

직업병 예방을 위한 작업자 진동의 측정 및 평가 방법

1996. 12. 31



한국산업안전공단
KOREA INDUSTRIAL SAFETY CORPORATION
산업안전연구원
INDUSTRIAL SAFETY RESEARCH INSTITUTE

제 출 문

한국산업안전공단 이사장 귀하

본 보고서를 산업재해 예방기술의 연구개발 및 보급 사업의 일환으로 수행한 “機械作業安全을 위한 技術指針 및 基準 基礎資料” 사업의 최종보고서로 제출합니다

1996. 12. 31.

주관 연구부서 : 産業安全研究院
機電安全研究室

연구 수행자 : 先任研究員 方 泰 圭

序 文

최근 산업화, 자동화 추세와 더불어 각 산업현장에서 산업기계에 대한 수요가 점차 확대되어 가고 있으나 이러한 산업기계에서 발생하는 과도한 기계진동에 작업자들이 노출됨으로써 요통재해나 백지증후군등 직업병으로 까지 발전되고 있어 큰 사회문제로 대두되고 있습니다.

작업자진동이란 작업자에 미치는 기계진동의 효과로 정의되는 데, 산업 현장에서는 많은 작업자들이 일하는 동안 수공구, 기계, 또는 중장비에 의하여 생기는 진동들처럼 여러가지 진동을 받고 있으며 일상생활을 하는 가운데에서도 우리는 여러종류의 진동을 받고 있습니다. 예를 들면 버스, 기차, 자동차등입니다. 소리가 귀에 들릴 때, 음악이 될 수도 있고 또는 짜증나는 소음이 될수도 있듯이, 작업자진동은 기분좋은 것이 될수도 있고 불쾌한 것이 될수도 있습니다. 달리고, 춤추고, 기억에 남을 만한 여행을 할때 우리는 진동을 즐기고 심지어 그 진동은 우리를 기분 좋게 만들기도 하지만 울통불퉁한 도로를 달리거나 수공구를 조작하는 것과 같은 불쾌한 진동에는 우리 스스로를 노출시키는 것을 꺼리게 됩니다.

따라서 본 연구에서는 공장내 기계진동에 노출되므로써 발생하는 직업병의 예방을 위하여 작업자진동의 측정 및 평가방법에 대하여 국제기준에 근거하여 제시하고자 하였습니다.

산업현장에서 널리 활용되어 기계진동으로 인한 재해를 예방하는 데 조금이나마 기여할 수 있게 되기를 바랍니다.

1996. 12. 31.

산업안전연구원장

목 차

1. 머리말	1
2. 목적과 적용	2
3. 기호 설명	2
4. 전신진동과 손전달진동	3
4.1 전신진동에의 노출	3
4.2 손전달진동에의 노출	4
5. 진동레벨 측정파라미터	5
6. 작업자에 대한 주파수 응답	7
7. 주파수 가중치	9
7.1 전신진동 가중치곡선과 기준축	10
7.2 손전달진동 가중치곡선과 기준축	11
8. 진동 측정	13
8.1 전신진동 변환기	14
8.2 손전달진동 변환기	14
8.3 진동측정시스템	15
8.4 통계적인 분석	17
9. 서로 다른 상황에서의 진동레벨	18
10. 전신진동에 대한 작업자노출의 ISO평가	19
11. 손전달진동에 대한 작업자노출의 ISO평가	22
12. 진동 제어	24
12.1 전신진동 감쇠	25

12.2 손전달진동 감쇠	27
12.2.1 내부 감쇠	27
12.2.2 공구하우징과 손사이의 감쇠	28
12.2.3 원격 조정	30
12.2.4 감소된 노출시간	31

부 록

기계진동과 충격 — 손·팔 진동 — 손바닥에 있어서 장갑의 진동전달을 측정 및 평가에 관한 방법	33
--	----

1. 머리말

본 지침은 산업현장에서 근무하는 작업자들을 진동으로부터 보호하는 방법에 관한 것이다. 작업자 진동이란 작업자에 미치는 기계적 진동효과로 정의된다. 일상생활을 하는 가운데에서 우리는 여러종류의 진동을 받는데, 예를 들면 버스, 기차, 자동차 등이 그것이다. 또한 많은 사람들이 일하는 동안 다른 여러가지 진동을 받으며 그 예로 수공구, 기계, 또는 중장비에 의하여 생기는 진동들이다.

소리가 귀에 들릴 때, 음악이 될 수도 있고 또는 짜증나는 소음이 될 수도 있듯이, 작업자진동은 기분좋은 것이 될수도 있고 불쾌한 것이 될수도 있다. 달리고, 춤추고, 기억에 남을 만한 여행을 할때 우리는 진동을 즐기고 심지어 그 진동은 우리를 기분좋게 만들기도 한다. 그러나, 우리는 울퉁불퉁한 도로를 달리거나 수공구를 조작하는 것과 같은 불쾌한 진동에 우리 스스로를 노출시키는 것을 꺼린다.

작업자가 진동에 노출되는 효과에 대한 많은 연구, 특히 작업환경에 대한 연구가 진행되어 왔으며 초기의 일부 연구는 비행기 조종사, 중장비 운전기사, 수공구 이용자와 같은 사람들에게 대한 연구를 포함하고 있었다. 그 연구의 첫째 부분은 열악한 진동 조건하에서 복잡한 일을 하는 노동자들의 작업수행 능력에 대한 연구였다. 최근 작업자 진동의 연구는 작업환경에 대해 이루어지고 있을 뿐 아니라, 측정된 진동에 대한 노출 허용치를 국제 표준(international standards)으로서 제시하기도 하였다.

2. 목적과 적용

본 지침에서는 작업자에게 유해한 진동에 대해서 기술되고, 작업자진동에 과도하게 노출되었을 때의 영향과 측정시 고려해야 할 여러가지 요소들에 대해 어떻게 측정하고 평가 할 것인지 비교할 수 있도록 국제기준인 ISO규격을 중심으로 제안한다. 그리고 어떤 동작이 해롭고 또한 위험한 진동원을 줄이기 위해 적용될 수 있는 진동저감 가능성과 대책이 열거된다.

본 지침은 근로자와 사용자 및 진동의 영향문제를 다루는 관계자 전부를 대상으로 한다.

3. 기호설명

a_{eq} : 주파수 가중된 r.m.s. 등가 가속도 (m/s^2)

L_{eq} : 주파수 가중된 r.m.s. 등가 가속도 레벨 (dB)

T : 전 측정시간

L : 진동 레벨 (dB)

a : 측정된 가속도 레벨 (m/s^2)

a_{ref} : 기준 가속도 레벨 ($= 10^{-6}m/s^2$)

a_x : x 방향의 가중된 가속도 (m/s^2)

a_y : y 방향의 가중된 가속도 (m/s^2)

a_z : z 방향의 가중된 가속도 (m/s^2)

a_L : 주파수 가중 최대 r.m.s. 가속도 (m/s^2)

T_L : 최대 연속 노출 주기

T_{allowed} : 허용 노출 시간

4. 전신진동과 수완계진동

작업자 진동에는 두 가지의 주된 유형이 있는데 전신진동과 수완계진동이 그것이다. 전신진동은, 작업자에게 전체적으로 전달되며 일반적으로 사람은 둔부를 통해 전신진동을 받고 등반이가 있다면 등반이를 통해서도 진동이 전달된다.

수완계진동은 손과 팔을 통해서 전달된다. 이는 주로 수공구 작업자들이 경험하는 것이다. 전신진동과 수완계진동은 역학적으로 다르므로 따로 구분하여 연구되어야 한다.

4.1 전신진동에의 노출

전신 진동에의 노출은 영구적인 육체적 상해 또는 신경계 피해의 원인이 될 수 있다. 수년동안 매일같이 전신 진동상태에 노출될 경우 심각한 육체적 손상의 결과를 낳을 수도 있다. 예를 들면, 빈혈요통이 그것인데, 이것은 전신진동이 아래 척수 부분에 영향을 미친 경우이다. 노출은 또한 노출된 사람의 순환계 혹은 비노기계에 영향을 미치게 된다. 전신진동의 상태로 장기간 노출된 사람은 작업에서의 특별한 일과 관련하여 이러한 해로운 진동에 통상적으로 피해를 입게된다.

전신진동에의 노출은 중앙 신경계를 손상시킬 수도 있다. 손상의 징후

는 일반적으로 피로, 불면증, 두통, 떨림 등의 형태인데, 노출되고 있는 동안 혹은 바로 직후에 나타난다. 이러한 신경 징후를 긴 자동차 여행, 혹은 보트여행을 끝낸 후 경험하게 된다. 그러나 그 증상들은 보통 잠깐동안의 휴식후에 사라진다.

4.2 수완계 진동에의 노출

수년동안 수완계진동에 매일 노출되는 것은 보통 손가락이 벗겨지는 증세(white-finger syndrome)라고 알려진 영구적인 육체적 손상을 야기할 수 있거나 손목이나 팔꿈치의 관절과 근육을 손상시킬 수 있다. 진행된 상태의 손가락이 벗겨지는 증세는 손의 부드러운 조직내의 동맥이나 신경이 손상됨으로써 손가락 끝이 하얗게 벗겨지는 것으로 나타난다. 이 증후군은 처음에는 한 손가락에 나타나지만 계속 수완계진동에 노출되면 다른 손가락에도 나타난다. 심한 경우에는 양 손에 모두 나타난다. 손가락이 벗겨지는 증세의 초기단계에서 그 증상은 따끔따끔하고 저리며 감각과 조절을 잃어버린다. 이러한 증상은 심각하며 일할 때 뿐만 아니라 여가활동을 할 때도 나타나고 그 정도가 심해지면 회복이 불가능하다.

짧은 시간동안이지만 감각과 조절을 잃어버리는 것은 직접적이고 일시적인 위협으로 나타날 수 있다. 예를 들면 정밀한 수작업에 노출될 때이다. 이러한 작업환경은 도살업자가 회전톱과 날카로운 칼을 같이 사용하는 도살장에서 찾아볼 수 있다.

손목과 팔꿈치 관절의 손상은 종종 낮은 충격속도의 충격공구(예를 들면 아스팔트 햄머나 암석 드릴)에 의해 생기는 진동에 오랜시간 동안 노출

됨으로서 생긴다. 이러한 손상은 팔뚝의 근육과 관절에 고통을 주고 팔뚝에서의 제어와 근육의 힘의 감소를 일으킨다.

5. 진동레벨측정 파라미터와 양자화

작업자가 진동기계와 접촉할 때 작업자는 기준위치에서 이동한다. 즉 변위는 진동의 진폭을 표현하는데 사용할 수 있는 하나의 파라미터이다. 한편 진동은 속도와 가속도로도 나타낼 수 있다. 정현파적인 진동에 대한 변위, 속도, 가속도간의 관계가 성립된다. 진동의 형태와 주기는 측정파라미터로서 변위, 속도 또는 가속도의 어느것이 사용되든 간에 동일하다. 단지 파라미터들의 위상만이 달라지게 된다.

작업자진동 측정을 위한 ISO 규격은 진동레벨을 측정하기 위해 가속도가 파라미터로 사용되고 있다. 진동판의 가속도가 측정되고 동시에 측정된 가속도가 전체 측정시간 T에 대하여 시간축에 그려진다고 가정하면 (그림1), 이 진동을 표현하기 위해 사용되는 몇가지 파라미터가 있다.

피이크 (peak value)는 측정시간 T 동안에 측정된 최대 순간 가속도이다. 이것은 순간충격에 대한 레벨의 크기를 나타내는 유용한 척도이다.

RMS (Root Mean Square value)는 전체 측정시간 T에서 측정된 순간 가속도의 제곱의 합에 대한 평균에 제곱근을 취함으로써 얻어진다. 만일 RMS가 상대적으로 긴 시간, 즉 1분이나 1시간에 걸쳐 계산된다면 RMS는 진동의 에너지 용량과 관련된 가속도를 나타낸다. 그럴때 이것을 종종 등가가속도 $a_{eq}(m/s^2)$ 또는 등가가속도 레벨 $L_{eq}(dB)$ 로서 표시한다. 만일

a_{eq} 가 전체측정시간 T 동안에 계속 적용된다면 이것은 동일시간 동안 측정된 변동하는 진동레벨과 동일한 효과를 산출할 것이다. 시간 T 동안에 측정된 모든 순간가속도는 a_{eq} 의 계산에 사용된다. 즉

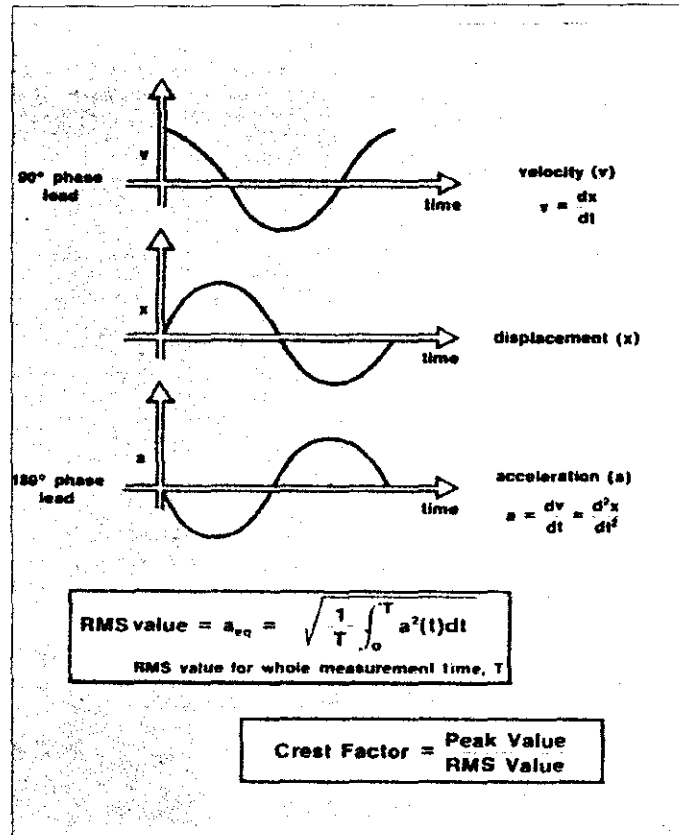


그림 1 진동레벨의 측정 파라미터

측정된 순간가속도는 시간 가중치(time-weighted)된 것이 아니다.

그러나 만일 RMS가 훨씬 더 짧은 시간간격, 예를 들어 1초에 걸쳐 계산된다면 그 때의 RMS는 “running RMS”로 알려져 있는데 이 running RMS가 계산될 때 측정된 순간 가속도는 지수함수적으로 시간가중되고 현재 측정된 가속도가 그 이전에 측정된 가속도 보다 더 큰 가중을 받게

된다는 것을 의미한다.

crest factor는 측정시간 T에 대하여 피이크와 RMS간의 비로서 정의된다. 진동이 충격적(혹은 랜덤진동)일수록 crest factor는 더욱 높아진다. 충격진동이 비충격진동보다 더 해롭다고 간주되기 때문에 crest factor는 진동의 해로운 성분에 대한 좋은 척도가 된다.

측정 파라미터, 즉 가속도는 a 로 표시되는 경우에 m/s^2 로 측정될 수도 있으며 가속도 $10^{-6}m/s^2$ 를 0 dB로 하는 기준을 갖는 가속도레벨(L로 표현)의 향으로 측정될 수도 있다. 그러므로 $a m/s^2$ 의 가속도는 레벨 $L(dB)$ 로서 표현할 수 있다.

$$L(dB) = 20 \log_{10} \left[\frac{a}{a_{ref}} \right]$$

6. 작업자에 대한 주파수 응답

어떤 기계의 기계적진동은 기계의 움직이는 성분들에 의해서 발생된다. 모든 움직이는 성분들은 그것의 운동과 관련된 어떤 주파수를 갖게 되므로 기계와 접촉하고 있는 작업자의 몸체에 전달받는 총 진동은 동시에 발생하는 진동의 서로 다른 주파수들로 구성된다. 이것은 작업자의 몸체가 진동의 모든 주파수에 동등하게 민감하지 않기 때문에 작업자의 진동을 측정할 때 고려해야 할 중요한 사실이다.

작업자가 다른 것보다 어떤 주파수에 더 민감하다는 이유를 이해하기

위하여 작업자의 몸체를 기계적인 시스템으로 고려하는 것이 유용하다. 이 시스템은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- (a) 신체의 각 부분은 각기 다른 주파수 대역을 가진다.
- (b) 작업자의 몸체는 비대칭적이다.
- (c) 어떤 두사람도 정확히 같은 방식으로 진동에 반응하지는 않는다.

그럼에도 불구하고 적절한 생체 역학적 모델은 진동에 대한 작업자신체의 응답을 시뮬레이션하는데 발전을 가져왔다.

따라서 단순화된 신체의 기계적 모델을 나타낼 수 있다.(그림2).

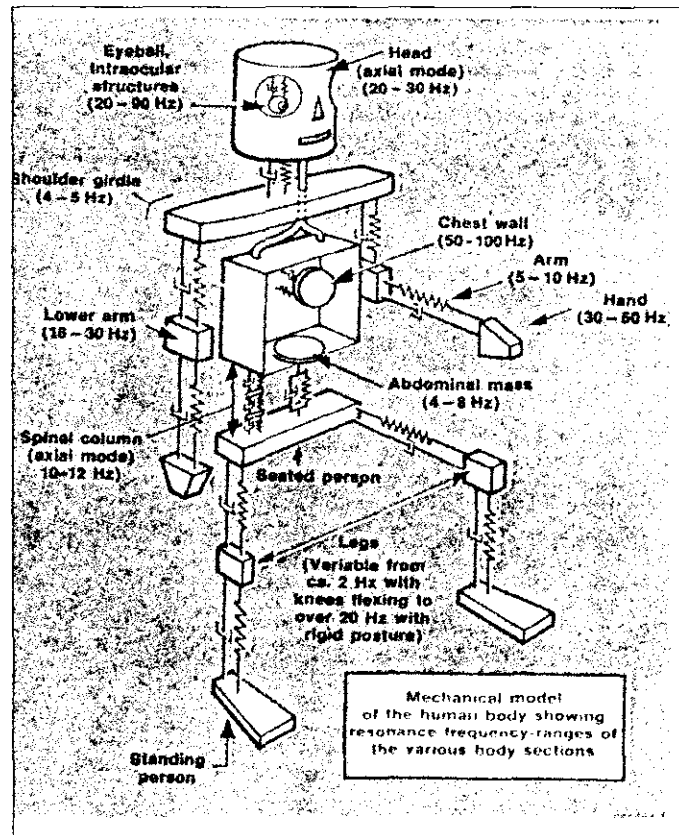


그림 2 작업자 신체의 주파수 응답 특성

그리고 몸체의 각 부분은 질량, 스프링과 감쇠기로서 나타낼 수 있다. 작업자의 신체는 강한 감쇠 시스템이기 때문에 어느 한부분이 고유진동수에

서 가진되어졌을때 그것은 하나의 단일 주파수 대신에 어떤 주파수 범위에 걸쳐서 공진을 일으킬 것이다. 또한 작업자의 신체는 비대칭적이기 때문에 진동에 대한 응답 또한 진동이 적용되는 방향에 의존하게 된다.

7. 주파수 가중치

기계적인 진동에 대한 작업자의 민감도는 위에서 언급한대로 주파수와 가진방향에 의존한다. 만약 어떤 진동의 피해효과를 평가하는 경우에는 그것들을 고려해야 한다.

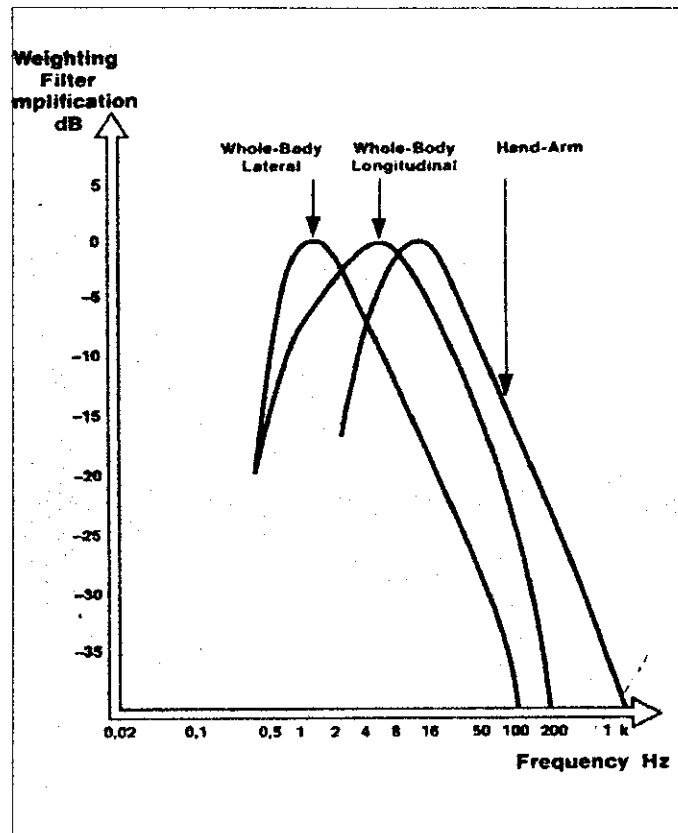


그림 3 주파수 가중 함수

ISO규격에서는, 그림3에 보이는 가중치곡선을 제안했는데, 진동의 피해를

평가할 때 앞에서 언급된 요소들을 고려할 때 사용되어질 수 있다. 진동이 어떤 특정한 방향으로 측정될 때, 진동레벨은 작업자의 민감도 범위안의 모든 주파수들에서 측정된다. 사람의 신체가 가장 민감한 주파수는 신체가 덜 민감한 주파수에서의 그것보다 훨씬 더 무거운 가중치가 주어진다. 이 가중치는 측정된 진동레벨과 종속적 느낌 또는 진동에 의해 생겨진 충격사이의 좋은 상관을 제공한다. 소음레벨의 측정과 비슷한 방식으로 가중되며, 소음에 대한 귀의 응답을 시뮬레이션하는 데 사용되는 A 가중치 필터와 같다. 부가 가중치 곡선은, 예를들면 운동결합, 빌딩에서의 진동과 구급차에서의 전송에 관계된 진동레벨이 정해질 때 종종 사용된다. 작업자진동의 측정에서 0.1Hz - 1500Hz사이의 주파수범위내에 발생한 진동은 매우 흥미있다. 1Hz - 80Hz 사이에서 발생한 진동들은 전신진동에 대한 노출을 측정할 때 특히 유의하고 5Hz-1500Hz 사이에서 발생한 진동들은 수완계진동에 대한 노출을 측정할 때 특히 유리하다.

7.1 전신진동의 가중치곡선과 기준축

전신진동은 심장의 위치에서 원점을 가지는 직교좌표계의 방향으로 측정되어져야 한다(그림4). 종방향(foot-to-head)은 Z 방향이라 부르며 이 방향에서 신체는 4Hz-8Hz주파수 범위에서의 진동에 매우 민감하다. X 방향(back-to-chest)과 Y 방향(right side to left side)에서의 진동에 대한 작업자의 응답은 다르지 않으며 이 동평면(횡평면)에서 작업자의 응답은 1Hz-2Hz 주파수 범위에서 가장 크다.

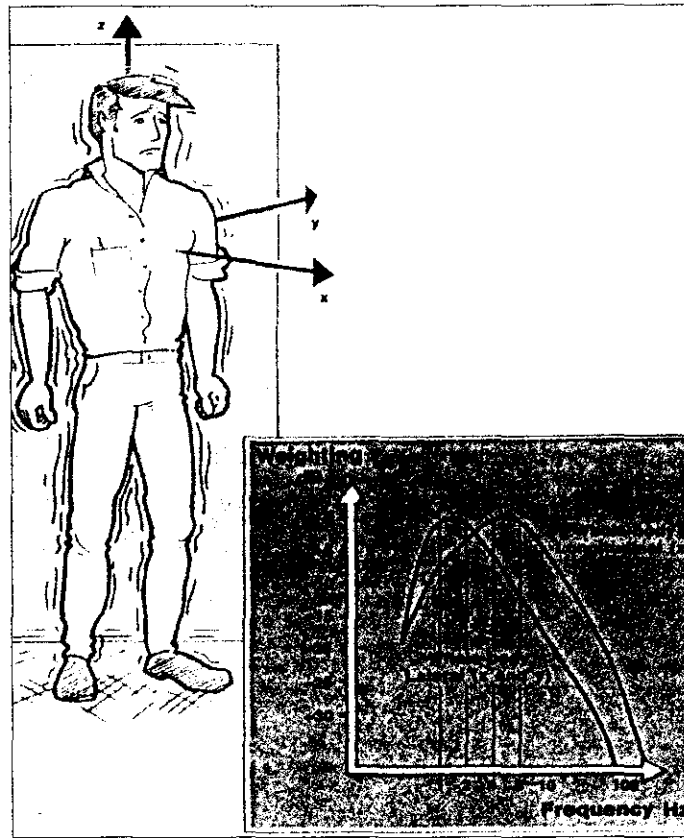


그림 4 전신진동의 가중 곡선과 기준곡

0.1Hz-0.63Hz 주파수 범위에서의 진동은 그것들이 나타나고 있는 사람의 경우에, 극심한 고통(Severe Discomfort) 또는 감각적 불편함(Reduced Comfort)의 원인이 된다고 생각된다. 이 주파수 영역에서의 진동에 대한 작업자 개인의 반응은 폭넓게 변화하고 진동 그 자체뿐만 아니라, 시력, 청력, 나이와 같은 요소들에 의존하기 때문에 작업자의 진동형태에 대한 연구를 특히 복잡하게 한다.

7.2 수완계진동 가중치곡선과 기준축

수완계진동의 경우, 진동에 대한 주파수 응답은 모든 방향에서 같다.

따라서 하나의 가중치 곡선에 의해 X, Y, Z 방향에서 수완계진동에 가중을 할 수 있다. ISO 수완계진동 가중치 곡선에서 보여진 것처럼 12Hz-16Hz의 범위에서 최대 주파수 민감도를 가진다.

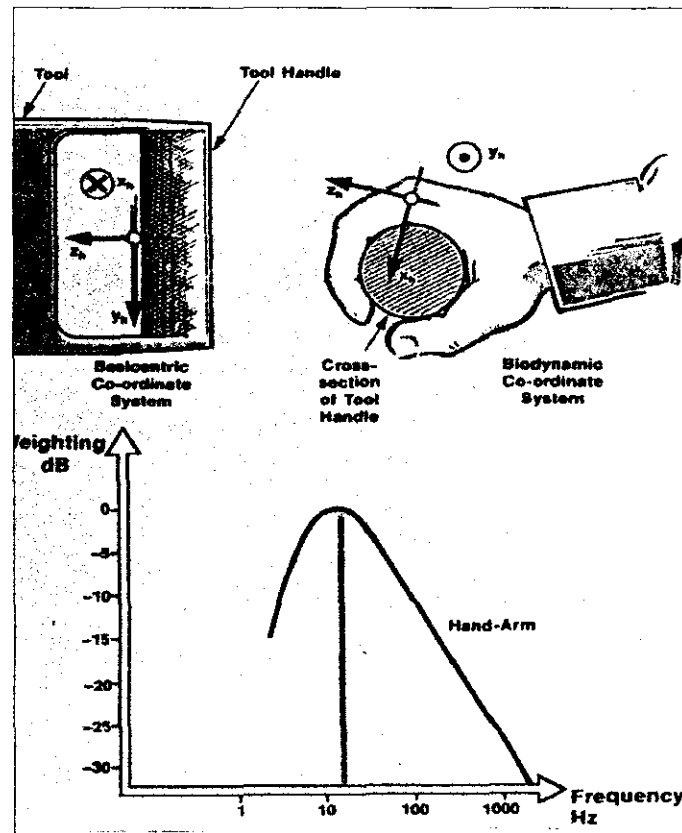


그림 5 손전달 진동 가중곡선과 기준축

진동의 방향을 기술하는 데는 두개의 직교좌표계가 사용된다 (그림5). basicentric좌표계가 도구에 대한 기준으로 정의되는 반면에 biodynamic좌표계는 손에 대한 기준으로 정의된다. 두개의 시스템은 ISO 5349에 정의되어있다.

손전달진동에 대해서는 하나의 가중치곡선만 있으므로, basicentric 또는 biodynamic좌표계중에서 어느 것이나 사용될 수 있다. 유일한 판단기준은

편리함으로서 그것은 주로 측정보고서에 대한 기준으로 사용된다.

8. 진동측정

(a)진동에 의해 나타나는 불편감과 (b)진동에 노출되므로써 발생 가능한 위험성 평가를 하기 위해 작업자 진동이 정확하게 측정되어야 하는 것은 필수적이며 이러한 요소들을 저감시키기 위한 노력이 필요하다. 만일 진동에 노출된 사람을 과보호하게 되면 행동에 제약을 받게되고 그 결과 능력이 떨어지게 되지만 반면 진동에 과도한 노출은 짧은 시간내 사고를 유발하게 되고 장기 노출후에는 육체적인 손상을 야기시킨다.

작업자진동 측정의 정밀성은 진동 변환장치와 해석 그리고 기록장비의 질에 의해 좌우된다. 진동측정에 거의 보편적으로 사용되는 변환기는 압전형 가속도계이다. 이것은 다른 어떤 형태의 진동변환기보다 더 좋은 전반적인 특성과 안정도를 보여주며, 그 응답은 작업자진동의 측정에 있어서 관심 있는 주파수 영역에서 선형적이다. 가속도계는 모든 범위의 크기와 무게에 있어서 사용할 수 있으므로 (a)측정되어야 할 진동이 가속도계의 존재에 의하여 변환되지 않고 (b)손전달진동을 측정하기 위해서 사용될 때 사용자가 공구를 잡는 것을 방해하지 않도록 크기와 무게가 충분히 작은 것을 찾을 수가 있다.

작업자 진동을 측정할 때 진동이 작업자에 전달되는 점이나 면에 가능한 가깝게 진동을 측정하는 것이 매우 중요하다.

8.1 전신진동 변환기

전신진동에 대해서 진동은 바닥과 발, 의자와 등 또는 의자와 엉덩이를 통해 작업자에 전달되므로 이러한 점에서 측정 되어야만 한다. 고무 받침에 장착된 3축 가속도계인 seat 변환기가 개발되어 왔는데 이것은 사람의 원래 위치를 방해하거나 사람의 편안함을 방해하지 않고 가진점에 설치할 수 있다. 자동차 운전자에게 전달되는 진동을 측정하기 위해서 운전자는 변환기 위에 앉거나 등에 변환기를 매도 된다. 바닥에 의해서 전달되는 전신진동을 측정하기 위해 진동하는 바닥과 변환기가 잘 접촉되도록 변환기 위에 작은 물체를 올려 놓고 바닥에 설치한다.

3축 Seat 변환기는 3개의 직교축(x, y, z)에 있어서의 진동레벨을 동시에 측정하는 3개의 독립 가속도계를 갖고 있다.

8.2 손전달진동 변환기

손으로 진동체를 잡고 있을 때 이것은 손바닥을 통해 손과 팔에 진동을 전달시킨다. 그러므로 변환기는 손바닥과 진동체 사이의 접촉표면에 설치되어야 한다.

아무리 작은 가속도계라도 손잡이 표면에 있는 가속도계는 작업자의 손잡이를 방해하게 되고 이것은 부정확한 측정을 야기시킨다. 여러개의 변환기를 설치하는 방법이 문제를 극복하기 위해 제안되었는데 가장 일반적으로 사용되는 방법은 손잡이에 가능한 가까운 위치에 가속도계를 설치하는 것이다. 그러나 공구 손잡이는 일반적으로 둥근 모양이므로 편평한 변환기

설치자리를 만들기 위해서는 손잡이를 가공해야 하므로 이 설치 방법은 불편하고 비실제적이다.

위치 측정에 대한 실제적인 해결책은 작업자의 자연스러운 손동작에 의해서 손잡이와 손의 접촉이 유지되는 어댑터 위에 가속도계를 설치하는 것이며 어댑터와 가속도계는 공진의 위험을 최소화 시키기 위해 가벼워야 한다.

작업중에 손과 팔의 진동이 측정될 때 가속도계를 측정 기록장비에 연결 시키는 케이블의 보호에 주의를 기울여야 한다.

8.3 진동측정 시스템

그림6은 간단한 작업자 진동 측정 시스템의 블록선도를 나타낸다. 가속도계는 진동 레벨을 측정하는데 사용되는 일반적인 변환기이다. 만일 3축 방향의 측정이 요구된다면, X, Y, Z 방향에서의 진동들이 동시에 또는 연속적으로 측정되고 기록될 수 있도록 3개의 가속도계가 측정시스템에 연결될 수도 있다.

가속도계로부터의 신호는 먼저 증폭기(preamplifier)를 통과하게 된다. 증폭기로부터의 증폭신호는 주파수 가중 필터(frequency weighting filter)를 통과함으로써 가중되는데 이것은 서로 다른 주파수에 대한 작업자 응답의 변화를 허용하기 위한 것이다. 세개의 가중필터가 이용될 수 있는데 그중 둘은 전신진동 (하나는 세로방향(Z)을 위한 것이고 다른 하나는 가로방향(X와 Y)을 위한 것이다)을 가중시키기 위해 사용되고 나머지 하나는

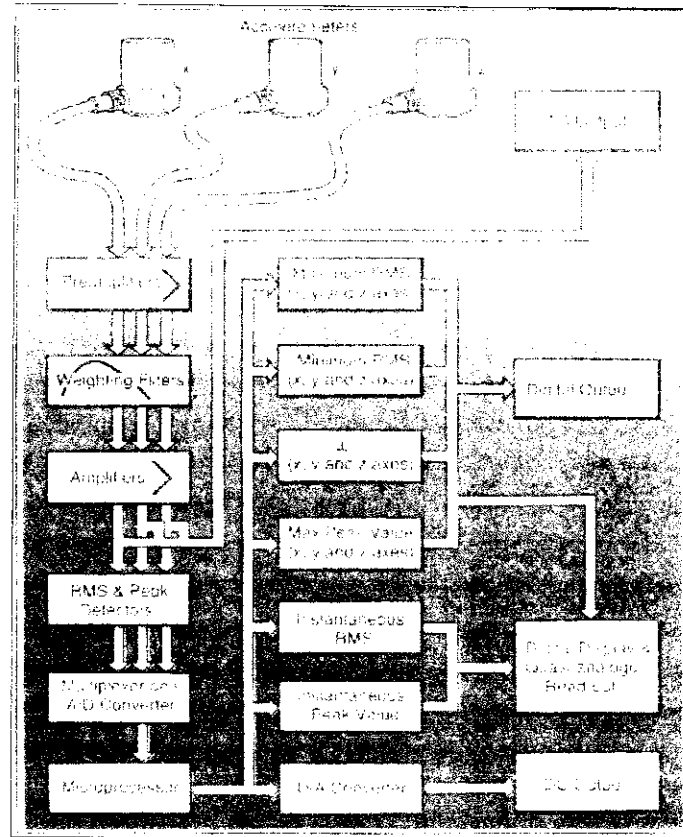


그림 6 진동 측정 시스템

손전달진동(X, Y, Z방향)의 가중에 사용된다. 주파수 가중필터로 부터의 신호는 적절한 파라미터, 즉 측정기간 동안의 running RMS와 running 피크 그리고 총 측정시간 T에 대한 등가 가속도 와 최대 피크를 얻기 위해 처리 되어지기 전에 한번 더 증폭된다. 그 다음 이러한 양들은 여러가지 방법으로 나타낼 수 있게 되는 데 이 그림은 이러한 파라미터들이 출력 되는 방법을 보여준다.

아날로그와 디지털 출력은 측정결과의 더 정밀한 분석을 위해 그래픽이나 인쇄형태로 기록될 수 있다. AC 출력은 원래신호를 추후에 분석할 수 있도록 진동신호가 주파수 가중되기 전에 이 신호를 분리해낸다.

8.4 통계적인 분석

동가 가속도와 피이크 가속도는 측정시간 T 동안에 측정된 진동신호를 묘사하는 단일 양들이다. 측정결과의 간단한 통계적 분석을 수행함으로써

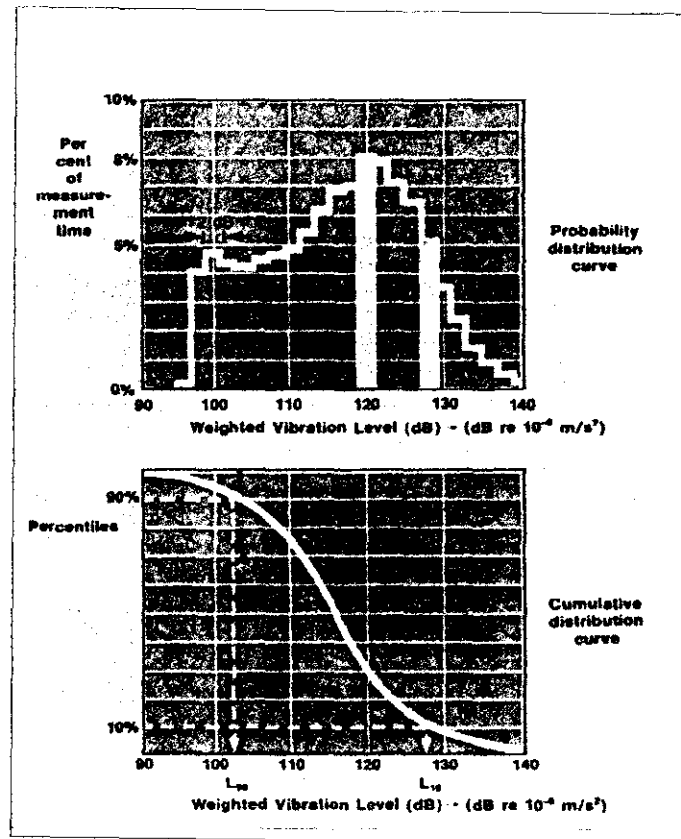


그림 7 진동신호의 통계적 분석

시간 T 동안에 진동 레벨이 어떻게 변화하는가를 찾아낼 수가 있다.(그림7)
 확률분포곡선은 진동이 두개의 레벨 L_n (dB)와 $(L_n + L_x)$ (dB) 사이에서 값을 갖는 전체측정시간의 비율을 그려낸다. 본 그림에서는 $L_x = 2\text{dB}$ 이다. 측정시간의 8%에 대해서는 레벨이 119dB와 121dB 사이이며 5%에 대해서는 127dB와 129dB 사이인 것을 알 수 있다.

누적된 분포 곡선은 동일 진동에 대한 정보를 나타내는 또다른 방법이다. 이 분포곡선은 주어진 진동레벨이 초과되는 것에 대한 전체측정시간의 비율을 그려낸다. 그래프에서 백분위수(percentile)를 직접 읽을 수 있다. 이 그림에서는 측정시간의 10%를 초과하는 레벨인 $L_{10} = 128\text{dB}$ 이고 $L_{90} = 103\text{dB}$ 이다.

$L_{10} - L_{90}$ 값은 25dB 이다. L_{eq} 와 함께 이 양으로 진동에 대한 더욱 완전한 정보를 알 수 있다. 진동측정을 통계적으로 해석하고 위에서 언급된 두개의 분포를 그래픽이나 인쇄 형태로 나타낼 수 있는 장비를 이용할 수 있다.

9. 서로 다른 상황에서의 진동레벨

손전달진동에 직업적으로 노출되는 것과 관련된 주파수가중 가속도 (a_{eq})는 $2 \sim 50\text{m/s}^2$ 범위이지만 전신진동의 경우는 $0.1 \sim 40\text{m/sec}^2$ 의 범위이다.

진동 노출 상황들은 변화가 매우 심하므로 받아들이 수 있는 노출한계를 평가하기 위해서는 서로 다른 판정기준들이 요구되는 데, 긴 기차여행중에 받아들이 수 있는 진동에의 노출은 (a) 진동 노출의 피로 효과에 의한 기차 운전자의 감소된 숙련도를 평가하느냐 (b)기차 승객의 편안함을 평가하느냐에 따라 달라지게 될 것이다.

건물의 진동에 의해 감각의 임계치 (RMS 가속도 0.003m/sec^2) 에서 발생하는 받아들이 수 있는 전신진동은 잠자리에 있는 사람에게는 감지될 수

있으며 받아들일 수 없는 것으로 간주된다. 이런 종류의 진동평가는 ISO 2631의 part II에 논의되어 있다.

10. 전신진동에 대한 작업자노출의 ISO 평가

작업자에 대한 진동 환경의 영향을 평가할 때 고려해야 할 4가지의 중요한 물리적 요소가 있는데 즉, 진동의 등가 가속도, 진동을 형성하는 여러가지 주파수, 진동의 가진 방향 그리고 진동에의 노출 시간이다. 전신진동에 대한 ISO 규격 2631에 서로 다른 상황에서의 진동을 평가하기 위하여 사용될 수 있는 3가지 중요한 작업자기준을 구분짓고 있다.

- a) 작업 효율의 보존 (피로에 의해 감소된 숙련도의 경계)
- b) 건강이나 안전의 보존 (노출의 한계)
- c) 안락함의 보존 (감소된 안락함의 경계)

이러한 3가지 기준에 따라 고정된 노출에 대한 추천된 한계는 가로방향 등가 가속도(a_x 와 a_y)와 세로방향 등가가속도(a_z)에 대하여 그림8과 같이 정의된다. 세가지 기준 모두는 측정된 진동의 주파수와 허용되는 노출시간을 RMS 가속도와 연관시킨다.

피로에 의해 감소된 숙련도의 경계 기준은 시간에 의존적인 효과(즉 피로)가 성능을 저하시키는 것으로 알려진 종류의 일(예를 들면 비행, 운전,

중장비의 작동)에 대한 노출 한계를 평가하는데 사용된다.

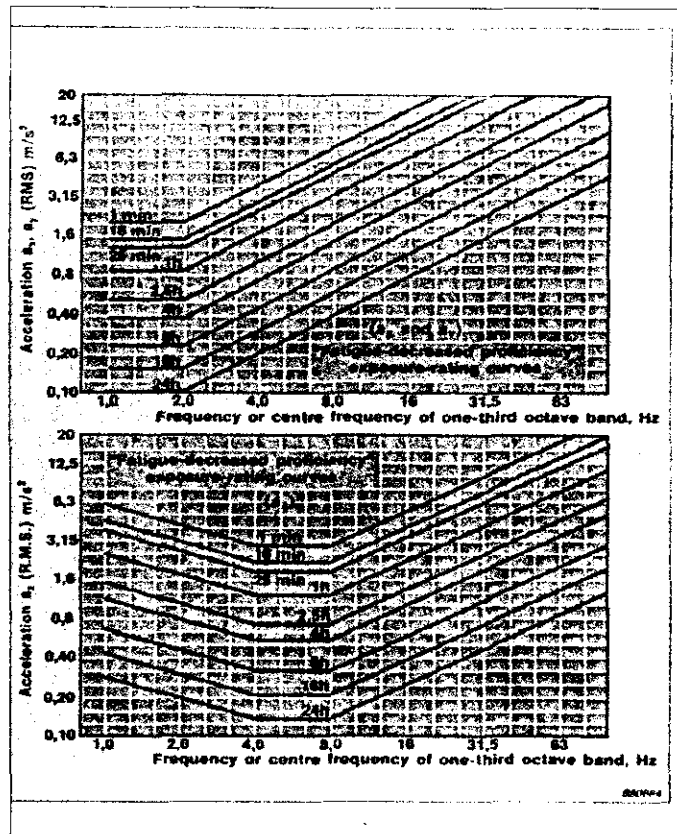


그림 8 전신진동에 관한 ISO 노출 시스템

노출 한계 기준은 전신진동에 대하여 허용되는 최대 가능 노출을 평가하기 위하여 사용된다. 만일 이 조건에 의해 정의된 노출 한계가 초과되면 노출된 사람의 건강은 손상되기 쉽다. 노출 한계를 초과하는 것은 바람직하지 못하다.

감소된 안락함의 경계 기준은 항공기/보트/기차를 타고 여행하는 사람들의 안락함을 평가하는데 사용된다. 이러한 노출 한계를 초과하는 것은 승객들이 여행중에 식사, 독서 그리고 필기와 같은 작업을 하는데 어려움을 초래할 것이다.

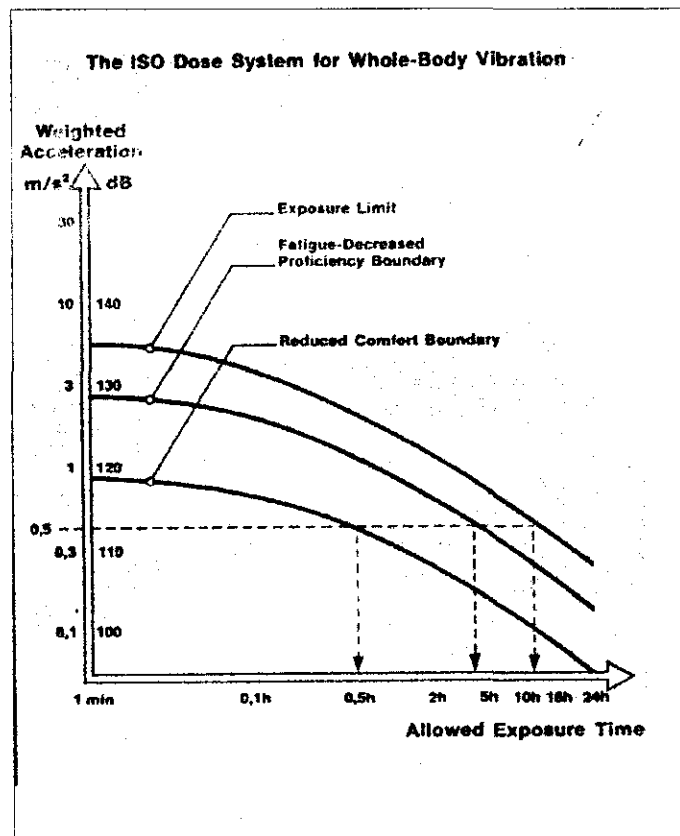


그림 9 전신진동에 노출된 작업자신체의 ISO 평가

만일 ISO 규격에 나타난 RMS 가속도가 주파수 가중되고 세가지 기준에 따라 허용된 노출 시간에 대하여 그려진다면 그 관계가 여기의 그림9에 나타난 것처럼 표현될 수 있다. 가중된 RMS 가속도가 $0.5m/s^2$ 인 진동에 대하여 허용되는 노출 시간은 안락함을 기준으로 30 min/day, 숙련도를 기준으로 4h/day 그리고 건강을 기준으로 11h/day 이다.

동시에 하나 이상의 방향에서 발생하는 진동을 평가하기 위하여 ISO 2631에서는 3개의 가중된 가속도 a_x , a_y 그리고 a_z 의 벡터 합 a 를 취하여 다음과 같이 계산하도록 제안하고 있다.

$$a = \sqrt{(1.4 a_x)^2 + (1.4 a_y)^2 + a_z^2}$$

허용된 노출 시간 전체의 백분율로 표현된 실제 노출 시간은 등가 노출 비율로 알려져 있다. 위에 주어진 예에서 등가 노출 비율은 숙련도를 기준으로 하고 실제 노출 시간이 단지 1시간이라면 25%가 된다.

11. 손전달진동에 대한 작업자 노출의 ISO평가

손전달진동에 대한 ISO 규격 5349(1986)은 안전한 노출의 한계를 정의하지 않고 손전달진동의 측정과 평가를 위한 지침으로 되어 있다.

ISO 5349의 Annex A는 손가락이 벗겨지는 증세(white-finger syndrome)의 가능성을 하루 4시간의 기간으로 년수의 노출시간에 대해 주파수 가중된 에너지 등가 RMS 가속도의 함수로서 예측할 수 있다.

주파수 가중된 RMS 가속도 a_{eq} 를 갖는 손전달진동에 대한 daily 노출의 장기 효과를 평가하기 위하여 4시간 동안의 노출에 있어서 등가에너지량을 산출해내는 RMS 가속도 $a_{eq(4h)}$ 를 계산해야만 한다. 이것은 다음 공식을 사용하여 얻을 수 있다.

$$a_{eq(4h)} = a_{eq}[T/4]^{1/2} = 4h \text{ energy-equivalent value}$$

만일 작업자가 $a_{eq(4h)} = 10\text{m/s}^2$ 인 손전달진동에 노출되었다면 그림 10에 나타난 dose-effect 가능 곡선으로 일일 노출의 효과를 예측할 수 있는

데, 7년의 노출후 손가락이 벗겨지는 중세로 발전될 확률은 50%이고 3년의 노출후 이 중상으로 발전될 확률은 10% 임을 알 수 있다.

ISO 5349 규격은 모든 종류의 일일 노출을 4h 에너지-등가 가속도로 변환하는데 요구되는 계산의 세부사항을 제공하고 있는 데, 예를 들어 일일 노출에 변하는 시간 간격에 대하여 상이한 손공구의 사용이 포함되는 경우 등이다.

ISO 5349 규격에 의하면 손전달진동은 3개의 직교축(즉 a_x , a_y 그리고 a_z)에서 측정되고, 가장 큰 RMS 가속도와 함께 성분에 기초하여 평가되며, 작업자를 보호하기 위해 사용될 수 있는 가장 좋은 지침을 나타낸다.

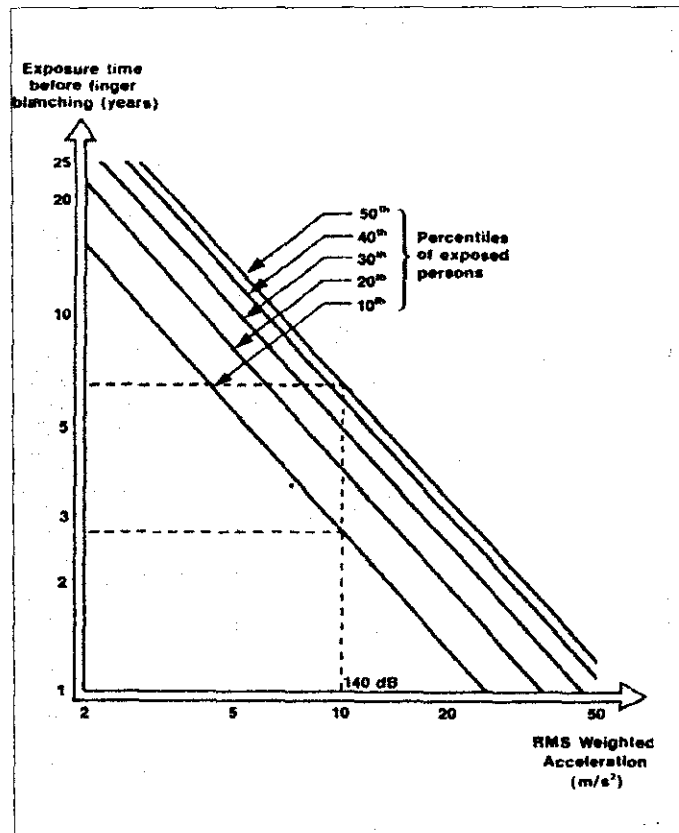


그림 10 손팔진동에 노출된 작업자의 평가를 위한 ISO 지침

자치적으로 받아들일 수 있는 노출 한계를 정하기 위하여 이러한 지침의 정보를 사용하는 것은 각국의 국립표준위원회(N.S.B; National Standardization Board)에 맡겨진다. 실제로 이것은 N.S.B가 최대 주파수가중 가속도 $a_L \text{ m/s}^2$ 는 최대 연속기간 T_L 에 대해 묵인될 수 있다고 규정할 것이라는 것을 의미한다. ISO 규격에 손전달진동의 생리적 영향은 대부분 전달된 에너지에 의존한다는 가정이 합리적이라고 언급되어 있다. 위에 규정된 진동에 노출된 동안 손으로 전달되는 실제 에너지는 진동 'dose'의 측정이고 이 'dose'를 초과하지 않는 한 진동 노출은 받아들일 수 있다고 간주된다.

$$\text{진동 'dose'} \leq a_L^2 T_L = k \text{ (N.S.B.에 의하여 정해진 상수)}$$

만일 진동의 주파수가중 가속도가 a_{eq} 로 알려져 있다면 허용 노출 시간은 다음과 같이 계산될 수 있다.

$$a_{eq}^2 T_{allowed} \leq a_L^2 T_L$$

따라서

$$T_{allowed} \leq k/a_{eq}^2$$

12. 진동 제어

집터, 숲같이 거친 지형위로 주행되는 자동차는 고르지 못한 표면에서 유발되는 진동을 받게 된다. 만일 이러한 자동차들에 현가장치가 없다면 자동차가 주행하며 받는 모든 충격은 자동차 운전자에게 직접 전달될 것이다. 자동차에 포함된 현가장치는 다소의 가장 해로운 진동 주파수를 흡수한다. 그러나 현가장치는 자동차에 자신의 공진 주파수를 이입하게 되고 따라서 이 공진 주파수에서 발생하는 진동의 크기는 더욱 커질 것이다. 공구 진동은 공구의 이동 부분에 의하여 주로 발생된다. 공구 진동을 감소시키기 위한 여러가지 방법이 있지만 이러한 감소방법 역시 때때로 공구에 새로운 공진 주파수를 이입하게 된다. 그러므로 다음을 보장하는 것이 중요하다. : (a) 기계나 공구의 진동을 경감시키기 위하여 사용되는 방법은 작업자에 민감한 주파수 영역밖에 위치하는 공진 주파수만을 이입한다. (b) 작업자의 민감영역 내에 있는 그러한 진동 주파수는 효과적으로 경감된다.

12.1 전신진동 감쇠

많은 작업차량의 가장 중요한 특징중의 하나는 무거운 하중을 가지고 일할 수 있는 능력이다. 이 특징은 차량이 강성이 큰 현가장치를 가져야 할 것을 요구하며 따라서 “bump”는 효과적으로 감쇠되지 않는다. 이 상황에서 노면상태에 의해 차량에 유발되는 위험스런 진동으로 부터 작업자를 보호하는 통상적인 방법은 이러한 진동을 효과적으로 경감시킬 수 있는 서스펜션시스템 (suspension system)을 운전자의 좌석에 설치하는 것이다.(그림11)

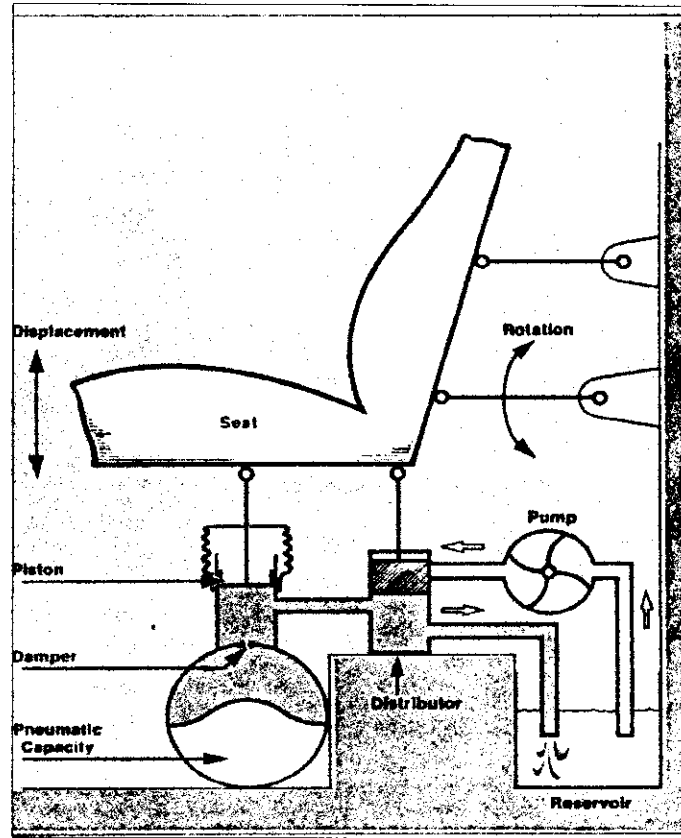


그림 11 전신진동 감소를 위한 서스펜션 시스템

차량의 좌석에서 생겨난 해로운 진동을 흡수하는 가장 간단한 방법 중 하나는 운전자와 좌석사이에 부드러운 쿠션을 설치하는 것이다. 다른 일반적인 방법은 스프링과 감쇠기로 이루어진 서스펜션위에 좌석을 설치하는 것이다.

감쇠의 중요한 목적은 작업자의 민감한 영역에서 새로운 공진주파수를 유발하지 않고 차량에 존재하는 공진을 줄임으로써 운전자가 받는 해로운 진동을 줄이는 것이다. 필요한 감쇠는 어느 범위까지는 작업자의 무게에 의존하며, 몇개의 좌석은 작업자의 무게에 맞도록 개인에 따라 조절될 수 있다. ISO 7096은 좌석 진동 시험의 표준방법을 규정하고 있다.

12.2 손전달진동 감쇠

해로운 진동에 수공구 작업자의 노출을 감소시킬 수 있는 4가지 중요한 방법이 있다.

- a) 내부적으로 공구를 감쇠
- b) 공구하우징과 손 사이에 감쇠를 삽입
- c) 공구를 원격적으로 작동
- d) 작업교대로 작업자의 하루 노출 시간을 감소. 이 방법은 또한 전신 진동에 적용한다.

이미 생산되어 버린 공구에서 진동을 줄이는 것은 종종 어렵고 어떤 경우에 있어서는 불가능하다는 것을 알아야 한다. 그래서, 새로운 공구를 선택할 때는 공구에서 줄여지지 않는 진동이 발생하지 않는지를 주의 깊게 체크해야 한다. 게다가 양호한 작업환경상태에서 공구를 좀더 효과적으로 사용할 수 있을 것인가 또한 진동레벨도 낮아질 수 있을 것인가를 고려해야만 한다.

12.2.1 내부감쇠

공구의 내부감쇠는 해로운 진동레벨을 감소시킬 수 있는 효과적인 방법이다. 그리고 공구 설계자가 이용하는 가장 일반적인 감쇠방법이다.(그림 12)

많은 제조업자들에 의하여 공압충격공구를 감쇠시키는 성공적인 방법이 개발되었으며, 실제 응용되고 있다.

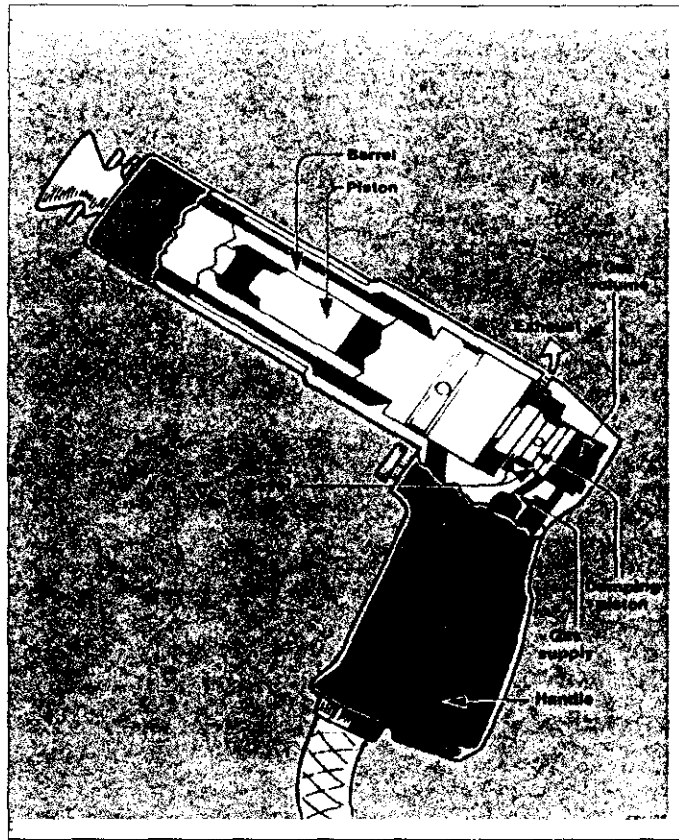


그림 12 공구 설계시 이용하는 내부 감쇠

그 원리는 가동 피스톤의 가스 구멍뒤에 여분의 피스톤과 가스 구멍을 설치하는 것이다. 두개의 가스 흐름을 정확하게 페이징시키면 가동 피스톤으로부터의 반동은 상당히 감소될 수 있다. 그와 같은 스프링을 장치함으로써 얻어질 수 있다.

12.2.2 공구하우징과 손사이의 감쇠

공구하우징과 손사이의 감쇠재료를 소개하는 것은 공구의 진동레벨을 감소시키는 효과적이고도 광범위하게 사용되는 방법이다.(그림13)

이 감쇠형태는 다음과 같다.

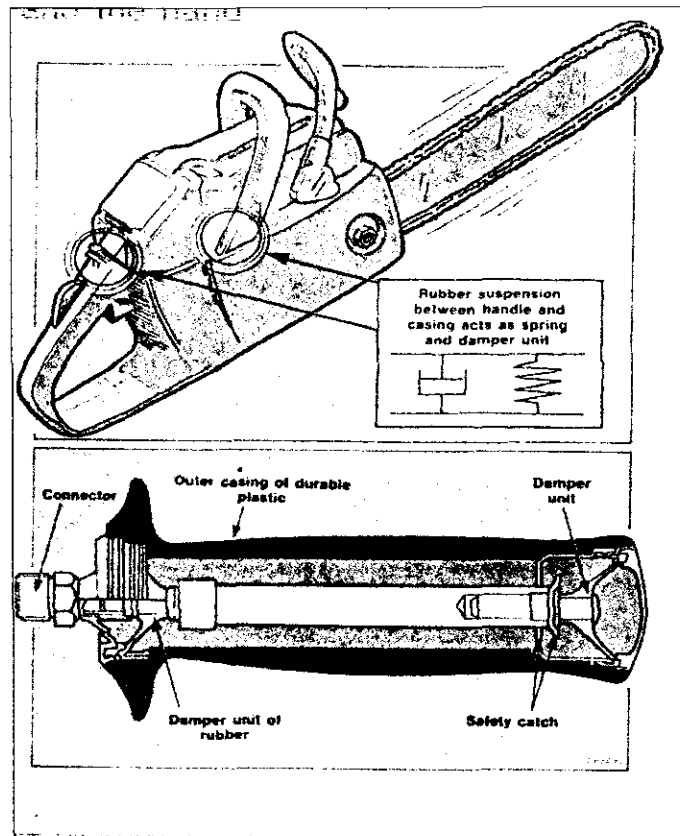


그림 13 공구하우징과 손사이의 감쇠

- 공구 케이싱과 공구핸들 사이에 감쇠재료를 둔다.
- 핸들을 고무로 씌운다.
- 공구를 잡는데 고무장갑을 이용한다.

일반적으로 이와 같은 목적을 위해 사용된 고무와 다른 점탄성 재료는 진동의 고주파 영역은 감쇠되지만 저주파 영역은 감쇠되지 않는다. 사실상 저주파 공진이 나타날 수 있다. 그래서 고주파 진동이 강하게 생기는 공구는 점탄성 재료를 사용해서 효과적으로 감쇠시킬 수 있다. 반면에 저주파 진동이 강하게 생기는 공구는 손과 핸들 사이에 점탄성 재료층이 있

다고 하더라도 반드시 감소되지는 않는다.

가장 현대적인 전기톱의 모우터/체인 계에서 발생하는 진동은 고무 받침대에 의해 핸들에서 부터 절연된다. 이 감소방법은 가중된 진동레벨을 70dB 예를들면, 10m/s^2 으로부터 3m/s^2 까지 감소시킬 수 있다. 이 감소방법이 가지고 있는 중요한 문제는 감소재료 자체가 톱보다는 더 빨리 닳아 없어지는 경향이 있어서 톱의 수명시간동안 규칙적으로 대체해야만 한다.

12.2.3 원격 조종

의심할 여지없이 가장 효과적이지만, 가장 비용이 많이 드는 감소방법은 공구를 원격으로 조종하는 것이다.(그림14) 원격으로 조종되는 공구들은 손으로 조종되는 것보다 더 효율적이고 더욱 정확하다.

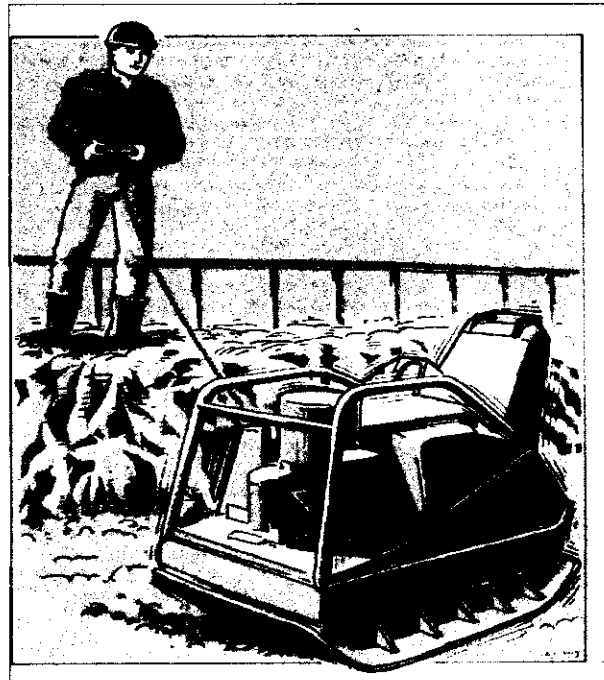


그림 14 공구의 원격조정

그러나 원격으로 조종되는 공구들은 손으로 조종하는 것보다 일반적으로 더 크고, 특수하고 복잡하다.

많은 작업현장에서 hydraulic arm의 끝단에 설치된 rock drill, 손으로 조종되는 작은 차에 설치된 아스팔트 해머, 또는 케이블로 원격조종되는 평판 진동기와 같은 원격 조종공구들이 사용되고 있다.

12.2.4 감소된 노출 시간

진동에 노출을 줄이는 최상의 방법은 일일 노출시간을 줄이는 것이다. (그림15) 이것은 다른 모든 감쇠방법이 실패하거나 혹은 실현가능하지 않을 때 남는 마지막 방법이다.

각 국제 표준표(National Standardisation Board, N.S.B)는 손전달진동의 진동에 허용되는 노출의 한계를 정해놓았다.

주파수가중RMS가속도, a_L m/s² 에 대한 최대연속노출주기가 T_L 로

정해져 있다면, 주파수가중가속도 a_{eq} m/s² 에 대해 허용되는 노출시간,

$T_{allowed}$ 는 다음 식으로 얻어진다.

$$a_{eq}^2 T_{allowed} \leq a_L^2 T_L$$

따라서

$$T_{allowed} \leq k/a_{eq}^2$$

그러므로 작업자가 $2a_L$ 의 주파수가중가속도를 가진 공구로 작업을 한

다면, 허용되는 노출시간은 1/4 만큼 줄어든다. 즉

$$T_{allowed} = 1/4 T_L$$



그림 15 진동노출 시간의 감소방법

그러므로 높은 주파수가중 가속도에 노출되는 작업은 위험한 진동에 대한 노출을 줄이기 위해서 여러 작업자에 의해 분배되어야 한다. 이것은 여기서 보여진 것처럼 순환작업으로 할 수 있다. 노출을 줄이는 이 방법은 많은 계획이 있어야 하고 실행이 쉬운 것은 아니다.

부록

기계진동과 충격 -- 손-팔 진동 -- 손바닥에 있어서 장갑의 진동전달을 측정 및 평가에 관한 방법 (ISO/DIS 10819)

1. 개요

이 규격은 주파수 범위 31.5Hz에서 1250Hz까지 손바닥에 있어서 핸들로 부터의 진동에 대한 장갑의 진동전달율을 측정, 데이터 분석 및 보고하는 방법에 대해 기술한다.

이 규격은 장갑을 통한 진동전달율을 실험하는 방법을 규정하는 것을 목적으로 하였다. 많은 인자가 장갑의 진동전달율에 영향을 미친다는 것을 알고 있기 때문에 이 규격에 의한 전달율이 진동에 대한 건강위험을 평가하기에 충분한 것은 아니다.

진동전달율이 측정되고 공구들의 진동을 대표하는 두 개의 입력스펙트럼으로 부터 기록되며 주파수함수로 기록될 수도 있다.

2. 인용문헌

ISO 2041 용어

ISO 5805 인간에 미치는 기계진동과 충격- 용어

EN 420 장갑에 관한 일반 요구사항

- ENV 25349 기계진동 - 손전달진동에 폭로시의 측정과 평가에 관한
지침
- ENV 28041 인체의 진동 특성 - 측정장비(ISO 8041:1990)
- IEC 225 소음진동 분석을 위한 옥타브, 반옥타브, 1/3옥타브 밴드
필터

3. 용어 정의

이 규격에 사용된 용어는 ISO 2041, ISO 5805 및 ENV 25349에 따른다. 이 규격의 목적을 위해 다음의 정의를 적용한다.

전달율 : 기준 측정점과 손의 표면에서 측정된 가속도의 비. 전달율의 비가 1보다 큰 경우에는 진동이 증폭된 것을 나타내고 1보다 작은 경우에는 장갑이 진동을 감소시킨다는 것을 나타낸다.

4. 기호와 약호

다음의 기호와 약호가 사용된다.

a_w 가속도 스펙트럼으로 부터 가중필터 또는 계산에 의해 측정되는 r.m.s. 주파수 가중가속도 (ENV 28041, ENV 25349)

a_{ws} 진동 스펙트럼 s ($s=M$ 또는 H , 6.2를 보라)에 관한 r.m.s. 주파수 가중 가속도

R 기준측정점, 즉 핸들에서의 측정표시 첩자

P 손바닥에서의 측정표시 첩자

b 장갑없는 손에서의 측정표시 첨자

g 장갑있는 손에서의 측정표시 첨자

조합된 첨자의 예

a_{wMPg} 장갑있는 손바닥에서 측정된, 진동 스펙트럼 M에 관한 가
중 가속도

TR_{sb} 장갑없는 손에서 측정된, 진동 스펙트럼 s 에 관한 전달율
($TR_{sb} = a_{wsPb} / a_{wsRb}$)

TR_{sg} 장갑있는 손에서 측정된, 진동 스펙트럼 s 에 관한 전달율
($TR_{sg} = a_{wsPg} / a_{wsRg}$)

TR_s 진동 스펙트럼 s 에 관한 장갑의 수정 진동 전달율
($TR_s = TR_{sg} / TR_{sb}$)

TR_s 진동 스펙트럼 s 에 관한 장갑의 평균 수정 전달율(7.1을 보
라)

5. 측정원리와 측정장비

5.1 일반원리 및 장치구성

실험방법은 악력측정을 위해 특수핸들과 이송력 측정장치가 부착된
진동가진기를 사용한다. 가진방향의 진동을 동시에 2지점에서 측정한다.
가속도가 달린 어댑터에 의한 방법으로 손과 장갑사이, 즉 장갑안면, 어
댑터의 주파수응답을 보상하기 위하여 장갑의 진동전달율이 핸들에서

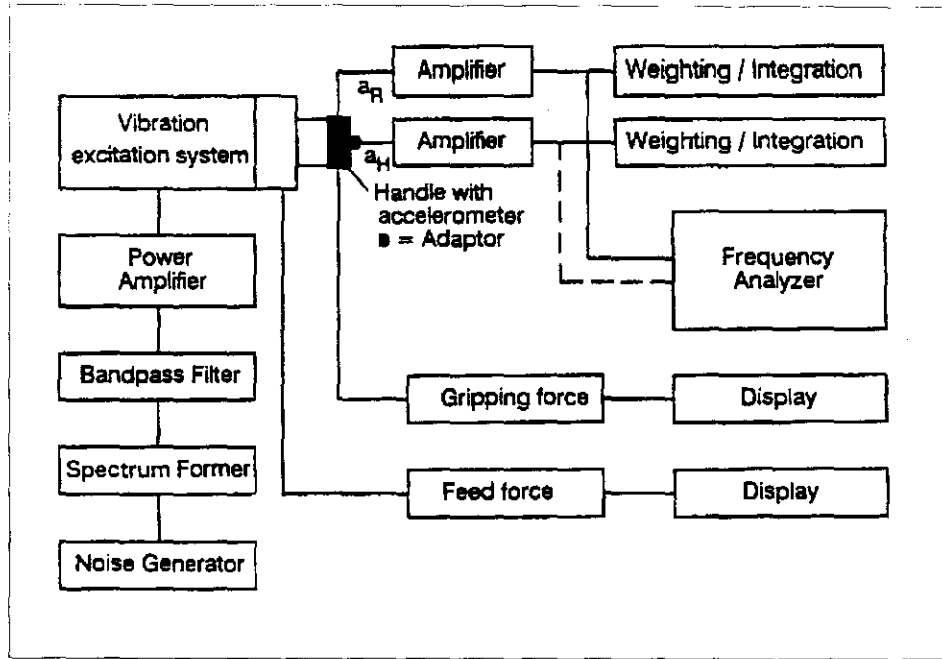


그림 16 진동전달을 측정을 위한 블록선도

손으로 가는 진동전달율이 장갑의 유무에 따른 차이로서 계산된다.

그림16에 측정장치가 보이고 있고 기준점에 있어서 가속도와 손에서의 진동이 동시에 측정된다. 악력치와 이송력은 작업자가 요구치에 맞추기 위하여 계속적으로 표시되어야 한다.

5.2 측정장치

5.2.1 일반요구사항

주파수분석기(narrow band 1/3옥타브밴드, 두 개의 채널), 두 개의 변환기, 두채널의 측정장치 (signal conditioning 그리고 weighting) 이 요구됨. 측정 chain 요소는 ENV28041에 따라 type 1 instrumentation 의 요구를 만족해야 한다. 입력신호에 대한 오버로드의 지시가 되어야 하

고 동적범위는 최소 60dB가 되어야 한다.

5.2.2 변환기 설치

5.2.2.1 핸들 측정점에 설치

변환기는 가진축과 평행하게 핸들에 밀접하고도 견고하게 부착되어야 한다.

변환기의 실제 위치가 핸들 표면에 표시되어야 한다.

5.2.2.2 손에서의 측정을 위한 설치

변환기는 손바닥에 부착되어야 하기 때문에 그림17과 같이 어댑터를 사용하여 변환기를 부착한다. 무게는 변환기 자체무게를 포함하여 15g을 넘지 않아야 한다.

R22에서 R30까지의 값은 장갑재질에 균일한 하중이 분포되도록 설정되어야 한다. 주파수 응답은 6.3.2에 나와 있는 조건으로 확인되어야 한다.

5.2.3 주파수 분석

주파수 분석이 1/3옥타브 밴드로 이루어 진다면 그때 그 필터는 IEC225 요구사항을 만족하여야 한다. 일반밴드폭 분석이라면 스펙트럼 M에 대한 분해능은 1Hz보다 좋아야 하고, 스펙트럼 H에서는 10Hz 보다 좋아야 한다.

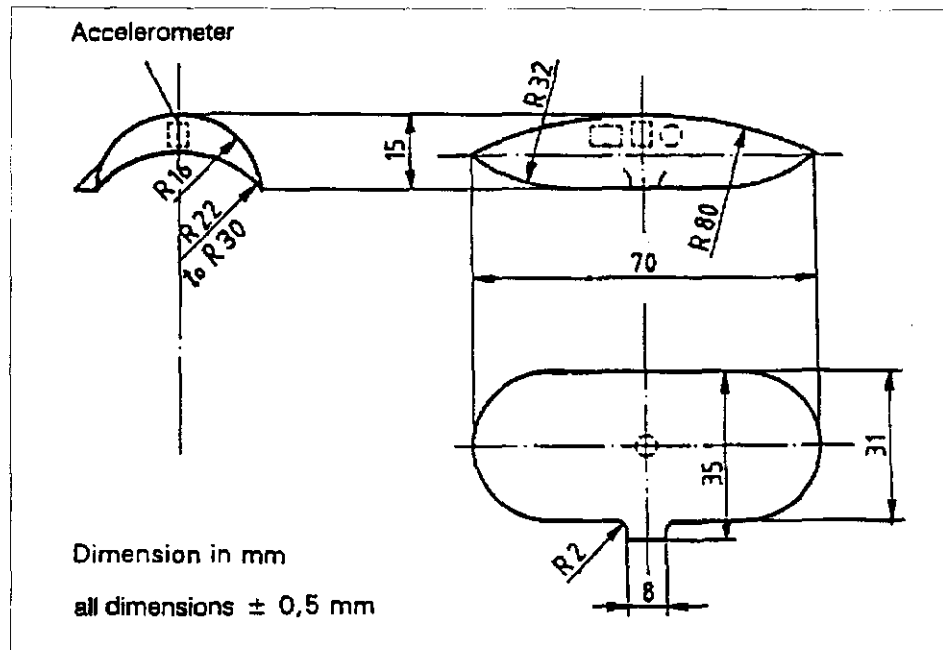


그림 17 손바닥에 있어서 가속도계를 부착하기 위한 어댑터

5.2.4 악력측정 시스템

이 규격에 있어 악력은 그림18에 보인바와 같은 원리에 따라 측정된 힘을 의미한다. 악력측정 시스템은 다음 요구사항을 만족하여야 한다.

동적범위: 10N~ 50N

분해능: 2N이상

측정오차: 5%이하

디스플레이 시간: 0.25S

핸들에 부착된 스트레인게이지에 대한 기술적인 검토가 이루어져야 한다.

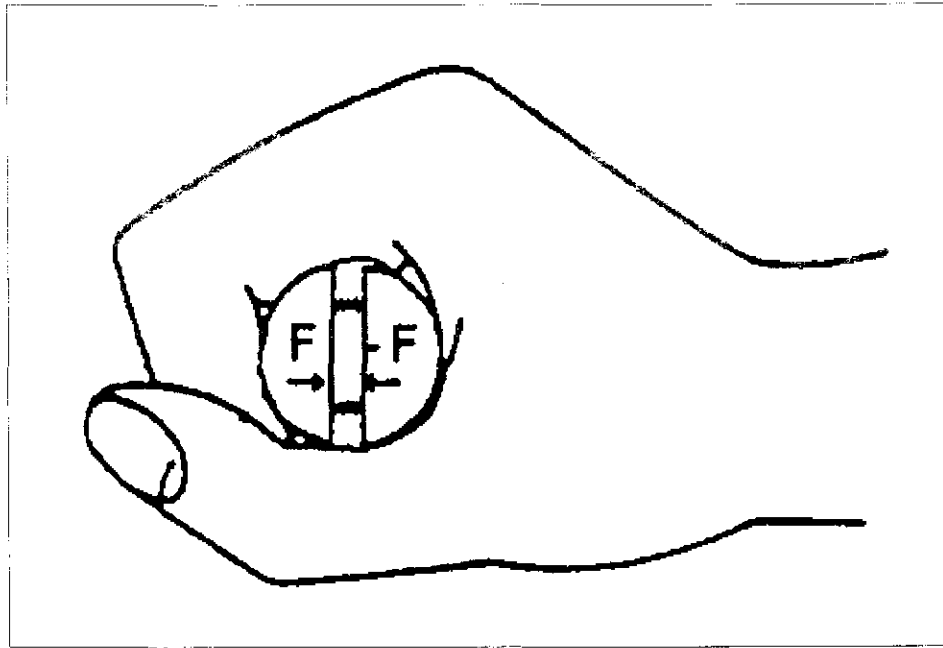


그림 18 악력 측정을 위한 기본 정의(뒷면)

5.2.5 이송력측정 시스템

이 규격에 있어 이송력이란 진동가진기에 대하여 미는 수평력을 말한다. 이송력측정 시스템은 다음 요구사항을 만족하여야 한다.

동적범위: 10N~ 80N

분해능: 2N이상

측정오차: 5%이하

디스플레이 시간: 0.25S

이송력을 측정하는 데는 다른 기술로도 가능하다.

- . 작업자가 서있는 플랫폼에서 측정하는 방법
- . 진동가진기의 한부분에서 이송력을 직접 측정하는 방법

5.3 진동가진기

5.3.1 기하학적 특성

5.3.1.1 치수 및 핸들방향

핸들은 지름40mm의 원형이고 110mm의 길이를 가져야 한다. 핸들의 방향은 수직이어야 한다.

5.3.1.2 가진기 위치

가진축은 서있는 작업자의 팔뚝에 수평이되어야 하고 평행하여야 한다.
(그림19를 보라) 가진기나 작업자가 서있는 플랫폼은 6.1.4에 나와 있는 대로 작업자 자세에 관한 요구사항이 만족되도록 정렬되어야 한다.

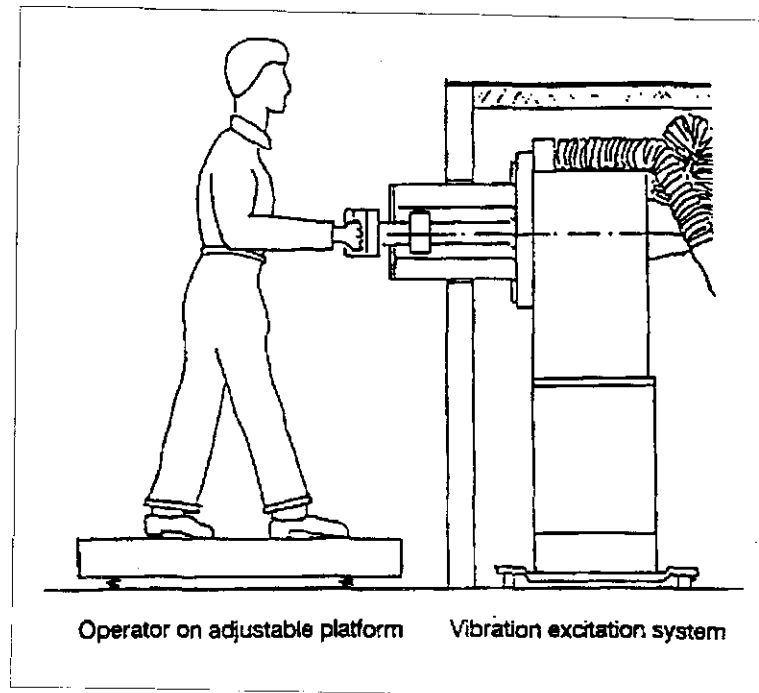


그림 19 측정시 작업자의 자세

5.3.2 성능

가진기는 6.1.3에 따른 악력과 이송력이 가해졌을 때 6.2 에 정의된 진동 스펙트럼이 나올 수 있는 성능을 가져야 한다.

6. 측정조건 및 측정순서

6.1 측정조건

6.1.1 실험체

EN420에 따라 7에서 9의 규격을 갖는 성인 3명을 시험체로 한다.

6.1.2 실험장갑

3종류의 장갑을 실험한다.

6.1.3 기타조건

측정에 관하여 다음 사항을 관찰한다.

6.1.3.1 힘

악력은 계속 표시되어야 하고 작업자는 실험시간중에 $30\text{N} \pm 5\text{N}$ 의 힘을 유지하여야 한다.

6.1.3.2 이송력

이송력은 계속 표시되어야 하고 작업자는 실험시간중에 $50\text{N} \pm 8\text{N}$ 의 힘

을 유지하여야 한다.

6.1.3.3 실내온도

측정은 실내온도 $20^{\circ}\text{C} \pm 5^{\circ}\text{C}$ 에서 하여야 한다.

6.1.3.4 습도

상대습도가 70%보다 낮아야 하며 기록이되어야 한다.

6.1.3.5 장갑의 조건

실험에 사용될 장갑은 최소 30분 동안 규정온도내에 있어야 하고 실험 시작전 최소 3분간 끼고 있어야 한다.

6.1.3.6 장갑의 선택

장갑의 규격은 EN420에 따라 선택해야 한다.

6.1.3.7 실험시간

평가하기 위한 각 실험시간은 가중측정이나 1/3옥타브분석을 위하여 최소 30S가 되어야 하나 평대역 분석이라면 최소 60개 스펙트럼의 평균이 되어야 한다.

6.1.4 작업자 자세

작업자는 수평표면위에 바로 서 있다.(바닥 또는 플랫폼, 그림19를 보라) 팔뚝은 진동축으로 향한다. 팔꿈치는 약 $90^{\circ} \pm 10^{\circ}$ 의 각도를 이루게 한다. 팔꿈치는 측정하는 동안 몸에 닿지 않게 한다. 손목은 0° 에

서 최대 40° 까지 굽혀야 한다.(그림 20을 보라)

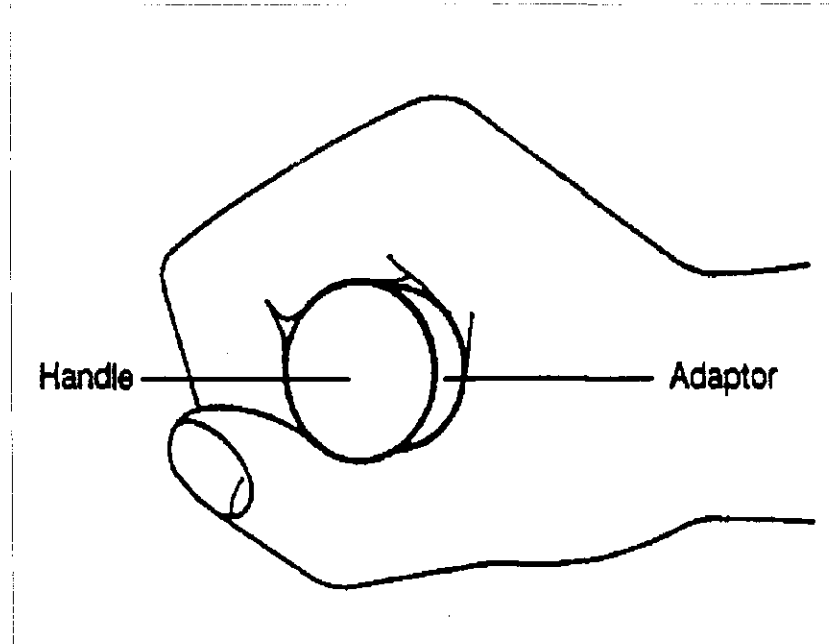


그림 20 핸들과 어댑터를 쥔 손자세 (위에서 봄)

6.2 진동 신호

핸들에서 측정된대로 두 개의 진동 스펙트럼(M과H)은 대역 제한 랜덤 노이즈로 되어 있고 그림21과 표 1에 따른 요구사항을 만족한다. 파워 스펙트럼밀도는 $\langle (\text{m/s}^2)^2/\text{Hz} \rangle$ 단위폭당 r.m.s.가속도로 표시된다. 이러한 신호들에 대한 수학적 정의는 부록A 에서 찾을 수 있다. 요구되는 PSD함수는 예를 들면 백색잡음 발생기나 12dB/octave의 슬로프를 갖는 밴드 패스 필터를 통해 발생 시킬 수 있다. 가진기에 의존한다면 추가적인 스펙트럼이 필요할 수 있다. 부록 C에서 2개 스펙트럼의 1/3옥타브밴드값을 알 수 있다.

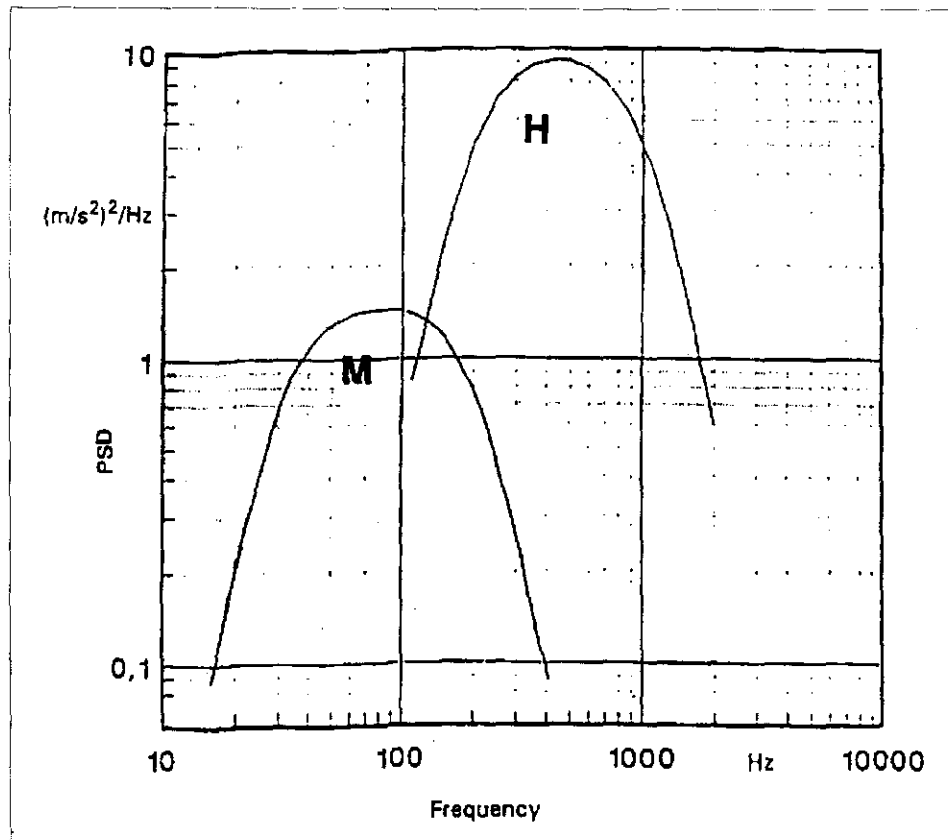


그림 21 핸들에서 측정된 두 개의 진동신호(M과H)의 스펙트럼

표1. 진동스펙트럼 M과 H의 가속도 값과 공차

스펙트럼 명칭	비가중가속도 (m/s^2)	가중가속도		주파수범위당 오차 (중심주파수)
		r. m. s. 값 (m/s^2)	오차	
M	16.7	3.4	$\pm 10\%$	$\pm 1\text{dB}$ (31.5Hz~200Hz) $\pm 2\text{dB}$ (16.2Hz~400Hz)
H	92.2	3.3	$\pm 10\%$	$\pm 1\text{dB}$ (200Hz~1000Hz) $\pm 2\text{dB}$ (100Hz~1500Hz)

6.3 순서

6.3.1 준비

측정을 수행하기 전에 다음 단계가 수행되어야 한다.

- 교정 (ENV 28041을 보라)
- 장갑의 조건
- 실험대상에 대한 설명 및 이송력과 악력의 제어를 하는 법
- 주파수 분석 확인과 진동신호의 조절

6.3.2 장갑없는 손의 측정

각 실험대상에 대해 먼저 장갑없는 손의 측정을 수행한다. 핸들(a_{wsRb})과 손바닥(a_{wsPb})에서 가중 가속도를 얻기 위해 동시에 측정한다. 그리고 가중된 전달율을 산출한다.(7.1을 보라) 만약 스펙트럼 M과 H에 있어서 비가중 가속도 a_{sRb} 와 a_{sPb} 의 전달율이 0.95에서 1.05의 범위밖이라면 그 측정은 무효로 간주한다.

주: 전달함수의 위상이 또한 산출되어야 한다. 위상이 만약 스펙트럼 M과 H에서 정하는 주파수 범위에서 $\pm 5^\circ$ 를 넘는다면 그 측정은 무효로 간주된다.

6.3.3 장갑있는 손의 측정

6.3.2와 같은 어댑터를 사용하여 2가지의 측정을 각각의 실험대상들에 대해 수행한다. 핸들(a_{wsRg})과 손바닥(a_{wsPg})에서 얻어지는 가중가속도로 부터 가중된 전달율을 산출한다.(7.1을 보라)

주: 두 개의 비가중된 신호 a_{sRg} 와 a_{sPg} 전달함수의 코히런스가 또한 산출된다. 스펙트럼 M과 H에서 정하는 주파수 범위의 코히런스가 0.95보

다 낮거나 또는 전달함수가 비연속적일때는 그 측정의 유효성은 고려되어야 한다.

7. 결과 평가

7.1 전달율 산출

평균 수정 전달율의 산출을 위하여 다음 단계를 거친다.(그림22를 보라)

측정 (3인)	위치 변환기	평가	결과 각 스펙트럼
장갑없는 손 (한번)	핸들 a_{wsRb}	전달율 TR_{sb}	
	손 a_{wsPb}		6번 수정전달율
장갑있는 손 (두번)	핸들 a_{wsRg}	전달율 TR_{sb}	
	손 a_{wsPg}		평균 수정전달율

그림 22 평균 수정 전달율의 결정을 위한 기본원리

장갑없는 손에서 얻어진 결과로 부터 각 진동 스펙트럼에 관한 가중 전달율을 산출:

$$TR_{sb} = a_{wsPb} / a_{wsRb}$$

장갑있는 손에서 얻어진 결과로 부터 각 진동 스펙트럼에 관한 가중 전달율을 산출:

$$TR_{sg} = a_{wsPg} / a_{wsRg}$$

장갑의 수정전달율이 각 진동 스펙트럼에 관해 다음같이 산출된다.

$$TR_s = TR_{sg} / TR_{sb}$$

각 스펙트럼 M과 H에 관한 평균 수정 전달율 TR_s 6개 결과(각각의 대상에 대해 2번 측정)의 산술 평균값과 같다. 그외에 표준편차와 분산을 산출한다.

7.2 방진장갑의 요건

이 규격에 따라 방진장갑으로 간주되기 위해서는 다음 조건을 만족해야 한다.

주: 이러한 요건을 만족하는 장갑을 사용함으로써 진동폭로의 위험을 제거 한다는 것을 의미 하지는 않는다.

더욱이 장갑의 손가락 부분이 손바닥의 장갑재질과 같은 재질(재료와 두께)를 갖는 다면 이 규격에 따라 방진장갑으로 간주된다.

주: 그러나 그러한 장갑들이 진동전달율에 관한 요구사항을 만족한다면, 손가락과 진동표면사이에 접촉이 안되는 상황에서 사용된다면 효과적일 수도 있다.

7.3 주파수 함수로서의 전달율

7.3.1 일반사항

주파수함수로서 전달율을 결정하는 것이 권고되는 데 이것은 진동스펙트럼을 알고 있다면 주파수 가중 진동에 대한 장갑의 영향을 산출할 수 있을 것이다. 산출원리는 가중전달율에 관해 7.1에 있는 것과 동일하다.

7.3.2 1/3옥타브 밴드에서의 전달율

주파수 함수로서의 전달율이 1/3옥타브 밴드로 기록된다면, 결과는 중심 주파수를 가진 1/3옥타브 밴드로 나타날 것이다.

31.5Hz ~ 200Hz : 진동 스펙트럼 M에서 얻어진 결과에 기초

200Hz ~ 1250Hz : 진동 스펙트럼 H에서 얻어진 결과에 기초

8. 실험 보고서

실험보고서에는 다음 사항이 포함되어야 한다.

- a) 장갑 제조자의 이름과 주소
- b) 장갑 상태 (새 것 또는 중고) 의 모델/타입
- c) 실험 샘플의 제원 (크기, 무게, 왼쪽/오른쪽, 색)
- d) 실험일자
- e) 실험장치의 제원
- f) 측정조건

g) 진동 감쇠 결과:

평균 수정 전달율, 진동 스펙트럼 M과 H에 관한 표준편차와 분산계수, 가능하다면 주파수 함수로서의 전달율(7.3을 보라)

h) 실험수행기관(연구소, 실험실)

참 고 문 헌

- [1] GRIFFIN, M.J. : Handbook of Human Vibration, Academic Press, 1994
- [2] GRIFFIN, M.J. : The Transmission of Vibration to the Hand and the Influence of Gloves, 1994
- [3] GRIFFIN, M.J. : Evidence of Impaired Learning during Whole-Body Vibration, Journal of sound and vibration, 1992
- [4] BARBER, A. : Handbook of Noise and Vibration Control, Oxford Press, 1992
- [5] ISO/DIS 10819 : Mechanical Vibration and Shock -- Hand-Arm Vibration -- Method for the Measurement and Evaluation of the Vibration Transmissibility of Gloves at the Palm of the Hand, 1995
- [6] ISO 2631 : Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration
- [7] ISO 5982 : Vibration and Shock -- Mechanical Driving Point Impedance of the Human Body, 1981
- [8] Bruel & Kjaer : Human Vibration Booklet, 1989
- [9] ISO 2631 : Evaluation of Human Exposure to Whole Body Vibration--Part 3: Evaluation of exposure to whole-body z-axis vertical vibration in the frequency range 0.1 to 0.63 Hz
- [10] ISO 5349 : Guidelines for the Measurement and Assessment of Human Exposure to Hand Transmitted Vibration

직업병예방을 위한 작업자진동의 측정 및
평가방법(기전연96-6-6)

발 행 일 : 1996. 12. 31.

발 행 인 : 원 장 이 한훈

연구책임자 : 선임연구원 방 태규

발 행 처 : 한국산업안전공단

산업안전연구원

기전안전연구실

주 소 : 인천직할시 부평구 구산동 34-4

TEL : (032)5100-839

FAX : (032)518-6483

<비매품>