equilibrium when that equilibrium has been disturbed (as when a stretched cord produces musical tones or particles of air transmit sounds to the ear)*

*b : the action of vibrating : the state of being vibrated or in vibratory motion: as*

*(1) : OSCILLATION*

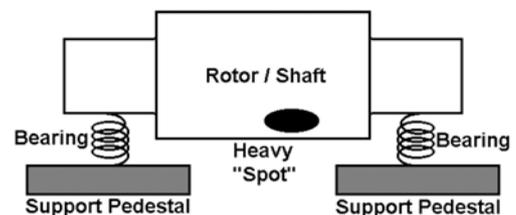
*(2) : a quivering or trembling motion : QUITTER*

오른쪽 그림에서와 같이, 힘이 기초에 작용하고 스프링을 통해 질량에 전달됩니다. 만약 질량을 자동차 가정하면, 스프링은 자동차의 서스펜션이 될 것입니다. 작용하는 힘은 타이어를 통해 전달되는 노면의 굴곡이 될 것이며, 이는 도로 위를 달리는 자동차로 묘사될 수 있습니다. 대부분의 사람들은 이러한 비유를 쉽게 이해할 수 있습니다. 포장 도로상의 과속 방지턱은 자동차를 진동하게 할 수 있으며, 다양한 노면의 상태 또한 진동 상태를 변경시킬 수 있습니다.



대부분의 기계들은 항상 진동을 발생시키는데 이유는 모터의 회전자 또는 기계의 회전축은 불균형력을 내재하고 있기 때문입니다. 불균형력은 우측 그림상에서 단순한 스프링-질량 시스템에 편심을 가진 캠과 같이 힘을 작용합니다. 1차적인 불균형력은 사인파 형태의 진동을 만들어 낼 것입니다. 회전축은 베어링에 의해 고정됩니다. 기계의 회전축은 회전하므로 회전하는 속도에 비례하여 반복적으로 작용합니다. 이러한 반복적인 진동은 “주기”를 가지며, 이에 대한 관심이 필요합니다.

기계의 베어링도 회전축의 진동을 기계의 기초로 전달할 때, 스프링-질량 시스템과 같이 동작합니다. 베어링은 일정한 크기의 강성을 가지고 있고 축의 움직임을 허용하고 있습니다. 회전축의 힘은 불균형력에 의해 생성되며, 베어링 하우징을 통해



전달됩니다. 결과적으로 기계의 케이싱에 설치된 진동 센서를 통해 회전체에서 발생한 진동을 간접적으로 측정할 있습니다. 측정된 진동 신호를 오실로스코프나 스펙트럼 분석기를 통해 관측해 보면 사인파형으로 나타나는 것을 알 수 있습니다.

결론적으로, 모든 기계가 진동하는 원인은 회전축에 내재된 불균형력에 기인합니다. 불균형력은 원심력으로 변환되고 베어링으로 전달됩니다. 베어링은 이러한 힘을 움직임으로 변환하는데 그 이유는 베어링 하우징과 지지 구조물 상에서 강성을 가지고 있기 때문입니다. 최종적인 움직임은 지진계식 센서를 통해 측정될 수 있습니다.

물론 다른 기계 구성 요소 또는 조립과 관련된 요인도 있을 수 있으며, 다음과 같은 요인이 있습니다.

- 축의 오정렬
- 기계의 내부 오정렬
- 베어링 마멸
- 베어링 부품 손상
- 회전자와 공극 문제
- 기어 손상
- 커플링 손상
- 기계적 이완
- 벨트 구동 문제 등

상기의 기계 문제 목록이 전체를 나타내지는 못하지만 진동 감시와 분석을 통해 발견할 수 있는 일부 기계 문제를 명시합니다. 진동 감시 체제를 도입한 대부분의 공장은 불시 정지에 의한 생산 손실 최소화, 유지/보수 비용 절감 및 설비 가용성 향상에 대한 결과를 도출하였습니다.

### 3. 공정용 4-20mA 전원 공급형 센서

공정용 센서들은 통상 4-20mA 장치로 인식됩니다. 왜 그럴까요? 다른 전류 출력이나 전압과 같은 신호를 사용하지 않을까요? 여기에는 상당히 많은 이유와 긴 역사를 가지고 있습니다. 가장 단순한 답으로는 “VHS” 방식과 “Beta” 방식의 비디오 형식이 될 수 있습니다. 4-20mA 센서는 대부분의 경우에 적용하는데 문제가 없습니다. 이것이 가장 단순한 답변이 될 수 있을 것입니다.

일반적으로 센서는 전압과 전류 형태로 동작할 수 있습니다. 전압 신호 전송을 사용하는 경우 “Stray Electro-Magnetic Interference, EMI”에 대한 상당한

고려가 필요합니다. 전기장과 자기장은 근접한 두 전선 사이에서 서로 영향을 미칩니다. 두 가닥의 전선을 꼬아서 사용하는 경우, EMI 효과가 양쪽 케이블에 동일하게 발생하여 현상을 완화시킬 수 있습니다. 두 전선에 발생하는 영향이 동일하므로 상호간의 전위차는 거의 0으로 나타납니다. 차폐를 시킬 경우 전자기장의 영향은 매우 감소될 수 있습니다.

그러나 이러한 방법을 사용하더라도 그 영향을 감소시키는 것이지 제거할 수는 없습니다. 대형 전동기는 전류 서지를 생성하며, 강한 전기장을 형성합니다. 전원 공급용 장치들도 이러한 현상을 발생시킵니다.

센서가 전류 방식의 신호 전송을 사용하면, EMI에 의한 현상을 효과적으로 제거할 수 있습니다. 쌍을 이룬 케이블이 EMI 필터 내에서 상당한 전압을 생성하지만 전류를 생성하는 것은 매우 어렵습니다. 이런 이유로, 전류 신호 전송 방식의 센서는 전기적 노이즈가 최소화되어야 하는 환경에서 선호됩니다. 회로 내에서 접촉과 관련된 문제가 있는 경우 접촉 저항은 변경되고 전압에 근거한 회로들은 심각한 노이즈 문제에 직면하게 됩니다. 그러나 전류에 근거한 회로들은 저항 변화에 그다지 민감하지 않습니다.

0-1 Volt, 0-5 Volt, 0-10 Volt 또는 1-5Volt 전압 범위는 전압에 근거한 센서들이 사용합니다. 전류에 근거한 센서들은 0-20mA, 4-20mA 및 10-50mA를 사용합니다. 전압 신호 전송 방식의 센서들은 노이즈에 매우 민감하므로 장거리 신호 전송에는 사용되지 않습니다. 단거리 신호 전송과 노이즈에 대한 완벽한 대책을 가지 경우에는 전압 방식의 센서를 사용할 수 있습니다. 장거리 케이블 포설은 자체적으로 노이즈를 생성하는 장치로 동작합니다. 전류 신호 전송 방식은 더 긴 거리까지 신호를 전송할 수 있습니다. 이유는 폐회로 내에서의 전류는 전기적인 장비에 대해서만 영향을 받기 때문입니다.

0-20mA 출력을 사용하는 센서는 전원을 분리하여 사용해야 합니다. 만약 0 신호 출력을 나타낼 때 0mA 전류를 의미함으로 전원을 다른 장치에서 공급하여야 합니다. 4-20mA나 10-50mA 회로는 0 신호 출력을 나타낼 때 더 작은 전류를 소모함으로 회로가 이를 인지할 수 있습니다. 센서가 3mA 이하로 동작할 수 있다면, “Residual” 폐회로 구성으로 동작할 수 있습니다.

센서로 공급되는 어떤 전압이 가능하지만, 24V DC가 거의 표준으로 사용됩니다. 그 이유는 무엇일까요? 몇 년 전 직류 전원은 교류 전원에 비해 위험한 것이 확인되었습니다. 토마스 에디슨은 직류 전원을 고유의

안전성을 가진 것으로 생각하는 옹호자였습니다. 사실, 에디슨은 최초로 교류를 전원으로 하는 사형용 전기 의자를 고안한 사람입니다. 직류를 전원으로 사용하고자 하는 주장을 위해 교류의 위험성을 알리는 이 장치는 활용되었습니다. 그러나 실제로 교류 전원은 발전과 송배전 분야에서 표준으로 채택되었습니다.

직류 전압이 50Volt를 초과하거나 교류가 30Volt RMS를 초과하는 경우 생명에 위협이 될 수 있습니다. 예를 들어, 일반적인 전화기는 50V DC보다 약간 낮은 전압이 교환기로부터 공급됩니다. 수화기를 들었을 때 약 48V DC가 전화선에 인가됩니다. 대부분의 사람들은 이러한 전화가 방폭지역에 설치되는 것을 간과하는 경향이 있습니다.

직류 전원으로 동작하는 회로가 축전지로부터 전원을 공급 받으면서 빈번히 동작한다면 점점 충전됩니다. 납 축전지는 셀 전압을 가지고 있는데 통상 2Volt입니다. 자동차용이나 선박용 납 축전지는 6, 12, 24 Volt로 여러가지 입니다. 직류를 공급하는 납 축전지의 최대 전압은 24V DC입니다. 결과적으로 전압으로 사용되는 24V DC가 위험하지 않는 회로를 구성하는데 사용됩니다.

측정 범위가 중요한 장치에서는 10-50mA 장치가 4-20mA 장치보다 더 넓은 측정 범위를 제공합니다. 그런데 왜 4-20mA가 10-50mA 출력을 제공하는 장치보다 더 많이 사용되었을까요? 이에 대한 답은 각 회로를 구성하는 데서 찾을 수 있습니다. 아날로그나 디지털 시스템을 사용할 때, 측정값으로 전압을 사용하는 것이 필수적입니다. 아날로그 측정기는 전압에 대해 저항을 연결한 후 전류를 측정합니다. 오옴의 법칙을 적용하면 전력은 전류의 제곱에 전압을 곱하여 구할 수 있습니다. ( $P=I^2R$ ) 또한, 전압은 전류에 저항을 곱하여 구할 수 있습니다. ( $V=IR$ )

측정 시스템에서 최대 5V DC 입력을 가지는 아날로그 장치나 디지털 시스템을 사용하는 경우, 5V DC에 대한 전압을 전류로 변환하여야 합니다. 오옴의 법칙을 적용하여 20mA에 대해서는 250ohm을, 50mA에 대해서는 100ohm을 사용합니다. 그러나 저항에서의 전력 손실을 고려해 보면 250ohm의 경우에는 0.1watt, 100ohm의 경우에는 0.25watt가 필요합니다. 4-20mA 신호 전송에 사용되는 250ohm 저항은 1/4watt 저항이 될 수 있으나 10-50mA에 사용되는 100ohm 저항은 1watt 저항이 됩니다. 이러한 전력 소모는 최대치의 2배 이상이 사용되고 더 많은 열을 발생시킵니다. 또한, 10-50mA 용 센서의 전원공급장치는 4-20mA 용 시스템보다 최대 2배의 전류를 소모합니다.

상기와 같은 이유로 4-20mA 전류 폐회로가 사실상

산업용 표준이 되었습니다. 이것은 어떤 기구에서 표준으로 명시한 것이 아닙니다. 이것은 상당히 긴 시간 개발되었고 많은 사용자들이 사용함으로써 최적화되었고 장치비와 설치비는 최소화되었습니다. 24V DC를 폐회로 전원으로 사용한 것도 안전과 방폭에 대한 고려로 실제적인 표준으로 자리매김 하였습니다.

#### 4. 국제 표준 기구 [International Standards Organization, ISO 10816-1:1995(E)]

국제 표준 기구에서는 ISO 10816, “기계진동 - 비회전부에서의 측정에 의한 기계 진동의 평가”를 제정하였습니다. 이것은 다년간의 경험을 근거로 하여 기계 진동 전문가에 의해 작성되었습니다. ISO 10816-1은 기계의 외함에서 측정된 진동에만 국한되어 있습니다.

ISO 10816은 기존의 진동 규격인 ISO 2372와 VDI 2056을 대체합니다. 모든 규격은 회전 기계의 감시에서 얻었던 경험에 근거를 두고 있습니다. 현재 표준인 ISO 10816은 진동 평가 영역, 기계의 크기 및 기계의 설치 방법 등에 근거하여 정의되었습니다.

진동 평가 영역은 기계의 외함에서 측정된 진동을 심각도로 분류하는데 사용합니다. 기계 진동의 측정은 통상 기계 상태 평가에 대한 기준으로 속도를 사용합니다. 경험적으로나 이론적으로 속도는 외함에서 측정하는 방법론을 사용할 때 회전기계의 상태를 나타내는데 가장 효과적입니다.

ISO 10816-1:1995(E) 5.3.1에는 다음과 같이 명시되어 있습니다.

*Zone A: The vibration of newly commissioned machines would normally fall within this zone.*

*Zone B: Machines with vibration within this zone are normally considered acceptable for unrestricted long-term operation.*

*Zone C: Machines with vibration within this zone are normally considered unsatisfactory for long term continuous operation. Generally, the machine may be operated for a limited period in this condition until a suitable opportunity arises for remedial action.*

*Zone D: Vibration values within this zone are normally considered to be of sufficient severity to cause damage to the machine.*

각 영역에 대한 의미는 다음과 같이 해석될 수 있습니다.

- Zone A Good
- Zone B Acceptable
- Zone C Unsatisfactory
- Zone D Unacceptable

기계의 크기에 따라 구분될 수 있으며, 설치 조건에 따라서도 구분됩니다. 경험과 이론적으로 작은 기계는 일반적으로 더 낮은 진동 수준을 가져야 합니다. 회전체가 가볍고 더 작은 불균형력을 생성합니다. 결과적으로 작은 기계는 큰 기계에 비해 더 낮은 진동 허용치를 가집니다.

*Class I*

*Individual parts of engines and machines, integrally connected to the complete machine in its normal operating condition. (Production electrical motors of up to 15 kW are typical of machines in this category.)*

*Class II*

*Medium-sized machines (typically electrical motors with 15 kW to 75 kW output) without special foundations, rigidly mounted engines or machines (up to 300 kW) on special foundations.*

*Class III*

*Large prime-movers and other large machines with rotating masses mounted on rigid and heavy foundations which are relatively stiff in the direction of vibration measurements.*

*Class IV*

*Large prime-movers and other large machines with rotating masses mounted on foundations which are relatively soft in the direction of vibration measurements (for example, turbo generator sets and gas turbines with outputs greater than 10 MW).*

이러한 평가 영역 및 기계의 종류를 종합하여, ISO 10816-1은 일반적인 진동 허용치에 대한 도표를 정의하였습니다.

Table I – Typical zone boundary limits

Vibration Velocity in/sec. peak (mm/sec. r.m.s.)	Class I < 20 HP	Class II 20 to 100 HP	Class III > 100 HP typ. rigid rotor	Class IV > 100 HP typ. flexible rotor
2.5 (45)	D	D	D	D
1.6 (28)				C
1.0 (18)			B	
0.63 (11.2)				
0.4 (7.1)	C	C	B	B
0.25 (4.5)				
0.16 (2.8)				
0.1 (1.8)	B	B	A	A
0.063 (1.12)				
0.04 (0.71)	A	A	A	A
0.025 (0.45)				
0.016 (0.112)				

왼쪽 행은 허용치와 관련된 진동 수준을 나타냅니다. ISO 10816-1은 mm/s 단위에 대해서는, 실효치 (r.m.s) 값을 전체 진동 구간에 대해 사용합니다. 괄호로 표시된 부분입니다. 일반적으로 in/sec, peak도 명시되어 있습니다. in/sec, peak 단위는 미국에서 진동 측정 및 평가에 일반적으로 사용되는 단위입니다.

Table I에서 주어진 값은 전체 진동 수준을 나타냅니다. 그러나 전체 진동 수준은 특정 주파수 범위에서 측정되어야 합니다. ISO 10816-1에서는 이에 대한 지침도 제공하고 있습니다. ISO 10816-1:1995(E) 3.1.1에 다음과 같이 기술되어 있습니다.

*The frequency range of vibration shall be broad band, so that the frequency spectrum of the machine is adequately covered.*

*The frequency range will depend on the type of machine being considered (e.g. the frequency range necessary to assess the integrity of rolling element bearings should include frequencies higher than those on machines with fluid film bearings only).*

*Guidelines for instrumentation frequency ranges for specific machine classes will be given in the appropriate parts of ISO 10816.*

*NOTE 1 In the past, vibration severity was often related to broad-band vibration velocity [mm/s (r.m.s.)] in the range 10 Hz to 1 000 Hz. However, different frequency ranges and measurement quantities may apply for different machine types.*

주파수 범위에 대한 지침은 진동 측정의 역사를 통해 정해졌습니다. IRD 544 진동 측정기는 초기에 지진계식 속도 센서를 이용하여 진동을 측정하는데 많이 사용되었습니다. 지진계식 속도 센서는 내부에 영구자석이 있고 주변에 코일이 움직일 수 있는 구조를 가지고 있어 영구 자석의 자속을 자르는 속도에 비례하여 전압 출력이 발생합니다. 영구 자속의 자속을 자르는 속도는 진동과도 비례하므로 진동은 출력 전압과 비례합니다. IRD 544 센서의 측정 범위는 통상 10Hz에서 1,000Hz까지였으며, 측정 오차는 ± 10%였습니다.

5. 기타 진동 평가 기준

대부분의 회전 기계는 축의 회전속도에 해당하는 진동 성분을 가장 많이 생성합니다. 축의 회전속도는 통상 “1회전당 1회” 혹은 “1X”라고 칭합니다. 회전수에 2배 주파수는 “2X”, 3배 주파수는 “3X” 등으로 칭합니다.

예를 들어, 완벽한 전동기가 부하 없이 운전되고 있을 때, 1X 진동만 나타날 것입니다. 다른 주파수 성분이 발생할 수 있는 요인이 없습니다. 1X 진동이 발생하는

것은 모터의 회전자에 존재하는 불평형 성분을 완벽히 제거하는 것은 불가능하기 때문입니다. 잔존하고 있는 불평형 성분은 항상 1X 진동을 생성시킵니다.

기계에 구름요소 베어링 (Rolling Element, Anti-friction) 이 설치된 경우에는 기계에 설치된 베어링 내에 간극이 없어야 합니다. 구름 요소들의 마모는 간극을 증대시킵니다. 베어링 간극은 축의 불균형과 조합되어 더 높은 진동을 발생시킵니다. 발생하는 진동 성분은 1X와 더불어 2X, 3X 등의 성분이 조합되어 더 큰 전체 진동을 발생시킵니다. 또한, 베어링 고장과 관련된 주파수 성분이 진동 에너지에 조합되어 높은 진동을 나타내는 원인이 됩니다.

4-20mA 진동 센서는 기계의 문제를 진단하는 데이터를 제공하도록 설계되지 않았습니다. 단지 전체 진동을 측정하고 그 경향을 관측할 수 있도록 설계되었습니다. 기계 문제는 진단 전문가에 의해 분석이 필요합니다. 진동 분석 전문가는 전체 진동 경향이 기계에 문제가 발생하였을 정도로 심각한 경우 정밀한 분석 작업을 수행합니다. 기계 정비 요원 또는 기계 엔지니어들은 기계의 정비 이력과 기계 특성을 잘 알고 있으므로 진동이 증가하는 원인을 분석할 수 있을 것입니다.

## 5.1 고진동의 기계

ISO 규격에서 명시한 진동 크기보다 높은 진동을 나타내는 기계에 대해서 어떤 조치를 취할 수 있습니까?

ISO 규격에서 명시한 평가 기준에서 경계선은 2.5배의 비율을 가지고 있습니다. 즉, “A영역” 경계치와 “B영역” 경계치 간에는 2.5배라는 의미입니다. 예를 들어 “Class III” 기계에 대해 적용해 볼 때, “Good” 영역은 0.1 in/sec이며, “Good”과 “Acceptable”의 경계는 0.25 in/sec가 되며, “Acceptable”과 “Unsatisfactory”의 경계는 0.63 in/sec가 되는 식입니다.

ISO10816-1 표준이 좋은 지침을 제공하지만, 일부 기계 관리자들은 기계 분류와 경보치를 따르지 않을 것입니다. 또한, 일부 기계들은 ISO 규격에서 규정한 경보치를 상회하는 진동 상태로 항상 운전되는 기계에 대해서도 마찬가지입니다. 냉각탑 내의 팬과 기어박스가 견고하게 고정되지 않는 경우가 이러한 예가 될 수 있습니다. 견고하지 않은 기계 설치의 기계의 크기에 비해 더 높은 케이싱 진동을 나타냅니다. 기어박스의 지지 구조가 기어박스의 무게에 대비하여 충분한 강성을 가지고 있는 경우라도 팬의 불균형력에 의한 흔들림에 의해서도 발생할 수 있습니다. 다시 말하면, 팬의 날개에서 발생하는 불균형력이 기어 박스

지지대를 흔드는 경우에 그 크기가 작을 때는 특별한 조치가 필요하지 않습니다.

이해할 필요가 있는 한가지 점은 진동의 “기본 수준”입니다. 기계들은 동일해 보일 수 있으나 사람과 마찬가지로 각각의 특성을 가지고 있고 다른 진동을 나타냅니다. 기계를 완벽하게 밸런싱을 한 경우에도 서로 다른 진동을 나타냅니다. 심한 경우에는 그 기본 크기가 2~3배가 될 수도 있습니다. 진동 분석 전문가들은 이러한 현상에 대해 잘 이해하고 있습니다. 각 기계의 진동은 개별적인 “기본 수준”에서부터 경향 데이터를 구축할 수 있습니다. 이러한 “기본 수준”은 일정 기간 일정 운전 조건에서 동일하게 나타나는 경우 정비 요원들과 협의하여 그 값을 결정할 수 있습니다.

ISO 지침이 적절한 경우나 그렇지 않은 경우나 기계 관리자들은 경보치를 설정하여야 합니다. 이때, 영역과 경계의 관계는 도움이 될 것입니다. 각 영역간의 경계점은 2.5배의 관계에 있는 지침을 활용하여 진동 변화에 따른 경보치를 설정할 수 있습니다.

예를 들어, “Class II” 기계에서 “기본 수준”이 0.2 in/sec로 결정되었다고 합시다. ISO 규격에서 제시한 지침보다 높은 진동을 기록하고 있는 여러가지 설치 여건과 운전 조건이 있을 수 있습니다. 그러나 이 기계는 향후 몇 년간 운전되어야 하며, 어떤 사람도 불시에 정지되어 생산에 영향을 주기를 원하지 않을 것입니다. 어떤 사람도 기계의 진동이 0.4 in/sec로 증가하여 기계가 정지되는 것을 원하지 않을 것입니다. 진동 수준이 두 배로 증가하였으나 이것이 비정상적이거나 매우 위험한 상태를 나타내는 것은 아닙니다. 이러한 경우 어떤 경보치가 가장 적절할까요?

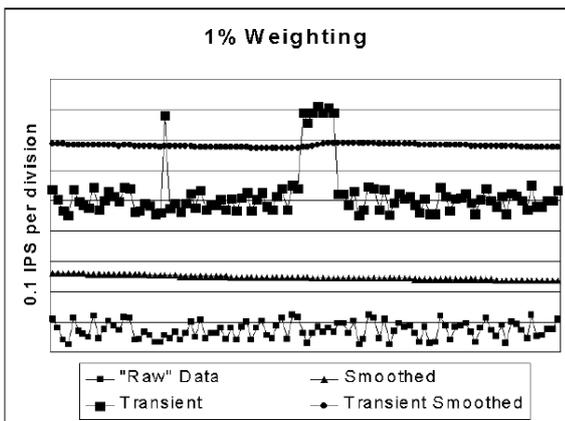
위에서 언급한 경계치 간의 배수 관계를 적용하여 그 크기를 증가하여 결정합니다. 그 값을 3으로 설정하면 기계는 0.6 in/sec가 되었을 때 설비 관리자들에게 이상 유무를 알려 주어 정비를 계획하도록 합니다. 그러나 경보치를 결정하는 것은 경험치와 정확한 판단이 요구되는 중요한 작업임을 유념하여야 합니다.

## 5.2 불필요한 경보

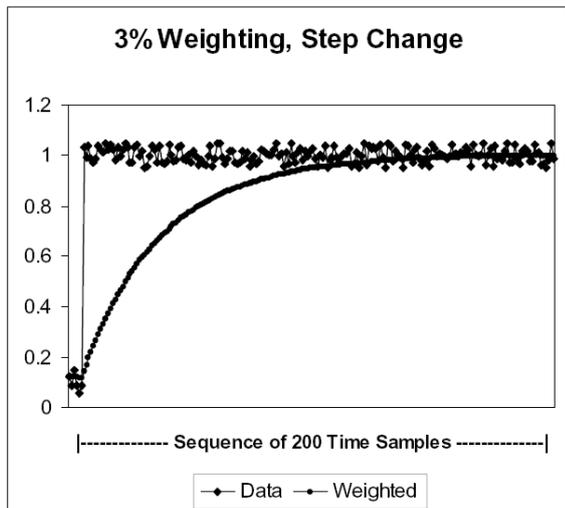
4-20mA 진동 센서를 사용하는 기계 관리자들은 불필요한 경보가 너무 많이 발생한다고 불평합니다. 여기에는 여러가지 이유가 있을 수 있습니다. 갑작스런 높은 진동이 발생하였을 경우에도 이러한 현상이 발생합니다. 원인으로서는 신호 차폐나 접지에 이상이 발생하거나 운전 조건의 급격한 변화가 있을 수 있습니다. 예를 들어 지게차가 기계를 건드리거나

기계가 설치된 기초 근처에 충격을 주었을 경우에 짧은 시간이지만 높은 진동이 기록됩니다.

이러한 현상을 최소화할 수 있는 한 가지 방법으로는 진동을 평균화하여 지시하는 것입니다. 그러나 많은 진동 측정치들을 평균화하는 것은 실용적이지 못할 수도 있습니다. 또 다른 방법은 새로 측정된 값에 일정한 비율을 적용하여 기존의 평균값에 산술적으로 더하여 평균화하는 것입니다. 예를 들어, 기존 평균치에는 99%를 적용하고 새로 측정된 값에는 1%를 적용하여 산술적으로 더하면 최종값이 산출됩니다. 이것은 1% 비중치라고 볼 수 있습니다. 이러한 기법은 초기에는 경보를 발생하지 않을 수 있으나 500회 이상의 데이터 측정 후에는 충분히 그 결과가 변경됩니다.



다음 그림은 데이터가 경향에 어떤 영향을 미치는지를 나타내고 있습니다. 아래의 두 경향은 1% 비중치가 적용된 것으로 급격한 경향 변화가 발생하지 않지만 실제 진동과 유사한 경향을 나타냅니다. 위쪽의 두 경향은 실측치를 경향으로 표시한 것으로 6개의 측정치는 경보치를 상회하는 값으로 기록되어 있습니다.

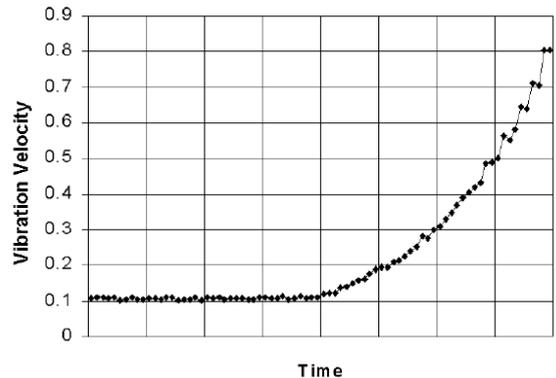


새로 수집된 데이터가 더 많은 영향을 주고 빠른

수렴성을 원한다면 비중치를 1%에서 3%로 조정하면 됩니다. 이러한 경우에는 약 100회의 측정 후에는 그 값이 현재 측정값과 유사하게 조정될 수 있습니다.

### 5.3 진동 증가 비율

ISO10816-1 규격은 절대 진동을 측정에 대해서만 고려되었습니다. 앞서 설명된 그림에서 설명된 것과 같이 기계가 ISO 규격에서 명시한 것과 달리 좋지 않은 경향을 나타내는 경우도 있습니다.



ISO 규격에서 진동 경향이 증가하는 비율에 대해서는 고려하지 않고 단지 현재 측정치에 대해서만 고려하고 있습니다. 진동 경향치의 증가 비율은 기계 상태를 평가하는데 유용한 정보가 될 수 있습니다.

기계가 기계적인 문제를 가지고 있는 경우 진동은 증가할 것입니다. 이러한 진동의 증가는 기계적 손상이 진행되는 것과 비례하여 나타납니다. 일정 기간 동안의 진동 증가 비율을 관측하면 허용된 진동 경보치까지 증가하는데 걸리는 시간을 추정할 수 있습니다. PLC나 DCS에 이러한 경향 그래프를 분석할 수 있는 알고리즘을 프로그래밍 하면 더욱 효과적인 설비 관리가 가능합니다. 그러나 통상적으로 이러한 기능은 잘 사용되지 않습니다.

기계의 전체 진동이 “기본 수준”의 2배로 증가하였을 때, 증기 비율 또한 경향화하여 감시합니다. 이를 통해 “기본 수준”의 2배에서 3배로 증가하는데 소요되는 기간을 산출할 수 있으며, 추가적인 50%의 상승에 대한 기간을 산출하여 확인할 수 있습니다. “기본 수준”의 3배는 기 설정한 경보치에 해당합니다. 진동 증가 비율 경향을 통해 경보치 도달 기간을 산출하고 진동의 심각성을 미리 파악할 수 있습니다.

ISO10816-1에서 명시한 “Good”과 “Unacceptable”의 경계는 “기본 수준”의 6배가 됩니다. 전체 진동이 3배 정도로 증가하고 지속적으로 증가하는 상태에 있을 때, 2배에서 3배로 증가하는데 1개월 이내가 경과하였다면 이는 즉각적인 기계 정비를 고려하여야 합니다.

진동이 “기본 수준”의 2배에서 3배로 증가하는데 걸리 시간의 2배 이내에서 기계의 심각한 손상을 방지하기 위해 정비 작업을 실시하는 것이 좋습니다.

이러한 경향 분석과 경향 증가 비율에 대한 고찰은 일반적인 상식과 정확한 판단의 기준이 될 수는 없습니다. 공장의 설비운전과 정비에 대한 책임을 맡고 있는 관리자 등은 고장이 발생한 기계에 대해 어떤 작업이 수행되어야 할 것인지를 가장 잘 알고 있습니다. PC420V 시리즈 센서는 설비 관리자들이 기계의 전체 진동을 감시할 수 있도록 설계되었습니다. 진동 경보치의 설정과 경향 증가 비율은 자동화된 감시 업무로 전환할 수 있습니다.

## 6. PC420V 시리즈 속도 변환기의 최대 측정 범위 선정

지금까지 본 지침은 ISO 규격의 진동 수준과 진동 증가 비율에 대해 살펴보았습니다. 이점을 숙지하고 있으면, PC420V 시리즈 속도 변환기의 적절한 최대 측정 범위를 선택할 수 있습니다. 이론적으로 다음 세가지 질문에 대해 쉽게 답변할 수 있을 것입니다.

### 6.1 정상상태에서의 기계에서 측정되는 진동은 얼마입니까?

이 값은 매우 중요한 의미를 가지는데, 일반 진동 수준에서 아주 미세한 변화를 감지하기에 충분한 해상도를 가지는 신뢰성 측정치를 제공할 수 있도록 하여야 합니다. 변환기는 일반적인 진동치가 최대 측정 범위의 10~20% 범위 내에 있는 것을 선정하여야 합니다. 예를 들어 정상 상태의 기계에서 측정되는 진동이 0.15 in/sec peak 인 경우 최대 측정 범위는 1.0 in/sec peak인 제품이 최적일 수 있습니다.

### 6.2 최대 허용 진동치는 얼마입니까?

기계 제작사에서 최대 진동 허용치를 제공한 경우, 이 값을 이용하여 PC420V 시리즈 속도 변환기의 최적 측정 범위 제품을 선정하는 기준으로 사용하여야 합니다. 기계 제작사에서 최대 진동 허용치를 제공하지 않은 경우에는 ISO 규격에서 제시한 기준을 적용합니다. 예를 들어, 200HP의 전동기가 강성 축인 경우 최대 허용 진동치는 0.63 in/sec peak입니다.

### 6.3 최대 허용 진동치 이상에서의 경향 데이터 수집을 원하십니까?

PC420V 시리즈 속도 변환기는 최대 측정치보다 더

높은 값을 측정할 수 있는 능력을 가지고 있습니다만, 사용자들이 더 많은 범위를 원할 수도 있습니다. 50HP 전동기가 날개에 균열이 발생했던 이력이 있는 송풍기를 구동할 수 있습니다. 균열이 발생하였을 때, 송풍기의 진동은 1 ~ 2 in/sec의 진동이 관측될 수 있습니다. 이 경우 속도 변환기의 최대 측정 범위를 2.0 in/sec까지 측정할 수 있도록 하여 균열이 발생한 날개의 불균형력에 대응할 수 있도록 할 수 있습니다.

만약 상기의 질문에 하나도 답변할 수 없다면, ISO 규격에서 제시한 값에 따라 PC420V 시리즈 센서의 최대 측정 범위를 선정할 수 있습니다. 100HP 이하의 작은 기계에 대해서는 통상 0.5 in/sec peak의 측정 범위를 갖는 변환기가 가장 적절합니다. 100HP 이상의 기계에 대해서는 1.0 in/sec peak의 측정 범위가 적절합니다. 특정 기계 문제와 관련된 고진동의 이력을 가진 기계에 대해서는 2.0 in/sec peak의 측정 범위를 가지는 PC420V 시리즈 속도 변환기를 선택할 것을 권고 드립니다.

## 7. 측정 위치

진동 측정 위치에 대한 일반적인 사항에 대해 다음과 같이 기술할 수 있습니다. “회전 요소가 구조물과 접촉하는 모든 부위에서 진동을 측정할 것”. 변환기가 설치된 위치에서 부가적으로 측정되는 값은 구조물과 관련된 문제를 추정하는데 도움이 될 수 있습니다. 예를 들어, 회전 기계를 지지하는 구조물의 공진 현상 또는 펌프에 연결된 파이프의 공진 현상 등이 있습니다.

일반적인 진동 센서의 설치 지침은 “ISO 10816-1:1995 기계 진동 - 비회전부에서의 진동 측정에 의한 기계의 평가, 파트 1: 일반 지침”에 기술되어 있습니다. 다음은 “3.2 측정 위치”에 기술된 지침입니다.

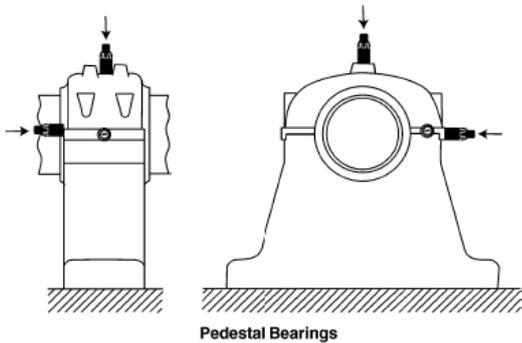
*Measurements should be taken on the bearings, bearing support housing, or other structural parts which significantly respond to the dynamic forces and characterize the overall vibration of the machine.*

*To define the vibrational behavior at each measuring position, it is necessary to take measurements in three mutually perpendicular directions. The full complement of measurements (at each support and in three mutually perpendicular directions) is generally only required for acceptance testing. The requirement for operational monitoring is usually met by performing one or both measurements in the radial direction (i.e. normally in the horizontal-transverse and/or vertical directions). These can be supplemented by a measurement of axial vibration. The latter is normally of prime significance at thrust*

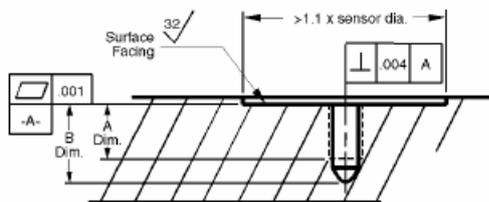
*bearing locations where direct axial dynamic forces are transmitted.*

본 지침은 회전체 진동을 베어링에서 90° 간격을 두고 반경 방향으로 2개소와 축 방향 1개소를 측정하도록 명시하고 있습니다. 이것은 또한 대부분의 진동 분석 장치 제작사와 진동 교육 과정에서도 동일하게 권고하고 있습니다.

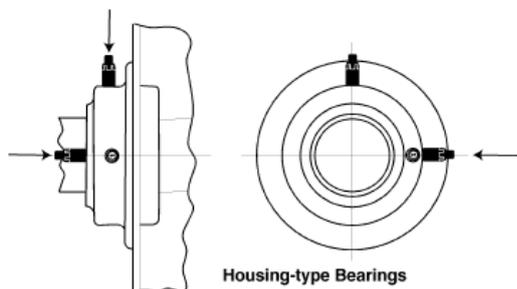
다음 도해는 각 측정 위치에서 영구적으로 진동 센서를 설치하는 경우 완벽한 설치 위치에 대한 예를 나타냅니다.



또한, 기계에 설치되는 센서가 최적의 상태 될 수 있도록 하는 설치 표면에 대한 가공 정도를 표시하고 있습니다.

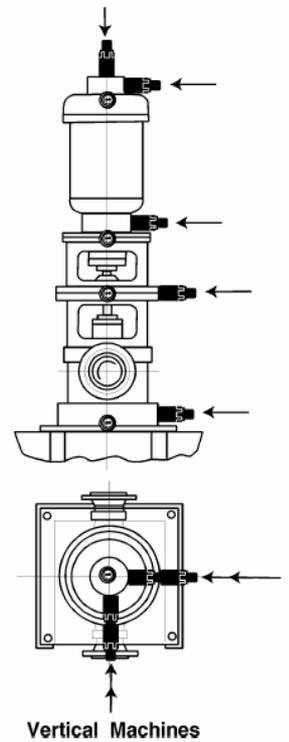


설치 지점에 대한 표면 가공과 나사 가공용 구멍 가공은 Wilcoxon 사의 ST101, Spot-face tool을 이용하여 동시에 가능합니다. ST101은 1.25 인치의 센서 설치 표면 가공과 동시에 1/4-28 나사산 생성용 구멍을 쉽게 가공할 수 있습니다. 산업용 가속도 센서의 설치와 관련된 추가적인 정보는 Wilcoxon Research Inc.사의 홈페이지에 게시된 “Technical Note

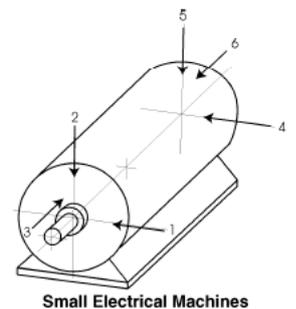


**21, Mounting Considerations”**을 참고하시기 바랍니다.

가장 많이 가지는 의문점 중 하나는 “각 베어링에 세 축 모두에 대해 진동 측정 센서를 설치하는 것이 반드시 필요한가?” 하는 것입니다. 일반적인 답은 “아니오”입니다. ISO 문서에서도 운영상 필요로 하는 하나 또는 두 방향에 대해서 센서를 설치하는 것을 허용하고 있습니다.



베어링 기초에 대해 표현된 다음 도해에서, 베어링을 지지하고 있는 구조물은 수직 방향으로 최대의 강성을 가지고 있습니다. 결론적으로, 베어링에서 발생하는 최대 진동을 측정하고자 한다면 수평 방향 (반경방향)에서 최대 진동치가 측정될 것입니다. 이유는 수평 방향의 강성이 수직 방향의 강성보다 낮기 때문입니다. 일반적으로 각 베어링당 한 개의 센서가 설치되어야 한다면 지지 강성이 가장 낮은 방향으로 설치하는 것이 권고됩니다.



수직 펌프와 같이, 수직으로 고정된 설비들은 수평 방향으로 어느 각도로나 동일한 강성을 가집니다. 결과적으로 측정치는 동일하게 나타날 것입니다. 그러나 이것은 기계의 구조와 밀접한 관련이 있으므로 기계 지지 구조를 검토하여야 합니다. 지지 구조에서 서로 동일하지 않은 경우에는 특정 방향의 진동이 더 높게 측정될 것입니다. 이러한 경우, 센서는 가장 강성이 약한 방향으로 설치되어 높은 진동치를 측정할 수 있도록 하는 것을 권고 드립니다.

축 방향에 대한 진동 측정에 대해서도 의문이 있을 수 있습니다. 각 베어링 위치에서 진동을 측정하였을 경우, “모든 위치에서 축 방향 진동도 측정하여야 하는가?” 하는 것입니다. 이것이 절대적으로 필요한 것은 아니지만, 추력 베어링이 위치한 곳이나 축 방향 부하를 받는 곳에서 최소 한 개의 진동 측정을 하는

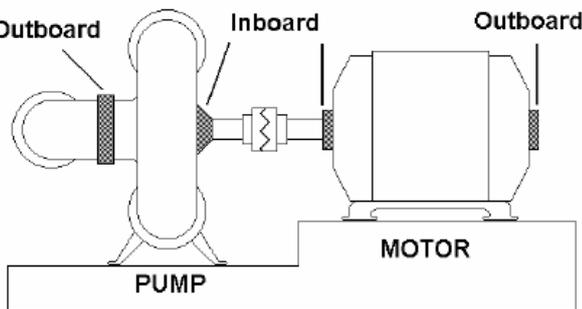
것을 권고 드립니다. 특정 기계 문제는 반경 방향 보다는 축 방향으로 그 변화를 나타내는 경향이 있습니다. 이러한 진동 에너지는 축 방향 부하를 받는 베어링을 통해 기계의 케이싱에 전달되며, 이 지점이 최적의 측정 지점이 될 수 있습니다.

진동 측정 위치에 대한 또 다른 지침은 기계의 실제 정비 작업을 통해서 얻을 수 있습니다. 특정 기계 또는 동일한 종류의 기계가 특정 문제를 겪었던 이력이 있다면, 이러한 문제를 가장 잘 측정할 수 있는 지점에 센서를 설치하는 것을 권고 드립니다. 예를 들어, 특정 모델의 펌프에서 펌프의 구동부 측 베어링에서 지속적인 문제가 발생하였다면, 구동부 측 베어링에서 반경방향의 진동을 측정하는 것이 가장 좋은 위치가 될 수 있습니다. 한 개의 센서만 설치할 수 있는 경우, 기계의 고장을 가장 잘 나타내는 위치에 설치하는 것이 최선의 선택입니다.

진동 분석 전문가들이 직면하는 가장 큰 두 가지 문제는 얼마나 많은 센서를 어느 위치에 설치하여야 하는 것입니다. 일반적인 규칙은 한 개의 센서만 설치하여야 하는 경우에는 추력 베어링에 설치하여 반경방향과 축 방향에 대한 베어링 손상을 동시에 감시하는 것입니다. 축 방향의 진동 에너지가 더 낮게 관측되지만 분석에서는 효과적입니다.

그 외에 추가적으로 센서를 어디에 설치할 것입니까? 최적의 센서 수량은 몇 개입니까? 축 방향 측정이 한 가지이며, 반경 방향이 다른 한 가지입니다. 일반적인 한 개의 구동기와 한 개의 피구동기 구조를 가진 기계는 (예, 전동기 구동 수평 펌프) 4개의 베어링이 있으며, 한 개는 추력 베어링 역할을 합니다. 이러한 경우 5개의 센서를 설치하는 것이 최적입니다.

예를 들어, 도해에 표시된 모터 구동 펌프를 고려해 봅시다. 여기에는 모터에 2개, 펌프에 2개로 총 4개의 베어링이 축을 지지하고 있습니다. 펌프의 구동부 측 베어링은 추력 베어링 역할과 반경방향 베어링 역할을 동시에 하고 있습니다. 이 경우, 최적의 센서 수량은 5 개입니다. 각 베어링의 수평 방향으로 1개씩의 센서를 설치하고 펌프 구동부 측 베어링에 축 방향으로 1개의 센서를 설치합니다.



## 8. 결론

진동 변환기는 산업 현장에 진동을 다른 변수와 같이 PLC 또는 DCS에서 감시할 수 있도록 해 줍니다. 진동은 유량, 압력 또는 온도와 달리 생산 공정과 직접적인 관련을 가지고 있지 않습니다. 진동 스크린이나 믹서 등은 직접적인 연관이 있어 일정 수준 또는 직접적으로 생산과 관련을 가지고 있습니다.

공장의 설비 관리자들은 어떤 수준의 진동 경보치를 설정하여야 할 지를 결정하여야 합니다. 기존에 수집된 진동 데이터를 통해 수용 가능하거나 경보를 발생시켜야 하는 제한치를 얻을 수도 있습니다. 과거 수집된 데이터가 없는 경우에는 ISO 10816 규격을 이용하여 적절한 진동 경보치를 설정할 수 있습니다. 이 규격은 진동 경보치를 설정함에 있어 필요한 추가적인 정보를 제공하고 있습니다. 본 지침서에서는 기준 수준, 증가 비율 및 데이터 가중치 등에 대해 소개하였습니다. ISO 10816을 사용하여 몇 개의 센서를 설치하고 어느 위치에 설치하여야 하는가에 대해서도 설명하였습니다.

그러나, 진동을 감시하여야 하고, 어느 위치에 센서를 설치하며, 허용 가능한 진동 수준이 얼마이고 언제 정비 작업을 수행하여 하는지를 결정하는 것은 공장의 설비 관리자가 가져야 하는 기본적인 책무입니다. 본 지침은 이러한 결정에 도움을 주기 위해 작성되었으며, 경험 많은 정비 전문가의 지식을 대체하기 위한 목적은 아닙니다. 운전 요원과 정비 전문가들은 관리 대상 설비들에 대해 가장 좋은 상태가 어떤 것인지 잘 알고 있습니다.

진동 감시가 관련된 어떤 상황에서도 가장 최선의 지침은 일반적인 상식과 최선의 판단입니다.