

수전달 진동 피폭 저감을 위한 방진 장갑의 성능 평가

최석현^{1*} · 홍석인² · 장한기³

¹고등기술연구원 제품기술연구센터 · ²삼성전자 생활가전사업부 · ³두산인프라코어 기술원

Assessment of Anti-vibration Gloves for Reduction of Hand-transmitted Vibration Exposure

Seok Hyun Choi^{1*} · Seok In Hong² · Han Kee Jang³

¹Center for Product Design Technology, Institute for Advanced Engineering

²Digital Appliance Division, Samsung Electronics

³Institute for Technology, Doosan Infracore

In order to evaluate performance of anti-vibration gloves, it is necessary to measure the transmitted vibration to the hand and the applied forces at the same time while gripping the vibrating handle. In the study a system was developed to measure both the vibration and the forces. The system consists of a measurement handle with eight strain gauges and two accelerometers and a PC-based system with a software for signal processing, evaluation of the hand-transmitted vibration and for control of applied forces in the pre-determined range. The handle was installed on the vibration shaker which is strong enough so as not to be affected by dynamic coupling with the hand-arm. Whole procedure of ISO 10819:1996 to determine the vibration transmissibility of anti-vibration gloves was programmed into the system.

As an example of the application, three subjects joined the test to get vibration transmissibilities of 9 anti-vibration gloves where each glove was tested twice a subject. Average and standard deviation of the corrected vibration transmissibility were also calculated. All tested gloves fulfilled criterion for M-spectrum($\overline{TR}_M < 1.0$), but one glove fulfilled criterion for H-spectrum($\overline{TR}_H < 6.0$),

Key Words : Anti-vibration gloves, Hand-transmitted vibration, Vibration transmissibility, M-Spectrum, H-Spectrum

I. 서론

동력이 공급되어 작업자의 손으로 진동을 전달하는 공구들은 여러 산업 활동에서 광범위하게 사용된다. 동력공구에서 발생하여 작업자의 손과 팔을 통해 신체 전달되는 수전달

진동에 대한 직업상의 피폭은 생산 공장과 채석업, 광업과 건설업, 임업, 농업, 공익시설사업과 기타 작업 활동에서 사용되는 회전력 또는 충격력이 발생하는 착암식 동력공구들에서 발생한다.

접수일 : 2007년 3월 12일, 채택일 : 2008년 1월 16일

* 교신저자 : 최석현 (경기도 용인시 처인구 백암면 고안리 633-2번지,
Tel: 031-330-7411, Fax: 031-330-7116, E-mail: oaat8@iae.re.kr)

과도한 수전달 진동에 대한 피폭은 손가락 혈류 장애와, 신경학상과 손과 팔을 움직이는 기능상 장애를 유발할 수 있다(Pelmeur, P. L., 1998). 수전달 진동에 대한 피폭과 관련한 말초 혈관의, 신경학상의 그리고 근골격계의 장애를 복합적으로 언급할 때 "수지진동증후군(Hand-arm vibration syndrome, HAVS)" 을 일반적으로 사용한다. 수전달 진동에 피폭된 작업자에게 신경학상의 또는 혈관계의 장애는 개별적으로 또는 동시에 영향을 미칠 수 있다. 수전달 진동에 기인한 혈관계의 장애들과 골격 그리고 관절 이상증상들은 여러 나라에서 직업상의 질병으로 취급되어 직업병 목록에 포함되고, 발병시 보상되어지고 있다. 미국산업위생전문가협회(American Conference of Governmental Industrial Hygienists, ACGIH)에서는 물리적 인자에 대한 허용치(Threshold Limit Values, TLV)를 제시하고 있으며, 유럽연합의 Directive 2002/44/EC에서는 공구의 진동 수준에 따라 작업 시간을 제한하는 규제를 사용하고 있다. 유럽연합에 속한 영국의 산업안전 기준(Health and safety executive, HSE)의 규제에 따르면 평가량으로 사용되는 일간 진동 피폭량(Daily vibration exposure value)이 2.5 m/s^2 일 경우 1일 8시간 작업이 허용되지만, 3.0 m/s^2 일 경우 허용작업시간은 5.6 시간으로 줄어들게 된다. 즉, 20%만 평가량이 증가하게 되어도 산업현장에 미치는 과급효과가 크다고 할 수 있다. 이에 반해, 국내에서는 2005년에 ISO 5349를 수정 없이 번역하여 수전달 진동에 대한 측정 및 평가 기준으로 사용하고 있으나, 진동 수준을 제한하는 어떠한 규제도 제시하지 못하고 있는 것이 현실이다.

수전달 진동 피폭량을 감소시키기 위해서 공구의 진동 수준을 저감하는 것은 일반적으로 공구의 작업 효율을 감소시키는 경제적 손실을 수반하기 때문에 일반적으로 수지진동증후군으로부터 작업자를 보호하기 위한 1차적인 수단으로서 방진 장갑을 사용한다. 방진 장갑은 작업자에게 전달되는 진동을 절연하여 진동 피폭량을 줄일 수 있고, 허용작업시간을 연장할 수 있기 때문에 작업자의 보건과 경제적 측면을 모두 만족시킬 수 있다. 그러나, 방진 장갑의 절연 성능은 일부 고가의 수입 제품을 제외하고는 제조업자에 의해 주어지지 않는 경우가 대부분이기 때문에 부적합한 방진 장갑을 사용할 경우, 작업자에게 더 큰 피해를 줄 수도 있다.

본 연구의 목적은 국제적으로 통용되고 있는 장갑의 진동 전달률의 측정 및 평가 방법을 규정한 ISO 10819:1996에 의거해서 시스템을 구축하고, 이 시스템을 통해 시중에 판매되고 있는 장갑의 방진 효과를 평가하는 것이다. 또한 산업현장에서 수완계 진동 피폭량을 저감하기 위해 사용하는 방진 장갑 선정의 중요성을 확인하고, 방진 장갑 선정에 있어서의 기초자료를 제공하는데 있다.

II. 시험 장치

1. 측정 장치의 구성

본 연구에서 구축한 시험 장치는 ISO 10819의 지침을 기본으로 하고 있다. Fig. 1과 2는 방진 장갑의 성능 평가 시스템의 구성도와 연구에서 구축한 시스템을 나타낸다. 구축한 시스템은 횡방향으로 가진될 수 있도록 가진기(IMV VS-120-06)를 지지대 위에 설치하였고, 악력과 이송력을 동시에 측정할 수 있도록 고안된 핸들을 가진부에 설치하여 피시험자가 핸들을 과지 할 수 있도록 하였다.

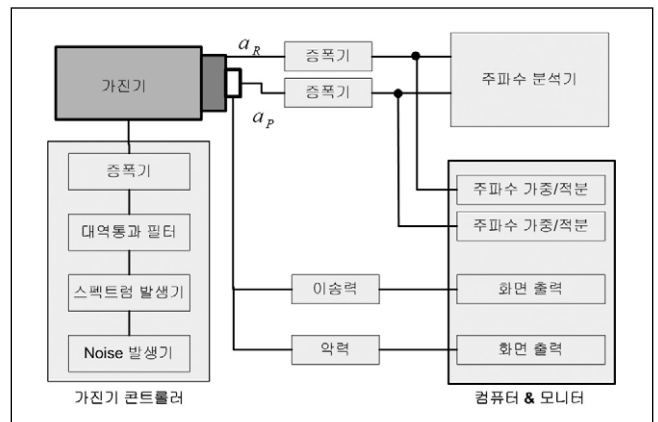


Fig. 1 Schematic diagram for measurement of vibration transmissibility



Fig. 2 System for evaluating anti-vibration gloves' performance

가진 주파수 범위와 주파수 대역별 가진력의 크기는 Fig. 3와 같이 M-과 H-스펙트럼으로 규정되어 있는 신호에 대한 정보를 가진기 컨트롤러에 입력하여 각각의 스펙트럼에 해당하는 가진 신호를 발생할 수 있도록 하였다. 손바닥과 장갑사이에서 초소형 가속도계(ENDEVCO 23A)를 위치시킬 때 일정한 위치를 확보하고 피시험자의 손과 밀착될 수 있도록 하기 위해 Fig. 4와 같은 유연한 재질의 어댑터를 제작하였고, 그 속에 가속도계를 삽입하였다. 어댑터는 관심 주파수 대역에서 진동하는 표면과 동일한 거동을 해야 하므로 어댑터 자체의 동특성이 발생하지 않도록 최대한 얇게 제작해야 한다(Song 등, 2004).

가속도 신호는 앰프(B&K Charge Amplifier Type 2635)를 거쳐 FFT 분석기(B&K 3560 Pulse)로 입력된다. 핸들의 안쪽에도 가속도계를 부착하여 정확하게 핸들이 가진되는지 확인하였다.

작용력 측정용 핸들에서 힘을 측정하기 위해 스트레인게이지(Kyowa, KFG-5-120 -C1- 23LIM2R)를 센서로 사용하였다. 피시험자가 힘을 가하면 스트레인게이지와 휘스톤브리지 회로를 통해 변형률 신호가 발생하고, 스트레인 앰프(Kyowa DPM712B)를 거쳐 DAQ 보드(National Instruments, PCMCIA-6062E)를 내장한 노트북으로 전압 신호가 입력된다. LabVIEW를 이용하여 작성된 신호처리 프로그램이 구동되는 노트북에서는 악력과 이송력을 0.25초마다 연속적으로 평균값을 계산하여 Fig. 2의 모니터 화면에 표시함으로써 피시험자가 시험 중에 자신의 작용력을 모니터링하여 정해진 범위로 유지할 수 있도록 하였다.

2. 작용력 측정용 핸들

작용력 측정용 핸들의 공진 주파수가 진동 전달률을 측정하는 관심 주파수 범위(31.5~1250 Hz)내에 존재하게 되면 작용력뿐만 아니라 측정되는 가속도의 심각한 왜곡을 유발한다. 측정용 핸들의 1차 공진주파수가 관심 주파수 영역에 존재하지 않도록 Fig. 5와 같은 형상으로 하중에 비해 강성이 큰 알루미늄 합금을 사용하여 핸들을 제작하였다.

본 연구에서 고안하여 제작한 측정용 핸들의 1차 공진 주파수는 1577 Hz 인데, 이 주파수에서 증폭되는 가속도 신호는 관심 주파수범위 이상으로서 ISO 5349-1의 주파수 가중을 거치면 진동 전달률에 미치는 영향이 제거된다. 스트레인게이지를 Fig. 5에 표시한 지점에 부착하여 힘에 의한 변형률을 측정할 수 있도록 하였다. 핸들에 가해지는 작용력은 핸들의 변형을 유발하고, 이 양이 스트레인게이지에서 측정되어 스트레인 앰프를 통해 전압값으로 출력된다. 본 시험 장치에서는 앰프의 변환값(교정값)이 변형률 1000에 대해 2 volts 로 출력되도록 설정하였다.

ISO 10819에서는 악력은 핸들에서, 이송력은 바닥판에서 측정하는 방법을 제시하며, 악력 측정용 핸들의 도면을 참고 자료로 제시하고 있으나 본 연구에서는 핸들에서 악력과 이송력을 모두 측정하기 위해서 Fig. 5의 우측 하단과 같이 핸들의 파지부와 지지부에 슬롯을 만들어서 손으로 쥐거나 밀 때 상하에 부착된 스트레인게이지가 변형되도록 하였다. 스트레인게이지를 핸들 지지부 좌우에 부착한 이유는 핸들을 쥐는 위치가 정확하게 중앙에 오지 않기 때문에 좌우에서 측정

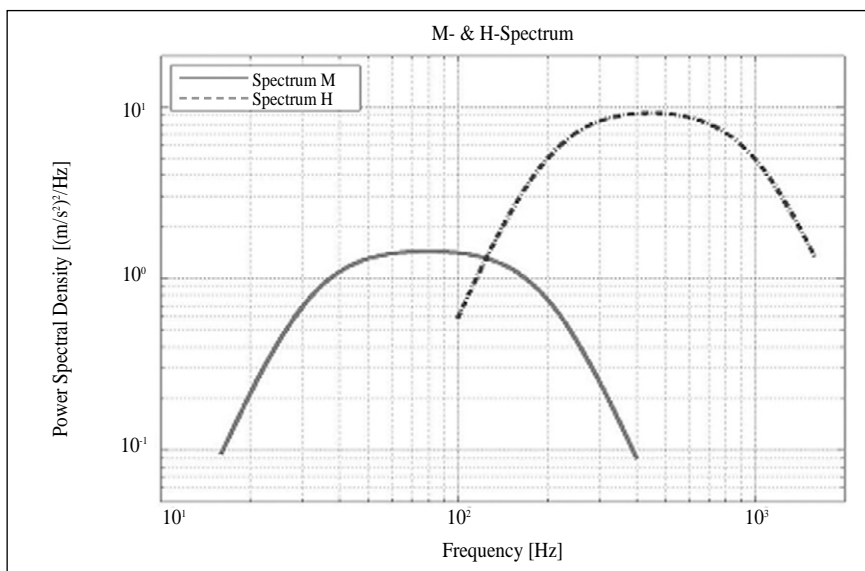


Fig. 3 M- & H- spectrum

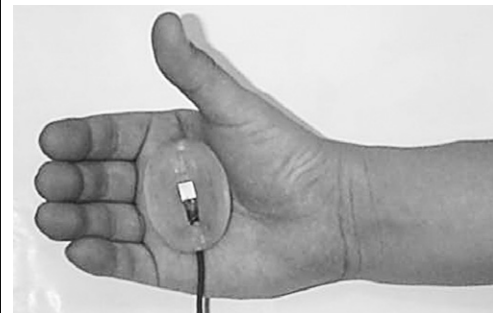


Fig. 4 Adaptor with an accelerometer

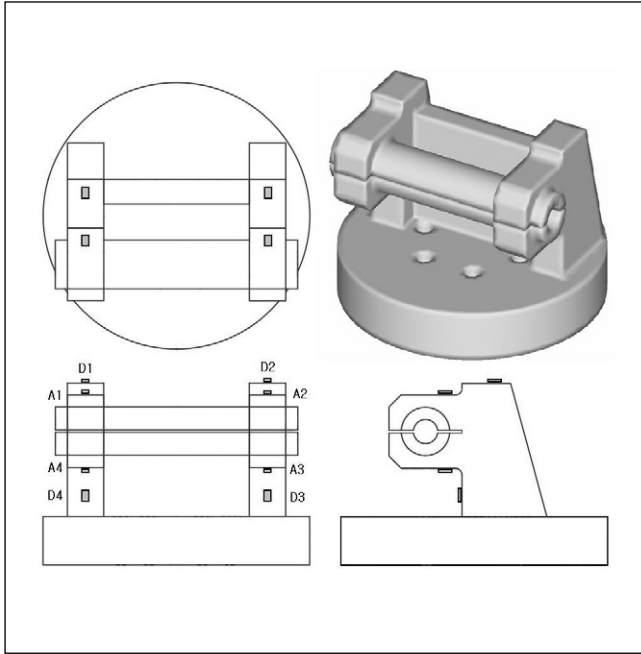


Fig. 5 Handle for measuring applied forces and the attachment points of the strain gages

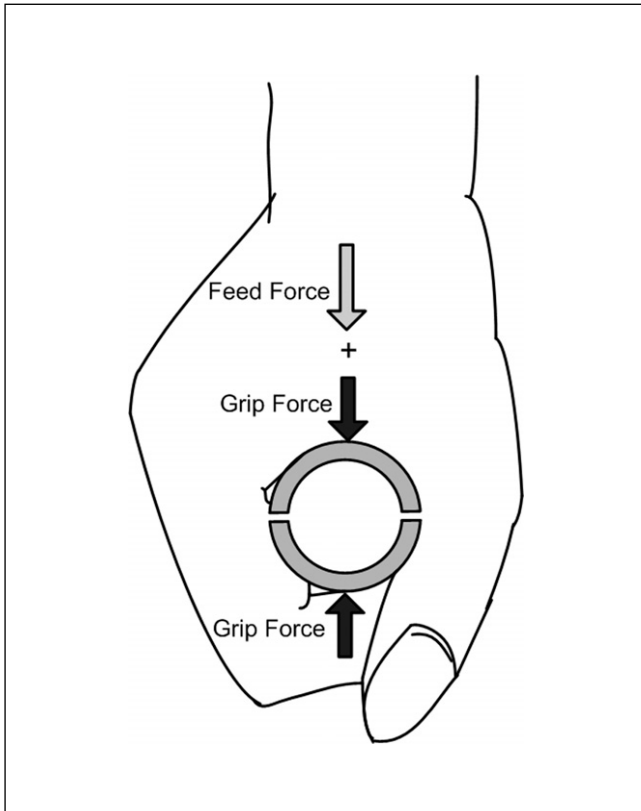


Fig. 6 Grip force and feed force at the handle

된 신호를 평균하여 처리하기 위함이다.

핸들에 악력과 이송력을 동시에 가하는 경우, 즉 핸들을 쥐고 아래로 미는 경우라면 Fig. 6과 같은 개념도로 표현할 수 있다. 작용방향 이외의 힘이 존재할 수 있으나 ISO 10819에서는 쥐는 힘인 악력과 가진 방향에 대한 이송력만 정의하고 있으므로 본 연구에서도 해당 방향의 힘만을 고려하였다.

Fig. 6의 경우 핸들의 아래 부분에 부착된 스트레인게이지에서는 악력과 관련된 성분만 측정되고 핸들의 윗부분에 부착된 스트레인게이지에서는 미는 힘과 쥐는 힘이 더해진 힘이 측정된다. 따라서 핸들 지지부의 상하의 지지부 2군데에 각각 부착된 4개의 스트레인게이지로부터 측정된 변형률에 해당하는 힘(F_1, F_2, F_3, F_4)을 구하면 식 (1),(2)를 통해서 악력(F_g)과 이송력(F_f)을 동시에 측정할 수 있게 된다.

$$F_g = \frac{F_3 + F_4}{2} \quad (1)$$

$$F_f = \frac{F_1 + F_2}{2} - \frac{F_3 + F_4}{2} \quad (2)$$

본 측정용 핸들을 이용하여 힘을 측정하기 위해서는 힘과 스트레인게이지 사이의 민감도를 구하기 위한 시험을 수행하였다. 시험 방법은 알고 있는 다양한 크기의 하중에 대한 스트레인 앰프의 출력 전압들을 측정하여 ‘하중-출력 전압’의 관계식을 구하였다. 이 관계식을 이용하여 피시험자가 힘을 가할 때 스트레인 앰프의 출력 전압을 측정하면 힘으로 환산할 수 있다.

$$F_1[N] = 0.502 \times \varepsilon_1[mV] \quad (3)$$

$$F_2[N] = 0.403 \times \varepsilon_2[mV] \quad (4)$$

$$F_3[N] = 0.428 \times \varepsilon_3[mV] \quad (5)$$

$$F_4[N] = 0.429 \times \varepsilon_4[mV] \quad (6)$$

III. 방진 장갑의 진동 전달률 측정 시험

1. 측정조건

방진 장갑은 피시험자가 착용한 상태에서 시험할 때 피시험자간의 수완계(Hand-arm system) 동특성 차이가 시험 결과에 영향을 미칠 가능성이 크기 때문에 3인의 피시험자를 대상으로 각 피시험자가 손 크기에 맞는 장갑을 착용한 상태에서 M-스펙트럼과 H-스펙트럼 각각에 대해 2회씩 반복 시험

하였다. 이와 같은 과정을 통해 하나의 방진 장갑에 대해 스펙트럼별로 6개의 시험 결과가 얻어지게 되는데(3인×2회), 이 값들의 산술평균이 대표값이 된다.

피시험자를 선정은 신경계, 혈액순환계, 근골격계 관련 질환이 없고, BS EN 420에서 제시하고 있는 손 크기를 기준으로 7, 8, 9에 해당하는 작업자를 대상으로 하였다. Table 1은 EN 420에서 제시하는 손 크기를 나타낸다.

Table 1 Hand size according to BS EN 420(1994)

Hand size	Hand circumference (mm)	Length (mm)
7	178	171
8	203	182
9	229	192

시험에 사용되는 방진 장갑은 피시험자의 손 크기에 적합한 장갑이어야 하며 온도 $20\pm5^{\circ}\text{C}$, 상대습도 70% 미만인 환경에서 30분 이상 보관한 후에 시험에 사용하였다. 피시험자는 Fig. 7의 자세로 진동하는 핸들을 쥔 상태에서 팔꿈치의 각도를 $90\pm10^{\circ}$ 로 유지하고, 손목의 각도(팔의 중심선과 손등 뼈의 중심선 사이의 각)는 0° 에서 40° 사이에서 자세를 취하여 유지하도록 한다.

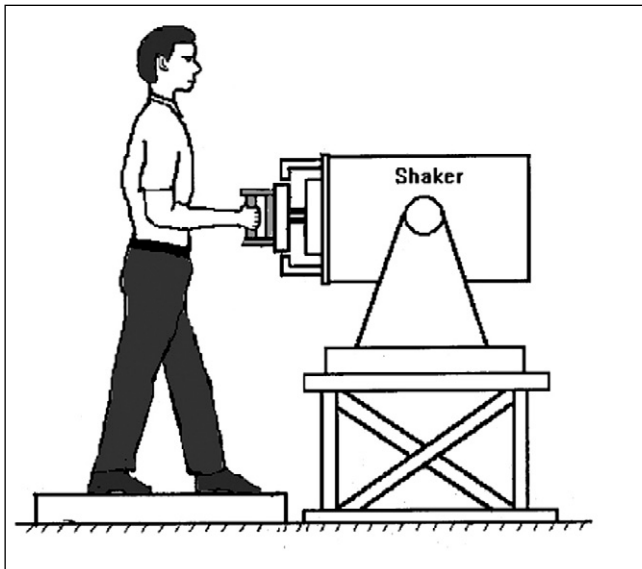


Fig. 7 Posture of the operator

장갑과 손바닥 표면 사이의 진동 측정값은 악력과 이송력에 의해 영향을 받기 때문에 ISO 10819의 규정에 따라 시험 중에 악력은 $30\pm5\text{ N}$, 이송력은 $50\pm8\text{ N}$ 범위내로 피시험자의 힘을 유지하도록 한다. 본 연구에서 제작한 작용력 측정용 핸들과 모니터링 시스템은 피시험자가 자신의 힘을 주어진 범위로 유지할 수 있도록 하기 위해 고안된 것이다.

2. 시험 순서

방진 장갑의 성능을 평가하기 위한 시험 순서는 다음과 같이 요약해서 정리할 수 있다.

- ① 피시험자의 손 크기를 측정하고 손 크기에 맞는 방진 장갑을 준비한다.
- ② 피시험자가 장갑을 착용하지 않은 상태에서 정해진 자세와 작용력으로 핸들을 파지하도록 한다.
- ③ 각각 M-과 H-스펙트럼으로 핸들을 가진하는 상태에서 가속도를 측정한 후, 주파수 분석의 결과를 저장한다.
- ④ 피시험자가 방진 장갑을 착용하고 3분 이상 유지하도록 한다.
- ⑤ 피시험자가 방진 장갑을 착용한 상태에서 정해진 자세와 작용력으로 핸들을 잡도록 한다.
- ⑥ M-과 H-스펙트럼으로 각각 핸들을 가진시키면서 가속도를 측정한 후, 주파수 분석의 결과를 저장한다.
- ⑦ ⑥의 과정을 1회 반복 실시한다.
- ⑧ 3명의 피시험자에게 ①~⑦의 과정을 반복한다.

3. 진동 전달률 계산

방진 장갑의 진동 절연 성능을 나타내는 보정된 진동 전달률(Corrected vibration transmissibility)은 Eq. (7)과 같이 장갑을 착용했을 때 측정된 가속도의 전달률(TR_{vg})과 장갑을 착용하지 않았을 때 측정된 가속도의 전달률(TR_{vb})의 비로 구한다.

$$TR_v = \frac{TR_{vg}}{TR_{vb}} = \frac{a_{wsPg} / a_{wsRg}}{a_{wsPb} / a_{wsRb}} \quad (7)$$

여기서 사용된 기호를 정리하면 다음과 같다.

a_{ws} : 진동 스펙트럼이 s인 경우 주파수 가중된 가속도의 실효치($s=M$ 또는 H)

R: 핸들에서 측정하였음을 나타내는 하첨자

P: 손바닥에서 측정하였음을 나타내는 하첨자

b: 장갑을 착용하지 않은 상태에서 측정하였음을 나타내는 하첨자

g: 장갑을 착용한 상태에서 측정하였음을 나타내는 하첨자

주파수 가중된 가속도의 실효치(a_{ws})는 손과 핸들에서 측정한 가속도 신호를 ISO 5349:2001에서 제시하는 수완계의 주파수 가중(Frequency weighting)을 적용하여 실효치(r.m.s)로 나타낸 것이다. 보정된 진동 전달률(TR_{vg})의 평균값은 6개의 보정된 진동 전달률(3명의 피시험자에 대해 1인당 2회씩 측정

한 결과)을 산술평균하여 구할 수 있다.

IV. 결과 및 고찰

본 연구에서는 시중에서 유통되고 있는 9종의 방진 장갑을 대상으로 M-, H-스펙트럼에 대해서 각각 장갑을 착용하지 않은 상태에서의 전달률(TR_{db})과 장갑을 착용한 상태에서의 전달률(TR_{sg})을 측정하여 식(10)의 방법으로 최종 결과인 보정된 진동 전달률(TR_M , TR_H)의 평균값과 표준편차를 구하여 Table 5로 정리하였다. 또한, 3명의 피시험자에 대상으로 시험하여 구한 장갑을 착용하지 않은 상태에서의 진동 전달률은 Table 2로 정리하였고, 장갑을 착용한 상태에서 3명의 피시험자에 대해서 진동 스펙트럼별로 2회씩 시험하여 구한 진동 전달률은 Table 3과 4로 정리하였다.

Table 2의 결과에서 장갑을 착용하지 않았을 때 핸들과 손

바닥에서 측정한 주파수 가중된 가속도의 실효치(a_{wsRb} , a_{wsPb})의 비인 진동 전달률(TR_{db})은 ISO 10819에서 규정한 범위($0.95 < TR_{db} < 1.05$)를 만족함을 알 수 있다. a_{wsRb} 과 a_{wsPb} 의 값이 다르게 차이가 나는 이유는 (i)손바닥에서 측정하는 가속도계가 고정되어 있는 어댑터의 회전에 의한 오차; (ii)피시험자가 가하는 이송력(미는 힘)에 의해서 가진기의 진동 방향이 가속도 측정 방향에서 벗어나기 때문에 발생하는 오차; (iii)핸들과 어댑터 구조물의 동특성에 의한 오차에 기인하는 것으로 알려져 있다(R.G. Dong, 2002).

ISO 10819에 의거하면, 보정된 진동 전달률의 크기가 M-스펙트럼에서는 1 미만일 때, H-스펙트럼에서 대해서는 0.6 미만일 때 방진 성능이 인정된다. 그러므로 Table 5의 결과에서 시험한 장갑들은 M-스펙트럼에 대해서만 방진 성능을 가지는 것을 알 수 있고, H-스펙트럼에 대해서는 장갑(I)만이 방진 성능이 있음을 확인 할 수 있다. 이와 같이 H-스펙트럼에 대해서는 방진 장갑의 성능이 만족되지 못하는 경향은 Gurmail(2002)의 연구에서도 동일한 경향을 보였다. 장갑(D)

Table 2 Results of measurement with bared hand

Spectrum		Subject 1		Subject 2		Subject 3	
		M	H	M	H	M	H
a_{wsRb} (m/s ²)	Mean	3.240	3.252	3.212	3.272	3.286	3.229
	Std.	0.209	0.460	0.202	0.449	0.199	0.442
a_{wsPb} (m/s ²)	Mean	3.123	3.356	3.199	3.374	3.201	3.290
	Std.	0.106	0.495	0.103	0.430	0.100	0.486
TR _{db} (s = M or H)		0.964	1.032	0.996	1.031	0.974	1.019

Table 3 Results of measurement with gloved hand for vibration spectrum M

M Spectrum	Subject 1						Subject 2						Subject 3					
	1st test			2nd test			1st test			2nd test			1st test			2nd test		
Gloves	a_{wMRg} (m/s ²)	a_{wMPg} (m/s ²)	TR _{Mg}	a_{wMRg} (m/s ²)	a_{wMPg} (m/s ²)	TR _{Mg}	a_{wMRg} (m/s ²)	a_{wMPg} (m/s ²)	TR _{Mg}	a_{wMRg} (m/s ²)	a_{wMPg} (m/s ²)	TR _{Mg}	a_{wMRg} (m/s ²)	a_{wMPg} (m/s ²)	TR _{Mg}	a_{wMRg} (m/s ²)	a_{wMPg} (m/s ²)	TR _{Mg}
A	3.169	2.196	0.693	2.753	2.212	0.804	3.122	2.799	0.897	3.028	2.705	0.893	3.165	2.796	0.883	2.946	2.760	0.937
B	2.961	3.416	0.816	3.075	2.533	0.824	3.148	2.057	0.654	2.946	2.344	0.796	3.195	2.763	0.865	2.963	2.273	0.767
C	3.094	3.091	0.676	3.105	2.309	0.743	3.142	2.471	0.787	2.888	2.205	0.763	3.376	2.526	0.748	3.086	2.568	0.832
D	3.128	3.368	0.757	3.115	2.487	0.798	3.111	2.158	0.694	2.899	2.150	0.742	3.217	2.467	0.767	2.989	2.316	0.775
E	2.932	2.518	0.859	3.095	2.715	0.877	3.057	2.735	0.895	3.097	2.760	0.8910	3.141	2.657	0.846	2.956	2.498	0.845
F	3.114	2.637	0.839	3.002	2.510	0.836	3.096	2.513	0.811	3.043	2.360	0.776	3.217	2.580	0.802	3.200	2.651	0.828
G	3.055	2.671	0.874	2.840	2.577	0.908	3.097	2.621	0.846	3.106	2.499	0.804	3.022	2.890	0.956	3.008	2.902	0.964
H	3.148	2.642	0.839	2.988	2.511	0.840	3.162	2.464	0.779	2.989	2.285	0.764	3.127	2.792	0.893	3.103	2.604	0.839
I	3.134	2.330	0.743	2.993	2.121	0.709	3.204	2.248	0.702	2.980	2.332	0.782	3.173	2.460	0.775	3.007	2.396	0.797

는 방진 H-스펙트럼에 대해서 방진 성능을 만족하진 못하였지만, 다른 장갑에 비해서 방진 성능이 우수한 경우인데, 방진 장갑(I)와 동일한 Gelform을 재료를 사용하기 때문에 판단된다. Air Bladed를 소재로 사용한 장갑(B)와 장갑(H)는 H-스펙트럼에서의 진동 전달률에서 큰 차이를 보이고 있는데, 장갑(B)는 손바닥과 손가락 부분까지 공기를 주입할 수 있도록 제작된 것이고, 장갑(H)는 손바닥 부분에만 공기를 주입할 수 있는 차이점 때문에 장갑(B)의 성능이 더 우수하게 나타난 것으로 판단된다. 3종의 장갑(E),(G),(H)는 오히려 진동을 증폭시키기도 하였는데, 장갑(E)는 손가락 부분에 방진 재질이 존재하지 않고 인조가죽으로만 덮혀있는 제품이고, 장갑(G)와 (H)는 손가락을 덮는 부분이 존재하지 않는 장갑이었다. 이와 같은 결과로부터 장갑의 방진 성능을 향상시키

기 위해서는 핸들과 파지되는 손바닥과 손가락 부분을 모두 방진 재질로 만들어야 함을 알 수 있다.

주파수 대역별로 방진 특성을 분석하기 위해서 1/3 옥타브 밴드별 진동 전달률(TR_M , TR_H)의 결과를 Fig. 8로 나타내었다. 100~400 Hz는 M-스펙트럼과 H-스펙트럼에서 모두 가진 되는 진동 주파수 범위로서 가진 스펙트럼별로 이 주파수 영역에서의 진동 전달률에 차이가 존재하는데, 이것은 수완계의 동적 응답특성이 비선형이고, 각 스펙트럼별로 가진력의 크기가 다르기 때문으로 판단된다.

Fig. 8(a)의 M-스펙트럼에 대한 진동 전달률은 200 Hz 이상의 주파수 범위에서 장갑별로 큰 차이가 나는 것을 알 수 있고, Fig. 8(b)의 H-스펙트럼에 대한 전달률 역시 높은 주파수 성분에서의 진동 전달률이 장갑별로 큰 차이가 나는 것을 알

Table 4 Results of measurement with gloved hand for vibration spectrum H

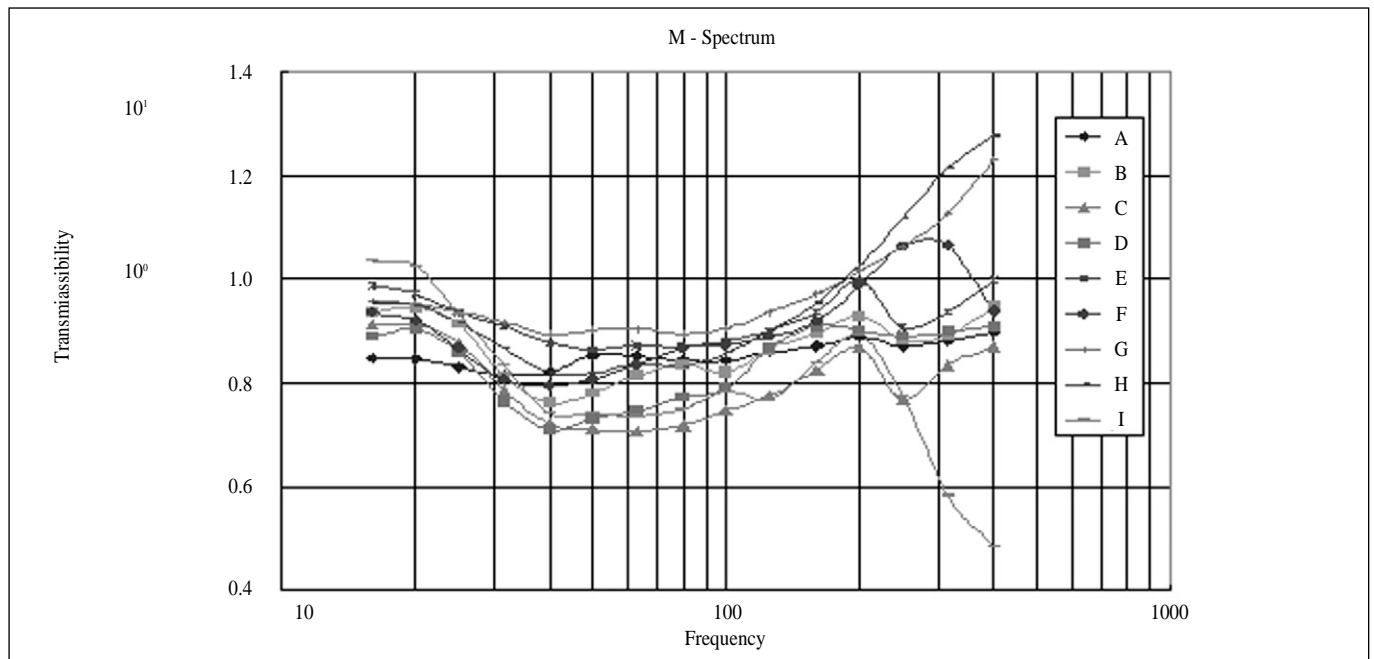
M Spectrum	Subject 1						Subject 2						Subject 3					
	1st test			2nd test			1st test			2nd test			1st test			2nd test		
Gloves	\bar{a}_{wHRg} (m/s ²)	\bar{a}_{wMPg} (m/s ²)	TR_{Hg}	\bar{a}_{wHRg} (m/s ²)	\bar{a}_{wMPg} (m/s ²)	TR_{Hg}	\bar{a}_{wHRg} (m/s ²)	\bar{a}_{wMPg} (m/s ²)	TR_{Hg}	\bar{a}_{wHRg} (m/s ²)	\bar{a}_{wMPg} (m/s ²)	TR_{Hg}	\bar{a}_{wHRg} (m/s ²)	\bar{a}_{wMPg} (m/s ²)	TR_{Hg}	\bar{a}_{wHRg} (m/s ²)	\bar{a}_{wMPg} (m/s ²)	TR_{Hg}
A	3.286	3.209	0.976	3.331	3.345	1.004	3.243	3.267	1.007	3.229	3.202	0.992	3.297	3.309	1.004	3.183	3.184	1.000
B	3.154	2.852	0.904	3.214	3.058	0.952	3.199	2.465	0.771	3.157	2.693	0.853	3.322	2.076	0.625	3.181	2.167	0.681
C	3.205	2.428	0.758	3.182	2.563	0.805	3.225	2.573	0.798	3.144	2.295	0.730	3.095	2.694	0.871	3.256	2.616	0.803
D	3.216	3.320	0.721	3.169	2.356	0.743	3.253	2.318	0.712	3.224	2.227	0.691	3.286	2.716	0.827	3.205	2.629	0.820
E	3.248	3.490	1.075	3.104	3.445	1.110	3.193	3.482	1.090	3.281	3.369	1.027	3.286	2.962	0.902	3.131	3.256	1.050
F	3.131	2.816	0.899	3.262	2.912	0.893	3.369	2.920	0.867	3.251	2.789	0.858	3.261	3.018	0.925	3.167	2.916	0.921
G	3.357	3.950	1.177	3.294	4.120	1.251	3.237	2.970	0.917	3.273	3.244	0.991	3.169	3.052	0.963	3.219	4.149	1.289
H	3.316	3.973	1.198	3.235	3.881	1.200	3.289	2.741	0.833	3.304	2.682	0.812	3.322	3.871	1.165	3.264	3.925	1.202
I	3.330	2.284	0.686	3.252	2.393	0.736	3.168	1.592	0.502	3.274	1.735	0.530	3.230	2.004	0.620	3.230	1.906	0.590

Table 5 Results of measurement for vibration transmissibility of 9 Anti-vibration Gloves

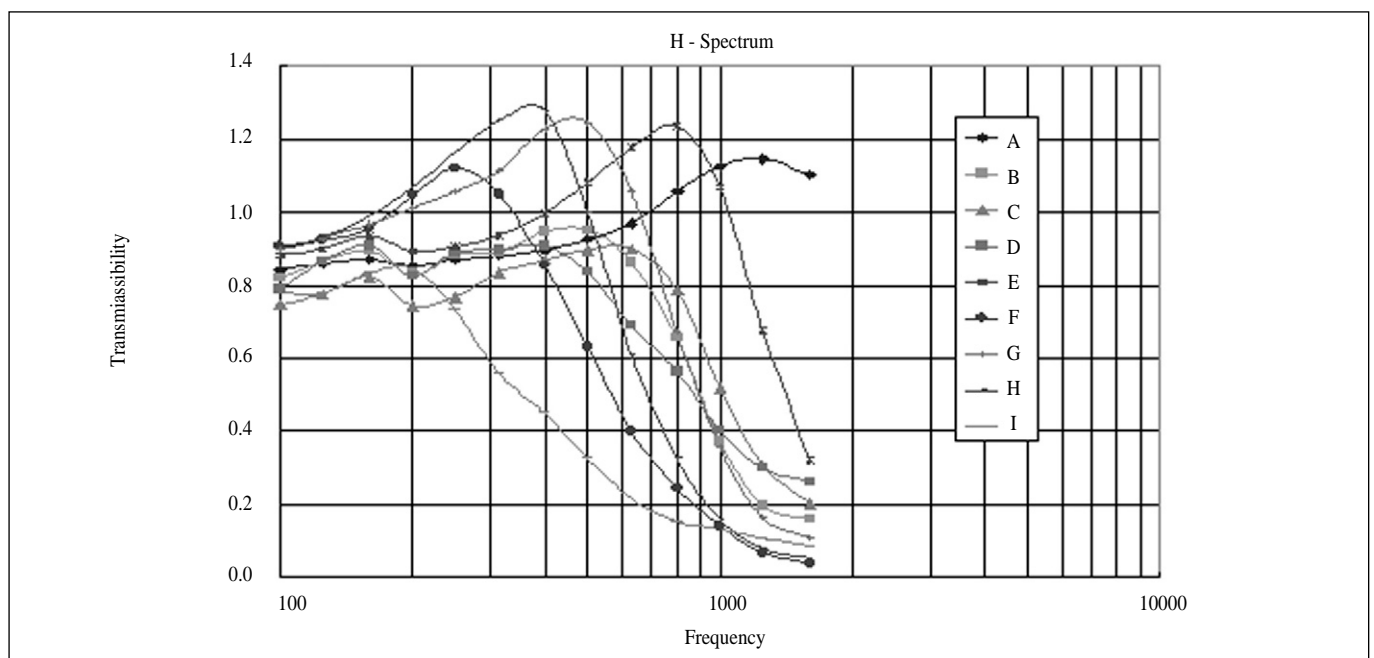
Gloves	TR_M		TR_H		Material(s)
	Mean	Std.	Mean	Std.	
A	0.870	0.084	0.971	0.014	Visco Elastic Polymer
B	0.805	0.082	0.776	0.121	Air Blade
C	0.775	0.049	0.773	0.050	Ni^2O_2 Polymer
D	0.773	0.046	0.733	0.061	Gelform
E	0.888	0.017	1.014	0.069	Visco-Elastic Polyuerthane
F	0.834	0.035	0.870	0.031	Urethane, Artificial leather
G	0.913	0.073	1.069	0.157	Urethane, Genuine leather
H	0.845	0.058	1.040	0.188	Air BladeI
I	0.768	0.042	0.594	0.087	Gelform

수 있다. 기존의 임상혁(2006) 등의 연구에서 조선업에서 주로 사용하는 그라인더(grinder)를 비롯한 진동 공구에서 현저한 가속도 수준을 나타내는 주파수 범위가 250~800 Hz로 보고되었는데, 이 주파수 범위가 포함되는 H-스펙트럼의 진동 전달률이 장갑별로 큰 차이가 나기 때문에 제품을 선정시 주

의가 필요하다. 부적합한 방진 장갑이나, 진동 절연 성능이 검증되지 않은 방진 장갑을 사용하는 것은 직업상의 이유로 장기간 진동 공구를 사용해야만 하는 공구작업자를 수지진동증후군의 위험에 그대로 노출시키는 결과를 초래할 것이다.



(a) M-Spectrum



(b) H-Spectrum

Fig. 8 Vibration transmissibility of 9 Anti-vibration Gloves (1/3 Octave Band)

국내외적으로 동력공구에서 발생하는 충격성 진동의 유해성에 대한 많은 연구결과가 보고되어왔으나, 국내에서는 동력공구의 유해성으로부터 작업자를 보호하는 1차적인 보호구인 방진 장갑의 성능평가 분야에 대해서는 연구가 전무한 실정이었다. 더욱이 동력 공구를 사용하는 대표적인 사업장인 조선업 및 비록한 자동차 조립라인 등의 산업 현장에서 방진 장갑의 수요가 많음에도 불구하고 국내에서는 방진 장갑의 성능에 따라 사용을 제한하는 규제가 존재하지 않고, 방진 장갑의 성능을 평가할 수 있는 시스템이 갖춰지지 않았다. 본 연구에서는 방진 장갑을 선정함에 있어서 올바른 선택을 할 수 있는 기초자료를 제공하는데 그 목적을 두고 수행되었다.

ISO 10819는 동력공구의 유해성으로부터 작업자를 보호하는 1차적인 보호구인 방진 장갑의 성능을 평가하기 위한 기준으로 사용되고 있다. 그러나, ISO 10819의 시험 방법의 한계는 3인의 피시험자를 대상으로 하기 때문에 피시험자간의 측정 결과의 랜덤 오차가 크다는 것인데, 피시험자의 수를 증가시키는 것이 방안이 될 수 있으나, 이러한 경우 시간과 비용이 증가하게 되는 문제를 수반하게 된다. Martin(2001)의 연구에서는 피시험자의 손과 팔의 부피 차이가 측정 결과에 미치는 영향을 평가하기도 하였다. 또 다른 문제점은 Fig. 7에서와 같이 수완계(Hand-arm system)의 Zh방향으로만 가진하여 방진성능을 평가한다는 것인데, 진동 공구별로 지배적인 진동 성분이 존재하는 방향이 다르기 때문에 ISO 10819의 방법으로 평가되어 방진 성능이 있는 것으로 인정된 장갑이라 할지라도 모든 공구에 적용하기에는 문제가 있다는 것이다. R. G. Dong 등(2002)은 가진기의 특성과 가진방향과 어댑터의 방향이 측정 중에 일직선상의 정렬선상에서 벗어나는 문제점을 해결하기 위해서 가진기 기준점과 손바닥에서 각각 3축으로 측정하여 벡터 합으로 진동 전달률을 측정하여 평가할 것을 제안하였으나, Zh방향으로만 가진하는 한계를 벗어나지는 못하였다.

본 연구의 후속 연구방향은 실험실에서 방진 장갑의 성능을 평가할 때, 3축으로 동시에 가진할 수 있는 가진기를 사용

하여 시스템을 구축하는 것은 현실적으로 무리가 있으므로, 그 대안으로 각 축에 대해서 개별적인 방진성능을 측정하는 것이다. Fig. 9와 같이 가진기의 방향을 회전시켜 설치하고, 각 축별로 적합한 핸들을 부착하면 가능할 것으로 판단된다. 가진 스펙트럼의 크기를 기존의 ISO 10819와 동일하게 유지할 것인지에 대해서는 향후에 논의되어야 할 부분이다. 본 연구는 방진 장갑 성능 평가에 있어서 불모지나 다름없던 국내에서 최초로 수행된 연구 성과이며, 향후 지속적인 연구를 위한 토대를 마련하였다는데 의의가 있다고 판단된다.

V. 결 론

본 연구에서는 조선업과 자동차 조립라인에서 많이 사용되는 동력수공구에서 발생하는 진동의 유해성으로부터 작업자를 보호하는 1차적인 보호구인 방진 장갑의 성능을 평가하고자 하였다. 이를 위해서 먼저, 악력과 이송력을 모두 측정할 수 있는 핸들을 고안하였고, LabVIEW를 이용한 PC 기반의 모니터링 프로그램을 포함하는 평가 시스템을 구축하였다. 9종의 장갑에 대해서 ISO 10819에서 제시한 방법과 절차에 따라 각각 3명의 피시험자를 대상으로 M-스펙트럼과 H-스펙트럼에 대해서 각각 피험자 1인당 2회씩, 총 6차례씩 시험을 수행하여, 방진 장갑의 성능을 평가할 수 있는 보정된 진동 전달률과 1/3 옥타브 밴드별 진동 전달률을 산출하였다. 시험 결과를 통해 다음과 같은 결론을 얻었다.

(1) 시험한 방진 장갑들은 M-스펙트럼의 주파수 영역에서는 방진성능을 만족하였으나, H-스펙트럼의 주파수 영역에서 방진 성능을 만족하는 것은 Gelform 방진 재질을 사용하는 장갑(I) 하나뿐이었다. (2) 손가락을 감싸는 부분에 방진 재질이 존재하지 않거나, 감싸는 부분조차 없는 3종의 장갑(E, G, H)은 오히려 H-스펙트럼으로 가진할 때 진동을 증폭시키기도 하였다. Air Blade를 방진재료로 사용하는 장갑들 사이에서도 손가락 부분까지 감싸는 장갑의 성능이 상대적으로 우수하였다.

(3) 1/3 옥타브밴드에서의 진동전달률 분석 결과 H-스펙트럼 영역에서 장갑별로 큰 차이가 발생하였고, 동력수공구의 진동이 우세하게 나타나는 주파수 범위가 H-스펙트럼의 주파수 영역에 속하기 때문에 의 크기가 장갑 선정시 중요한 판단 기준이 되어야 할 것으로 판단된다.

이상의 결과로부터 방진 장갑의 진동 절연 성능에 대한 정확한 정보가 동력공구 사용자 및 공구를 사용하는 작업장의 안전관리 책임자에게 제공되어야만 공구작업자를 수지진동 증후군으로부터 보호할 수 있을 것으로 판단된다.

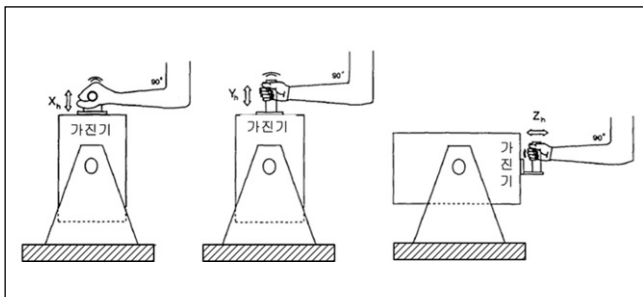


Fig. 9 Handle-hand orientation in three orthogonal direction of vibration

REFERENCES

- 산업안전보건연구원, 동력수공구의 소음진동 평가 및 관리 방안연구, 2004.
- 임상혁, 이윤근, 박희석. 선박건조업에서 사용되는 그라인더 진동평가와 수지진동증후군 예측 모델 개발. 한국산업 위생학회지 제 16권 제 4호, 2006.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH). Documentation of the threshold limit values for physical agents, Cincinnati Ohio, USA: ACGIH, 2001.
- BS EN 420, General Requirements for Gloves, British Standards Institution, U. K., 1994.
- Choi, S. H., Jang, H. K., Measurement of Grip and Feed Force in the Evaluation of Hand-arm Vibration, Proceedings of KSNVE Annual Autumn Conference, pp.1038-1042, 2003.
- Choi, S. H., Jang, H. K., Park, T. W., Simultaneous measurement of vibration and applied forces at a power tool handle for the reduction of random error when evaluating hand-transmitted vibration, Transactions of KSNVE, Vol. 15, No. 14, pp.404~411, 2005.
- Griffin, M. J., Handbook of Human Vibration, Academic Press, London, 1990.
- Gurmail, S. P., A possible incorrect use of a standard for testing of antivibration gloves. The 37th United Kingdom Group conference on Human Response to Vibration, 2002.
- Healty and Safety Executive(HSE), Control the risks from hand-arm vibration: Advice employers on the control of vibration at work regulations 2005, England, 2005.
- ISO 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, International Organization for Standardization, Geneva, 1996.
- ISO 5349-1, Mechanical vibration-Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration-Part 1: General requirements, International Organization for standardization, Geneva, 2001.
- KS B 0732, 손으로 전달된 진동 평가를 위한 공구 핸들에서의 진동과 작용력의 동시 측정. 2005.
- Martin, J. O., The effective of hand and arm volume on the vibration transmissibility of gloves according to current standard. The 36th United Kingdom Group conference on Human Response to Vibration, 2001.
- Official Journal of the European Communities, Directive 2002/44/EC of the European Parliament and of the Council of 25 June 2002 on the minimum health and safety requirements regarding the exposure of workers to the risks arising from physical agents (vibration) (sixteenth individual Directive within the meaning of Article 16(1) of Directive 89/391/EEC), 2002
- Pelmeur, P. L. and Wasserman, D. E., Hand-arm Vibration, 2nd ed., OEM Press, U. S. A., 1998.
- R.G. Dong, S. Rakheja, W.P. Smutz, A. Schopper, D. Welcome, J.Z. Wu. Effectiveness of a new method(TEAT) to access vibration transmissibility of gloves. International Journal of Industrial Ergonomics 30(2002) pp. 33~48.
- Song, C. M., Jang, H. K., Kim, S. H., Chai, J.B., Measurement of the hand-transmitted vibration using a miniature 3-axes accelerometer, Proceedings of KSNVE Annual Autumn Conference, pp. 1043-1047, 2003.