

설비진단기술을 이용한 CBM 활용에 관한 연구

강인선

Abstract

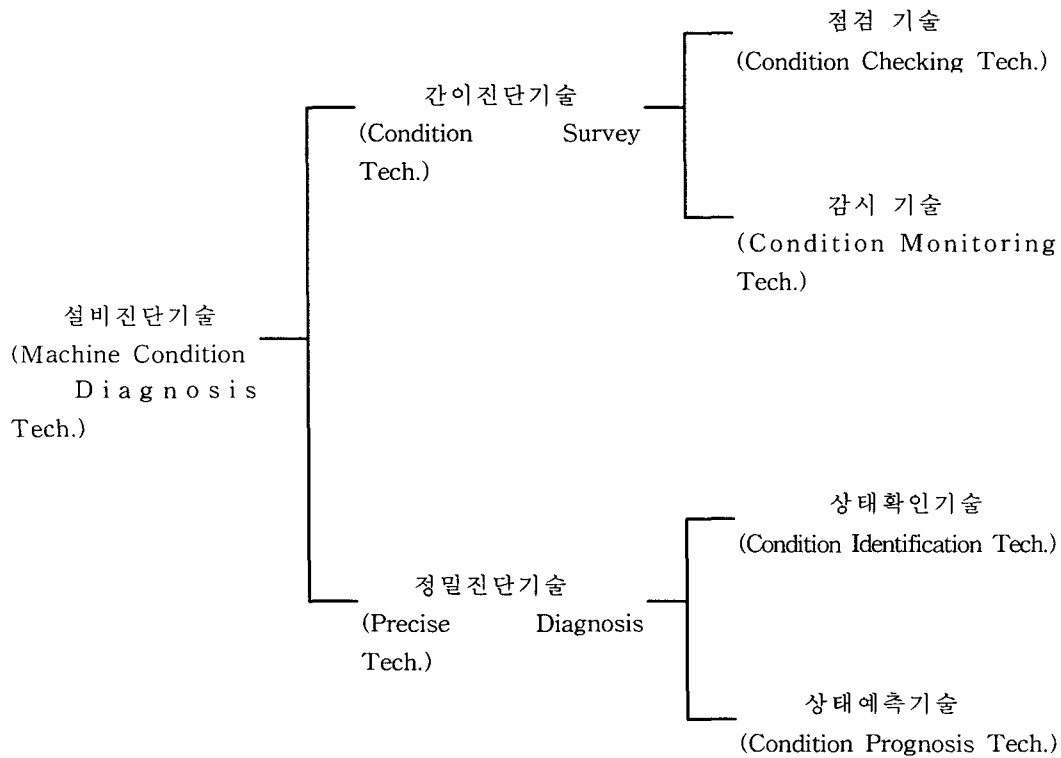
Machine condition diagnosis is the technique to perceive the machine errors and the abrasion online without overhaul. We need the steps to predict the life span and reliability of a machine for the abrasion as with perceiving the degree of the abrasion of certain machine parts to make errors. In this study we deals with the methods to check and manage periodically and to configure the judgement criteria for the state of a machine. For the applications of CDT(Condition Diagnosis Technique) we also suggest the methods to check comparing the measured vibration values with the absolute criteria and to check the abnormality by vibration level.

1. 서론

설비상태진단기술(CDT: machine condition diagnosis technique)이란 설비의 상태 즉 설비에 부하된 stress의 검출, 열화와 고장의 검출, 강도와 성능의 검출, 결함원인 및 정도에 따라서 고장의 종류, 위치, 위험도등을 식별, 평가하고 불확실한 열화상태를 예측하여 수리 및 복원방법을 결정하는 종합진단기술이다. 열화상태를 조기에 발견하고 나아가 최소 보전비로 설비를 정상상태로 유지하기 위한 시스템이다. 고장유무를 사전에 판단하여 조치함으로써 고장으로 인한 생산저하, 또는 재해유발가능성을 차단할 수 있는데 이에 대한 방법으로 설비진단기술의 활용이 필요하다. 설비진단기술은 보전비용절감 및 성력화를 위한 수단으로써 실제 생산기술관리에 대한 진단으로 볼 수 있다. 고장여부와 아울러 왜 고장이 발생하였는가를 파악하여 이를 개선하도록 해결함이 무엇보다 중요하다.

설비상태감시(machinery condition)는안정화된 조업 확보를 위해 보전관리가 경영

전략의 핵심으로 부상함에 따라 이러한 기대에 부응하기 위한 신 설비보전기술로 상당히 발전하고 있다. 특히 근래 관심으로 부각되는 CBM방식은 설비상태를 정상가동으로 유지할 수 있도록 정기적인 상태진단을 통해 향후의 설비성능 저하를 예측하여 고장이 나기 직전에 예측보전이 가능케함으로써 주요 설비부품을 최대 수명까지 사용 가능케 하며, 불필요한 예방보전을 줄여서 보전을 위한 가동 정지에 따른 생산손실을 최대로 줄이는 것이다. 기업의 설비생산성 향상 및 품질개선을 위해서는 설비열화의 점검에 대한 접근 방법과 데이터가 적은 경우 통계적인 방법을 활용하며 판정기준의 설정 방법을 다룬다.



<그림 1> 설비상태진단기법의 분류

2. 설비상태진단방법 및 진단시스템의 조건

1) 설비진단 방법

진단이란 설비 종류와 특성을 파악하고 운전 상태를 관찰함으로써 고장 가능성이 있는 부품을 미리 짐작한다는 것과 같다. 이러한 과정은 전문가들이 소음 및 진동의 정도로 설비 상태를 예측하는 과정인데, 만일 진단하고자 하는 설비에 전문가가 아닌

사용자가 단순히 진단 장비를 사용하여 설비를 진단하려고 한다면, 진단 장비는 전문가들이 미리 갖고 있는 정보없이 진단을 하여야 하므로 더욱 정확한 정보를 측정 신호로부터 구해야 할 것이다. 설비를 진단할 때 어떠한 신호를 측정할 경우 설비 상태를 가장 잘 파악할 수 있는가를 결정하여야 한다. 설비진단에 중요한 정보를 갖고 있는 신호를 설비 진단에서는 단순히 신호(signal)라 하지 않고 진단신호(signature)라는 용어를 사용하기도 한다. 이렇게 진단신호란 설비에서 발생하는 신호자체와 발생된 신호로부터 유도될 수 있는 신호를 포함한다. 진단신호를 측정하기 위하여 계측기를 진단신호가 발생하는 것에 가능한 한 가깝게 부착하여 측정한다. 진단신호가 구해지면 진단신호로부터 정확한 현재 상태를 파악하고 고장 발생시 어떤 부품이 어떤 정도로 이상이 발생되었는가를 알려줘야 한다.

설비진단을 실시하기 위한 단계별 진행 방법은 다음과 같이 전개한다.

(a) 1단계 : 설비진단계획 수립으로 대상 설비선정시 제약 조건(법규제, 안전관리 등)을 사전에 검토단계이다., 설비 휴지정지에 따른 생산손실, 생산능률 저하, 품질손실, 보전비용, 점검 및 검사비용 등에 대한 경제성 검토가 사전에 이루어져야 한다. 그리고 설비 이력관리에 의하여 중점대상설비를 선정, 주기를 정하여 설비 특성별로 적절한 진단 방법을 정한다.

(b) 2단계 : 설비진단실시 및 데이터 수집으로 기술적 검토 단계이다. 점검 및 검사의 유효성 및 가능성, 결함추출확률 등에 대한 전반적 검토가 요구된다. 설비상태를 계측하고 이상이 있는 경우 그 원인과 종류, 위치(부위), 위험도 등에 대하여 식별, 평가하고 향후 상태변화를 예측할 수 있는 자료를 수집토록 한다.

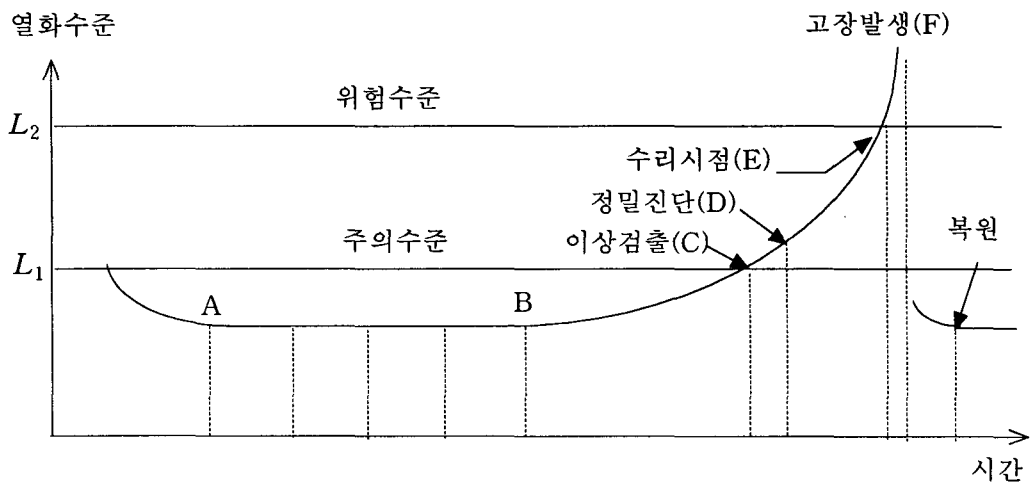
(c) 3단계 : 경향관리분석으로 설비가 점차 마모로 인한 변화 상태는 관리도를 통하여 현상을 용이하게 발견할 수 있다. 점의 움직임을 관측하면 습관적으로 점이 점진적으로 상승 또는 하강하는 경향을 나타낸다. 점의 길이의 경향을 보고 마모 진행정도에 따라 열화의 주의수준 및 위험수준에 근접할 경우 이 상응하는 보전조치를 한다.

(d) 4 단계 : 설비개선 부위 선정 및 실시 과정으로 개선 대상 설비별로 등급을 3가지로 분류한다. 즉 열화방지형(기기의 결함개선), 발생원 대책형(프로세스 고장개선), 이익추구형(프로세스개선대책)이다. 그리고 개선대상을 선정후 개별개선유형, 개선대상 테마, 난이도, 개선 실시부문 등을 체계화하여 개선 활동을 추진한다.

3. CBM방식의 측정 방법

설비상태를 주기적으로 점검관리하는 방식은 <그림 2>과 같이 나타낼 수 있다.

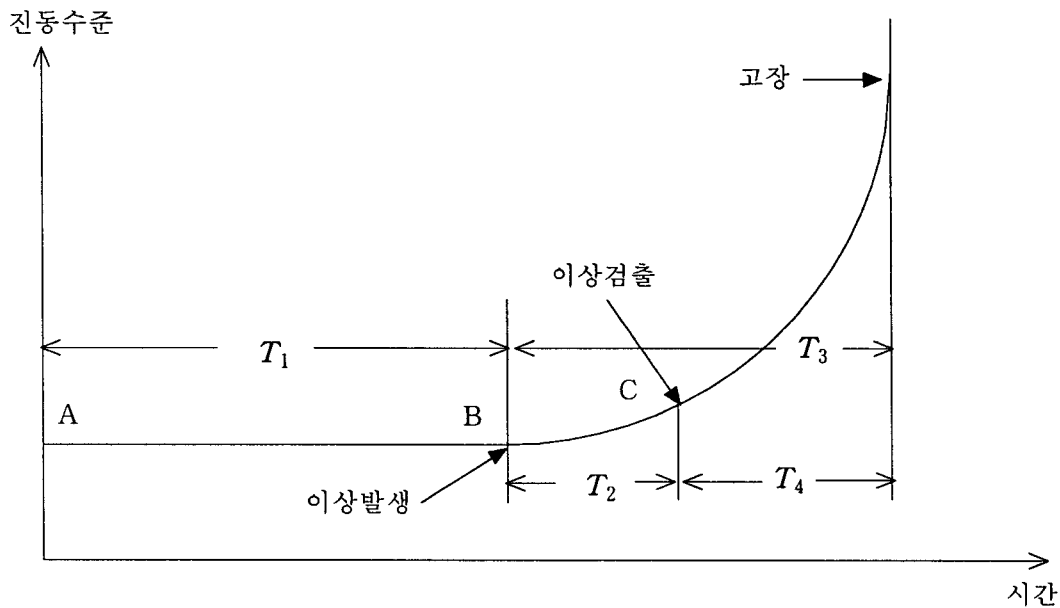
세로축은 열화파라메타(예, 진동)을 나타내며 A점에서 수리 및 복원 이후 자주보전에 의해 B까지 정기적으로 점검한다. 주의수준(L₁)에 이르는 C점에서 설비의 결함이 검출됨에 따라 전문보전부서에서 관심을 갖고 지속적으로 점검주기를 좁혀나가면서 D점에서 정밀진단을 실시한다. 계속 설비상태가 나빠지는 경우 E점에서 수리직전에 최종적으로 확인진단을 하여 보수조치를 위한 의사결정을 내린후 보수 및 복원된다. 만일 C점 이후에 계속 점검이 되지 않는 경우 위험수준(L₂)을 넘어 고장 F점으로 이르러 생산보전업무에 지장을 주게 된다. 종래는 A-B구간에서 고장의 유·무에 관계없이 부품의 교체 및 보수가 실시되는 인위적인 로스가 주로 발생하였다. 상태기준보전(CBM)에 의해 일정시간마다 계측을 실시하여 결함이 없으면 그대로 유지하여 불필요한 보수를 피할수 있어 생산효율을 향상시킬 수 있다. 랜덤고장유형의 설비는 그 효과가 높을 것으로 예상되며 어떤 설비를 어느 유형의 보전방식에 적용할것인가를 먼저 검토함이 바람직하다.



<그림 2> CBM에 의한 열화 측정곡선

(기호설명)

- T₁ :초기의 이상발생점(B)가 발생하기까지의 시간
- T₂ :이상발생점(B)에서 이상검출점(C)까지의 검출지체시간
- T₃ :이상발생점(B)에서 고장발생점(D)까지의 리드타임(lead time)
- T₄ :이상검출점(C)에서 고장발생점(D)까지의 시간



<그림 3> CBM에 의한 결함검출곡선

4. 설비상태 판정기준의 설정

설비의 상태를 정규분포로 가정하여 ($\mu_1 > \mu_0$, $\sigma_1 = \sigma_0 = \sigma$), 좌측의 분포는 기계가 정상상태의 확률밀도함수 $f_0(x; \mu_0, \sigma_0^2)$, 우측분포는 비정상확률분포 $f_1(x; \mu_1, \sigma_1^2)$ 라 할때, 열화정도가 낮을수록 좋은경우에 상한치를 설정에 따른 판정기준설정은 직선 x_0 를 그어 측정치가 x_0 이하이면 정상분포 $f_0(x; \mu_0, \sigma_0^2)$ 에 속하고, x_0 이상이면 비정상상태분포 $f_1(x; \mu_1, \sigma_1^2)$ 에 속한다고 판정한다. 이 때 면적 α (제 1종의 과오)에 상당하는 확률은 과검출율이라고 하며, 상태기준보전(CBM)에 있어서는 과도보전(over maintenance)의 손실비용 C_0 가 발생된다. 면적 β 에 상당하는 확률은 간과율(제2종의 과오)을 의미하고 상태기준보전(CBM)에서는 돌발고장의 손실비용 C_1 이 발생된다. $(1-\beta)$ 은 검출율이라 하며, 기계가 실제로 이상상태일때 정확히 검출할 수 있는 확률을 나타낸다. 판정기준 x_0 를 엄격하게(작게)하면 과검출율 α 가 증가하고 과도보전(over maintenance)의 손실비용 C_0 가 증가한다 반면 x_0 를 완화(크게)하면 β 가 증가되어, 고장 손실 C_1 이 증가한다. 따라서 (1)식과 같이 손실비용을 최소로 하는 판정기준 x_0 를 결정한다.

<기호 설명>

$f_0(x; \mu_0, \sigma_0^2)$: 정상기계의 확률밀도함수

$f_1(x; \mu_1, \sigma_1^2)$: 비정상기계의 확률밀도함수

α : 제 1 종의 과오

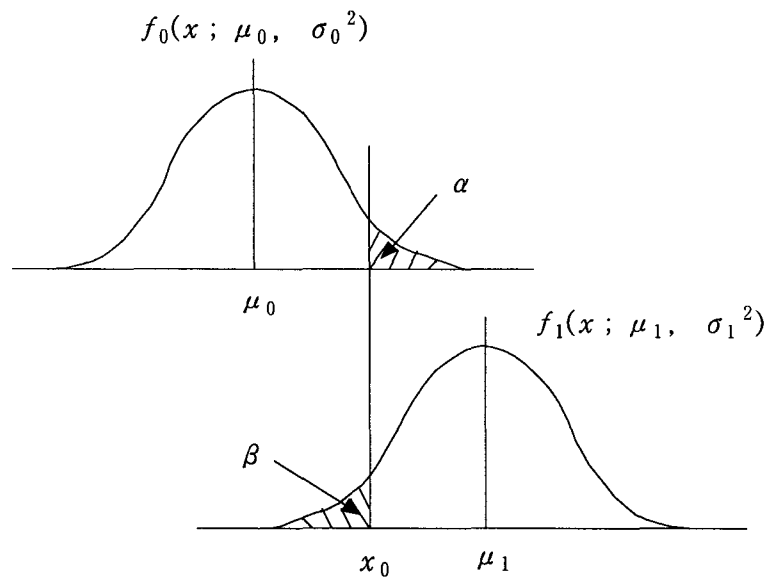
β : 제 2 종의 과오

$1-\beta$: 검출력(기계가 실제로 이상 발생시 이를 검출할 수 있는 확률)

C_0 : α 로 인한 손실비용

C_1 : β 로 인한 손실비용

$\bar{C}(x_0)$: 판정 기준(x_0)에 대한 총비용(total average risk)



<그림 4> 진동 판정기준의 설정

판정기준의 설정은 α 로 인한 손실비용 C_0 , β 로 인한 손실비용 C_1 , 고장이 발생하는 확률을 ρ , 총 비용을 $\bar{C}(x_0)$ 라 할 때 다음과 같은 수식을 전개할 수 있다.

$$\bar{C}(x_0) = \rho C_0 \int_{x_0}^{\infty} f_0(x|\mu_0) dx + (1-\rho) C_1 \int_{-\infty}^{x_0} f_1(x|\mu_1) dx \quad \text{-----(1)}$$

여기서 $\bar{C}(x_0)$ 를 최소화하기 위하여 (1)식을 미분하여 우도비(likelihood ratio)를 구할 수 있다.

$$\frac{f_1(x_0|\mu_1)}{f_0(x_0|\mu_0)} = \frac{\rho C_0}{(1-\rho)C_1} \quad \text{-----(2)}$$

$$f_0(x_0; \mu_0, \sigma_0^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x_0-\mu_0)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \text{-----(3)}$$

$$f_1(x_0; \mu_1, \sigma_1^2) = \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma} \exp\left\{-\frac{(x_0-\mu_1)^2}{2\sigma^2}\right\} \quad \text{-----(4)}$$

(3)식은 정상기계의 분포, (4)식을 비정상(이상)기계의 분포라 할때 x_0 는 다음과 같다.

$$\exp\left\{-\frac{(x_0-\mu_1)^2 + (x_0-\mu_0)^2}{2\sigma^2}\right\} = \frac{\rho C_0}{(1-\rho)C_1}$$

$$\exp\left\{-\frac{2(\mu_1-\mu_0)x_0 - (\mu_1^2 - \mu_0^2)}{2\sigma^2}\right\} = \frac{\rho C_0}{(1-\rho)C_1}$$

$$\frac{2(\mu_1-\mu_0)x_0 - (\mu_1^2 - \mu_0^2)}{2\sigma^2} = \ln\left\{\frac{\rho C_0}{(1-\rho)C_1}\right\}$$

$$2(\mu_1 - \mu_0)x_0 = (\mu_1^2 - \mu_0^2) + 2\sigma^2 \ln \left\{ \frac{\rho C_0}{(1-\rho)C_1} \right\}$$

$$x_0 = \frac{\mu_0 + \mu_1}{2} + \frac{\sigma^2}{\mu_1 + \mu_0} \ln \frac{\rho C_0}{(1-\rho)C_1} \quad \text{-----}(5)$$

만약 $\rho = 0.5$ 이고, $C_0 = C_1$ 인 경우 x_0 는 다음과 같다.

$$x_0 = \frac{\mu_0 + \mu_1}{2}$$

즉 정상기계의 평균치 μ_0 와 비정상기계의 평균치 μ_1 의 중간값을 판정기준으로 설정하면 된다. 이를 근거로 하여 <표 1>를 보면 수리해야 할 수준(level)에서 설비의 진동상태가 A에서 D까지 판단하기 어렵다. 기계마다 상황이 다르므로 설비가 언제 고장이 발생할지 에 대한 것은 데이터가 없다. 따라서 <표 1>에 의하여 각 진동속도의 분류에 대하여 난수를 발생하여 판정기준을 설정함이 매우 중요하다. 회사가 나름대로 판정기준을 설정해야 한다. 특히 초기설비에서 매우 중요하다. 여기서 rms(root mean square)는 기계에서 발생하는 각각의 peak값의 제곱을 평균하여 root를 씌운 값으로써 이 값이 정확히 진동에너지를 나타내는 식은 아니지만 진동을 에너지로 환산하는데 들어가는 식의 일부이기 때문에 rms값이 높으면 에너지가 높다고 할 수 있다. rms값은 속도값과 변위값을 뒤에 붙여서 사용한다.

$$rms = \sqrt{\frac{1}{N}(V_1^2 + V_2^2, \dots, + V_n^2)}$$

$$V_{rms} = \sqrt{\frac{1}{T} \int_0^T [V(t)]^2 dt}$$

<표 1> 진동도표의 감시와 정지값(ISO 2372, 1974)

진동의 범위 V rms (mm/s)	평가 영역			
	Class I (소형설비)	Class II (중형설비)	Class III (대형설비)	Class IV (터보설비)
0.28	A	A	A	A
0.45				
0.71				
1.12	B	B	B	B
1.8				
2.8	C	C	C	C
4.5				
7.1	D	D	D	D
11.2				
18				
28				
45				
71				

<참조>

Class I: 15Kw 이하의 일반 전동기

Class II: 15-75Kw의 1전동기, 300Kw 이하의 중형기계

Class III: 강기초 또는 진동측정 방향으로 높은 강성을 갖는 무거운 기초위에 설치된 대형기계

Class IV: 비교적 유연기초에 설치된 대형기계(터보발전기 세트)

A: 양호(Good)

B: 대체로 양호(Allowable)

C: 요주의(Just tolerable)

D: 위험(Not permissible)

<표 2> 회전기계 진단대상별 결함내용

진단 대상	결함	발생 진동수
기계의 진단 (전반적인 사항)	불균형, 미스얼라이먼트, 축의 휨, 느슨함, 베어링대의 강성불량 축 이형, 기초 취약, 오일휠, 모터의 전기적 이상	100Hz 까지
구름 베어링의 진단	흙, 윤활유 불량, 먼지	수백 Hz 에서 ~ 약 100 kHz
미끄럼 베어링의 진단	오일휠(oil whirl), 접촉	수천 Hz 에서 ~수십 kHz 까지
기어의 진단	마모, 피칭, 결락	수십 kHz 까지
밸브의 진단	누출, 균열	수십 kHz ~ 약 100 kHz

6. 추후 연구 사항

기계는 진동 및 소음을 통해서 자기의 상태를 알린다. 전기, 기계 제품의 경우 가장 큰 불만요소로 소음을 지적하고 있다. 따라서 기계의 소음이나 진동을 통해서 기계를 진단함이 필요하다. 설비를 운전하는 관점에서는 기계가 언제 고장날지는 알 수 없으며 설비마다 상태가 모두 다르며 진단을 분석하기 위한 데이터가 많지 않다는 사실이다. 더욱이 정밀진단을 위한 고가의 장비를 갖추는 것은 여건상 어려운 실정이다. 따라서 설비 그룹별로 수리해야 할 수준(level)을 설정하여 진동 파라미터를 기준으로 판정기준을 설정함이 필요하다. 이를 통해 어느 정도의 진동이 커지면 이를 해소하는 접근방법을 취한다. 이번 연구에서는 상태진단의 접근법을 제시하고 앞으로 ISO 2374에서 제시한 진동기준표에 의해 난수발생을 통하여 판정기준 설정에 대한 추가적인 연구가 필요하다.

참고문헌

1. 설비진단기술기초, KSA, 1991
2. 채장범, 기계의 상태/고장 진단, 한국소음진동공학회지, 제6권, 제4호, 1996, pp. 387-393.
3. 회전기계의 진동.소음 그 원인과 대책, 도서출판 세화
- Harris Cyril M. and Crede C. E., Shock and Vibration Handbook, 2/e, pp. 39-12/13, 1976.
4. ISO 7919, Mechanical vibration of non-reciprocating machines- Measurements on rotating shafts and evaluation, 1986.
5. ISO 10816 Series, Mechanical vibration - evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts, 1995, 12.