

第3章 振動 變換器

(Vibration Transducers)

1. 振動 變換器 (Vibration Transducers)

변환기(Transducer)는 진동, 온도, 압력 등과 같은 물리적 양을 감지하여 측정된 변수에 비례하는 전기적 출력 신호로 변환시키는 신호 변환기이다.

일련의 측정 과정을 쇄사슬에 비유하면 변환기는 중요한 첫 번째 고리에 해당한다. 변환기는 측정된 변수들의 특성을 정확히 재생하여야 한다. 왜냐하면 변환기에 의해 빠뜨려지고 왜곡되는 정보는 후에 다시 발견되거나 재현되지 않기 때문이다. 그러므로 변환기는 사용 목적에 적합한 것을 사용하여야 하고 적절하게 설치되어야 하며 그 작동 상태가 양호해야 함은 물론 그 특성을 잘 이해하여야 한다.

진동 변환기는 기계적인 운동을 동적인 AC 전기 신호로 변환시킨다. 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 회로(Conversion Electronics)가 필요하다.

일반적으로 기계상태를 감시하는데 사용되는 진동변환기는 다음과 같은 것들이 있다.

- 비접촉식 변위 변환기 (와전류 Probe)
- 속도 검출기 (전자 기계식과 압전 소자식)
- 가속도계

앞장에서, 주어진 응답을 얻기 위한 필요한 힘이 주파수에 따라 얼마나 크게 변하는가에 대해 서술하였다. 그림 3-1에 나타난 바와 같이 힘은 주어진 변환기에 가장 잘 맞는 측정 장치의 형식과 변환기의 선택에도 영향을 미친다.

예로써 전형적인 Blade Passing Frequency를 나타내는 10 kHz에서의 매우 높은 진폭인 100g의 가속도는 겨우 0.02 mils(0.5 μ m)의 변위를 나타낸다. 이 경우 그 값이 많은 변위 측정계에 명기된 주파수 응답의 범위내에 있지만 급박한 사고의 위험을 나타내는 힘의 수준인데도 불구하고 변위값은 실제적인 용도로 측정할 수 없는 작은 값으로 나타난다.

역으로 가속도 측정계도 비슷한 경우를 경험한다. 주파수가 감소함에 따라 힘의 한계 때문에 적당한 운동 수준조차도 가속도계로는 측정하기 어려운 수준까지 최대 허용

가속도와 신호 대 Noise의 비율을 계속적으로 감소시킬 것이다.

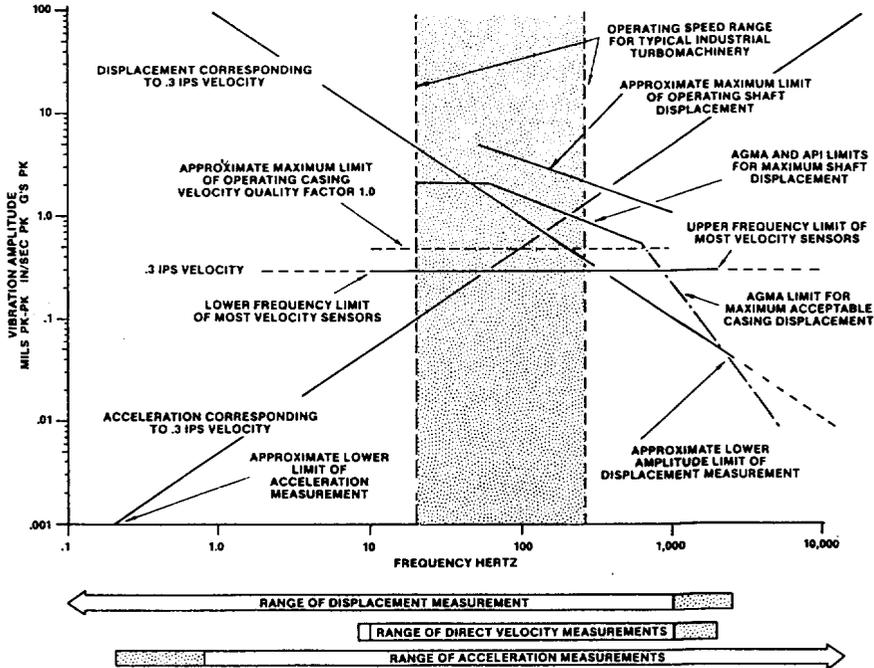


그림 3-1 가속도, 속도, 변위의 관계는 적절한 변환기 선택에 영향을 미친다.

변위, 속도, 가속도 변환기의 두 번째 중요한 차이점은 감지되는 운동의 형식이다. 비접촉식 변위 변환기는 부착점(보통 베어링 Shell)과 Probe에 의해 관측되는 표면(일반적으로 기계의 축)사이의 상대 운동을 감지해 낸다. 속도 Pickup과 가속도계는 그것들이 부착된 베어링 하우징이나 구조물의 절대 운동을 측정한다.

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 등을 포함한다. 이러한 많은 고려 사항은 주어진 적용에 따라 한정적이지만 일반적인 지침은 다음과 같다.

- 일반적으로 비접촉식 변환기에 의한 회전축의 변위 측정은 축의 결함으로부터의 Noise와 힘(Force)을 고려할 때 1,000에서 1,500 Hz(60~90 kcpm) 사이의 최대 주파수로 제한된다. 정밀한 DC를 사용한 축변위 측정은 축의 위치, 회전 주파수, Subsynchronous Frequency의 가진, 저차수 조화운동, 유막과 자성 베어링을 가진 산업 기계에서의 펌프 Vane Passing 주파수 등을 측정하고 감시하는데 사용된다.
- 전자 기계식 속도 Pick-up으로 측정할 때에는 그 구조적 특성 때문에 측정 범위는

52 — 제1편 진동의 기본 기술

약 10 Hz에서 1,500 Hz(600 cpm에서 90 kcpm)로 제한된다. 그러므로 전자 기계식 속도 Pick-up은 중고속 기계류의 회전 주파수 및 펌프 Vane Passing 주파수와 볼베어링의 기본적인 특성 주파수를 감지해 내는데 사용될 수 있다.

- 압전 소자식 속도 Pick-up은 전자 기계식 속도 Pick-up과 비교할 때 약 2.5 Hz (150 cpm)에서 2 kHz(120 kcpm)이상까지 확장된 주파수 범위를 제공한다. 그러므로 압전 소자식 속도 Pick-up은 냉각탑의 Fan 및 제지용 기계의 베어링과 같은 저속 기계에도 적용할 수 있으며 볼베어링의 특성 주파수를 관측하는 데 유리하다.
- 가속도 측정기는 1 Hz(60 cpm)이하에서 20 kHz(1,200 cpm) 이상의 범위에서 사용될 수 있다. 따라서 가속도 변환기는 대부분의 산업 기계의 회전 주파수에서 사용할 수 있으며 고속의 Gear Mesh 주파수, 터보 기계의 Blade 및 Vane Passing 주파수, 볼베어링의 고주파수 특성 등을 관측할 수 있는 유일한 변환기이다.

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

2. 非接觸式 變位 變換器 (Noncontact Displacement Transducers)

2.1 適用 (Application)

비접촉식 Proximity Probe 변위 변환기는 레이디얼 및 추력용 유막 베어링을 가지고 있는 기계 특히 큰 중량의 케이싱 및 견고한 베어링 내에 설치된 상대적으로 가벼운 중량의 로터를 가지는 터빈, 원심펌프 및 압축기의 진동상태를 감시하는데 크게 유용하다. 이것은 베어링에 대한 축의 상대 위치 및 상대 운동을 지시한다. 반경 방향의 Peak-to-Peak 축변위(진동)는 레이디얼 베어링과 Seal 간극에 직접적으로 관계가 있다. 비접촉식 변위 측정 시스템에서의 정적(Static)인 성분(DC)은 Probe에 상대적인 축의 평균 위치를 나타낸다. 통상적으로 축방향의 위치를 감시하는 데 사용되고 있지만 축의 길이 방향의 중심선의 평균 위치가 베어링 내에 있을 때 Static 성분은 또한 반경 방향의 감시용으로도 유용하게 사용된다. 자주 간과되는 사실이지만 반경 방향의 위치는 문제의 확인 및 진단에 큰 도움이 될 수 있다.

보통 반경 방향의 축의 위치를 측정하는 기계 장치에는 90°각도로 떨어지게 설치된 두 개의 Probe가 있다. 이러한 형식의 기계 장치에서 얻어지는 동적인(AC) 신호는 개별적으로 재생될 수 있고, 베어링 내에서 축의 동적인 움직임(Orbit)을 나타내기 위하여 조합될 수 있다.

축방향 즉 Thrust 위치 감시장치는 고정부에 대한 상대적인 축의 길이 방향 위치를 감시하고 또한 기준 위치를 정하기 위하여 한 개나 두 개의 비접촉식 Probe로부터 Static(DC) 성분을 이용할 수 있다.

2.2 構造 및 運轉 (Construction and Operation)

와전류의 원리로 작동되는 비접촉식 변위 변환기는 산업 기계의 보호와 상태 감시에 대하여 세계적으로 인정을 받고 있다. 비접촉식 변위 변환기는 센서, 즉 Proximity Probe, 연결 케이블, 진동 신호 변환기(Proximator)로 구성되어 있다 (그림 3-2).

축 변위 Probe는 나사산이 있는 몸체 내에 넣어진 부도체의 플라스틱이나 세라믹 물질의 내부에 전선 코일이 설치되어 있고 Proximator(Signal Sensor)와 연결된다.

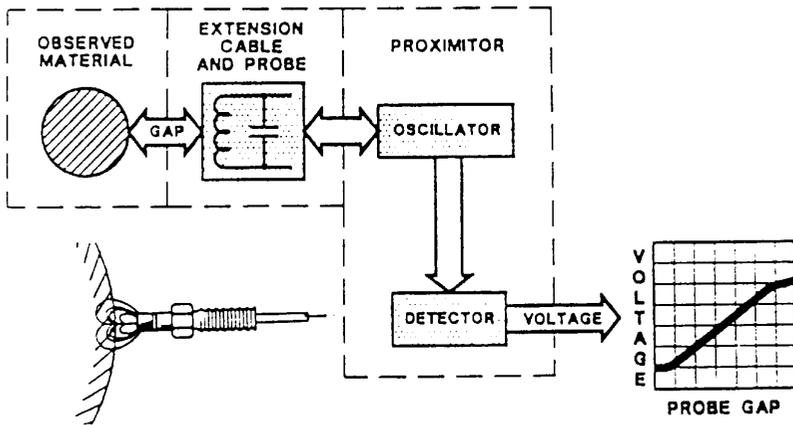


그림 3-2 와전류 변위 변환기

Proximator(Signal Sensor)는 발진기회로, 검출기(Detector) 또는 복조회로, Filter 회로를 포함하며 어떤 시스템에는 증폭회로도 있다.

감지 코일과 연결 케이블은 발진 회로의 일부이며 발진 회로는 감지 코일에 고주파 전류를 발생시킨다. 이 고주파 전류에 의해 감지 코일 주변에 자장이 형성되며, 감지

54 — 제1편 진동의 기본 기술

코일 가까이 강철과 같은 도체를 접근시키면 이 도체가 자속선을 끊어 도체 내에 와전류를 유기 시킨다. 이 와전류는 감지 코일에 대해 임피던스 부하가 변화된 것처럼 작용하여 발전기의 동작점을 변경시킨다. 이 때 고주파 전송 신호가 감지되며 이 신호에는 감지 코일과 목표물인 도체 사이의 거리에 비례하는 신호가 들어 있다. 이 거리를 Gap이라 하며 Gap의 변동(즉 진동 발생)으로 인해 발전기 출력이 변화되어 진동 변위에 비례하는 출력이 나오게 된다. 진동이 없다면 출력은 Gap에 비례하는 일정 직류 전압(DC)이 될 것이며 진동 발생이 있다면 출력은 ① 평균 Gap에 비례하는 직류 전압과 ② 진동에 비례하는 교류 전압이 된다.

그림 3-3은 Probe의 Tip과 목표물간의 거리가 변화함에 따라 출력 신호의 변화를 나타내는 전형적인 7200 Proximity Probe 시스템의 응답 곡선이다. 이 곡선의 경사도는 mV/mil로 표시하며 이 시스템의 감도라고 한다. 전형적인 감도는 0.2 V/mil이며 선형적인 Gap Range는 10에서 90 mils 또는 전체적으로 80 mils이다. 또한 Proximity Probe의 외부 전원은 통상 -18에서 -24 Vdc이며, 사용 주파수 범위는 0에서 약 600 kcpm이다.

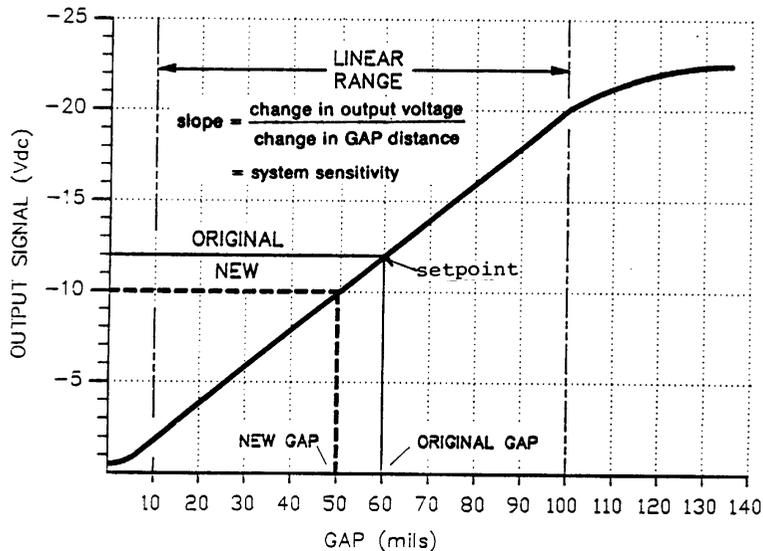


그림 3-3 대표적인 와전류 변위 Probe의 감도조정 곡선

간극과 전압 사이에 일정한 비율을 유지 보장하기 위하여 Probe, Proximitors, 연결 케이블은 필히 적절하게 배합되고 조정되어야 한다. Probe Tip과 몸체 직경, Thread

형식, Probe와 연결 케이블의 길이 등에 대한 사양이 미국석유협회(API) 규격 670에 수록되어 있다.

Nominal Gap 또는 Cold Set Point라고도 하는 이 시스템의 설정점(Set Point)은 선형 Gap 범위의 중간점으로 정하고 어느 방향으로든 최대 측정 범위가 되도록 조정한다. 그림 3-3에서 설정점은 60 mils이다.

목표물이 진동하면 교변하는 Gap Voltage가 발생한다. 이 신호는 Vibration Monitor에서 나오는 DC Gap Voltage 가 제거된 AC 신호이다. 어떤 Proximitor 에서는 AC 신호가 분리되고 증폭되어 2개의 출력이 나오는데 하나는 진동 출력이고 다른 하나는 Gap 출력이다.

선형 구역에서 곡선의 기울기와 주어진 간격에 상응하는 DC 출력은 대상 물체의 진도도와 투과성의 변화와 함께 변할 것이다. 만일 4140 강에 사용되도록 조정된 Probe와 Proximitor가 재교정없이 스테인레스 강이나 인코넬과 같은 재료에 사용된다면 곡선은 왼쪽으로 이동하며 주어진 간격(Gap)에 대하여 더 높은 출력 전압을 생기게 할 것이다. 또한 곡선의 기울기는 감도의 변화에 따라 변화할 것이다. 이러한 곡선의 이동과 잠재적인 부정확성 때문에 한가지 재료에 대하여 조정된 비접촉식 Probe 장치는 다른 재료에 사용되기 전에 반드시 재조정되어야 한다.

온도 또한 비접촉식 Probe와 주어진 간격(Gap)에 대한 범위의 제한에 영향을 미치지만 베어링 하우스내에서 일어나는 온도 변화로 인한 영향은 일반적으로 무시할 만하다.

높은 압력도 또한 비접촉식 Probe의 감도에 영향을 미친다. 만일 Probe가 변동하는 높은 압력이 작용하는 곳에 설치되어 있다면 감도와 출력 상에서 어떤 변화가 일어날 것인가를 알아내기 위하여 실제 환경에서 그것의 응답을 테스트하여야 한다.

모든 조건이 동등하다면 Probe Tip의 직경이 증가함에 따라 비접촉식 변위 측정 장치가 가질 수 있는 최대 선형 범위가 커질 것이다. 공급 전압을 증가시켜도 마찬가지로 최대 선형 범위가 커질 것이다.

감도가 200 mV/mil(8 mV/ μ m)일 때, 4140 강을 관측하는 전형적인 비접촉식 측정 장치의 선형 범위는 0.300 in(8 mm)의 Tip 직경과 -24 Vdc의 전압에서 약 85 mils(2,160 μ m)가 될 것이다.

앞에서 언급한 것과 같이 축 변위 측정 장치로부터의 전기적인 출력은 정적인(DC) 성분과 동적인(AC) 성분을 포함한다. 그러므로 이 장치는 선형 측정 범위 내에 위치한 Probe와 전도체 표면 사이에서 정적인(위치) 것과 동적인(진동) 것을 동시에 정확하게 상대 측정할 수 있다.

“상대적”이라는 용어도 꼭 알아두어야 한다. 속도나 가속도 변환기로부터 얻어진 것과는 달리 변위 Probe로부터 얻어진 측정값은 Probe와 관측 표면 사이의 상대적인 위치나 운동의 측정값이며 각각의 실제 공간상의 움직임을 반영하지 않을 수도 있다.

2.3 制限 條件 (Limitations)

목표물이 축의 표면과 같이 움직이는 표면일 때 변위 측정 장치는 축의 움직임(진동), 굽힘이나 움푹 들어간 자국과 같은 결함, 전도도나 투과성의 변화를 구별해 내지 못한다. 그 결과 출력 값은 순수한 진동이라기보다는 진동과 Probe 밑을 지나가는 표면의 모든 변화와의 벡터 합이라고 할 수 있다. Probe의 자장이 관측되는 재료의 표면에 침투되기 때문에 두 개의 재료 사이에 경계면이 생기게한 수리작업(축표면 도금이나 Metal Spray)은 와전류 변위 변환기에 의해 측정되는 출력 신호를 왜곡되게 할 것이다. 축 표면의 결함에 의해 생긴 왜곡은 와전류 변환기를 사용할 때 반드시 피해야만 한다. 물리적인 굽힘 자국(그림 3-4, 3-5)과 기계적인 편심은 시간 영역 파형에 나타날 것이며 축의 Orbit을 찌그러뜨릴 것이다. 전자기적인 특성의 변화도 Proximito로부터의 출력 신호에 나타날 수 있다. 축이 기계 가공되거나 접지(이러한 이유 때문에 API규격에서 금지되고 있음)되거나 자분탐상 검사나 제작 과정 후에 불완전하게 탈자를 할 때 생기는 전자기적인 변화는 비접촉식 변위 측정 장치로 감지 측정될 수 있다.

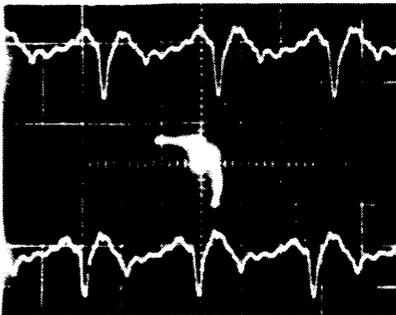


그림 3-4 큰 흠집이 있는 축

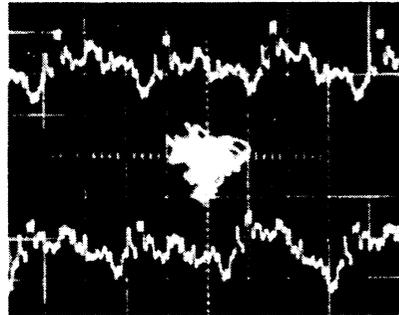


그림 3-5 작은 흠집이 있는 축

고속기계(즉, 축의 회전 속도가 약 2500 rpm 이상인 기계)의 총 Runout은 축이 약 300~600 rpm으로 회전될 때 축 변위를 관측하므로써 측정되는 것이 보통이다. 이렇게 낮은 속도에서는 모든 축의 변위는 Runout에 기인된 것이라고 가정한다.

어떤 원인에 의한 것이든 모든 Runout은 문제를 발생시킨다. 축진동의 실제값은 시간 영역 파형(Time Domain Waveform)에서 관측되는 것이나 모니터에서 읽혀지는 전

체 값과는 근본적으로 달라질 수 있다. 속도를 증가시킬 때나 정지후 자연적으로 속도가 떨어질 때의 진폭 대 속도의 그래프를 그릴 때 얻어지는 응답 곡선은 물론 시간 영역 파형의 곡선은 Runout에 의하여 바뀌어 진다. 주파수 스펙트럼 그림에서 Runout이 운전 주파수의 정수배(Harmonic)의 진폭을 크게 한다는 것을 알 수 있을 것이다.

Runout에 의해 생기는 더욱 중대한 문제는 Runout이 Rotor Balance와 같은 특성 변화의 측정에 영향을 준다는 것이다. Runout과 Rotor Balance의 실제 변화 사이의 위상각 관계에 좌우되어 악화된 상황이 총 진동 값에 나타나지 않을 지도 모른다. 더 심한 경우에는 크게 잘못되어 진폭이 오히려 감소한 것으로 나타날 지도 모른다.

어떤 원인에 의한 것이든 Runout은 백터량이며 그 절대값은 제거될 수 없다는 것을 아는 것이 특히 중요하다.

그것의 중요성 때문에 총 Runout값이나 비접촉식 변위 변환기로 실제 축의 움직임을 측정할 편심이 최소가 되도록 하여야 한다. 목표치로써 비접촉식 감지기로 측정된 총 Runout은 운전중 축의 변위의 10% 이하이어야만 한다.

0.2 mils(5 μm) 이하로 총 Runout값을 줄이는 것은 매우 어렵다. 일반적으로 0.25 mils(6 μm)가 고속 기계에서 최대로 허용할 수 있는 실제값으로 용인되고 있다.

종종 과도한 Runout을 제거하는 것이 매우 어려운 일일 때가 있다. 첫 번째의 분명한 단계는 비접촉식 Probe에 의해 관측될 표면이 동심원을 이루어야 하며, 매끈하게 최종 다듬질되고 취급시나 조립시 손상을 입지 않게 보호되도록 제작 과정 중에 모든 노력이 기울여져야 한다는 것이다. 만일 이러한 모든 노력에도 불구하고 과도한 Runout이 존재하면 아마도 전자기적인 문제일 것이다. 전자기적인 Runout은 일반적으로 Probe에 의해 관측될 축 표면을 탈자하므로써 제거될 수 있다. 만일 축 표면이 매끄럽고 동심을 이루고 있는 상태에서 탈자 후에도 Runout이 존재한다면 그것은 아마도 축의 둘레 주위에서 변화된 투과성이나 전도도 때문일 것이다. 종종 고합금이나 칩탄 경화된 축에서 발생하는 이러한 종류의 Runout은 특수한 압연 공구나 Micro-Peening을 가지고 있는 선반에서 그 부분을 Burnishing 가공하므로써 성공적으로 제거될 수 있다.

이러한 모든 조치가 실패되거나 한두 가지 원인 때문에 조치가 불가능하다면 Runout 보정기를 사용하여 전자적으로 Runout을 제거할 수 있다. 모든 움직임이 Runout값이라고 가정되는 저속 회전시, Runout 보정기는 Reference Pickup에 의해 한 회전당 한 번씩 발생하는 신호에 상대적인 축의 운동을 디지털 방식으로 기억한다. 저속 회전시의 파형은 Probe에 의해 관측되는 원래의 파형에서 자동적으로 제거된다. 이러한 과

정은 축의 실제 운동을 나타내는 수정된 파형을 생기게 한다. 보다 효과적인 값을 얻기 위해서는 Probe가 저속 회전시나 운전시에 동일한 축 표면을 관측하여야 한다. 이것은 Probe 위치에서의 축방향 움직임을 최소로 할 것이 요구된다.

2.4 設置 (Installation)

모든 변환기를 사용할 때 Probe 설치에 견고한가, 풍손으로부터 보호되는가, 느슨해진 상태로 작동되지 않을 것이 확실한가에 세심한 주의를 기울여야 한다. 느슨해진 Probe나 느슨한 설치는 종종 운전 주파수나 그 근방에서 높은 진폭의 진동으로 관측될 것이다. 이러한 상태는 혼란을 일으키거나 진단하기 어려움으로 견고한 설치로 이러한 상황이 일어나지 않도록 해야만 한다.

가능하다면 기계를 분해하지 않고 제거하거나 교체할 수 있는 어댑터에 변위 Probe를 설치하는 것이 매우 바람직하다 (그림 3-6). Probe를 설치하는 데 사용되는 수많은 방법 중에서 가장 효과적인 방법 중의 하나는 간단한 Block Mount이다 (그림 3-7).

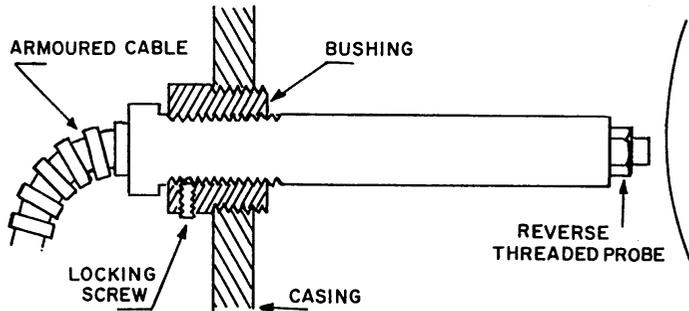


그림 3-6 운전에 영향을 미치지 않고 Probe를 교체할 수 있는 Adapter

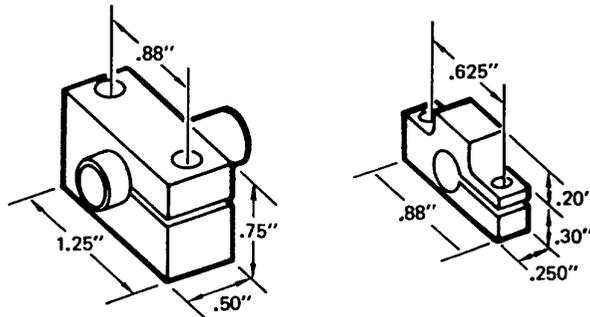


그림 3-7 전형적인 Probe 설치

이 Block은 보통 1/2나 3/8 in(6~8 mm) 두께의 강이나 알루미늄을 잘라서 만들어지며, Probe를 관통하여 고정할 수 있는 구조로 되어 있다. 두 개의 Socket Head Cap 나사부를 가지고 있는 Holder는 베어링 캡의 바깥쪽 끝에 부착 고정된다. Probe의 간격을 맞추기 위해 관통되지 않은 구멍을 통하여 베어링 캡에 Block을 나사로 고정한다. 이것이 완료되면 Probe가 튼튼하게 제자리에 고정되도록 다른 나사를 조인다.

Probe가 견고하게 설치되어야 함은 물론 Probe Tip은 축의 단(Step)이나 기타 다른 금속 표면으로부터 Tip 직경의 최소 2배 간격을 가져야 하며 Probe의 자장이 간섭을 받아서는 안된다 (그림 3-8). Probe의 자장내에서 어떤 전도체의 간섭은 운동에 대한 응답을 크게 변경시킬 것이다.

보다 확실히 하기 위하여 Probe 끝과 나사부 사이에서 시작하여 관측되는 표면에 이르기까지 45°의 원추형 모양 안에 어떤 전도체도 있어서는 안된다. 베어링 하우징 같은 편평한 표면에 Probe를 설치할 때도 동일한 법칙이 적용된다. 즉 Probe는 원추형 모양이 표면과 교차(Intersect)되지 않도록 충분히 떨어지게 설치되어야 한다.

만일 Probe를 좀더 연장할 필요가 있으면 연장으로 인한 공진 주파수는 승속시나 정지시의 감속되는 경우까지 포함하여 어떠한 잠재적인 가진원으로부터 충분히 멀리 떨어져 있어야 한다. 이러한 주의를 게을리 하면 허위나 잘못된 측정이 될 수 있다.

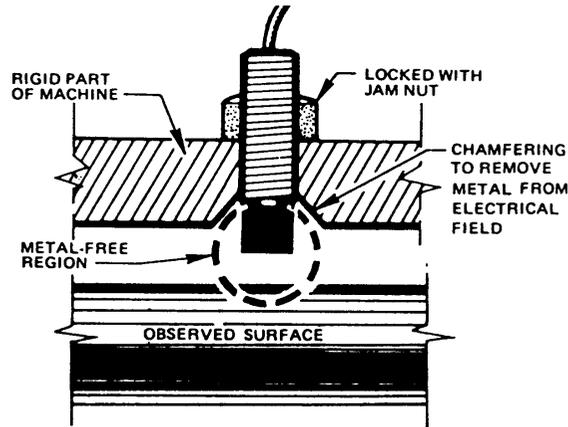


그림 3-8 비접촉식 Probe Tip은 인접 물체에 간섭을 받지 않아야 한다.

드물기는 하지만 두 개의 Probe가 너무 가깝게 설치되어 Probe에서 발생하는 자장이 서로 간섭되는 경우가 있다. 일반적으로 매우 높은 주파수(실제로 두 개의 가진 주파수의 차이인 약 5 kHz, 즉 300 kcpm)의 가진력이 관측되면 이 간섭은 일반적으로 Probe의 간극을 축표면에 더 가깝게 조정하거나 적절하게 반경 방향이나 축방향으로

60 — 제1편 진동의 기본 기술

분리하므로써 제거될 수 있다.

Probe는 종종 작은 간격의 구멍을 통해 설치된다 (그림 3-9). 이 경우에 Probe의 Gap을 조정할 때 Gap Voltage는 Probe가 구멍으로 들어감에 따라서 감소될 것이며 종종 원하는 수치 이하로 감소될 것이다. 이 위치에서는 Gap Voltage가 구멍까지의 측면 거리에 의해 결정되기 때문에 적절한 위치에 Probe를 고정시키려는 의도에는 적합치 않게 될 것이다. Probe가 더 깊이 삽입되고 통과하게 됨에 따라 Gap Voltage는 증가하였다가 축이 가까워짐에 따라 다시 감소할 것이다. 이 두 번째 감소점이 Probe가 고정되어야 하는 위치이다. 대략의 위치를 결정하는 데 도움이 되는 한가지 방법으로서는 깊이 측정용 게이지가 설치점에서 축까지의 거리를 측정하고 Probe의 축까지의 거리를 시각적인 지시치로 나타내는 데 사용될 수 있다. 대부분의 변위 Probe는 회전하는 축에 접촉되지 않도록 고안되어 있다. 축과 접촉되면 Tip은 금방 망가질 것이며 조정을 하는 사람을 약간 난처하게 만들 것이다.

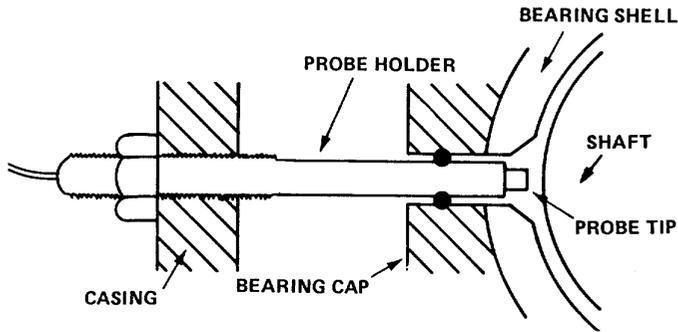


그림 3-9 작은 간극의 구멍으로 설치된 Probe

Care-expanded 전송 케이블은 장기간에 걸쳐 기계 내부에 설치된 비접촉식 Probe의 신뢰성을 보증하는 또 하나의 중요한 요소이다. API 670에서는 모든 연결 장치가 기계 외부에 설치되어야 한다고 규정하고 있다. 또한 이것은 베어링이 분해될 때 Probe 케이블이 철거될 수 있도록 하는 Oil-tight Seal을 필요로 한다. 전형적인 베어링 하우스 내에 존재하는 풍손에 의하여 움직이는 것을 방지하기 위하여 기계 내부에서 변위 Probe로부터의 전선은 단단히 붙잡아 매어져야 한다. 되도록이면, Probe 전선은 커플링 Hub에서 발생하는 것과 같이 강한 풍손 지역을 가로지르지 않고 케이스에 붙어 있어야 한다. 이것이 불가능하면 전선은 안전하게 고정되거나 보호판으로 보호되어야 한다. 케이블의 출구는 마찰로 인한 케이블의 손상을 방지하기 위하여 모서리 부위를 사선 가공(Bevelling)하거나 둥글게 가공되어야 한다.

Probe와 연결 케이블은 반드시 기계에서의 그들의 위치와 방향이 분명하게 표시되어야 한다. API 670은 제작자들이 이러한 특수한 목적을 위해 각 연결 장치에 수축관(Shrink Tubing)을 공급하도록 요구하고 있다. 이러한 것들을 확실히 하지 않으면 진단시 항상 위상각이나 Orbital Axis, 회전 방향 등에 대한 불확실성을 초래하게 된다.

기계 출구로부터 진동 변조기를 넣어 두는 외함까지 변위 Probe의 케이블은 전선관으로 보호되어야 한다. 일반적으로 진동 변조기의 외함에서부터 기계의 한 지점까지는 견고한 전선관을 사용하고 출구 조립부에는 짧은 신축 전선관을 사용하는 것이 분해 조립을 쉽게 하고 확실하게 보호할 수 있는 최상의 배열 방법이 될 것이다. 신축 전선관의 끝부분은 분해 조립이 용이하도록 베어링 하우징에 유니온으로 연결, 설치되어야 한다. 신뢰성 있는 운전을 보장할 수 있도록 API 규격 670에 자세한 설치 방법이 언급되어 있다.

3. 速度 檢出器 (Velocity Pickups)

3.1 構造 (Construction)

기계 상태 감시에는 두 가지 형식의 속도 Pickup이 사용된다. 이 절에서는 자석과 전선 코일로 구성되어 있는 전통적인 전기 기계식 속도 Pickup에 대해 기술한다. 압전 소자로 이루어진 가속도 탐지기와 속도에 비례하는 출력을 만들어 내기 위해 적분기로 구성되어 있는 속도 Pickup은 다음절에서 설명될 것이다.

그림 3-10은 지진계식 속도형 진동 Pick-Up의 개략도이며 질량은 스프링에 의해 지지된 가는 선의 코일로 되어 있다. 이 Pick-Up은 스프링-질량 계의 고유 진동수보다 큰 진동 주파수를 측정하는 데 사용된다. 따라서 질량을 지지하고 있는 스프링은 강성이 아주 낮아 고유 진동수가 아주 낮다. Pick-Up의 지진 고유 주파수에서 큰 출력으로부터 보호하기 위하여 감쇠가 필요하다. 영구자석이 Pick-Up Case에 견고하게 부착되었고 매달린 코일 주위에 강한 자장을 형성시킨다.

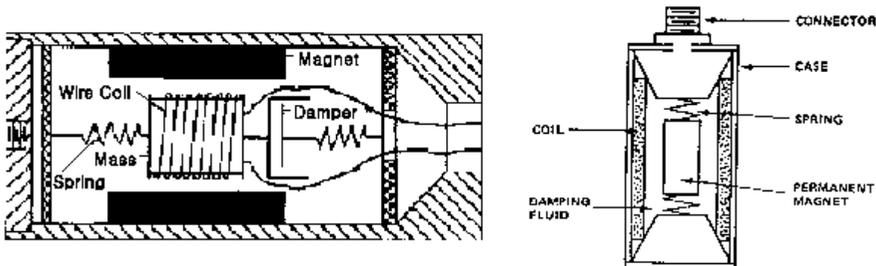


그림 3-10 전기 기계식 Pick-Up의 개략도

3.2 運轉 (Operation)

속도 Pick-Up의 작동은 “도체가 자장을 통과할 때나 자장이 도체를 지날 때 도체에 전압이 유기된다” 라는 물리적인 법칙에 따른다. 발생된 전압의 크기는 ① 코일 내의 도체 길이 ② 자장의 강도 ③ 자장이 도체를 통과할 때 자장의 속도에 따라 다르다. 속도 Pick-Up에서는 도체 길이와 자장의 강도가 고정되어 있으므로 코일에서 발생한 전압의 크기는 코일과 자장간의 상대 속도에 직접 비례한다. 따라서 속도 Pick-Up이라고 한다. 속도 Pick-Up은 또한 자체 발생 장치이므로 자신을 여기 시키기 위한 외부 전원이 필요하지 않다.

속도 Pick-Up Case는 진동체에 부착되었고 Case에 견고하게 부착된 영구 자석은 진동 운동을 한다. 코일로 구성된 질량(도체)은 낮은 고유 진동수를 가지는 스프링에 의해 지지된다. 이 고유 진동수 이상에서는 코일은 관성 기준 즉 대지에 관하여 정지 상태에 있어 지진(Seismic)이란 말이 첨가되었다. 이런 상태 하에서 자장과 코일이 감긴 도체간의 상대 운동은 공간의 고정점에 대한 부품의 운동과 같다. 그리고 Pick-Up에 의해 발생된 전압은 상대 운동의 속도에 비례한다. 진동체의 속도가 변하면 발생하는 전압도 비례하여 변한다 (그림 3-11참조).

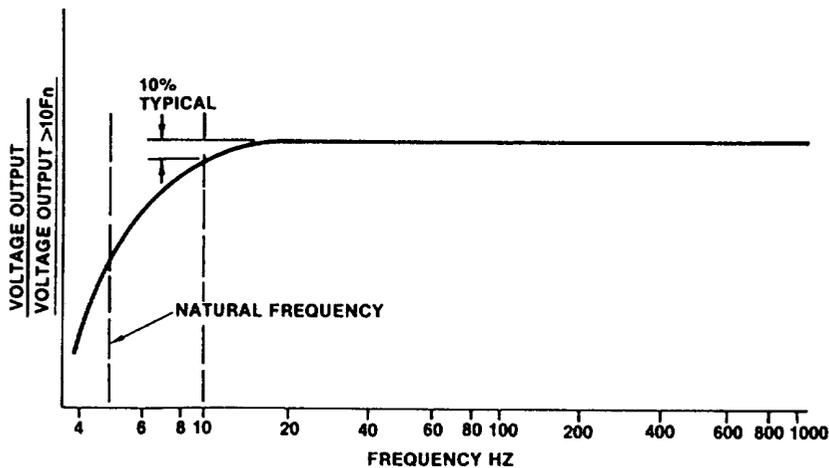


그림 3-11 전형적인 전기 기계식 속도 Pickup의 감도

전압 출력이 진동 속도에 비례하는 경우 진동을 진동 속도 향으로 측정하는 것은 간단하다. 속도를 전자적으로 적분하면 진동을 진동변위 향으로 얻을 수 있다. 속도형 진동 Pick-up의 전압 출력은 mV/in/sec 단위로 표시한다. 또한 이를 진동 Pick-up의 감도라고 한다. 진동체의 속도는 운동의 한 사이클을 이루는 동안 일정하지 않아

속도 Pick-Up에 의해 발생된 전압도 이에 따라 변화한다. 따라서 Pick-Up의 감도는 최대 속도점 즉 $mV\ Peak/in/sec$ 에서 발생한 최대 전압으로 표현한다.

Pick-Up의 감도 시험 결과를 확인하기 위해서는 $7.98\ mm/sec(0.314\ in/sec)$ 속도에서 10에서 1000 Hz까지 주파수 범위에 걸쳐 Millivolt 출력치를 평균한다. 이 값은 RMS 값이지 Peak값이 아니다. 한편 Pick-Up을 수리하면 출력 전압이 변화되므로 새로운 값을 표시하여 놓는 것이 좋다.

모든 진동 변환기에서처럼 속도 Pick-Up도 측정할 수 있는 최대 및 최소 진폭과 주파수에 대한 제한이 있다. 일정한 속도의 진동에 대한 Pick-Up의 출력은 14 Hz(840 cpm) 이하의 주파수에서는 떨어지기 시작한다. 물론 이 이유는 840 cpm 이하에서는 Pick-Up이 스프링-질량 계 및 질량(코일)의 감쇠된 고유 진동수 이하에서 운전하므로 더 이상 공간의 고정점을 조정하지 않는다. 이로 인해 Pick-Up Case와 코일간의 상대속도가 감소되며 따라서 전압 출력도 감소된다. 이러한 감도의 감소가 Pick-Up의 스프링-질량계의 감쇠된 고유진동수에서 시작되지만 약 600 cpm까지는 심각하지는 않다.

3.3 磁氣 干涉 (Magnetic Interference)

대형 교류 전동기나 교류 발전기의 진동을 측정할 때 이런 기계류에 내재하고 있는 교변하는 자계 때문에 문제가 발생하곤 한다. 또한 자계는 대형 교류를 전송하는 케이블 주변에 문제를 일으킨다. 교변하는 자계는 마치 Pick-Up 자체의 진동이 있는 것과 같이 전압을 유기시켜 속도 Pick-Up의 코일로 된 도체에 영향을 미친다. 그 결과 기계 상태와는 관련이 없는 거짓 진동 신호가 발생한다. 자기 간섭 신호의 주파수는 통상 1 때로는 2배의 전력 계통 주파수이다. 전동기나 발전기의 부하를 증가시키면 전류도 증가하여 일반적으로는 간섭 신호의 진폭을 증가시키게 한다. 유도 전동기(비동기 전동기)에서 자기 간섭이 불평형 또는 Misalignment 진동과 합치면 진폭이 흔들리게 나타난다.

자계의 유무 및 영향은 속도 Pick-Up과 분석기로 쉽게 점검할 수 있다. 통상 진동 측정시와 같이 진동 Pick-Up을 분석기에 연결하고 진동치를 정상적으로 측정하는 곳에 Pick-Up을 기계에 닿지 않게 손으로 잡고 부근에 위치시킨다. 대단히 강력한 자계가 전력 계통 주파수의 1배 때로는 2배 주파수에서 “Filter Out” 위치로 놓은 계측기에 일정하게 나타나게 된다. 진폭의 Filter-Out 값은 Pick-Up을 잡고 있는 것이 일정하지 않기 때문에 불균일할 것이다. 따라서 자계의 진폭을 측정하기 위해서는 1 또는 2배의 전력 계통 주파수에 조심스럽게 Filter를 조정하고, 진폭과 주파수 값을 읽는다. 계측

64 — 제1편 진동의 기본 기술

기로부터 취한 값은 자계에 의한 신호이다. 비록 일정한 주파수 값이 Filter-Out 위치에서 관찰될지라도 Filter-In 점검을 추천한다. 자기 간섭이 문제가 되는 곳에는 Magnetic Shield를 사용하면 약 100:1로 감소된다. 임시방편으로 긴 봉을 갖는 Probe를 사용하면 자기 간섭량을 줄일 수 있으나 긴 봉은 강성이 낮아 낮은 고유 주파수를 갖게 되어 베어링, 기어, 공기역학 및 수력학적 힘이 작용하는 높은 주파수 진동 측정용으로는 부적합하다.

3.4 制限 條件 (Limitations)

기계 감시를 위하여 전기 기계식 속도 Pickup을 선택할 때는 앞의 절에서 약속한 주파수와 온도 제한 이외에 몇 가지 다른 인자들을 고려해야 한다.

- 기계적인 신뢰성 : 전형적인 산업 기계 운전 속도 부근의 주파수에서 속도 Pickup이 고수준의 낮은 임피던스 신호를 만들어 낼 수 있지만 이것은 또한 마모로 인하여 신뢰성이 떨어지고 파손될 수 있는 움직이는 부분을 가지고 있는 전기 기계식 장치이다. 제한적인 주파수 범위와 기계적인 신뢰성에 대한 의심 때문에 대부분의 기계 보호와 상태 감시를 위하여 전기기계식 속도 Pickup이 압전 소자식 가속도계나 속도 변환기로 바뀌어지고 있다.
- 방향성 : 어떤 전기 기계식 속도 Pickup은 특정한 평면 즉 수평이나 수직 방향으로만 설치될 수 있다. 이러한 제한성은 기계 감시를 하는 데 있어서 불리한 점이 될 수 있다.
- 낮은 속도의 기계에서의 사용 : 전형적인 전기기계식 속도 Pickup은 약 10 Hz (600 cpm) 이하에서 진폭에 대한 감도가 크게 떨어진다. 그 결과로서 전기 기계식 속도 Pickup은 500에서 600 rpm 이하로 운전되는 기계를 감시하거나 분석하는 데 사용되어서는 안된다. 냉각탑의 Fan이나 혼합기, 많은 왕복동 기계가 일반적인 예이다.
- 낮은 주파수에서의 위상각의 이동 : 감쇠계가 그의 고유 진동수에 가까워짐에 따라 위상각의 이동이 발생하게 된다 (제2장 참조). 약 50 Hz(3000 cpm)이하에서 전기기계식 속도 Pickup의 출력에서 발생하는 점진적인 위상각의 이동으로 다른 속도나 다른 변환기로부터 측정값을 취해질 때 Balancing과 같은 수정 행위나 감시, 분석에 영향을 미칠 수 있다. 이러한 문제를 피하기 위하여 측정치를 기록하거나 Balancing 작업을 할 때 동일 속도에서 동일 변환기를 사용하는 등의 주의가 필요하다.

4. 加速度計 (Accelerometers)

압전 소자식 가속도계는 기계 감시나 상태 감시에 사용되는 가장 일반적인 가속도 변환기이다. 전형적인 압전 소자식 가속도 변환기(그림 3-12)는 하나 또는 그 이상의 천연 또는 인조 수정으로 만들어진 압전 소자를 가지고 있다. 이 수정은 질량에 의한 부하를 받으며 전체 조립품은 튼튼한 케이스로 둘러싸여 있고 케이스가 위로 이동하면 질량에 의해 압축된다. 따라서 진동에 비례하는 힘이 압전소자에 적용된다.

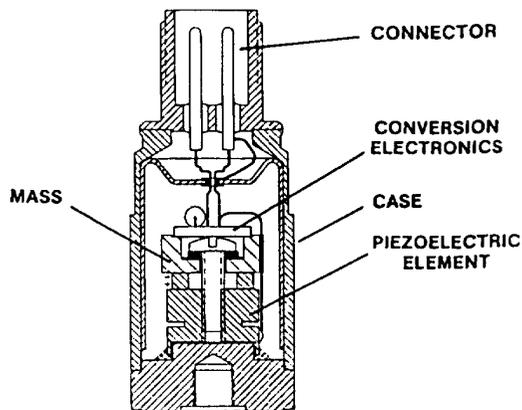


그림 3-12 압축형 가속도계

4.1 適用 (Application)

가속도계의 여러 가지 특성들은 기어나 볼베어링의 상태 분석이나 감시에서 크게 인정을 받아 왔다. 가스터빈을 감시하는데 있어서 전기기계식 속도 Pickup은 주로 가속도계로 바뀌어지고 있다.

그 특성들은 다음과 같다.

- 넓은 주파수 범위[보통 0.5 Hz이하에서 20 kHz(30 cpm에서 1,200 kcpm이상)까지]에서의 선형 응답. 가속도계는 훨씬 더 높은 주파수에서 사용될 수 있으며 종종 베어링의 결함을 알아내기 위하여 그들의 공진 주파수 이상 50 kHz까지 또는 더 높은 주파수에서 사용된다.
- 넓은 역학적인 진폭의 범위
- 신호가 속도와 변위값으로 전기적으로 적분될 수 있다.
- 극도로 높은 온도 조건에 견딜 수 있다.
- 움직이는 부분이 없어 신뢰도가 높다.

변위 Probe나 속도 Pickup과 비교할 때 가속도계는 훨씬 더 넓은 주파수 범위를 볼 수 있다. 그 결과로써 가속도계로부터 얻어지는 신호는 다른 변환기로부터 얻어지는 신호에는 나타나지 않는 수많은 성분들이 포함된 아주 복잡한 것이 될 것이다. 이것이 가속도계가 볼베어링이나 기어의 운전 상태를 감시하는데 이상적인 이유가 되며 신호는 또한 더욱 해석하기가 어려워질 것이다. 가속도계의 확장된 주파수 범위는 전기 기계식 속도 Pickup으로부터 얻어진 특정치와 비교할 때 약간의 차이가 생길지도 모른다. 이 장의 뒷부분에서 설명될 것이지만 가속도계로부터의 출력을 적분하므로써 얻어지는 속도 신호는 약 10 Hz(600 cpm) 이하에서도 속도 Pickup보다 훨씬 더 활발하게 나타난다. 그 이유는 전기 기계식 속도 Pickup의 감도는 감소하지만 가속도계의 감도는 이 주파수대에서 선형성을 유지하기 때문이다.

4.2 運轉 (Operation)

압전 소자식 수정은 질량을 알고 있으므로 가속도와 힘에 비례하는 출력을 발생하며, 기계적으로 응력을 받으면 전하를 발생하는 특성을 나타내는 비도체 수정이다. 많은 천연 수정이 이러한 특성을 가지고 있다.

변환기가 기계에 설치 됐을 때 기계의 운동이 압전 소자판 상부에 조인 질량의 관성 반응을 일으킨다. 이 질량을 가속하기 위해 필요한 힘은 $F=Ma$ 이다. 여기서 M 은 질량이고 a 는 가속도이다. 압전소자 판에 미치는 이 힘은 판의 2개의 마주하는 면 사이에 전하 Q 를 발생한다. 이 전하량은 힘과 질량의 가속도에 비례한다. 압전소자는 Capacitor로 작용하며 전하 변화량은 고저항 감지 회로를 가로지르는 전압 변화량으로 나타난다.

그림 3-13은 압전 소자식 진동 변환기의 간략화한 등가회로이다. 압전 소자는 어떤 주어진 물리적인 운동에 대하여 전극들을 지나 특정전하(Q)를 발생시키는 Coulomb Generator인 Capacitor(C_s)로 설명된다. 발생된 전압(V)은 전하를 소자의 Capacity로 나눈 값과 같다 ($V=Q/C$). 응용 분석용으로는 간략화한 회로가 적절하다.

가속도계의 출력은 단위 가속도당 전압 또는 전하로 표현한다. 이 출력의 표현은 가속도계의 감도로써 보다 널리 쓰이며 감도의 단위는 통상 mV/g 이며 Picocoulomb/g도 사용된다.

가속도계는 1차 고유진동수 이하에서 운전된다 (그림 3-14). 그림 3-14에 나타난 곡선에서 주파수 축은 운전 주파수 대 공진 주파수의 비로써 표현되었다.

공진에 접근하면서 감도가 급속하게 증가하는 것이 가속도계의 특징이다. 일반적으로 가속도계의 감도와 전기적인 입출력 비는 고유 진동수의 약 1/4이나 1/3까지는 거

의 일정하다.

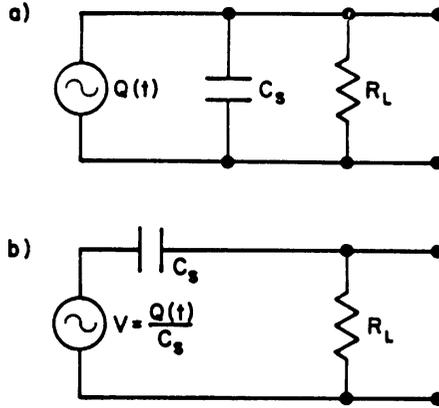


그림 3-13 a) 전하 발전기로써의 압전소자 변환기
b) 전압 발전기로써의 압전소자 변환기.

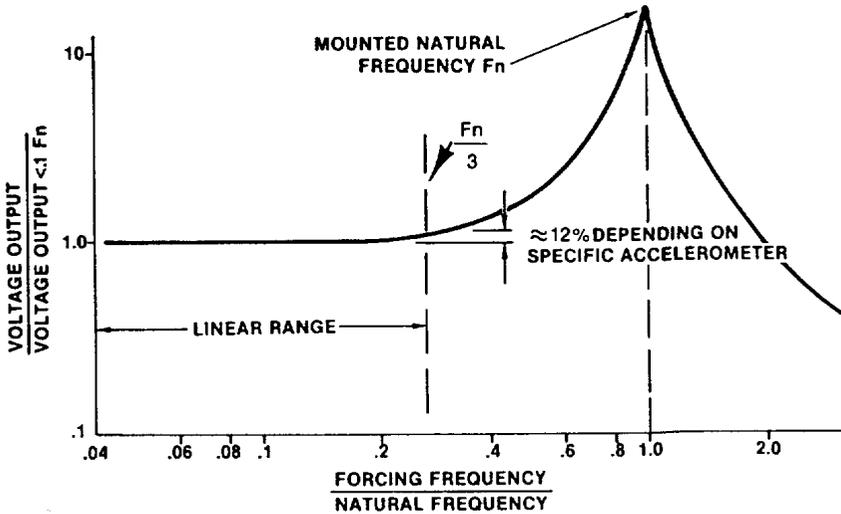


그림 3-14 전형적인 가속도계의 감도

압전 소자 가속도계는 순수한 DC 응답을 할 수 없다. 압전 소자는 역학적인 힘이 작용될 때 충전이 된다. 저주파수에 대한 실제적인 제한은 가속도계가 접속된 전치 증폭기(Preamplifier)에 의하여 결정된다. 전치 증폭기는 가속도계로부터 전하량이 새어나가는 비율을 결정한다. 0.003 Hz(0.18 cpm) 이하의 주파수에서의 진동 측정은 고품질의 가속도계와 전치 증폭기에 의하여 가능하다.

이론적으로 가속도계는 가속도 Zero까지 선형적으로 감소한다. 그러나 실제적인 낮은 주파수의 제한은 측정 시스템이 가지고 있는 고유의 Noise에 의해 결정된다.

주어진 압전 소자 재료에 대하여 가속도계의 감도는 질량의 직접 함수(Direct Function)이다. 보통 감도가 증가한다는 것은 공진 주파수의 감소를 의미하는 크기와 무게가 커졌다는 것을 의미한다 (그림 3-15). 역으로 매우 높은 주파수에 사용하는 가속도계는 작고 가벼우며 낮은 감도를 가지고 있다. 가속도계는 보통 90 dB 또는 그 이상의 매우 넓은 역학적 범위를 가지고 있다. 그러나 변환장치(Conversion Electronics)를 과부하 시키지 않고 예상할 수 있는 가장 큰 가진력을 수용할 수 있을 정도의 고감도를 가속도계가 가지고 있을 때 최상의 결과를 얻을 수 있다.

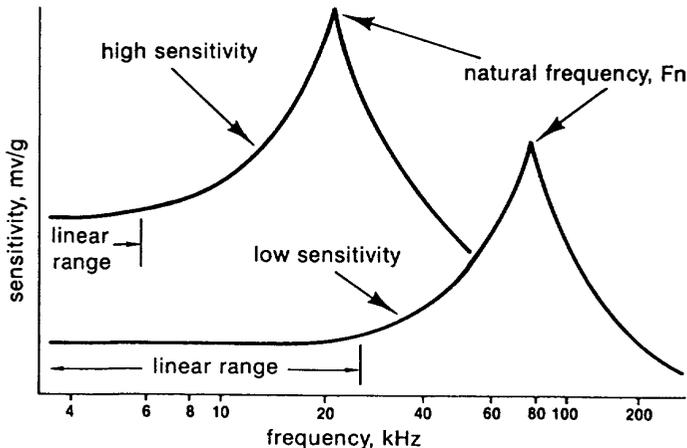


그림 3-15 가속도계의 감도와 고유진동수와의 관계

압전 소자 가속도계는 자체 발생 장치이지만 그것의 출력은 매우 높은 임피던스를 가지고 있다. 그러므로 가속도계 자체만으로는 대부분의 표시 화면이나 분석, 감시 장비에 적합하지 않다. 그러므로 고 임피던스의 크리스탈 출력을 저 임피던스로 변환시키기 위하여 변환 장치가 사용되어야 한다. 임피던스 변환 장치는 가속도계 내부나 가속도계에 가까운 외부에, 또는 감시나 분석 장비 안에 설치될 수 있다 (그림 3-16).

내부에 변환 장치를 가지고 있는 가속도계는 사용하기에 편리하며 값이 비싸지 않은 평범한 Connector나 케이블을 사용할 수 있지만 최고 사용 온도가 약 250 °F(125 °C)로 제한된다. 가속도계로부터 떨어져 서늘한 곳에 변환 장치를 설치하면 특정 기계에서 더 높은 허용 온도, 1,400 °F(760 °C)까지 변환기를 사용할 수 있다. 그러나 가속도계로부터의 고 임피던스 신호를 변환 장치까지 전달하기 위해서는 특수하고 값비싼 저 Noise Connector와 케이블을 사용해야 하며 케이블은 외란의 발생을 최소화하기 위하

여 단단히 고정되어야 한다. 변환기를 측정 장치 내에 설치하는 것이 별도의 변환 장치를 설치하는 것보다 종종 더욱 편리하며 값이 싸게 된다.

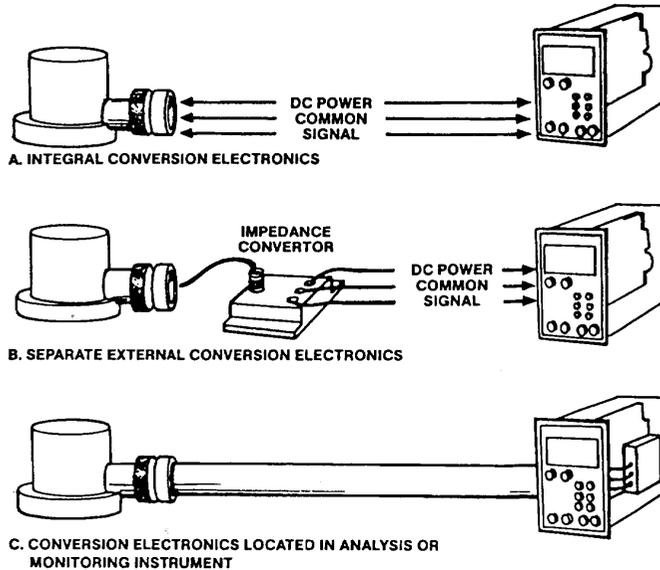


그림 3-16 고 임피던스의 가속도계 출력을 기록 및 분석장비 사용에 알맞은 저 임피던스 신호로 변환시키는 3가지 방법

변환기를 가속도계 내에 설치하게 되면 낮은 Noise의 긴 전송 케이블이 필요하며 이것이 손상되면 전체를 교체하여야 한다. 온도에 의해 제한만 받지 않는다면 변환기를 가속도계 내에 설치하는 것이 일반적으로 가장 좋은 방법이다.

변환 장치에는 충전식, 전압식의 두 가지 형식이 있다. 충전식 변환 장치는 일반적으로 더 복잡하며 따라서 전압식 변환 장치보다 더욱 값이 비싸다. 그러나 충전식 장치의 감도는 가속도계와 충전식 변환 장치 사이의 케이블의 길이에 영향을 받지 않는다. 낮은 내부 용량을 가지고 있는 가속도계와 전압식 변환 장치가 사용되면 케이블 길이의 변화가 전체적인 용량에 변화가 생길 수 있으며 상응하는 감도의 변화를 일으킬 수 있다. 이러한 종류의 변환 장치와 케이블의 영향은 가속도계와 별도로 변환 장치가 설치된 기계에서만 고려할 필요가 있다.

기계 상태 감시와 분석에 사용되는 대부분의 가속도계는 내부 변환 장치를 가지고 있다. 내부 변환 장치를 가지고 있는 가속도계는 대부분의 분석 및 측정 장비에서 직접 사용하기에 알맞은 저 임피던스의 출력을 가지고 있다. 가속도계와 저 Noise 케이블, 그리고 별도의 충전식 변환장치로 구성된 시스템과 비교할 때 내부 변환 장치의 가

70 — 제1편 진동의 기본 기술

속도계는 사용하기가 쉬우며, 일반적으로 외부의 영향에 덜 민감하며 가격도 저렴하다.

내부 변환 장치를 가지고 있는 가속도계는 표준 케이블과 Connector로 훌륭하게 운전된다. 가속도계로부터 감시 및 분석 기구까지의 최대 거리는 가속도계에 공급되는 전원이나 케이블 용량, 관심 대상이 되는 최대 진폭이나 주파수의 크기에 의하여 결정된다. 약 500 feet(150 meter)를 초과하는 케이블의 길이가 요구되는 경우에는 가속도계 제작자의 추천을 따라야 한다.

기계 상태 감시에 사용되는 가속도계의 감도에 대한 현재의 규격은 24 Vdc에서 100 mV/g의 가진력이다. 이것은 사용하기 편리한 값이며 대부분의 기계에 적용할 수 있지만 높은 진폭을 측정하거나 저주파수에서 측정할 때는 문제를 일으킬 수 있다.

앞에서 언급된 바와 같이 가속도계로 저주파수 측정을 하는 것은 신호 대 Noise의 비율에 의해 제한된다. 적정 값으로서 많이 추천되는 500 mV/g의 높은 감도는 10 Hz (600 cpm)이하의 주파수가 주요 관심의 대상이 되는 저속 기계에 적용될 때 유리하다.

고 주파수에서는 반대 현상이 일어난다. 전형적인 100 mV/g의 가속도계는 약 70g의 피크 진폭까지 제한된다. 이 수준 이상에서는 고, 저 주파수에서 신호가 왜곡되기 시작한다. 그러므로 고진폭의 성분이 생기는 기어, 가스 터빈, 나사식 압축기와 같은 기계를 측정하기 위해서는 10 mV/g의 낮은 감도가 요구된다.

4.3 壓電 素子式 速度 變換器 (Piezoelectric Velocity Transducers)

압전 소자 가속도계는 속도값의 출력을 만들어 내기 위해 내부에 변환 회로가 결합된 적분기를 사용한다. 앞 절에서 언급된 자석과 코일로 이루어진 전기기계식 속도 Pickup과 비교할 때 압전 소자 속도 변환기의 몇 가지 유리한 점 때문에 거의 모든 기계의 상태 감시에서 압전 소자식 Pickup이 자석 코일식 Pickup을 대신하게 되었다. 이것의 장점은 신뢰도가 크게 향상되었고, 기계적으로 움직이는 부분이 없어 수명이 길고 전체 운전 범위에서 위상각이 정확하게 나타난다는 점 등이다. 또한 2 Hz(120 cpm)에서부터 2 kHz(120 kcpm)이상까지의 전형적인 압전 소자 속도 변환기의 주파수 응답은 기어나 볼베어링이 장착되어 있는 저속 기계에서의 진동을 측정하거나 감시하는데 유리하다. 냉각탑의 Fan이나 제지 기계의 베어링이 전형적인 예이다.

4.4 設置 (Installation)

가속도계의 적절한 설치 방법은 종종 타협이 요구되는 문제이다. 평평한 표면에 스톨트 볼트로 견고하게 설치하는 것이 최상의 진폭 선형성과 주파수 응답을 제공한다는 것은 의심할 나위도 없다. 이러한 형태의 설치는 값이 비싸고 휴대용 장비로 기록

되는 많은 측정에는 실제적인 방법이 아닐 것이다. 접촉성이 좋은 자석으로 베어링 하우징의 표면에 고정된 평평한 면에 부착함으로써 적당한 주파수 응답(4~5 Hz, 240~300 kcpm)을 가지는 신속한 측정과 양호한 진폭 재현성을 얻을 수 있다 (이러한 형태의 접촉은 완전한 주파수 응답을 얻을 수 있다는 것이 중요하다). 어떤 경우에는 신속한 부착과 분리가 필요할 때가 있다. 측정되는 최대의 주파수가 비교적 낮은 약 1 kHz(60 kcpm) 이하에서는 Handheld 가속도계가 최소의 비용으로 만족할 만한 결과를 제공할 것이다.

대부분의 전형적인 감시 프로그램은 모두 다음 세 가지 고정 방법을 사용할 것이다.

- 영구적으로 견고하게 스테드 볼트로 고정하여 가속도계를 설치하는 방법이며 아마도 이 가속도계는 정밀한 고 주파수 측정이 요구되는 고속 기어와 같은 복잡한 기계를 주기적으로 감시하는데 사용될 것이다.
- 자석을 이용한 고정 방법은 터빈, 터보 압축기, 저속 기어와 같은 중요한 기계를 주기적으로 측정하는데 이상적이다.
- Handheld 측정 방법은 연속적인 측정 중에 약간의 변화가 허용되는 중요하지 않은 일반적인 용도의 기계 장치에서 만족스러운 결과를 제공할 것이다.

케이블이나 Connector도 또한 신뢰할 만하고 반복적인 측정에 아주 중요하다. 영구적인 설치를 위하여 선정 과정 중에 환경 조건도 고려되어야만 한다. 부식과 조기 고장을 방지하기 위하여 Connector의 형식과 Connector와 케이블의 재료의 적절한 선정이 매우 중요한데 냉각탑 내의 염소 가스 주변에서나 제지용 기계에서의 사용은 물론 고온에서의 사용 등이 환경 조건을 고려해야 하는 몇몇 예가 될 것이다. 이러한 경우에 기계적인 손상의 방지, 변형의 완화, 전원과 제어용 케이블의 격리 등을 고려한 설치는 성능과 신뢰도에 아주 중요하다.

주기적인 측정을 위하여 사용되는 케이블과 Connector는 적절하게 변형 완화의 여유를 주고 튼튼하게 설치되어야 한다.

4.5 制限 條件 (Limitations)

가속도계는 높은 감도와 넓은 작동 범위 때문에 측정 환경에 민감한 반응을 나타낸다. 열의 복사와 빗방울의 부딪힘까지도 가속도계는 큰 저 주파수의 출력을 만들어 낸다. 고르지 못한 표면에 설치되어 가속도계 바닥의 찌그러짐 때문에 생기는 기초대 변형률(Base Strain)은 감도를 크게 변화시킬 수 있다. 이 두 가지 난제는 가속도계의 설계를 어떻게 하느냐에 따라 최소화할 수 있다. 일반적으로 질량이 진동에 대한

72 — 제1편 진동의 기본 기술

응답을 할 때 크리스탈에 전단력을 가하는 전단력형(그림 3-17)은 압축형(그림 3-12)보다 열의 복사와 기초대 변형률에 의한 영향을 덜 받는다. 환경의 영향을 제거할 수 없으면 가속도계 위에 절연 커버를 씌우는 것이 효과적임이 증명되었다. 가속도계를 사용할 때 고 임피던스와 낮은 강도의 신호가 조합되면 접지 계통에 회로가 형성되는 문제가 일어날 수 있다. 이것은 다른 전위를 가진 두 개의 접지 사이에 전류가 흐를 때 일어나기 때문에 시스템을 확실하게 한 곳에만 접지시키므로써 제거될 수 있다. 어떤 가속도계는 케이싱에 접속되어 한쪽 방향으로만 적층된 구조를 가지고 있다. 접지 계통에 회로가 형성되면 가속도계를 격리시키기 위하여 절연물을 설치하는 것이 필요하다. 이러한 조치가 절대적으로 필요하게 되면, 절연물의 설치에 가속도계의 공진 주파수를 낮게 하여 고 주파수에서 이에 상응하는 감도의 왜곡이 일어날 수 있다는 사실을 알아야 한다.

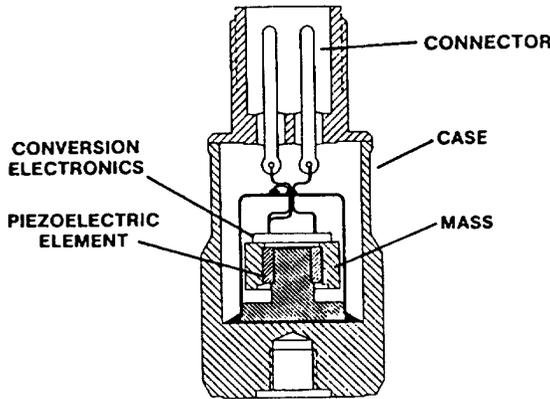


그림 3-17 전단형 가속도계

최종적으로 주의할 사항으로서 가속도계의 주요 강점 중의 하나가 이 장에서 언급된 다른 어떤 변환기보다 훨씬 더 넓은 주파수 범위를 조사 할 수 있다는 사실이다. 그 결과 가속도계로부터의 신호는 다른 변환기로부터 얻어진 신호에서는 전혀 나타나지 않는 수많은 성분을 포함한다. 어떤 방식으로 신호를 수정하고 변경하고 제한하기 위하여 신호 조절(Signal Conditioning)이 사용될 수 있다. 그러나 두 개의 다른 변환기에 의해 측정된 동일한 변수에서의 차이에 대해서는 미리 조사되어야 한다. 예를 들면 가속도계로부터의 출력은 전자적으로 속도로 적분된다. 가속도로부터 적분된 신호를 정확하게 동일 위치에 설치된 전기기계식 속도 Pickup으로부터 직접 얻어진 속도 신호와 비교하면 이 두 개의 신호는 약 10 Hz에서 1,000 Hz(600 cpm에서 60,000 cpm)까지는 본질적으로 같을 것이다. 이 범위 이하에서 가속도로부터 적분된 신호는 감도가 여

전히 선형적인 반면 전기기계식 속도 Pickup의 신호는 감도가 떨어지기 때문에 가속도로부터 적분된 신호는 훨씬 더 활발한 저 주파수 신호를 포함하게 될 것이다. 가속도계의 매우 낮은 주파수까지의 선형 특성은 신호가 변위값으로 두 번 적분되면 특히 더 성가신 일이 될 수 있다. 이러한 상황하에서는 저 주파수대에서의 가속도와 속도의 주파수 제곱의 관계를 유지하는데 필요한 매우 큰 입출력비(Gain) 때문에 구조물의 운동이나 도관내의 평음과 같은 기계 상태와는 관계없는 특성들이 증폭된다. 따라서 이러한 것들은 Filtering에 의해서 제거되어야만 한다.

가속도계가 기계 상태 감시에 널리 사용되고 있지만 허위의 낮은 주파수 성분을 포함하고 있다는 주기적인 보고를 수반하여 왔다. 사실 이 경우의 대부분은 고 주파수대에서 높은 진폭이 발생하는 기계들 즉, 기어, 회전 나사식 압축기, 가스 터빈, 결합이 있는 볼베어링을 가지고 있는 기계에서 발생되었다. 테스트 결과는 최대 진폭(rms)이 충분히 가속도계의 사용범위 이내에 있었다고 한다. 이 문제에 대한 설명은 관측 결과와 일치하는데 고과고율(High-Crest Factor) (peak/rms)의 가진이나 고 주파수에서 불충분한 전류의 공급은 변환 장치에 순간적인 과부하를 일으킨다는 것이다. 이 과부하는 감지용 크리스탈과 변환 장치 사이의 고 임피던스 회로의 밖에서는 관측될 수 없다. 과부하와 그 결과로 일어난 비선형성은 속도로의 적분 과정에서 증폭되는 인위적인 저 주파수 성분을 만들어 낸다. 그러므로 고 진폭과 고 주파수 가진을 일으킬 수 있는 기계에서 진동을 측정하기 위하여 100 mV/g의 가속도계를 사용할 때에는 이 점에 주의하여야 한다.

5. Shaft Riding Pickup

어떤 경우에는 축의 절대 운동을 측정하는 것이 바람직할 때가 있다. 이것은 두 가지 방법으로 수행된다. 첫째로, 아마도 가장 간단한 방법은 가속도계나 속도 Pickup과 같은 지진계식 감지기(Seismic Sensor)에 장기간 동안 축에 접촉되어 축의 운동을 추종할 수 있는 비금속 Tip을 장착한 스프링 하중식 Plunger를 부착하는 것이다. 이렇게 설계하면 지진계식(Seismic) Pickup의 출력은 베어링이나 케이싱의 운동과는 관계없이 축의 절대 운동에 비례할 것이다.

Shaft-Riding Pickup(그림 3-18)은 정확하게 축의 움직임을 추종할 수 있어야 하며 그것이 감지하고 있는 움직임에 영향을 미치거나 왜곡할지도 모를 어떠한 고유진동수의 영향을 받지 않아야 한다. 적어도 5g의 피크 가속도(3600 rpm에서 25 mils, 0.6 mm의 Peak to Peak 변위)의 수준에서도 축과 접촉 상태를 유지할 수 있도록 Tip에는 스

74 — 제1편 진동의 기본 기술

프링으로 충분한 힘이 가해져야 한다. 또한 마모나 떨림 현상을 최소화하기 위하여 윤활되어야 한다. Shaft Riding Pickup 장치는 금속 Rider 부위가 Tip이 마모되면서 축과 접촉되는 것을 방지하기 위하여 어떤 형태든지 확실하게 작동되는 기계식 멈춤 장치를 갖추어야 한다. Shaft Rider가 스프링의 행정의 한계 이내에 있고 기계식 멈춤 장치와 부딪혀 있지는 않는가를 확실히 하기 위하여 눈으로 확인할 수 있는 마모 지시계가 보통 제공된다. Shaft Rider의 Tip이 타고 지나가는 부위의 축 표면은 매끄러워야 하며 기계적인 Runout도 허용 축 진폭의 약 10% 보다 작아야 한다.

Shaft Rider가 기능을 발휘할 수 있는 축의 최대 속도는 Tip의 구조, 표면 속도, 윤활, 그리고 Tip을 축 표면에 스프링으로 눌러 주는 힘에 좌우된다. 일반적으로 축 표면이 20 μ in(0.5 μ m) rms의 표면 다듬질 상태를 가지고 있을 때 Shaft Rider는 약 20,000 ft/min(6,000 m/min)의 표면 속도까지 사용될 수 있다.

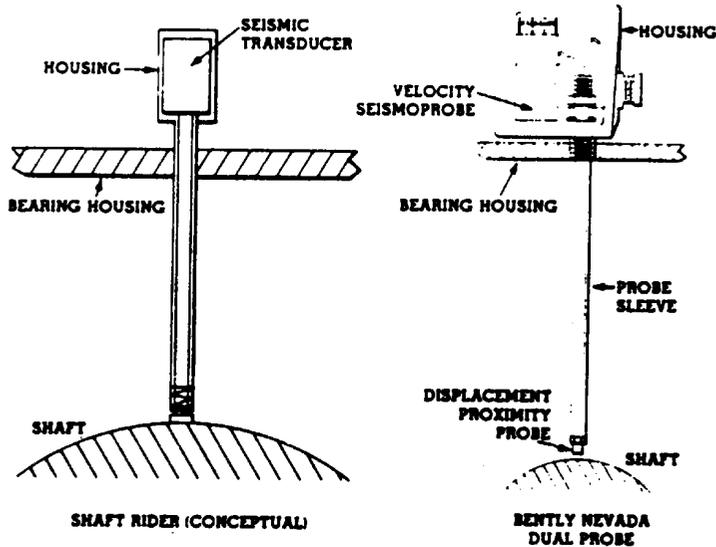


그림 3-18 Shaft Rider와 Dual Probe 변환기의 비교

6. Dual Probe

축의 절대 운동을 측정하는 것으로는 Shaft Riding Pickup과 Dual Probe가 있다 (그림 3-18). Dual Probe는 동일 위치에 설치되어 있는 Proximity Probe와 지진계식 Probe의 조합이다. Proximity Probe는 축의 상대 운동을 측정하고 속도 Pickup은 베어링 하우징의 절대 진동을 측정한다. 축의 절대 진동을 측정하기 위해서는 먼저 속도 신호를 변위 값으로 적분한 후 축의 상대변위 신호에 합성한다. Dual Probe는 Shaft

Riding Pickup 보다 기계의 기계적 상태에 대한 보다 많은 정보를 제공한다. Dual Probe는 Shaft Riding Pickup이 검출할 수 있는 베어링 절대진동 이외에도 축의 상대진동 및 베어링 간극 내에서 축의 상대위치도 측정할 수 있다.

터빈 제작자가 Shaft Riding Pickup과 Dual Probe 측정에 대하여 다음과 같이 언급하고 있다. 이것은 특정 단위 기계의 베어링 하우징의 구조물에 따라 결정된다. 대다수의 구형 기계의 베어링 하우징은 임계진동 주파수에서도 거의 또는 전혀 움직이지 않는 무거운 구조물이다. 이와 같은 베어링에 대해서는 상대진동 값을 취하는 것이 적합하다. 한편 용접 조립된 베어링 하우징을 가지는 기계에서는 절대진동 측정을 취할 것을 권고한다. 여기서 절대진동 시스템이란 축의 절대진동 뿐만 아니라 축의 상대진동도 측정하는 Dual Probe 시스템을 말한다.

Proximity Sensor는 축 표면에 전혀 접촉되지 않으나 자계를 송수신하여 Gap 의 거리에 비례하는 자계의 강도를 이용하여 표면으로부터 0.025 in 정도의 값을 얻는다. 절대진동 측정용 지진계식 Sensor 이외에는 움직이는 부분이 없으며, 신뢰도도 높고, 마모가 없다. 정확도와 감도는 10 kHz 주파수까지 양호하다.

Shaft Rider는 축에 직접 접촉되며, Shaft Rider Tip과 축에 마모를 일으키며, 운환이 되는 부분에 위치해야만 하고, 그러기 위해서는 베어링을 관통하여 설치한다. Shaft Rider는 “Oil Whip”에 취약하며, 주파수에 제한을 받는다(10~120 Hz까지 양호함). 움직이는 부분과 직접 접촉으로 인한 고착, 미끄러짐, 휨, 이음 등의 발생으로 측정값에 오차가 발생한다. 이러한 요소들은 Shaft Rider 계통의 교정을 곤란하게 한다.

7. 振動 變換器의 比較 (Comparison of Vibration Transducers)

7.1 Proximity Probe

○ 장 점

- 축의 동적운동을 직접 측정

Unbalance, Misalignment, Rubs, 베어링 Instability와 같은 일반적인 기계의 비정상 상태에서 발생하는 진동의 근원 측정

- 베어링의 허용 간극 범위내에서 로터 위치의 평균값 측정

Misalignment, 유체, 기체역학적인 영향에 의해 로터에 작용하는 정상 상태의 일정 방향 Preload를 측정

- 교정이 용이함 : Spindle Micrometer와 Digital Voltmeter만 필요함
- 같은 종류의 변환기를 다용도로 사용 가능

76 — 제1편 진동의 기본 기술

Axial Thrust Position, Rotor Eccentricity, Rotor Speed, Phase Angle, Differential Expansion 측정

- 진동 변위의 공학적 단위로 직접 측정
- S/N 비가 양호함 : High Level Low Impedance Output
- 넓은 주파수 폭 : 0~10 kHz
- 고 신뢰도의 Solid-State 사용
- Modular 계통 설계
호환 가능 부품 사용으로 비용 분산

○ 단 점

- Runout, 즉 Glitch(Electrical & Mechanical)에 영향을 받음 : Shaft의 재질이 균질이어야 하며, 축표면에 Scratch, 녹 등이 없어야 한다.
- 재질에 민감함
특정재질에 대해서는 별도 교정을 요함
- 외부 직류전원을 필요로 함
- 기계설계에 따라 설치가 어려운 경우도 있음
- 임시로 설치할 경우 짧은 시간내 설치 곤란
모든 경우에 영구설치를 해야함
- 낮은 Mechanical Impedance를 갖는 기계에 대해서는 같은 장소에 지진계식 변환기를 같이 설치 사용해야 함 (Low Impedance는 Case 대 Rotor 무게비가 낮고 Compliant Bearing Support Structure에서 온다).

7.2 Velocity Transducer

○ 장 점

- 설치가 용이함
- 중간 주파수 범위(15 Hz~1 kHz)에서 강한 신호
- 외부 전원이 필요 없으며, 자체에서 신호 발생
- Shaft Rider나 Fishtail에 설치하면 축진동의 절대값 측정 가능
- 중간속도 범위에서 기계의 전체 평가에 대한 적절한 주파수 응답
- Magnetic Base를 사용, 임시 설치가 가능함
- 적당히 높은 온도에 사용 가능
- 속도는 적분하여 변위로 변환하기가 쉽고 기계진동의 전체적인 평가를 위해 더

의미있는 측정의 단위임

○ 단 점

- 축의 동적 움직임에 대해서는 제한된 정보를 제공함
Low Mechanical Impedance가 요구됨
- 기계 외부에 설치하기 때문에 파이핑, 기초, 인접 기계 등 주위 환경으로부터 기계 Housing에 전달되는 진동에 의해 측정값이 영향을 받을 수 있다.
- 기계적인 설계(Spring/Mass/Damper)에 의해 정상 사용중 성능이 일정기간 경과후 저하됨.
- 단품이므로 일부 변환기 고장시에도 전체를 교체 해야함.
- 교정이 어려움-기계로부터 분리하여 Shaker Table을 사용해야 한다.
- 낮은 주파수에서 진폭과 위상오차가 발생한다.
- 높은 진폭에서 Cross-axis 민감도 문제가 있음.
- 비교적 크고 무겁다.

7.3 Accelerometer

○ 장 점

- 설치가 용이함 (베어링 Housing과 같은 기계 외부에 설치)
- 2 kHz 이상에서 고주파수에 대한 측정이 매우 유용하다.
- 움직이는 부분이 없어 신뢰도가 높다.
- 고온에 적용 가능
- 주파수와 온도의 사용범위 밖에서도 동작 가능함
- 비교적 가볍다.

○ 단 점

- 축의 동적 움직임에 대해 제한된 정보 제공
Low Mechanical Impedance 요구
- 기계 외부에 설치하기 때문에 파이핑, 기초, 인접 기계 등 주위환경으로부터 기계 하우징에 전달되는 진동에 의해 영향을 받을 수 있다. 설치장소 선정에 유의해야 한다.
- 기계 Housing에 부착하는 방법이나 접촉불량으로 인해 발생하는 잡음에 민감하므로 효과적으로 설치하기 위해 신중한 노력이 요구됨. 임시로 설치하여 사용할 때는 휴대용으로 사용할 때보다 더 제한된 반응을 갖는다.

78 — 제1편 진동의 기본 기술

- 단품이므로 일부 변환기 고장시에도 전체를 교체해야 한다.
- 교정이 어렵다. 기계로부터 분리하여 Shaker Table을 사용해야 한다.
- 저속기계와 저 주파수에 적용키 어렵다. 왜냐하면 낮은 가속 Level이 잡음보다 약간 큰 신호를 발생시키기 때문이다.
- 기계적 진동의 전체 평가에 대해, 변위로 이중 적분을 함은 잡음에 민감하다. 특히 낮은 주파수에서 심하다.
- 감시하기 위해 신호를 여과해야 하며, 각 기계에 대해 개별적으로 필터를 결정해야 한다.
- 콘크리트 바닥에 떨어뜨리는 것과 같은 심한 충격에 손상되기 쉽고, 특히 예민하지 않은 축방향에 손상이 심하다.

7.4 Shaft Riding Probe

○ 장 점

- 축의 절대적인 동특성 움직임을 직접 측정해 준다.
- 외부 전원은 필요 없음

○ 단 점

- 접촉형이므로 Tip과 축 사이에 마모가 발생함.
- 특히 600에서 7,000 cpm 사이의 제한된 주파수 응답을 갖고, 제한된 축의 Show Roll(휨이나 늘어남) 측정
- 윤활이 되는 부분에 설치해야 한다.
- Rider는 유막에 미끄러지는 것임.
- Rider가 축 움직임을 정확히 따르지 않기 때문에 축 Rider Guide의 마찰이 출력에 오차를 일으킬 수 있다.
- 가동 부위(Seismic Element Slider, Spring, 축상의 Rider Tip)가 정상 사용중 성능이 저하된다.
- 적절한 윤활이나 축표면 처리가 유지되지 않으면 Slip Bounce Squeal이나 Chatter가 일어날 수 있다.
- 기계적인 돌출이 오차를 발생시킴
- 낮은 주파수에서 Seismic Element에 의한 오차가 발생하고 높은 주파수에서는 기계적인 Riding 계통에 의해 위상과 진폭 오차가 발생함.

7.5 Dual Probe

○ 장 점

- Proximity Probe의 모든 장점을 모두 갖고 있음
- 기계문제를 조사하기 위한 진단 계측기에 연결 가능한 4가지의 정보를 제공해 준다. 즉
 - 축의 절대적인 움직임
 - 축의 상대적인 움직임
 - 베어링 Housing의 움직임
 - 베어링 허용 간극내에서 축 위치의 평균치
- 4.5 Hz에서 1 kHz까지의 절대적인 측정값에 대한 폭 넓은 주파수 응답. 상대적인 측정값에 대해서는 DC로 부터 10 kHz까지 주파수 응답
- 베어링에 대한 축의 상대적인 측정값과 자유공간에 대한 베어링의 상대적인 움직임 값을 측정할 수 있으므로 계통의 기계적인 Impedance를 나타낸다.

○ 단 점

- 절대적인 측정값에서 낮은 주파수대(1200 cpm이하)의 위상과 진폭 오차가 발생. 이 오차는 전자적으로나 인위적으로 수정되어야 한다.
- 전기적이나 기계적인 돌출부에 기인된 오차 발생
- 외부 전원 필요
- Seismic Element의 기계적인 설계 성능이 사용기간중 열화됨.

7.6 變換器의 一般의 特性 (General Transducer Characteristics)

TYPICAL SPECIFICATIONS	ACCELEROMETERS						VELOCITY PICKUPS		NONCONTACT DISPLACEMENT PROBES
	GENERAL PURPOSE	LOW FREQUENCY	HIGH FREQUENCY	PERMANENTLY MOUNTED	TRIAXIAL	SEISMIC	PIEZO-ELECTRIC		
TYPICAL SENSITIVITY RANGE (mV/g Unless Noted)	10 - 100	500 - 10,000	0.4 - 20	10 - 100	10 - 100	(mV/in/s) 100 - 1,000	(mV/in/s) 100 - 1,000	(mV/mil) 100 - 200	
TYPICAL MEASUREMENT FREQUENCY RANGE (CPM)	120 - 600,000	6 - 60,000	600 - 3,600,000	180 - 600,000	120 - 600,000	600 - 60,000	60 - 240,000	0 - 120,000	
TYPICAL STUD MOUNTED NATURAL FREQUENCIES (CPM)	960,000 - 2,700,000	390,000 - 900,000	4,200,000 - 10,800,000	1,080,000 - 1,800,000	480,000 - 1,200,000	APPROXIMATELY 800	APPROXIMATELY 200,000	N.A.	
TYPICAL WEIGHT RANGE (grams)	17 - 110	135 - 1,000	1.2 - 15	60 - 180	17 - 130	100 - 150	150 - 250	230 - 280	
TYPICAL USABLE TEMP. RANGE (°F)	(-100°) - 250°	(-100°) - 250°	(-40°) - 350°	(-50°) - 250°	(-100°) - 250°	(-50°) - 250°	(-50°) - 250°	(-30°) - 350°	
EXAMPLE TRANSDUCER MODEL NUMBERS AND MANUFACTURER (Alphabetical Order)	B & K 4370 B & K 4390 IRD 943 IRD 970 PCB 302A08 PCB 302A09 PCB 307A PCB 308B RION PV44A VIBRAMET 1020 VIBRAMET 1021 WILCOXON 793	B & K 8318 (S) PCB 328A01 (S) PCB 328A02 (S) PCB 328A03 (S) PCB 395C (C) VIBRAMET 5100 (S) WILCOXON 731 (C) WILCOXON 793L (C) WILCOXON 797L (S) WILCOXON 799 (S) (S) = Shear Mode (Not Temp. Sensitive) (C) = Compression Mode (Temp. Sensitive)	B & K 8309 PCB 303A02 RION PV 90B VIBRAMET 6032 WILCOXON 728T WILCOXON 732	B & K 8310/24 B & K 8317 IRD 941B IRD 942 PCB 328B VIBRAMET 1024	B & K 4321 PCB 308A PCB 308A08 VIBRAMET 3130 WILCOXON 733	BENTLY 47633 IRD 544 WILCOXON 793V	BENTLY 26862 IRD 560 WILCOXON 756V	BENTLY 3300 BENTLY 7200 IRD 403	