

기계의 진동상태감시를 위한 순서

양 보 석 역
(부경대학교 기계공학과)

본고는 ISO(International Organization for Standardization)의 TC 108(Vibration 및 Shock) 기술위원회 SC2와 SC5가 공동으로 작성중인 기계의 상태감시에 관한 4차 Working Draft를 번역한 것이다. ISO는 현재 상태감시 및 진단에 관한 규격을 처음으로 제정중에 있고, 그중에서 본고의 내용은 거의 마무리 단계에 있다. 국내에는 발전 및 석유화학플랜트를 비롯한 다양한 설비들이 가동중에 있고, 설비운용적인 측면에서 최근 상태감시시스템을 도입하고 있다. 그러나 이에 관련하여 기계의 상태를 정확하고 확실하게 평가할 수 있는 통일적이고도 객관적인 감시순서가 설정되어 있지 않고, 관련시스템 제작사의 기준에 의존하고 있는 실정이다. 따라서 본고는 현장의 설비 운용 및 보전담당자에게 통일적인 지침을 제공할 수 있는 최신의 객관적인 자료로서 관련 기술자들에게 도움이 되도록 번역을 시도하였다. (역자주)

1. 머리말

기계의 진동상태감시의 주요한 목적은 기계의 작동상태에 있어서 보호와 예지보전(predictive maintenance)을 위한 정보를 제공하는 것이다. 이 과정에서 중요한 부분은 작동중인 기계의 진동상태 평가이다. 기계의 상태를 정확하고 확실하게 평가하는 통일적으로 받아들일 수 있는 기준을 설정하기 위해서, 그리고 계측된 데이터가 언제, 어디서, 누구에 의해 계측되었는가에 관계없이 재현성이 있고, 비교될 수 있도록 하기 위해서는 진동상태 감시에 대한 순서가 표준화되는 것이 바람직하다.

진동상태의 감시는 다음과 같은 목적에 대한 정보를 제공할 수 있다.

- 설비보호의 강화
- 사람을 위한 안전성의 향상
- 보전순서의 향상
- 문제의 조기발견
- 조기고장의 연장
- 설비수명의 향상
- 작동능력의 향상

상태감시에서 진동계측은 매우 간단한 것에서부터 대단히 복잡한 많은 형태가 있다. 그리고 그것은 연

속적 또는 주기적(정기적)인 계측을 포함할 수 있다. 그러나 그것들은 모두 기계상태의 정확하고 확실한 평가를 수행한다는 공통적인 목표를 분담한다. 이 기준 중에서 추천되는 계측기 사용법과 순서는 그 목적을 달성할 것이다. 이 기준은 상태감시를 위한 기계진동의 계측과 데이터수집에 대한 일반적인 지침을 제공한다. 계측순서와 실행의 일관성을 촉진하는 것이 의도되고 있다.

진동거동의 변화는 전형적으로 다음에 의해 야기된다.

- 불평형(unbalance)
- 정렬불량(misalignment)
- 저널, 구름베어링의 마모, 손상
- 기어결손
- 중요 요소(축, 블레이드 등)의 크랙
- 과도운전
- 유체기계의 유체유동교란
- 전기기계의 과도적인 여자
- 접촉(rubbing)

2. 적용 범위와 분야

이 기준은 기계상태감시 프로그램에서 진동데이터 수집을 위한 통일된 순서를 확립한다. 이 프로그램

은 어떤 경우에는 왕복동 기계도 포함하지만, 전형적으로 회전기계를 고려하고 있다.

상태감시에 대한 방법의 다양성 때문에, 특별한 감시 프로그램에 대한 특수한 권고는 부록에서 취급한다. 이 부분은 극히 일반적인 권고를 제공하는 기본적인 문서이고, 다음에 표시하는 문제를 포함한다.

- 계측법
- 기계의 운전상태
- 계측 파라미터
- 진동감시 시스템
- 센서의 선정
- 신호조정 시스템
- 센서의 위치
- 데이터처리 시스템과의 interface
- 센서의 부착
- 온라인 연속감시
- 데이터 수집
- 불연속(정기)감시

기계의 진동상태는 베어링 또는 하우징 구조물의 진동계측이나 기계 회전부의 진동계측에 의해 감시된다. 부가적으로 계측은 연속 또는 불연속일 수 있다. 이 기준은 연속과 불연속 양쪽 모두에 대해서 권장되는 계측형태에 대한 안내를 제시한다.

간헐시스템은 때때로 사용되고, 이는 영구형 온라인 시스템이나 정기적인 시스템에서도 있을 수 있다. 온라인 불연속시스템은 multiflex 결합을 갖는 자동진동 감시시스템을 포함한다. 이 경우 모든 채널은 off limit조건에 관련하여 다음에서 다음으로 주기적으로 조사된다(scan). 계측시스템은 영구적으로 작동하지만, 개개의 계측점을 감시할 때에 시간차가 있고, 감시되는 채널의 수와 채널 당의 계측주기에 의존한다.

강조되는 것은 이 기준은 기계의 진동상태감시에 대한 순서를 다룬다는 점이다. 그러나 대부분의 경우, 기계의 완전한 상태감시는 다른 작동 파라미터 또는 부하레벨이나 프로세서의 변동, 온도, 압력 등의 주위의 조건을 포함해야 할 것이다. 이들 진동 이외의 파라미터는 이 기준으로부터 제외된다.

3. 공식 참고 자료

- ISO 10816 시리즈(이전의 ISO 2372) “기계진동-비회전부의 기계계측에 의한 기계진동의 평가”
- ISO 7919 시리즈 “비왕복운동기계의 기계진동-회전축의 측정과 평가기준”
- ISO 9000 시리즈 “교정기준”

4. 측 정

4.1 측정량

진동은 변위(μm), 속도(mm/sce) 또는 가속도(mm/sce^2)로 측정된다(진동파형의 관계에 대해서는 ISO 10816-1의 부록을 참조). 특별한 경우(이 기준의 별도절에서 논의)를 제외하고 기계의 정지부에서 상태감시의 경우 자주 이용되는 양은 진동속도이다. 회전부에서 위치와 동작의 감시를 위해서는 변위가 필요로 된다.

유막베어링으로 지지된 축은 기계가 정지에서 작동으로 이동할 때에 DC, 또는 정적 이동을 경험할 수 있다. 이 변위는 직접적으로 진동성분은 아닐지라도, 초기설정 위치이후 움직임이 없으므로, 진동 변위 센서에 의해서 얻어지는 값이다. 그리고 이것은 기계의 동적인 진동거동을 측정하는 기준위치를 제공하므로 기록해야 하고, 상태감시를 위해 필요하다.

4.2 측정의 형식

일반적으로 기계의 상태감시에 이용될 수 있는 세 가지 형태의 진동계측이 있다.

(가) 베어링 캡(cap), 기계 케이싱 또는 기계 밑면(base) 등과 기계의 비회전 구조물에서의 진동계측

(나) 회전체(rotor)와 고정된 베어링 또는 하우징 사이의 상대운동

(다) 회전요소의 절대적인 진동적 운동

구름베어링을 갖는 기계는 베어링 캡 또는 기계 케이싱에 대한 진동계측이 일반적으로 감시목적에 적절하다. 유막베어링을 가지는 기계에서는 축의 운동이나 진동을 역시 계측하는 것도 필요할 것이다.

ISO 10816 시리즈와 ISO 7919 시리즈는 광대역(broadband)계측만을 기술하고 있다. 그러나, 상태감시에서는 다음과 같은 부가적인 진동계측과 분석을 수반한다.

- 벡터해석과 위상
- 스펙트럼 분포
- Filtering
- 시간파형과 개도(orbit)

(1) 비회전 구조물상의 계측

ISO 10816시리즈는 다른 등급(class)의 기계에 대해 명확한 순서와 계측기를 제시한다. 이들 기준은 선택된 평가 파라미터로서 광대역 RMS진동속도

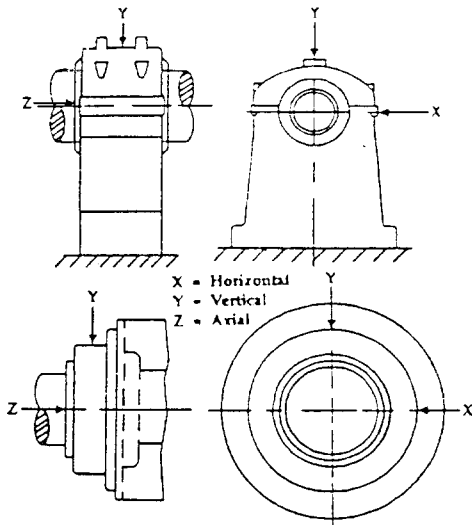


그림 1 기계 케이싱 위의 진동측정을 위한 센서위치

(mm/sec, rms)를 적용한다. 계측은 속도변환기(velocity transducer) 또는 적분회로를 가지는 가속도계(accelerometer) 중 어느 것에 의해 수행된다. 이런 형태의 계측의 전형적인 위치는 그림 1에 표시한 각각의 베어링 캡 또는 가대(pedestal) 위이다. 스톱베어링을 가지는 기계에서는 기계의 축방향의 운동도 감시하는 것이 권장된다.

(2) 하우징에 대한 축의 상대운동

ISO 7919 시리즈는 다른 등급의 기계에 대해 명확한 순서와 계측기를 제시한다. 마이크로단위의 양진폭($\mu\text{m P-P}$) 광대역 진동변위의 척도가 요구된다.

상대변위는 회전축 또는 요소와 동일평면내의 정지요소사이의 반경방향 상대운동을 계측하도록 배치된 비접촉 센서에 의해서 가장 잘 측정된다. 그림 2는 이러한 비접촉 센서시스템의 전형적인 설치를 보여준다.

진동측정위치는 기계의 동적인 힘에 대해 정확한 감도를 제공할 수 있어야 한다. 전형적으로 이것은 개개의 측정평면에서 서로 직각인 두 개의 반경방향의 측정위치가 요구된다. 축의 변위측정에서는 90°의 각도를 가지고 설치하고, 벡터해석에 의해서 최대변위와 방향이 확인될 수 있도록 두 개의 센서가 필요로 된다.

센서는 임의의 각위치에 설치될 수 있지만, 축 측정에는 $\pm 45^\circ$ 의 위치가 회전축에 근접하기 쉽기 때문에 제공되거나 또는 선정되는 것이 보통이다. 그러나, 평형잡이(balancing)와 같은 어떤 종류의 감시조사에서는 수직방향과 수평방향이 보통 가장 좋은 결과를 제공한다. (축변위센서위치의 그림 2 참

조) 센서를 1개만 사용하는 것은 권장되지 않는다. 그리고 측정면에 1개의 센서를 사용하기 전에 주의가 필요하다. 이는 1개의 센서를 사용하는 것이 그 면에서 최대치를 제공하도록 방향이 주어지지 않

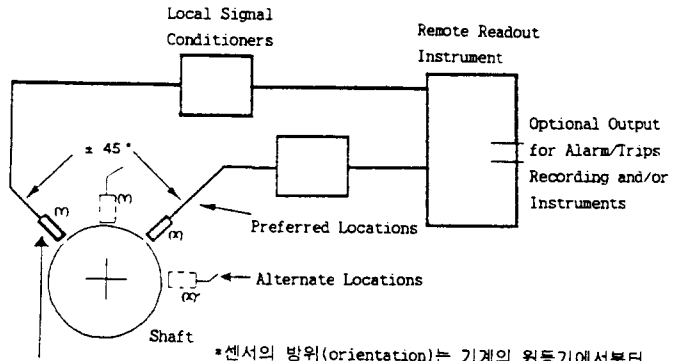


그림 2 비접촉 센서를 이용한 상대운동 측정시스템의 개략도

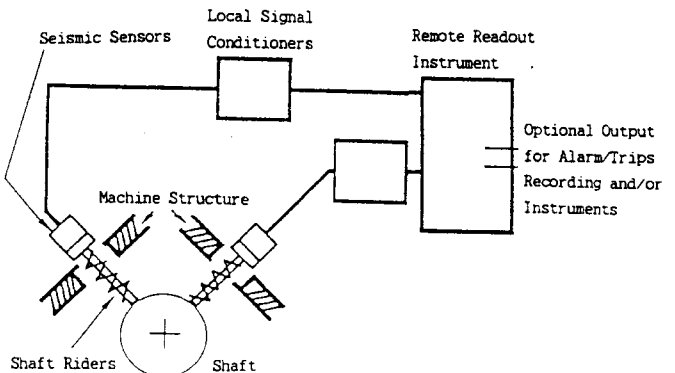


그림 3 Seismic 센서와 측정속 센서를 이용한 절대운동 측정시스템의 개략도

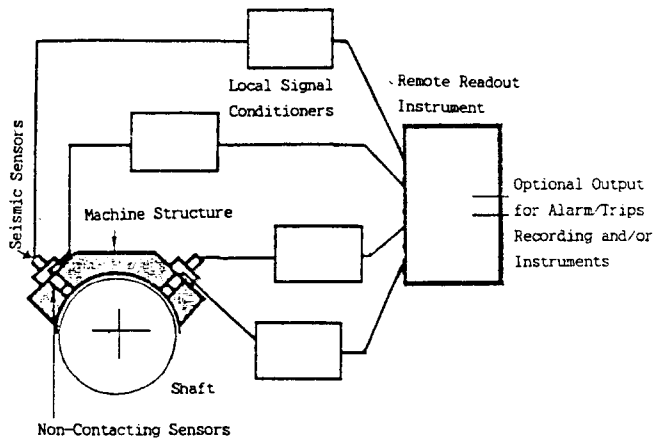


그림 4 비접촉 센서와 seismic 센서의 조합을 이용한 절대/상대운동 측정시스템의 예

을지도 모르기 때문이다.

(3) 축의 절대운동

유연지지 구조를 갖는 회전체, 탄성 회전체 (flexible rotor) 또는 회전체의 고유진동수 부근에서 운전하고 있는 기계는 절대운동감시가 필요할지도 모른다. 바람직한 방법은 비접촉센서와 seismic 센서의 조합이다. 그림 2~4는 이러한 측정시스템의 예를 나타낸다. 축에 접촉하는 형태의 센서 (shaft riding sensor)는 진동수대역에 제한이 있고 축의 위치를 측정할 수 없기 때문에, 이들의 사용은 제한된다. 이들은 비접촉센서와 seismic 센서의 조합에 의해 대부분 교체되고 있다.

4.3 진폭 영역

측정되어야 할 진폭영역 (amplitude range)은 감시되는 특정 기계의 평가에 적용되는 기준에 근거해서 선정해야만 한다. 그리고 예상되는 최저로부터 최대의 레벨을 망라해야만 한다. 이전의 경험이 없는 경우에는 진동속도계측을 위해 권장되는 진폭영역의 적용가능한 기준을 참조한다.

시험장비는 측정해야 할 최소의 진폭레벨을 적어도 10 dB 이하의 등가자기 noise를 확보가능하고, 동시에 overload 없이 최대레벨의 적어도 10 dB 이상이 제공되도록 설정해야만 한다.

4.4 주파수 영역

신뢰할 수 있는 상태감시를 위해서는 측정장비는 축회전주파수 및 그 배수성분 (harmonics)만이 아니라, 베어링, 기어, 시일, 블레이드, 깃 (vane) 등의 다른 요소에 기인하는 진동수도 포함하도록 넓은 주파수영역 (frequency range)을 망라할 수 있어야 한다. 주파수영역은 가능하면 감시되는 특유의 기계에 맞추어져야 할 것이다. 그러나, 센서의 최대선형영역을 초과해서는 안된다. 센서의 최대선형영역은 지정된 측정정도의 범위내에 있고, 센서의 눈금감도 (calibration sensitivity)가 일정한 주파수와 진폭의 범위이다.

시스템의 주파수영역은 최저회전주파수의 0.2배에서 최고여진주파수의 2배까지를 망라해야 한다 (10 kHz 한계를 초과하지 않고). 전형적으로는 최고 여진주파수는 회전진동수와 블레이드수, 기어의 잇수 또는 깃수의 곱, 구름베어링주파수 등이다. 펌프의 경우 깃통과 진동수의 2배, 캐비테이션 여기진동 등이 발생할 수 있고, 이것은 이 영역을 초과할 경우가 있다.

4.5 위 상

두 개의 진동원사이의 위상각 (phase angle)은 신호를 평가할 때, 중요한 고려사항이다. 위상은 하나의 진동신호의 다른 신호에 대한 시간지연 (time lag) 또는 고정된 기준에 대한 진동신호의 시간지연의 척도이다.

상태감시의 목적을 위해서 위상지연이 위상값으로서 자주 사용된다. 위상지연은 축위의 기준점과 진동신호의 최대진폭사이의 지연시간이다. 축위의 불연속점을 통과할 때, 신호를 발생시킬 수 있는 고정된 센서가 timing의 기준으로서 사용된다. 위상기준점의 물리적 위치는 종종 트리거위치 (trigger location)라고 불리우고, 임의의 위치에 좋지만, 만약 가능하다면 축의 키홈 (keyway)이 기준점으로서 권장된다. 키홈이 없을 때는, 1회전당 한 번씩 존재하고 뚜렷한 신호를 발생시킬 수 있는 축위의 어떤 다른 불연속점도 영구적인 위상 기준으로서 사용할 수 있다. 일시적인 방법으로는 축에 반사테이프를 부착하고 광센서 (optical sensor)를 사용함으로써 트리거 (trigger)로서 역할을 할 수 있다. 그러나, 이 방법으로 얻어진 데이터의 정확성은 상태감시에는 불충분할지도 모른다는 점에 주의하기 바란다.

위상측정의 가장 일반적인 사용은 불평형의 측정과 수정, 정렬불량의 검정, 공진의 확인 등이다. 부가적인 용도로서 기계부품사이의 상대운동의 측정을 통한 결합검출, 연성효과 (cross-coupling effect), 그리고 기계공진의 동정 (identification) 등이 있다.

두 점간의 위상을 측정할 때, 장비의 위상오차 (phase error)를 피하기 위해서, 동일한 센서를 사용하는 것이 중요하다. 또는 그 차이에 대해 보정이 필요하다.

4.6 측정 정도

이 순서에서의 만족할 수 있는 계측은 두 개의 부류로 나뉘어진다.

Type 1의 계측은 측정의 지정주파수영역에 대해 눈금감도의 $\pm 5\%$ 의 허용공차를 갖는다.

Type 2의 계측은 계측의 지정주파수영역에 대해 눈금감도의 $\pm 10\%$ 의 허용공차를 갖는다.

지정주파수영역에 대해 눈금감도의 변화가 10%를 넘어서는 계측은 만일 센서측력을 균등하게 하도록 특별한 주의를 기울이지 않는다면, 이 순서에 따를 수 없다. 이 순서에 따른 계측은 적절한 type 1 또는 type 2의 지정을 이용해서 명기되어야만 한다.

4.7 센서

기계의 진동상태감시에는 4종류의 기본적인 센서 형태가 있다. 즉, 변위, 속도, 가속도 그리고 상대 변위변환기이다. 스트레인 게이지와 같은 다른 센서도 적용될 수 있는 몇몇 기계적용예가 있다.

(1) 센서의 선정

적당한 센서의 선정은 개개의 적용에 의존한다. 일반적으로 상태감시에 사용되는 가장 일반적인 센서는 출력이 세 가지 모든 파라미터(가속도, 속도, 변위)를 제공하는 적분가속도계와 출력이 축과 케이싱간의 상대변위를 제공하는 비접촉의 검출기이다.

(가) 가속도계 (accelerometer)

가속도계는 측정되는 물체의 기계적인 진동 가속도에 비례하는 전압신호를 발생시키는 계기이다. 일반적으로, 가속도계는 기계의 정지한(회전하지 않는) 부분에 설치한다.

가속도계는 여러 가지 고유진동수를 갖는 것이 이용가능하다. 가속도계를 선정할 때는 가속도부착에 의한 고유진동수가 예상되는 기계의 최고 높은 여기진동수의 적어도 3배 이상이 될 것이 권장된다.

(나) 속도센서 (velocity sensor)

속도계는 측정되는 물체의 기계적인 진동속도에 직접 비례하는 전압신호를 발생시키는 계기이다. 일반적으로 속도계는 기계의 정지한(회전하지 않는) 부분에 설치한다.

속도센서는 전압신호가 자장중에서 스프링지지된 질량의 상대운동에 의해서 발생되기 때문에, 종종 지진계(seismometer)라고 부른다. 속도센서의 스프링-질량 특성 때문에, 일반적으로 약 5 Hz의 고유진동수를 갖는다. 그러므로 이들 저주파수에서의 응답 특성을 위해서는 주의하여 교정시키지 않으면, 이들 센서는 약 10 Hz보다 낮은 계측에 대해서는 권장되지 않는다.

(다) 변위센서 (displacement sensor)

진동변위는 적절한 신호조정회로와 조합된 속도 또는 가속도변환기에 의해서 계측된다. 단일 또는 이중 적분회로가 각각 속도 또는 가속도변환기와 함께 사용된다.

(라) 근접센서 (proximity sensor)

회전기계에 있어서 종종 회전체와 정지부사이의 상대변위를 측정하는 것이 필요하게 된다. 근접센서는 정지한 베어링이나 기계의 하우징을 기준으로해서 회전축의 진동변위와 위치를 측정가능한 비접촉 계기이다.

근접센서는 전기 코일에 의해서 감겨진 단순한 금속성의 봉이다. 코일의 무선주파수신호(RF signal)로 여자되면, 봉의 선단에 자장을 발생하고, 그것이 전도성의 재료 가까이에 위치할 때, 재료중에 와전류(eddy current)를 발생한다. 무선 주파수 신호의 진폭은 probe와 전도성 재료 사이의 거리에 따라 변한다. 센서가 선형영역에서 동작되고 있을 때, 직렬 전압의 출력신호는 틸새의 거리에 비례한다. 이와 같이 근접센서는 회전요소와 그것을 지지하고 있는 정지부사이의 진동과 정적위치변위 모두의 상대운동 계측을 가능하게 한다. 근접센서는 하우징에 있어서 속도센서와 조합시켜서 사용될 때 회전축의 절대운동을 제공할 수 있다.

(2) 센서의 부착

기계진동의 적절한 측정은 센서의 움직임을 정확하게 변환하는 것에 크게 의존한다. 정밀성을 유지하는 가장 넓은 영역은 고정된 센서부착으로 얻어진다. 그러나, 경우에 따라서는 휴대용(hand-held) 센서로도 충분하다.

고정센서의 부착을 위한 바람직한 방법은 센서와 기계에 드릴로 구멍을 뚫고 피스로 두 개를 조합시켜 일반적으로 달성가능한 정확한 기계적 고정이다. 피스에 의한 고정은 거의 또는 전혀 신호손실(signal loss) 없이 고주파신호를 전달할 수 있는 능력을 가지고 있다. 기계표면은 매끄럽고 평탄하며 깨끗해야만 한다. 경험에 의하면 최소한 0.04 mis(=1 μ m)의 표면가공과, 기계의 표면과 95% 접하고 있는 평탄함이 요구된다. 또한 특히 고주파수에서 응답신호의 전달성을 양호하게 하기 위해서, 표면전체에 실리콘 그리스의 얇은 코팅 또는 그것에 대등한 것의 적용이 권장된다.

피스에 의한 부착이 비현실적 또는 불가능한 곳에서는 센서를 기계표면이 부착하는데 접착제가 사용된다. 또 다른 간편한 센서를 기계표면에 부착하는데 접착제가 사용된다. 또 다른 간편한 센서 부착의 일반적인 방법은 영구자석을 사용하는 것이다.

이러한 방법들은 진동수, 온도, 진폭이라는 제한에 따르고 있을지도 모른다. 그 때문에 상태감시에 대해서는 충분한 주의를 가지고 사용해야만 한다.

영구적으로 부착되는 센서를 사용할 수 없는 곳에서는 휴대용 진동계가 유효하다. 휴대용 진동계는 진동수에 제한이 있고 500 Hz 이상에 대한 사용은 권장하지 않는다. 정확성과 재현성은 휴대용 진동계의 사용에 의해 타협될 수 있음직하다. 더욱이 고주파수에 있어서 얼마간의 구조상의 움직임에 의해서

예로 그것이 그 조사에 탐지될 수 없을지도 모르지만, 휴대용 진동계의 계측은 효과가 없다.

(3) 센서의 위치

상태감시의 목적을 위한 센서의 위치는 개개의 기계와 그 특유의 파라미터에 의존한다. 위치를 정하기 전에, 우선 어느 파라미터가 감시 되는가를 확인하는 것이 필요하다. 즉

- 기계 하우징의 절대진동
- 하우징에 대한 회전체의 진동적인 운동
- 기계작동중에 하우징에 대한 축의 위치
- 축의 절대운동

일반적으로 센서는 진동의 최대진폭을 가장 제공하기 쉽고, 마모 또는 손상을 가장 빨리 탐지하기 쉬운 위치에 장치해야만 한다. 특유의 위치선정은 기계제작회사의 경험에 근거해야 할 것이다.

(가) 센서의 방향과 확인

그림 2에 나타냈듯이 구동기(driver)로부터 기계의 피동기 축단을 보고 센서는 부착되고, 축의 회전은 보는 관점에 관계없이 X에서 Y에라든지 Y에서 X에로 표시된다.

(나) 기종에 대응하는 표

부록에서는 여러 가지 형태의 기계로부터 의미있는 진동데이터를 취득하는데 권장되는 위치를 나타낸다. 이들 위치와 방향은 베어링 근방 축의 측정과 측정심선을 통하는 작용선상 베어링의 측정에 대해서 주어져 있다. 이들 측정위치는 연속된 측정동안 위치의 재현성을 보장하도록 확실하게 표시하고, 확인하여야 한다.

4.8 신호조정시스템

진동센서로부터 발생하는 신호는 유용한 측정을 제공하기 위해서 어느 정도의 조정(conditioning)이 요구된다. 신호조정기능은 변환기 출력신호의 전류나 전압과 같이 계측가능한 양의 변환과, 요구되는 측정을 위해 적절한 형태로의 신호처리를 수행한다. 이와 같은 처리의 예로서 증폭/감쇠(attenuation), filtering, scaling, offset, 적분 그리고 압축/확장이 있다. 계측시스템의 복잡성에 의존해서 필요한 신호조정회로는 여러 형태의 어느 것을 취할지도 모른다.

- 센서의 적분 part
- 계측기구의 적분 part
- 센서와 계측기구간의 신호경로에 있어서 분리,

내장형 계측기

- 위의 조합

신호조정기능(signal conditioning function)이 센서 또는 계측기구(또는 양쪽 모두)에 조립되어있는 단순시스템에서는 사용자는 신호조정의 세팅에 관해서는 거의 또는 전혀 선택의 여지가 없을지도 모른다. 그러나, 신호조정에 있어서 보다 넓은 다양성과 보다 많은 옵션을 갖는 더욱 복잡한 장치에서는 모든 세팅의 정확한 기록을 유지하기 위해서 주의를 기울여야만 한다. 이는 그후의 계측에서 원래의 세팅을 그대로 사용할지도 모르기 때문이다. 동일하지 않는 신호조정세팅에서 취득한 계측의 비교는 상태의 평가에 매우 중대한 오차를 유도할 수 있다. 이는 계측량의 계속된 변화가 잘못되어서 기계상태의 변화에 의한 것으로 될지도 모르기 때문이다.

외부신호조정이 센서와 계측기구의 사이에 적용될 때, 계측기내에 왜그러짐(distortion)이 발생하는 것을 피하기 위해, 신호레벨과 기구의 동적 사용영역(dynamic range)에 대해 알아두는 것은 중요하다. 추가해서 신호조정기의 주파수 응답특성은 타당한 결과를 얻기 위해서 나머지 기구사용에 적절하게 조합이 되어야만한다.

기구사용의 필요한 정보는 ISO Standard on Machinery Condition Monitoring Instrumentation (ISO/TC 108/N610 Work Item)을 참조 바란다.

5. 가능한 진동발생의 원인

기계진동의 원인으로는 여러 가지가 있다. 그 원인은 대개 기계부분의 악화와 마모, 이상작동, 부적당한 조립과 보전 그리고, 설계의 결함으로부터 생긴다.

진동의 가장 일반적인 원인중에 하나는 기계 회계체내의 불평형이다. 이것은 기계의 정지요소뿐만아니라 회전체의 진동도 일으킨다. 이 진동은 회전주파수가 기계의 고유진동수중의 하나와 일치할 때 가장 심각하게 된다. 이 진동은 회전체의 회전속도주파수(rps)로 되고, 가진력을 최소로 하도록 회전체를 평형잡이하므로 감소시킬 수 있다. 회전체의 평형잡이는 회전체 특유의 위치로 부터 질량의 부가 또는 제거를 요구한다. 진동의 위상은 회전체의 속도가 개개 기계의 고유진동수를 통과할 때에 본질적으로 변화한다. 고정된 속도에서는 어느 측정점에서도 진동레벨은 보통 일정한다.

회전기계의 진동중 또 하나의 일반적인 원인은 정렬불량이다. 정렬불량에는 두 가지 형태가 있다. 즉 내적과 외적이다.
내적 정렬불량은 요소의 중심선(center line)이 동

심이 되지 않을 때 발생한다. 내부 정렬불량의 일례는 전기 모터에서 공극(air gap)의 불균일이다. 외부 정렬불량은 더욱 일반적으로, 두 대 또는 두 대 그 이상의 기계가 상호 연결되어 있을 때, 그 축중

표 1 기계진동의 가장 일반적인 원인과 결과적인 진동 특성

원 인	특징 진동주파수	비 고
불평형 (unbalance)	회전주파수 (1X)	운전속도가 회전축계의 고유진동수와 일치할 때 진동이 가장 높다. 중대한 진동의 위상변화가 위험속도 통과시에 발생한다. 일정속도에서 진동레벨은 일정하다.
정렬불량 (misalignment)	2X, 1X, 3X	정렬불량에는 여러 종류와 원인(편각, 편심정렬불량, 기초이동)이 있다. 축방향진동성분이, 특히 기어시스템의 경우 반경방향 성분만큼 크게 될 수 있다.
베어링마모 • 유막베어링 • 구름요소베어링	회전체 1차위험속도의 40~50% 또는 회전체 위험속도에서 여러주파수, 특히 운전 속도주파수의 높은 차수	마모로 인한 틈새 또는 부적절한 조립이 회전체에 작용하는 베어링 유막불안정화력(destabilizing force)의 원인이 될 수 있다. 진동레벨이 비정상적이고, 급격히 높은 진폭에 도달할 수 있다. 진동은 결합베어링의 영역에 국부적으로 되는 경향이 있다. 진동값은 통상 비정상적이고, 시간에 따라 증가한다.
강성비대칭 (예 : 발전기/전동기 회전자의 권선 slot)	2X	2X 여진(stimulus)이 회전체의 위험속도와 일치할 때 진동피크가 발생한다. 일정회전속도에서 진동레벨은 일정하다. 보상홈(compensating groove)이 여진을 최소화하기 위해 대형기계에서 사용된다.
축 굽힘 (bent)	1X, 2X	회전체가 커플링부근에서 굽었을 때, 2X 성분의 높은 축방향진동이 빈번하게 관측된다. 일정회전속도에서 회전체의 진동레벨은 일정하다.
부품의 느슨함 (looseness)	1X와 회전속도주파수의 조화성분 (harmonics)	진동레벨은 지속적인 시동-정지 사이클 사이에 불규칙적이고 일치하지 않는다. 때때로 subharmonic 주파수가 역시 관찰된다.
편심 또는 비원형저널	1X, 비원형저널의 경우는 운전속도주파수의 조화성분	진동레벨은 회전체의 위험속도에서 뿐만 아니라 낮은 운전속도에서 이상적(abnormal)이거나 과대할 수 있다. 일정회전체속도에서 진동레벨은 일정하다.
열적 비대칭	1X	불균일한 회전체의 통풍(ventilation), 전기권선의 단락 및 불균일한 부품의 죄임(tightness)이 원인이다. 불평형의 경우와 같은 진동특성을 가지고 회전체를 굽게 한다.
기어결합	기어통과주파수의 배수에 대응하는 매우 높은 주파수	검지(detection)는 고주파수응답특성을 갖는 변환기(transducer)가 필요하다.
공진 (resonance)	회전체속도가 회전체/지지계의 고유진동수와 같을 때와 같은 여진주파수	각 기계공진속도에서 진동이 증폭되고, 회전체가 위험속도를 통과할 때 1X응답에 큰 위상변화가 있다. 회전체의 불평형이 비회전 기계시스템의 공진응답을 발생시킬 수 있는 가장 일반적인 여진원이다.
전기적 여진 • 정상상태 • 과도상태	진동응답은 대부분 일반적으로 전기시스템 주파수의 1차와 2차 조화성분에서 발생 회전축계의 비틀림고유진동수와 전기시스템주파수의 조화성분	회전체의 비틀림진동과 터빈에서 블레이드의 굽힘진동이 발생한다. 진동은 전기회로에서 비정상적인 전류불평형 또는 단락 등의 큰 전기적인 과도에 의해 크게 될 수 있다.

삼이 편심되어 있을 때 발생한다. 정렬불량은 반경 방향으로 회전수 두배(2×)의 진동수를 갖는 진동을 발생시키고, 정렬불량이 심할 때에는 더욱 고차의 성분도 발생한다.

표 1은 이들과 회전주파수에 관련된 기계진동의 다른 일반적인 원인을 나타내고, 예상되는 진동의 주파수특성에 대한 정보와 진동문제를 평가하는데 도움을 주는 다른 설명을 제공한다. 그러나 고려해야 할 다른 주파수도 있다는 것을 인식하여야 한다.

기계상태감시 프로그램에 있어서는 우선 미리(예상되는 진동성분의 표를 작성하기 위해서) 운전성의 그리고 설계의 상세와 함께 진동을 발생시킬 가능성이 있는 모든 잠재적인 원인이 고려되는 것이 권장된다.

기본적으로 이 표는 회전주파수와 조화성분(harmonics), oil whirl과 oil whip, 블레이드/깃 통과, 기어 맞물림, 구름베어링 등의 진동수를 포함한 것이다. 이 표는 감시순서, 경보한계(alarm limit), 데이터 sampling시간, 진단 등의 확립 뿐만 아니라 기준선 이산주파수 스펙트럼과 함께 이용되고 있다.

진동과 주파수 스펙트럼해석이 진동문제를 평가하는데 도움이 되는 중요한 정보를 제공한다는 것을 인식하는 것은 중요하다. 또 다른 결정요소로는 속도 변화에 기인하는 진동위상변화의 양, 진동진폭의 안정성과 재현성, 기계의 회전체축에 관한 주진동성분의 방향 그리고 진동이 가장 발생되고 있는 기계의 위치에 대한 주의가 포함되어진다.

6. 진동상태감시

6.1 일반

속도, 부하, 온도 등과 같은 운전조건이 명확한 표현은 수집된 어떠한 진동데이터에도 반영해야 한다. 최소한 이러한 표현은 축속도(rpm), 기계의 부하(kW, LPS, psi 등) 그리고 측정되는 진동에 영향을 줄지도 모르는 다른 운전 파라미터를 포함해야 한다.

일반적으로 데이터를 취득하고 있는 동안, 운전조건이 가능한 한 기계의 정격 또는 통상운전에 가까울 것이 강력히 요구된다. 더욱이 데이터는 기계가 동일한 또는 유사한 조건하에서 운전될 때 그리고 알려진 재현성이 있는 프로세스 파라미터가 취득되어야 한다. 이것이 무리인 경우, 데이터의 차이를 예측하기 위해서는 기계의 특성을 잘 숙지하여야만 한다.

다른 조건의 데이터도 또한 기계의 복잡성과 계속의 목적에 의존해서 수집될 필요가 있다. 예로, 불평형 마찰(rubbing), 축크랙 또는 oil whirl이 의심되는 경우는 과도상태인 시동과 정지동안의 시험이 권장된다.

상태감시의 순서는 진동레벨이 운전시간과 함께 어떠한 비율로 변화하는가를 조사하는 경향조사(trending)의 과정을 포함한다. 이 변화경향조사가 정확하기 위해서는 연속적인 계속동안 운전조건이 동일하게 유지되는 것이 필요하게 된다. 예를 들면, 펌프의 경우 진동레벨은 정상(normal)과 비정상(off normal)의 운전부하 사이에서 상당히 변화할 수 있다. 이와 같이 운전조건의 변화에 의한 진동응답의 변화를 절박한 문제에 의한 변화로서 잘못 판단될지도 모른다. 그러므로 데이터의 일관성과 정확한 비교를 보장하기 위해서는, 동일한(또는 거의 가까운) 운전조건하에서 계측을 하고 데이터를 기록하는 것이 매우 중요하다.

6.2 운전모드

진동감시는 지속되는 운동중에 있어서 기계의 “건강”을 확립하기 위해, 연속 또는 주기적인 원칙하에 관리된다. 이러한 프로그램의 목적은 고장이 일어나기 전에 수복작업(remedical action)을 하기에 충분한 시간내에서 “불건강”상태를 인지하는 것이다. 추가로, 이 감시프로그램은 효과적인 보전비용 계획이 세워질 수 있도록 데이터를 제공한다.

주기적인 감시시스템과 연속감시시스템중 어느 것을 이용할 것인가의 결정은 다음과 같은 많은 인자에 의존된다.

- 기계운전의 위험정도
- 기계정지의 손해액
- 파괴적인 고장에 의한 손실
- 원자력 플랜트 또는 다른 원격지에서와 같은 수복과 보전의 용이성
- 감시시스템의 비용

6.3 온 라인 상태감시

온 라인 감시시스템은 그림 6에서 나타낸 것과 같이 기계의 중요한 위치에 진동센서가 영구적으로 장착되어 있는 것으로, 기계의 작동중 진동의 계측이 상시 기록되고 연속적으로 저장되는 시스템이다. 계측된 데이터는 이전에 취득한 데이터와 전기적으로 비교하는 것이 가능한 기계의 광대역의 정보나 스펙

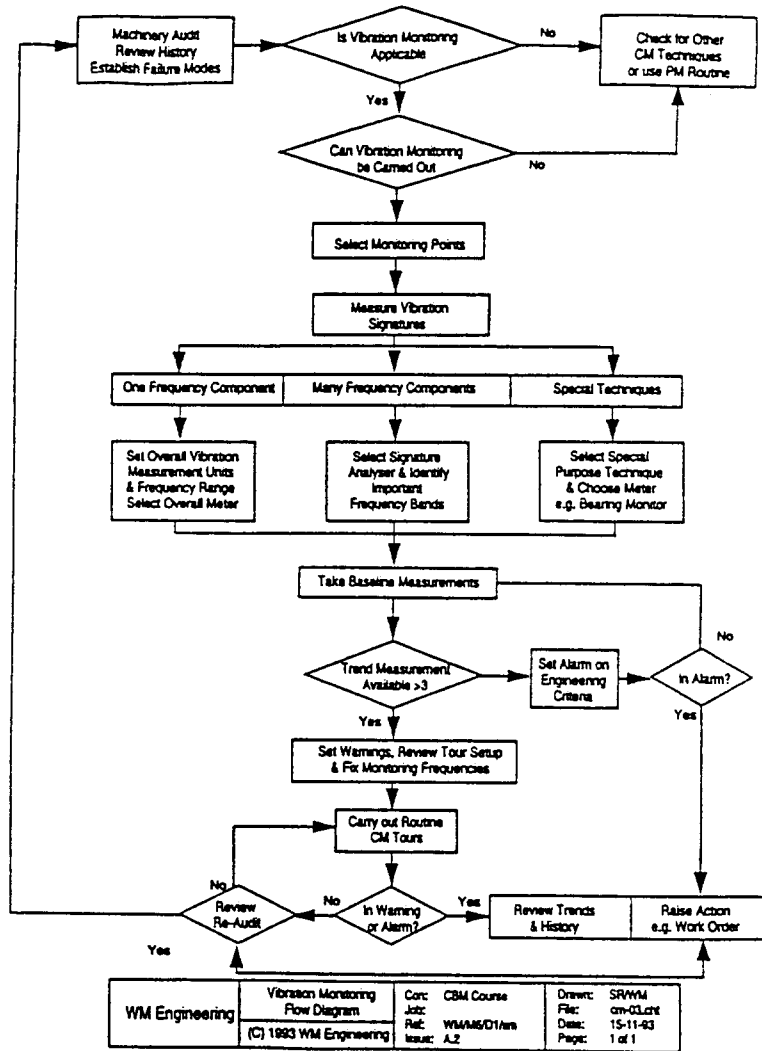


그림 5 진동감시 흐름도

트럼 정보중 어느 쪽인가 한쪽을 제공하기 위해서 처리된다. 저장된 데이터에 경보한계를 설정하는 것에 의해 운전자에게 기계의 진동 패턴이 변화(증가 또는 감소)하고 있다는 정보나, 진단의 순서가 요구된다고 하는 정보를 제공하는 것이 가능하다. 온 라인 감시시스템은 기계의 데이터를 전송하는 원격지에 설치할 수 있다. 연속시스템의 분명한 이점은 실시간(real time)으로 온 라인 기계상태의 이용이 가능하다고 하는 것이다.

자동시스템에 있어서, 영구적인 진동센서는 연속 감시 시스템과 대개 동일한 방법으로 기계에 설치된다. 그러나 계측시스템은 자동적으로 기록하고, 주기적(시간, 일, 주단위)으로 저장하도록 프로그램된다. 최종데이터는 경보상태가 존재하는지 어떤지를 결정하기 위해서 먼저 저장된 데이터의 평균적인 수

준과 비교된다.

온 라인 감시 시스템의 이용은 다음과 같은 요인이 고려될 때, 타당하다고 간주된다.

- 기계의 운전이 어느 정도 위험한가?
- 기계의 기능정지가 위험 또는 상당한 손실을 발생시키는가?
- 기계는 보전 또는 수리를 위해 쉽게 접근할 수 있는가(즉 원자력 또는 원자력의 무인공장 등)?
- 고장 메카니즘이 시간으로 예기되는 경우

6.4 휴대용 모니터링 시스템

불연속(휴대용) 감시 시스템은 연속 온 라인 시스템과 유사한 기능을 수행한다. 그러나 비교적 덜 정교하고, 비용이 비싸지 않게 제작되어져 있다. 휴대

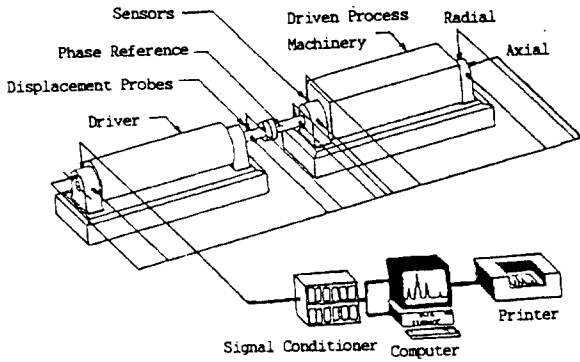


그림 6 온 라인 진동상태 감시시스템의 예

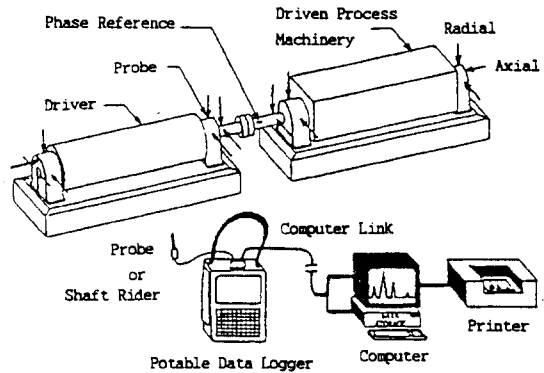


그림 7 휴대용 주기적 감시시스템의 예

용 감시시스템(portable monitoring system)에서는 데이터는 자동 또는 수동으로 주기적으로 수집된다. 이러한 형태의 시스템은 종종 “주기적 감시”라고 불리우고, 그림 7에 나타내었다.

더욱 일반적으로 “주기적” 감시는 기계 위에 사전에 선정된 위치에서 주기적인 간격으로(주, 월 단위 등) 휴대용 기구로 측정을 기록하는 것에 의해 수동으로 처리된다. 데이터는 보통 취득되어, 저장되고 일반적으로 이용할 수 있는 데이터수집 또는, PC 기기에 의해서 평균화되거나, 또는 이들 기능은 수동으로 이루어질지도 모른다.

6.5 기준선의 확립

(1) 일반

기준선(baseline)의 진동데이터는 그들의 데이터 또는 장비의 작동이 만족되고, 안정되어 있을 때에 측정 또는 관측된 데이터의 조합이다. 모든 이후 측정은 진동의 변화를 감지하기 위해 이들 기준선의 값과 비교된다. 기준선의 데이터는 정상 운전모드와 유량(flow rate)에 운전되는 기계의 초기의 안정한 진동상태를 정확하게 정의해야만 한다.

새로운 설비와 분해검사(overhaul)된 설비에는 길들이는 기간(wear-in period)이 있다. 그러므로 최초의 수일 또는 수주간의 운전동안 진동레벨의 변화를 보는 것이 일반적이다. 그렇기 때문에, 결국 기준선을 설정하기 전에 길들이기 위해 시간이 할당되어야 한다.

매우 장기간에 걸쳐 운전되어 온 기계에 처음으로 감시를 하고자 하는 경우 기준선은 경향을 보기 위한 기준점으로 설정할 수 있다.

진동과 운전데이터는 기계가 안전한 상태에 도달한 것을 확인하기 위해 데이터의 반복에 충분한 간격이 요구된다. 이 때에 충분한 기준선 데이터는 기

계의 특징은 축 불안정 등의 바람직하지 않는 상태의 증거를 위해 조사되어야 할 것이다.

이들 데이터는 금후의 기계에 문제가 발견되어 진단되는 경우의 기본이 된다. 이들 데이터는 간단하게 쉽게 회복할 수 있고 안전한 방법으로 저장해야만 한다.

(2) 기준선 진동의 정의

기준선 진동 데이터는 일반적으로 기계의 진동상태를 정의하기 위해 사용되는 모든 잠재적인 진동 파라미터로부터 구성될 수 있다. 기준선의 초기의 정의를 이해하면 할수록 기계의 능력저하의 적절한 발견, 진단 그리고 추적의 가능성이 더욱더 크게 된다. 상태감시 프로그램을 위한 진동 기준선을 정의하는 데에 필요로 되는 데이터는 다음과 같다.

- Filtering되지 않은 overall 진폭(변위, 속도 그리고 가속도)
- Filtering된 운전속도
- 진동벡터와 위상
- 진동신호의 주파수 스펙트럼해석
- 정지 중의 주파수응답해석
- 기동시의 주파수응답해석
- 축궤도해석
- 기타

기준선 정의의 완벽성은 다음 사항에 의존한다.

- 기계의 중요성
- 기계의 이전 이력(history)
- 사용 가능한 해석장비
- 직원의 능력
- 기타

데이터가 얻어지는 위치는 연속적으로 감시되고 있는 위치에 대해 제한될 필요는 없고 또한 될 수 없다. 기준선은 때때로 정규프로그램에서 요구되는

것보다도 많은 측정점, 방향을 포함하고 알기 쉬운 진동해석일 것이 권장된다. 비교적 적은 점에서의 연속 또는 주기적 감시의 어느 쪽이, 변화가 발생한 것을 확립한 후, 진동변화의 원인을 결정하는 것을 도와주기 위하여, 기준선해석에 사용되고 있는 순서의 반복이 준비된다.

운전데이터는 진동데이터가 계속되고 있는 상태를 기록하기 위해서 역시 준비되어 있지 않으면 안된다. 다른 속도와 운전조건(부하 등)에서, 규칙적으로 운전되는 기계의 경우는 기준선 데이터가 이들 운전점의 각각에 대해서 확립되는 것이 현명하다.

(가) 광대역진동

만일 사전 지식이 없다면 기준선의 광대역(broad-band)은 그 기계의 모든 가진력을 포함하도록 충분한 동적영역(dynamic range)과 주파수응답을 감당하도록 요구된다.

4.3과 4.4절에 따라서 이것은 가장 낮은 회전주파수의 0.2배에서 가장 높은 여진 주파수의 2배의 주파수영역을 취하는 0.5~500 mm/s의 범위가 필요하게 된다. 대부분의 기계에 대해서 이 주파수영역은 계측시스템의 제한 때문에 상한 10 kHz로 제한된다. 그 하한은 저속의 기계를 제외하고 보통 10 Hz로 한다.

회전체의 운동과 정지부분의 광대역진동레벨의 계측을 위한 순서는 ISO 7919와 ISO 10816에 각각 기록되어 있다.

기준선의 이산주파수 진동특성은 위에서 주어진 광대역에 대한 주파수응답과 동적영역을 사용하는 것으로 얻어진다. 이들 스펙트럼은 5장의 기계해석을 확인한다. 그러나, 부가적인 요소는 명확히 될지도 모른다.

이상한 그리고 문제의 조기수정이 필요로 되는 이들의 예외를 평가하는 것은 중요하다. 예상하지 않는 진동수성분은 또한 5장의 해석에 보여진 어떤 설계형태 (design configuration)를 역시 나타낼지도 모른다. 이들 기준선의 데이터는 장래 기계의 평가와 진단에 참고하기 위한 준비로서 저장해야 할 것이다.

(나) 이산(discrete)주파수진동

진동수 스펙트럼선도(진동진폭과 회전의 차수주파수)의 예를 그림 8에 나타낸다. 운전속도 특유의 차수(order)에 대한 진폭을 분명하게 표시하고 있다. 이상일지도 그리고 문제의 조기수정을 유도할지도 모르는 이들 예외(anomalies)를 평가하는 것은 중요하다. 예상하지 않는 주파수요소는 5장의 해석에서

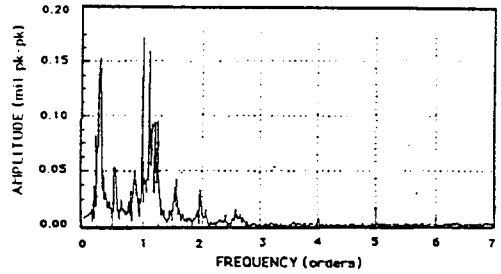


그림 8 주파수 스펙트럼

보여진 어떤 설계형태를 역시 나타낼지도 모른다. 이들 기준선 데이터는 장래의 기계의 평가와 진단에 참고 하기 위한 준비로서 저장 되어야 할 것이다.

(다) 회전수변화시의 진동

과도속도(transient speed) 진동은 일반적으로 기계열(machine train)의 시동과 정지동안에 얻어지는 진동정보로서 설명되어진다. 진동데이터는 일반적으로 그림 8과 9에 보여지는 3개의 대표적인 형태로 표시된다.

몇몇의 경우에서, 특히 대형 중요기계(critical machinery)에서 궤도(orbit)난 시간과회전선도도 또한 과도영역에서 취득된다.

Cascade 스펙트럼선도는 시동/정지영역에서 기계의 다수의 진동 스펙트럼 전체에 걸친 모습이다. 보통 cascade 스펙트럼의 표시는 주파수(Hz, rpm, orders), 기계속도 그리고 이산주파수의 진폭을 제공한다. 몇몇의 경우, 기계속도는 다른 변수, 즉 시간으로 대체될지도 모른다. 이 표시에 기계속도를 사용할 때 회전체속도/위상기준신호를 취하는 것이 필요하게 된다.

Cascade 스펙트럼은 기본적인 회전체속도(1X)와

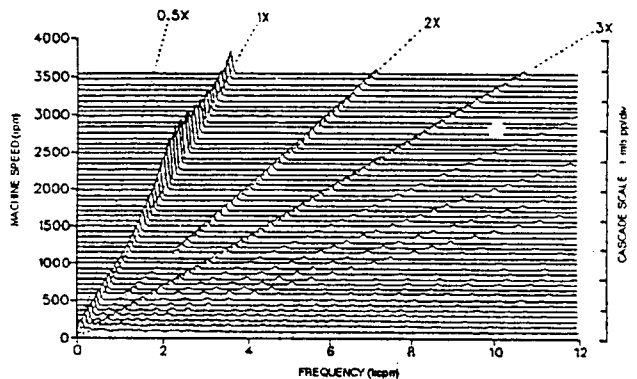


그림 9 Cascade 선도(waterfall 선도)

임의의 다른 중요한 조화성분(harmonics)을 명백히 보이고 있다. 만일 과도속도영역에 있으면 회전체의 위험속도의 존재를 나타낼 수도 있다. 이 선도는 어떤 형태의 불안정, 즉 oil whirl, oil whip 그리고 다른 고장의 징후, 즉 마찰(rub), 축의 크랙 등을 나타내는데에 유용하다.

보드선도(bode plot)와 극선도(polar plot)는 보통 기본진동(1X)의 진폭과 위상각을 표시한다. 보드선도는 두 개의 직교좌표선도, 즉 위상각변화대 회전속도, 그리고 1×진폭대 회전속도로 이루어진다. 극선도는 1×진폭과 위상각을 극좌표 형식으로 나타낸다. 몇몇 해석시스템은 극선도에서 회전체속도표시를 가질지도 모른다. 극선도 데이터는 특히 평형잡이를 수행하는 동안 임의 위상각의 변화를 강조하므로써 중요한 이점을 가진다. 이들 선도 모두 축이 360° 회전하는 동안 한 번 발생하는 불연속을 검출하는 위상기준/속도변환기를 가지지 않으면 안된다. 보드나 극선도는 축의 공진, 구조공진, 회전체의 모드형상 그리고 회전체-베어링계의 동기확대율계수(synchronous amplification factor)를 정확히 찾아내는 데에 사용된다.

또 그림 10에 보여지고 있는 것은 확대율계수(Q)의 도시적인 표현이다.

동기 확대율계수(Q)는 축의 회전속도가 회전체시스템의 고유진동수에 일치할 때의 주기적인 외력(불평형)에 대한 회전체시스템이 진동응답 감수성(susceptibility)의 척도이다. 동기 확대율계수(Q)는 공진속도를 3 dB 저감한 진폭 값에서 기계속도사이의 차로 나누는 것으로 계산할 수 있다.

일반적으로 높은 계수(Q)는 시스템의 낮은 감쇠를 나타내고, 낮은 계수(Q)는 일반적으로 시스템의 양호한 감쇠를 나타낸다.

(라) 축의 궤도 계측

궤도해석(orbit analysis)은 X-Y형태로 부착된 비접촉, 속도 또는 가속도변환기를 사용하고 있는 어떤 기계에도 수행될 수 있다.

저널베어링을 가진 대형중요기계에는 축 궤도해석을 이용하는 것이 일반적이다. 이 데이터표현은 진폭, 위상각 그리고 축궤도해석을 사용하기 위해 제공한다. 궤도의 적절한 해석은 가진력의 특성을 고찰하는데에 유효하다. 동적 거동이 전향(forward)(회전의 방향) 또는 후향(reverse)(회전의 반대)인가를 결정하는 것도 또한 가능하다.

전형적인 궤도선도는 그림 12에 보여진다. 궤도는 filtering되거나 되지 않은 신호로서 표시된다.

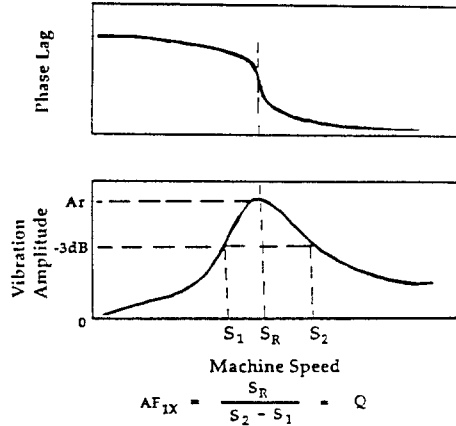


그림 10 보드 선도/확대율 계수(Q)

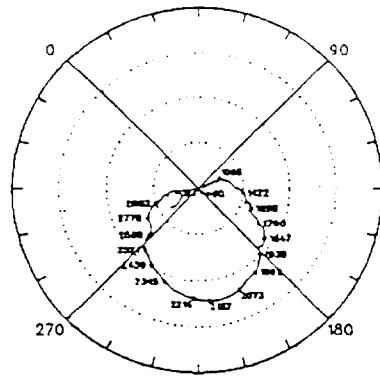


그림 11 극 선도

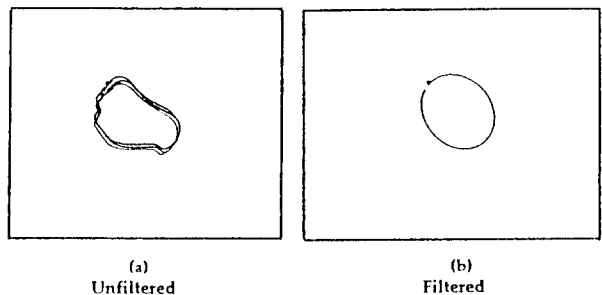


그림 12 축 궤도

Filtering된 궤도로 하기 위해서는 회전수/위상기준 신호를 취하는 것은 필요 불가결하다. 동기(1×) filter된 표시는 극히 일반적이다. 그러나 다른 조화 성분(harmonics) 또는 분수동기(subsynchronous) 성분주파수는 문제를 더욱 설명하기 위해 또는 문제해결을 위해 궤도 선도로 표시된다.

7. 진동제한치의 확립

7.1 목 적

이 절의 목적은 언제 회전장비를 위한 보전을 계획할까를 결정하는 순서와 기준의 예를 제공하는 것이다. 그 순서는 주기적이거나 연속감시기술을 사용하여 취득한 데이터의 사용을 허용한다. 주기적 감시의 경우, 단속감시의 주파수는 장비의 현 상태에 의존해서 명시된다.

광대역 데이터의 진동경향은 7.3절(1)과 7.3절(2)에 나타내듯이 기계의 진동한계를 확립하는데에 유효한 수단으로 될 수 있다. 그러나 기계진동 스펙트럼중의 이산주파수의 경향은 진동한계를 확립하는데에 가장 알기 쉬운 데이터를 제공한다. (이 방법의 예는 이 document의 다음 초안에 포함될 것이다.)

이 같은 기준은 장비의 연속감시에 의해 얻어진 데이터의 검사에 대한 최소의 시간이 명시되어야 할 것이다. 감시 또는 데이터검사의 간격은 관측된 진동의 레벨 또는 진동레벨이 변화하는 율에 의존하여 변화한다. (그림 13의 C 영역)

이 순서에 대한 기준을 발전시킴에 있어서 주요한 고려사항은 기존의 규격 즉, 회전축과 비회전부에 있어서 광대역진동의 계측과 평가에 관한 ISO 7919와 ISO 10816과 일치를 보증하는 것이다. 이 순서는 "조치(action)가 요구되는 영역"의 아래 한계에 도달하기 전에 보전을 해야 할 것이라는 것이다.

7.2 파라미터

기계의 축진동을 변위(μm peak to peak) 그리고 기계구조진동을 속도(mm/s, rms)로 계측하는 것이 일반적인 방법이다. 대단히 낮은 회전수 또는 대단히 높은 회전수로 운전하고 있는 기계에 대해서는 그 구조적인 진동은 각각 변위(μm) 또는 가속도(mm/s^2)로 계측된다.

7.3 판정기준

축 또는 정지구조의 진동레벨에 대한 평가기준을 설정하는 데 있어서 고려되어야 할 두 개의 요인이 있다. 즉

(가) 진동의 레벨

(나) 진동레벨의 어떤 중대한 변화

새로운 기계를 주문할 때, 어느 정도의 견적을 가지고 의논된 허용치에 비례한 진동레벨을 근거로 평가되어야 한다. 그러나, 한번 기계가 주문되고 통상

의 작동레벨이 결정되면 이들 레벨만이 아니라, 발생한 어떤 중요한 변화에 의해서도 평가되어야 할 것이다. 회전기계의 보전을 언제 계획할가를 결정할 때, 두 개의 규격이 이의 결정을 위한 기준을 제공하는데 이용될 수 있다.

첫 규격(ISO 7919 시리즈)은 회전축에서 계측될 때 비왕복운동기계의 광대역진동의 계측과 평가를 망라한다. 한편 두 번째의 규격(ISO 10816 시리즈)은 비회전부에서 계측될 때의 광대역진동의 계측과 평가를 망라한다. 두 규격은 그림 13에 표시되는 4개의 판정영역으로 평가기준을 제출한다. 이 그림은 기계의 운전 속도영역의 함수로서 허용 가능한 광대역 진동레벨의 선도를 나타낸다. 한계진동레벨은 기계의 운전속도가 증가하면 감소한다고 하는 것은 일반적으로 인정되고 있지만, 속도에 대한 실제 레벨과 이들의 변화율은 기계형태의 차이에 따라 변화한다.

새로 주문된 기계의 진동은 보통 영역 A의 범위에 들고, B영역의 진동레벨인 기계는 통산 제한없이 장기간 운전에 대해 허용가능하다고 간주된다. C영역 내의 진동레벨의 기계는 장기간 연속운전에 대해 불만족하다고 간주된다. 일반적으로 기계는 개선조치를 위해 적당한 기회가 발생할 때까지 이들의 조건

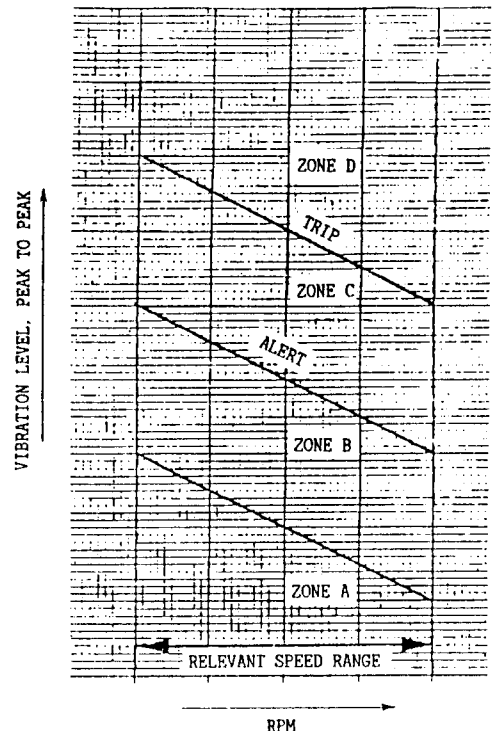


그림 13 진동 판정 영역

하에서 제한된 기간 운전될지 모른다. 영역 D내의 진동레벨은 보통 기계에 손상을 제공하는 원인으로 되기에 충분히 심각하다고 간주된다.

경보(alarm)는 특정기계에 따라 종종 상하로 변화한다. 선택된 값은 그 특정 기계의 계측점 또는 방향에 대한 경험으로부터 결정된 기준선 레벨에 비례하여 설정된다.

경보레벨은 영역 B 상한의 25%와 같은 기준선보다 높은 값을 설정하는 것이 권장된다. 대부분의 경우, 기준선이 설정되어 있지 않을 때, 예를 들어 새로운 기계와 같은 경우는 초기경보의 설정은 다른 유사한 기계에서의 경험이나 일치되어진 허용치 중의 어느 것을 기초로 해야 한다. 어느 기간후, 정상상태의 기준선의 값이 설정되고, 경보설정이 그것에 따라 조정된다. 어떤 경우에도 경보한계는 보통 영역 B 상한의 1.25배를 넘지 않을 것이 권장된다.

만약 정상상태의 기준선이 변화하면(예를 들면 기계의 분해검사 후), 경보설정은 그것에 따라서 수정될 필요가 있다.

비상정지(trip)의 레벨은 보통 기계의 기계적인 보전(integrity)에 관계되고, 기계가 비정상적으로 동적인 힘에 견딜 수 있게 하기 위해 도입된 특징의 설계특성(design feature)에 의존한다. 사용되는 값은 그 때문에 일반적으로 유사한 설계의 모든 기계에 대해 같고, 보통 경고설정에 사용되는 정상상태의 기준선 값에는 관계가 없다. 그러나, 다른 설계의 기계에 대해서는 차이가 있고, 절대적인 비상정지의 레벨에 대한 명확한 지표(guideline)를 제공하

는 것은 불가능하다. 일반적으로 비상정지 레벨은 영역 C 또는 D의 범위일 것이다. 그러나 비상정지 값은 영역 C 상한의 1.25배를 넘지 않을 것이 권장된다.

ISO 7919와 ISO 10816에서 권장되는 영역레벨은 전 세계적인 산업조사의 통계적인 해석에 기초하고 있다.

요구 또는 권장되는 조치(action)는 설비가 이들 영역 각각에서 운전되고 있을 때, 진동레벨이 변화하고 있는 비율에 의존한다. 이들의 조치는 다음과 같이 설명되고, 그림 14와 15에 나타난다.

(1) 경우 1: 진동레벨이 통상영역에 있는 설비(그림 14참조)

(a) 만약 이전의 데이터로부터 진동레벨의 증가가 없으면, 그 때 조치는 요구되지 않는다.

(b) 만약 진동이 증가하고 있다면, 다음과 같은 경우 48시간 이내에 비율을 확정할 것.

- 1) 증가율이 선형으로 다음의 예정된 감시이전에 통상영역의 상한을 넘지 않을 경우, 조치는 요구되지 않는다.
- 2) 증가율이 선형으로 다음의 예정된 감시이전에 통상영역의 상한을 넘을 경우, 상한까지 도달될 때보다 빈번한 감시를 계획한다.
- 3) 증가율이 비선형이라면, 48시간 이내에 비율을 확정하고, 보다 빈번한 감시를 계획하며 진단 프로그램의 실행을 고려한다.

(2) 경우 2: 현재의 진동 레벨이 경계영역(alert zone)에 있는 설비(그림 15참조)

(a) 레벨에 증가가 없으면, 감시비율을 격주로 증가

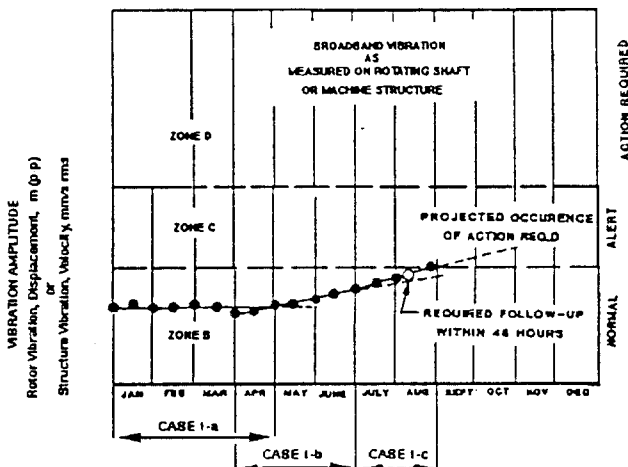
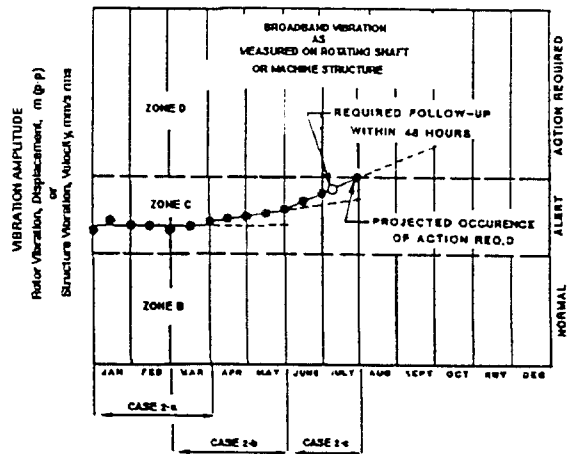


그림 14 “통상영역”내의 진동레벨



VIBRATION LEVEL - TIME HISTOGRAM

그림 15 “경계영역(alert zone)”내의 진동레벨

할 것.

- (b) 레벨이 선형적으로 증가하고 있으면, 다음의 예정되어 있는 진동 레벨의 조사 또는 예정되어 있는 보전 이전에 조치 레벨(action level)을 넘지 않을 경우, 48시간 이내에 증가율을 확정하고, 진단 프로그램의 실행을 고려한다.
- (c) 만약, 이 레벨이 예정되어 있는 다음 감시이전에, 예정되어 있는 보전이전에 조치레벨을 넘어

버릴 것 같은 선형적인 비율로 증가하고 있거나, 또는 증가율이 비선형일 때, 48시간 이내에 비율을 확정하고, 보전 예정을 수정한다. 보전계획을 수정하기 전에 3가지의 데이터 점이 수립되도록 감시 빈도를 증가한다. 진단프로그램은 문제와 요구되는 보전을 정하기 위해 추천된다. 진동 레벨에 감소가 보여질 때, 격주의 감시 빈도는 계속해야 하고 진단이 추천된다.

부 록 : 계측의 종류와 위치에 대한 기준

기계의 종류	평가 파라미터	센서의 종류	계측위치	방향	참조 ISO 기준	Notes
유막베어링을 가진 대형 증기터빈 • 힘의 발생 • Mechanical drive	상대 변위 속도 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 각 베어링의 하우징 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축상 Z 반경방향	7919-part 2 10816-part 2	1
유막베어링을 가진 소형 산업용 증기터빈	상대변위 속도 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 각 베어링 하우징과 터빈 하우징 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 방경방향 X, T 축방향 Z 반경방향	7919-part 3 10816-part 3	
구름 베어링을 가진 소형 산업용 증기터빈	속도 위상각기준, rpm	속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	각 베어링 하우징과 터빈 하우징 축	반경방향 X, Y 반경방향	10816-part 3	
유막베어링을 가진 중·대형 산업용 가스터빈	상대변위 속도 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 각 베어링 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축방향 Z 반경방향	7919-part 4 10816-part 4	
유막베어링을 가진 수력발전 터빈	상대변위 속도 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 각 베어링 하우징과 터빈 하우징 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축방향 Z 반경방향	7919-part 5 10816-part 5	
유막베어링을 가진 대형발전기	상대변위 속도 축방향위치 취상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 발전기 하우징 축 단 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축방향 Z 반경방향	7919-part 2 10816-part 2	
유막베어링을 가진 대형 펌프 • 보일러 급수 • 순환 • Process	상대변위 축방향위치 위상기준, rpm	비접촉센서 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 축방향 Z 반경방향	7919-parts 3&5 10816-part 3&5	3
유막베어링을 가진 중·소형 펌프	상대변위 축방향위치 위상기준, rpm	비접촉센서 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 축방향 Z 반경방향	7919-part 3 10816-part 3	3

기계의 진동상태감시를 위한 순서

구름베어링을 가진 중·소형 펌프	속도 위상기준, rpm	속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	각 베어링과 펌프의 하우징 축	반경방향 X, Y 반경방향	10816-part 3	3
수직으로 설치된 펌프 • Reactor coolant	상대변위 속도 위상기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	각 모터 베어링과 상부 펌프의 베어링(최소치) 각 모터의 베어링 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 반경방향	7919-part 5 10816-part 5	
유막베어링을 가진 대형 전기 모터	상대변위 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 축방향 Z 반경방향	7919-part 3 10816-part 3	
구름 베어링을 가진 중·소형 전기모터	속도 위상각기준, rpm	속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	각 베어링과 모터의 하우징 축	반경방향 X, T 반경방향	10816-part 3	
유막베어링과 강제하우징을 가진 일체형 원심 압축기	상대변위 속도 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	각 베어링, 피니언하우징, 불기어 축 각 기어메쉬 각 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 반경방향	7919-part 3 10816-part 3	
원심 프로세스 압축기	상대변위 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 Thrust collar 또는 축단 축	반경방향 ±45° 축방향 Z 반경방향	7919-part 3 10816-part 3	4
유막베어링을 가진 왕복동 압축기	상대변위 속도 위치기준	비접촉센서 속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	피스톤 로드와 각 베어링하우징, 로드(rod) 하우징 하나의 드라이브로드, TDC에서 피스톤, 크랭크 축	축방향 Z와 변경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축방향, 반경방향	7919-part 6 10816-part 6	
2개의 interlocking 축과 유막베어링을 가진 스크류형 압축기	상대변위 축위치 각축 위상각기준	비접촉센서 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 Thrust collar 각 축	반경방향 ±45° 축방향 Z 반경방향		
2개의 interlocking 축과 구름베어링을 가진 스크류형 압축기	속도 각축 위상각기준	속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	베어링캡과 압축기의 하우징 각 축	반경방향 X, Y 반경방향		
유막베어링을 가지는 대형 기어	상대변위 속도 축방향위치	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider	각 베어링의 축 베어링캡과 기어 케이스 축 단	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축방향 Z		
구름 베어링을 가진 기어	속도	속도센서, 가속도계	베어링캡과 기어 하우징	반경방향 X, Y		
유막베어링을 가진 대형반경 팬 • Cleaning tower fan	상대변위 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	베어링 하우징, 케이싱 thrust collar 또는 축단 축	반경방향 ±45° 축방향 Z 반경방향	7919-part 3 10816-part 3	5
구름베어링을 가진 중·소형 팬	속도	속도센서, 가속도계	각 베어링캡과 팬 하우징	반경방향 X, Y		
원심분리기	상대변위 속도 축방향위치 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 비접촉센서, shaft rider 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 하우징 Thrust collar 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 축방향 Z 반경방향		
펄프 제조기 (pulp refiner)	상대변위 속도 위상각기준, rpm	비접촉센서 속도센서, 가속도계 광학 또는 기계적 센서	각 베어링의 축 베어링캡 각 축	반경방향 ±45° 반경방향 X, Y 반경방향		