

ISO TC 108/SC 2 : 선박 및 산업용 왕복동 기계의 진동 평가

박종포*, 박희주*

Evaluation of mechanical vibration applied to reciprocating machines for propulsion
and industrial

Jong-Po Park, Heui-Joo Park

1. 개요

본 논문에서는 선박 추진용 및 산업용 왕복동 기계에서 발생하는 진동의 측정과 평가 또는 등급 분류를 위한 절차 및 지침을 설정한 규격인 ISO 10816-6에 대해 기술하고자 한다. 이 규격은 기계의 본체(main structure)에 장착된 보조기기를 제외한 본체 진동에 국한하며 적용한다.

왕복동 기계의 대표적인 특징으로는 진동하는 질량, 주기적인 출력(입력) 토크의 변화 및 배관과 관련된 힘의 맥동 등을 들 수 있다. 이들은 주 지지대에 상당한 교번 하중을 발생시키며 본체에 큰 진폭의 진동을 유발한다. 기계의 구조상 일반적으로 왕복동 기계의 진동진폭은 회전기계에 비해 더 크지만 기계의 전체 수명에 걸친 왕복동 기계의 진동진폭은 회전기계 보다는 더 일정하게 유지되는 경향을 보인다.

왕복동 기계의 경우에는 10816-6에 따라 측정 정량화된 기계본체 진동은 기계 내부 구성품에 대해서는 단지 응력 및 진동 상태에 대한 대략적인 개념만을 제공한다. 예로, 회전부의 비틀림 진동 상태는 일반적으로 기계 본체의 구조진동 측정으로는 알 수가 없다. 기계진동이 유사한 기계의 경험에 근거해 제공된 지침치를 초과할 경우에는 기계에 장착된 구성품(예, 터보차저, 열교환기, 조속기, 여과기, 펌프), 본 기계와 주변기기의 연결부(예, 배관) 또는 상태 감시기기(예, 압력계, 온도계) 등에 지배적으로 손상이 발생할 수 있다. 어떤 진동치에서 손상이

발생할 수 있는가 하는 것은 이들 구성품의 설계 및 체결상태에 따라 다르다.

진동치가 허용치 이내인지 확인하기 위해서 어떤 경우에는 해당 기계의 구성품에 대한 특수한 측정이 요구될 수도 있다. 또한, 측정치가 허용 지침치 이내라 해도 부착된 구성품이 매우 다양하므로 문제가 발생할 수도 있다. 이러한 문제는 해당 구성품의 특정 위치에 한정된 측정과 분석으로 해결할 수 있을 것이다. 경험으로 볼 때 대부분의 경우 진동상태의 특징을 잘 나타내는 측정 가능한 상태량을 정할 수 있고, 이 상태량에 대한 지침치를 정할 수 있다. 또한 이 측정 가능한 변수와 지침치로 대부분의 경우 신뢰성 있는 평가를 할 수 있다. 왕복동 피스톤 기계의 진동치를 간단하게 묘사하는 상태량으로서 진동 가속도 또는 강도(severity)를 여기서는 사용한다. 왕복동 피스톤 기계의 진동치는 기계 자신의 고유 특성뿐만 아니라 기초에 의해서 크게 영향을 받는다. 왕복동 기계는 마치 진동 발생기처럼 작용할 수 있으므로 기계와 기초 사이에 진동 절연이 필요할 수 있다. 기초의 진동 응답 또한 기계 자체의 진동에 상당한 영향을 줄 수 있다. 이 진동 상태는 또한 기계를 둘러싼 주변의 진동 전달률(transmissibility)에 따라 다르므로 전적으로 기계 자체의 진동치로만 결정되어 지는 것은 아니다. 주변 기계의 영향과 관련해서 ISO 10616-6에서는 단지 조언을 주는 정도의 역할을 한다.

2. 적용 범위

* 정회원, 두산중공업(주) 기술연구원

ISO 10816-6은 전체 기계의 비회전 및 비왕복동 부에서의 진동 측정 및 평가를 위한 일반적인 조건 및 절차를 명시한다. 비틀림 진동을 포함한 축 진동은 여기서 다루지 않는다.

본 규격은

— 출력 100 kW을 초과하고 강제 또는 탄성 기초에 설치된 왕복동 피스톤 기계에 적용한다.

적용 가능한 전형적인 기계의 예로는

- 선박 추진 엔진
- 선박 보조 엔진
- 디젤 발전기 세트의 구동용 엔진
- 가스 압축기
- 디젤 기관차의 엔진

등을 들 수 있다. 여기서 제시된 일반적인 평가기준은 운전 감시 및 인수시험과 관련하여, 기계의 진동이 기계에 부착된 기기에 주는 영향을 평가하는 데도 사용할 수 있다.

왕복동기계 구동 또는 피동 기계류의 진동에도 관심을 기울여야 하며, 이들 기계류의 진동은 본래의 관계 규격 및 분류에 따라서 평가하여야 한다. 기계 내부부품의 영향 (예, 밸브, 피스톤, 피스톤 링 등과 관련된 문제)이 측정에 반영되어지지 않는다고 간주될 때는 이 평가 기준의 적용이 제한적일 수 있음에 주의해야 한다. 이와 같은 문제의 규명을 위해서는 ISO 10816-6 취급 범위 밖에 있는 여러 가지 연구, 조사 기술이 필요하다. 소음에 관한 것 또한 ISO 10816-6의 취급 범위에서 벗어난다.

ISO 10816-6은 트럭, 승용차, 자기추진 건설기계류 및 트랙터 등과 같이 차량에 설치된 기계에는 적용되지 않는다.

3. 측정

3.1 측정 기기 및 측정치

왕복동 기계의 진동 강도 또는 가속도 분류를 위한 기준은 4 절에서 기술된다. 이 분류는 2 Hz에서 1000 Hz 주파수범위에서 측정된 진동 변위, 속도 및 가속도의 합성치 (overall values)를 기준으로 이루어진다. 왕복동 기계에서 주 가진 주파수는 일반적으로 2 Hz에서 300 Hz 범위 내에 존재하는 것으로 알려져 있다. 하지만, 기계에서 한 기능을 담당하는 보조기기를 포함해 기계전체를 고려한 진동 상태를 나타내기

위해서는 적어도 2 Hz에서 1000 Hz의 주파수범위가 요구된다. 특수한 목적으로 경우에 따라서 제조업체와 고객의 합의로 다른 주파수범위를 설정할 수도 있다.

전체 진동신호는 보통 많은 주파수성분을 포함하고 있으므로 실효치와 피크 또는 피크-피크 합성 (overall) 진동 측정치 사이의 관계를 단순한 수학적 관계식으로 표현할 수 없다. 그래서, 10 Hz에서 1000 Hz 범위에서 $\pm 10\%$, 2 Hz에서 10 Hz 범위에서 $+10 \sim -20\%$ 의 정확도로 변위, 속도 및 가속도의 합성 실효치를 제공할 수 있는 측정시스템의 사용이 보다 바람직하다. 신호처리를 할 때에는 측정시스템에 요구된 정확도를 나쁘게 하지 않도록 주의해야 한다.

주파수응답과 측정된 진동 진폭 모두 변환기의 부착방법에 영향을 받으므로 진동치가 높을 때는 특히 변환기가 기계에 잘 부착되어 있도록 하는 것이 중요하다. 참고로 ISO 5348은 가속도계의 부착에 대한 지침을 제공한다.

3.2 측정 위치 및 방향

가능한 공정한 진동측정의 평가와 다른 기계들과의 최상의 비교를 위하여 바람직한 측정위치를 Fig. 1, 2 및 3에 표시하였다. 일반적으로 기계와 관련해서 지정된 세 방향으로 이들 위치에서 측정을 해야한다. Fig. 1, 2 및 3에서 표시된 기계는 단지 예를 들은 것이고, 다른 형식의 기계에서도 이와 비슷하게 측정위치를 선정하여 적용할 수 있다.

유사 기계에서의 경험으로부터 최대 진동가속도 발생위치를 예측할 수 있을 때는 그림에 명시된 모든 위치에서 측정을 고려할 필요는 없지만 접근이 가능하다면 부하를 담당하고 있는 베어링 위치는 포함되어야 한다. 인수 또는 승인 시험에서 더 적은 개수의 위치에서 측정을 할 경우에는 제조업체와 고객 사이에 사전 동의를 있어야 한다. 보다 상세한 조사 또는 비교 목적으로 여러 측정 위치를 고려할 때는 Fig. 1, 2 및 3에 명시된 위치가 바람직하다.

기계에 설치된 구성품의 진동 측정으로 이들의 고장에 관련한 유용한 정보를 얻을 수 있지만, 10816-6에서 제시한 지침치는 Fig. 1, 2 및 3에서 명시된 기계의 본체구조물 상의 위치에서 측정된 진동에 국한하여 적용할 수 있다.

*** 그림 상의 기호 해설**

측정 방향 L: 커플링 플랜지를 바라볼 때 좌측

R: 커플링 플랜지를 바라볼 때 우측

측정 높이 1: 기계 설치 끝단

2: 크랭크축 높이

3: 본체의 상단부

기계 길이와 관련한 측정 위치

.1: 커플링 끝단

.2: 기계 중앙

.3: 기계 자유 끝단

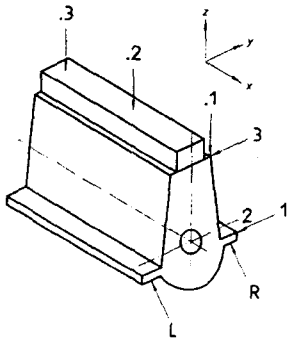


Fig. 1 Example of a vertical in-line machine

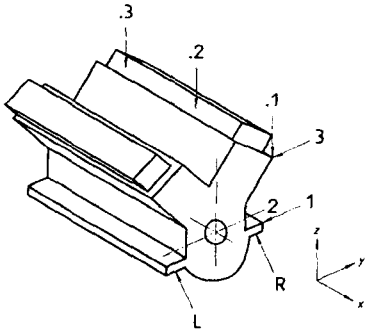


Fig. 2 Example of a multicylinder Vee machine

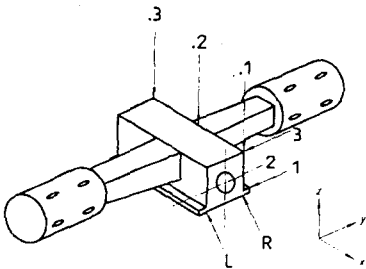


Fig. 3 Example of horizontal opposed machine

3.3 측정 동안의 운전조건

기계가 정상상태 운전조건 (예, 정상 운전 온도)에 도달했을 때 측정을 하여야 한다. 기계 진동 가속도의 결정은 정상 운전을 위해 승인된 전체 출력 및 속도 범위에서 일어나는 진동의 최고치를 기준으로 해야만 한다.

3.4 측정 결과의 기록

측정 결과의 기록은 사용한 측정시스템과 기계의 필수적인 데이터를 포함하여야 한다. 이들 데이터는 본 규격의 부록에 주어진 양식을 이용하여 효과적으로 기록할 수 있다

4. 진동 기준

Table 1과 부록 C는 진동가속도 등급을 수치 및 도표로 각각 나타낸다. 이들을 정량화하기 위해서는 변위, 속도 및 가속도의 합성 광대역 실효치 (2 Hz에서 1000 Hz 범위)를 측정하는 것이 필요하다. 가속도 등급은 기계의 본체 구조물에서 측정된 변위, 속도 및 가속도의 가장 높은 합성 실효치로부터 얻을 수 있다. 기계의 진동가속도 등급은 이들 세 등급 중 가장 높은 것이 된다.

한 예로서, Table 2에 주어진 진동치는 기계 본체의 R3.1의 위치에서 측정된 것이다. Table 1로부터 진동가속도 등급은 Table 2의 중괄호와 같이 주어진다. 결론적으로 이 위치에서의 기계 진동가속도 등급은 28이 된다. 기계 진동가속도의 최고치를 구하기 위해서는 다른 모든 위치에서도 이와 같이 검토 작업을 해야 한다.

기계의 특정 형식과 관련된 진동가속도 값은 기계의 크기와 질량, 설치 (mounting) 시스템의 특성 과 운전조건 등에 따라 결정된다. 그러므로, 진동가속도 등급을 적용할 때 관련된 여러 가지 목적과 주위여건을 고려하는 것은 필수적이다. 기계의 전체 길이에 걸쳐서 측정된 것 중에서 최대치를 진동가속도 결정에 사용해야한다. 왕복동기계 분류번호와 지침치는 부록 A에서 주어진다.

유연 설치는 주위로 전달되는 기계의 영향을 줄이기 위해 광범위하게 사용된다. 이것의 설계 및 응용에 관한 것은 ISO 10816-6의 범위에서 벗어나므로 여기서는 다루지 않는다.

Table 1. vibration severity grades (2 Hz to 1,000 Hz)

진동가속도 등급	기계 본체에서 측정된 합성진동 한계치		
	변위 μm (r.m.s.)	속도 mm/s (r.m.s.)	가속도 m/s^2 (r.m.s.)
1.1	≤ 17.8	≤ 1.12	≤ 1.76
1.8	≤ 28.3	≤ 1.78	≤ 2.79
2.8	≤ 44.8	≤ 2.82	≤ 4.42
4.5	≤ 71.0	≤ 4.46	≤ 7.01
7.1	≤ 113	≤ 7.07	≤ 11.1
11	≤ 178	≤ 11.2	≤ 17.6
18	≤ 283	≤ 17.8	≤ 27.9
28	≤ 448	≤ 28.2	≤ 44.2
45	≤ 710	≤ 44.6	≤ 70.1
71	≤ 1125	≤ 70.7	≤ 111
112	≤ 1784	≤ 112	≤ 176
180	> 1784	> 112	> 176

주 - 위에서 제시된 값들은 2Hz~10Hz 범위의 일정한 변위, 10Hz~250Hz 범위의 일정한 속도, 250Hz~1,000Hz 범위의 일정한 가속도로부터 유도됨.

Table 2. Example of vibration values

측정 위치	측정 진동치		
	변위 μm (r.m.s.)	속도 mm/s (r.m.s.)	가속도 m/s^2 (r.m.s.)
R3.1x	100 [grade 7.1]	15 [grade 18]	9 [grade 7.1]
R3.1y	150 [grade 11]	16 [grade 18]	8 [grade 7.1]
R3.1z	250 [grade 18]	22 [grade 28]	10 [grade 7.1]

부록 A. 기계진동 분류

Table A.1은 왕복동기계에 있어서 진동 분류번호를 나타낸다. 이 지침치는 기계 본체와 이것에 부착된 보조물 및 기기가 받는 진동가속도를 평가하는데 보조적인 역할을 한다.

왕복동기계는 그 형식, 적용, 크기, 구성, 유연 또는 강체 설치 및 속도에 따라서 다수의 등급으로 분류될 수 있다. 예로, 많은 산업용 및 선박용 디젤엔진은 분류번호 5, 6, 또는 7중 하나로 분류된다.

주위 여건이 허락되면 각종 기계의 형식에 따른 각 허용 지침치들에 대한 권고사항을 마련할 수 있을 것이다. 그때까지는 운전 결과 또는 경험을 이용해 제작업체와 고객 사이의 동의로 특정 분류를 사용할 수 있을 것이다.

부록 B. 진동가속도 등급 모노그래프

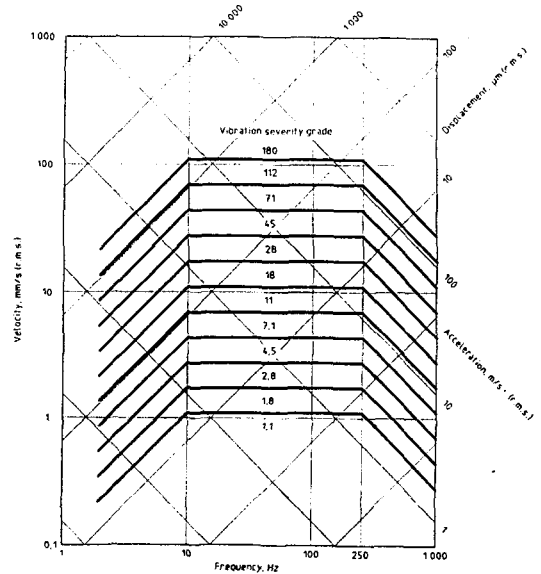


Fig. B.1 Vibration severity grade monograph

Fig. B.1의 진동 모노그래프는 진동가속도 등급의 범위를 보여준다. 다수의 주파수로 진동하는 시스템은 구별된 개개의 주파수 척도 상에서 쉽게 분류할 수 없으므로, 일차적으로 Table 1에 주어진 각 등급별 제한치를 이용한다. 즉, 다수의 주파수로 진동하는 기계에서는 측정된 변위, 속도 및 가속도의 합성치를 Table 1에 주어진 값과 비교하여 분류하여야 한다.

기계의 본체에서 측정된 변위, 속도 및 가속도의 최고 합성 실효치로부터 각각의 가속도 등급을 얻을 수 있고, 해당 기계의 진동가속도 등급은 이들 세 개의 등급 중 가장 높은 것이 된다.

참고 문헌

1. ISO 2017:1982, *Vibration and shock - Isolators - Procedure for specifying characteristics.*
2. ISO 2954:1975, *Mechanical vibration of rotating reciprocating machinery - Requirements for instruments for measuring vibration severity.*
3. ISO 8528-9:1995, *Reciprocating internal combustion engine driven alternating current generating sets - Part 9 : Measurement and evaluation of mechanical vibrations.*
4. ISO 10816-1:1995, *Mechanical vibration-Evaluation of machine vibration by measurements on non-rotating parts - Part 1 General guidelines.*

Table A.1 Vibration classification numbers and guide values for reciprocating machines

진동 가속도 등급	기계 본체에서 측정된 합성진동 최대치			기계진동 분류 번호						
	변위	속도	가속도	1	2	3	4	5	6	7
	μm (r.m.s.)	mm/s (r.m.s.)	m/s^2 (r.m.s.)	평가 영역						
1.1										
1.8	17.8	1.12	1.76	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B	A/B
2.8	28.3	1.78	2.79							
4.5	44.8	2.82	4.42							
7.1	71.0	4.46	7.01	C	D	D	D	D	D	D
11	113	7.07	11.1							
18	178	11.2	17.6							
28	283	17.8	27.9	D	D	D	D	D	D	D
45	448	28.2	44.2							
71	710	44.6	70.1							
112	1125	70.7	111	D	D	D	D	D	D	C
180	1784	112	176							D

영역에 대한 설명

- A: 신규로 설치된 기계의 진동은 통상 이 영역에 속한다.
- B: 이 영역에 속하는 진동을 보이는 기계는 통상 제한없이 장기간 운전이 허용된다.
- C: 이 영역에 속하는 진동을 보이는 기계는 통상 장기간의 연속운전은 적절하지 못하는 것으로 간주된다. 일반적으로 기계는 보수조치를 취할 적당한 기회가 생길 때까지 이런 상태에서 제한된 기간 동안 운전될 수 있다.
- D: 이 영역에 속하는 진동치는 통상 기계에 손상을 입힐 정도로 매우 가혹한 것으로 간주된다.

주 - 회전기계 보다 왕복동 기계의 진동치는 그 수명에 걸쳐 더 일정한 경향을 보이므로, 이 표에서 영역 A와 B를 결합해서 나타내었다. 향후 더 많은 경험이 축적될 때 영역 A와 B를 구별하는 다른 지침치를 제공할 수 있을 것이다.