

방진 장갑 진동 전달률 측정 시스템 개발

Development of the System for Measurement of the Vibration Transmissibility of an Anti-vibration Glove

최 석 현† · 홍 석 인* · 장 한 기* · 박 태 원**

Seok-Hyun Choi, Seok-In Hong, Han-Kee Jang and Tae-Won Park

(2005년 12월 16일 접수 ; 2006년 5월 3일 심사완료)

Key Words : Vibration Transmissibility(진동 전달률), Anti-vibration Gloves(방진 장갑), Grip Force(악력), Feed Force(이송력)

ABSTRACT

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 and 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 system. Whole procedure of ISO 10819 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 anti-vibration gloves where each glove was tested twice a subject. Average and standard deviation of vibration transmissibility were also calculated.

기 호 설 명

- a_{us} : 진동스펙트럼 s 를 구하기 위해 주파수 가중치를 적용한 가속도의 실효치($s=M$ 또는 H)
- R : 핸들의 기준점에서 측정하였음을 나타내는 첨자
- P : 손바닥에서 측정하였음을 나타내는 첨자
- b : 장갑을 착용하지 않은 상태에서 측정하였음을 나타내는 첨자
- g : 장갑을 착용한 상태에서 장갑과 손바닥 사이

에서 측정하였음을 나타내는 첨자

- TR_{sb} : 장갑을 착용하지 않은 상태에서 진동 스펙트럼 s 의 전달률($s=M$ 또는 H)
- TR_{sg} : 장갑 착용 상태에서의 진동 스펙트럼 s 의 전달률
- TR_s : 진동 스펙트럼 s 에 대해 보정된 진동 전달률
- \overline{TR}_s : 진동 스펙트럼 s 에 대해 보정된 진동 전달률의 평균값
- M, H : 중주파수 및 고주파수 스펙트럼

† 책임저자; 정회원, 고등기술연구원

E-mail : oaat8@iae.re.kr

Tel : (031) 330-7411, Fax : (031) 330-7116

* 정회원, 고등기술연구원 제품기술연구센터

** 정회원, 이주대학교 기계공학부

1. 서 론

동력공구(power tool)로부터 발생하는 극심한 진동 및 충격은 공구 사용자의 손과 팔, 어깨 등으로

전달되어 공구 사용자에게 불편함을 주고 작업효율을 감소시킨다. 또한, 이 진동에 장시간 피폭될 경우, 누적된 진동 피폭이 혈액순환을 방해함으로써 손이 하얗게 변하는 백수증(white hand disease), 손목의 근골격계 사이를 통과하는 신경계가 눌러서 발생하는 손목굴증후군(carpel tunnel syndrome), 팔관절염 및 척추디스크와 같은 근골격계 질환 등이 발생하기도 한다.⁽¹⁾ 이와 같은 질환은 총괄적으로 수완계 진동 증후군(hand-arm vibration syndrome, HAVS)이라 일컬어지며, 대부분의 선진국에서 산재 목록에 포함되어 보상이 이뤄지고 있다. 또한 이미 수십년 전부터 동력공구를 사용하는 일간 작업 시간을 제한하는 규정을 시행하고 있다.⁽²⁾ 방진 장갑은 이러한 위험으로부터 공구 사용자를 보호하는 1차적인 보호구일 뿐만 아니라, 현장 안전관리 책임자는 적합한 성능을 가진 방진 장갑을 선정하여 사용케 함으로써 공구 사용자의 일간 진동 피폭량을 저감하고, 적합한 작업일정을 계획할 수 있으므로 중요한 사안이라 할 수 있다. 최근에는 국내에서도 노사문제와 관련하여 근골격계 질환의 원인 중 공구 진동에 대한 관심이 높아지고 있으므로 선진 외국과 같이 공구 진동량을 제한하는 규정이 시행될 경우 방진 장갑의 성능 평가가 매우 중요한 사안으로 부각될 것이 예상된다.

이 연구에서는 현재까지 국내에 발표된 사례가 없는 방진 장갑의 성능 평가 시스템을 ISO 10819⁽³⁾에 기초하여 구축한 후 시험을 수행하였다. ISO 10819에서는 핸들에서 가속도 측정 중에 피시험자에 의해 가해지는 동특성의 변화로 인해 발생하는 결과의 편차를 감소시키기 위해 악력과 이송력을 일정범위로 제한하도록 규정하고 있으며, 측정 중 피시험자가 자신의 힘을 모니터링 하기 위해서 핸들에서 악력, 바닥판에서 이송력을 측정하는 방법을 제시하고 있다. 이 연구에서는 시스템을 단순화하기 위해서 핸들만으로도 악력과 이송력 모두를 측정할 수 있는 시스템을 고안하여 적용하였다.

2. 시험 장치 구성

이 연구에서 구축한 시험 장치는 고안한 핸들을 제외하고는 ISO 10819의 지침에 따르고 있다. Fig. 1은 방진 장갑의 성능 평가 시스템과 피시험자의 자

세를 나타낸다. 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 파지할 수 있도록 하였다.

가진 주파수 범위와 주파수 대역별 가진력의 크기는 Fig. 2와 같이 M-과 H-스펙트럼으로 규정되어 있는데, 가진기 컨트롤러에 해당하는 정보를 입력함으로써 각각의 스펙트럼에 해당하는 가진 신호를 발생시킬 수 있도록 하였다. 손바닥과 장갑사이에서 초소형 가속도계(ENDEVCO 23A)를 위치시킬 때 일정한 위치를 확보하고 피시험자의 손과 밀착될 수 있도록 하기 위해 Fig. 3과 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.⁽⁴⁾ 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 가진되고 있는지 확인하였다.

작용력 측정용 핸들에서 힘을 측정하기 위해서 스트레인게이지를 센서로 사용하였다. 피시험자가 힘을 가하면 스트레인게이지(Kyowa, KFG-5-120-C1-23LIM2R)와 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 0.5초마다 연속적으로 평균값을 계산하여 Fig. 4와 같이

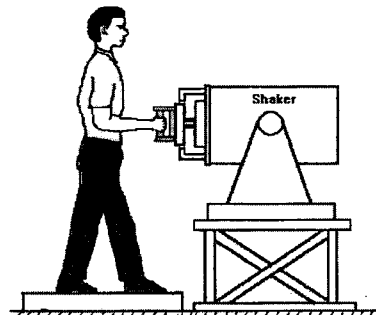


Fig. 1 Posture of the operator

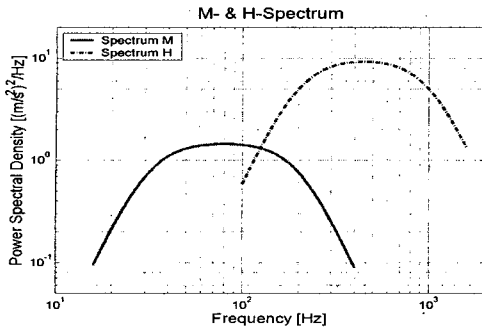


Fig. 2 M- & H- spectrum

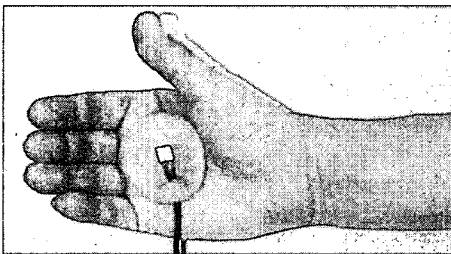


Fig. 3 Adaptor with an accelerometer

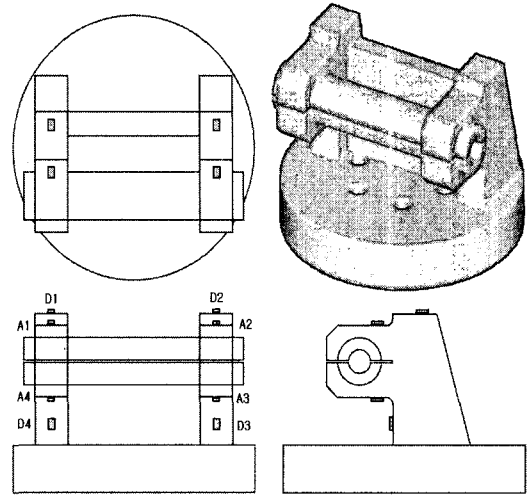


Fig. 5 Handle for measurement of applied forces and the attachment points of the strain gauges

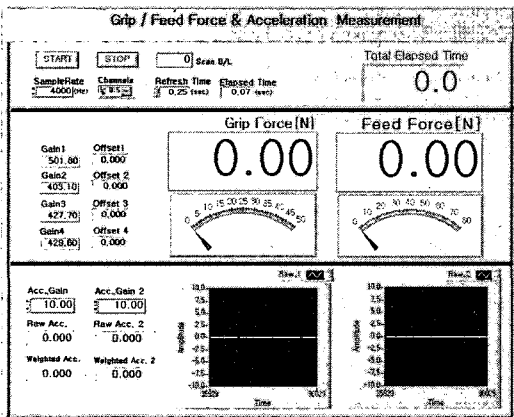


Fig. 4 LabVIEW program for the measurement and signal processing of the grip and feed forces and the accelerations

화면에 표시함으로써 피시험자가 시험 중에 자신의 작용력을 모니터링하여 정해진 범위로 유지할 수 있도록 하였다.^(5,6)

3. 작용력 측정용 핸들

3.1 측정 장치의 구성

작용력 측정용 핸들의 공진 주파수가 진동 전달률

을 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. 이 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⁽⁵⁾ 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. 이 시험 장치에서는 앰프의 변환값(교정값)이 변형률 $100 \mu\epsilon$ ($1\mu = 10^{-6}$)에 대해 2 Volts로 출력되도록 설정하였다.

3.2 작용력 측정 원리

ISO 10819에서는 악력은 핸들에서 이송력은 바닥판에서 측정하는 방법을 제시하며, 악력 측정용 핸들의 도면을 참고 자료로 제시하고 있으나, 이 연구에서는 핸들에서 악력과 이송력을 모두 측정할 수

있도록 하기 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 측정된 신호를 평균하여 처리하기 위함이다. 또한, 온도 변화에 따라 영점(zero point)이 변하는 스트레인게이지의 특성을 보상하기 위해서 active-dummy법을 적용하였다. 이 방법은 dummy-게이지(Fig. 5의 D1~D4)를 하중의 영향을 받지 않는 지점에 부착하여 온도가 변함에 따라 active-게이지(Fig. 5의 A1~A4) 저항값이 변할 때, dummy-게이지의 저항값 역시 변화하는 특성을 이용하여 변화값을 보상함으로써 온도 변화가 출력 전압에 미치는 영향을 제거하는 것이다.

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 관련 ISO 10819 에서는 쥐는 힘인 악력과 가진 방향에 대한 이송력만 정의하고 있으므로 이 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.⁽⁶⁾

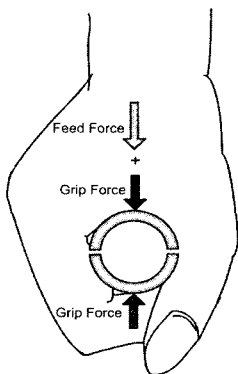


Fig. 6 Grip force and feed force at the handle

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

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

3.3 스트레인게이지의 민감도 결정

이 측정용 핸들을 이용하여 힘을 측정하기 위해서는 힘과 스트레인게이지 사이의 민감도를 결정해야 한다. 이를 위해서 알고 있는 다양한 크기의 하중에 대한 스트레인 앰프의 출력 전압들을 측정하여 ‘하중-출력 전압’의 관계식을 구한다. 이 관계식을 이용하여 피시험자가 힘을 가할 때 스트레인 앰프의 출력 전압을 측정하여 힘으로 환산할 수 있다.

민감도 결정을 위해서 Fig. 7에서와 같이 힘이 작용하는 방향으로 손잡이 부분의 중앙에 지름 2mm의 작은 구멍을 뚫어서 와이어와 추를 이용하여 정하중을 가하는 방식을 사용하였다. Fig. 7(a)는 손잡이 윗부분(1, 2지점의 스트레인게이지)에 대해 압축력을 가할 때이고, Fig. 7(b)는 핸들을 지지대에 반대 방향으로 뒤집어서 고정한 후 동일한 스트레인게이지에 인장력을 가하는 경우이다. 정적 하중은 최소 0.5 kgf의 단위로 20 kgf까지 증가시켰다. 손잡이 아래 부분(3, 4지점)에 대해서도 같은 방식으로 압축력과 인장력을 가하였다. 식 (3)~(6)은 4차례 반복 실험을 행하여 구한 하중과 스트레인 앰프의 출력전압의 선형관계식이다. 여기서, F 는 가해진 정적 하중(N)을, ϵ 는 4개의 각 지점의 스트레인게이지에 해당하는 앰프의 출력 전압값(mV)을 의미한다.

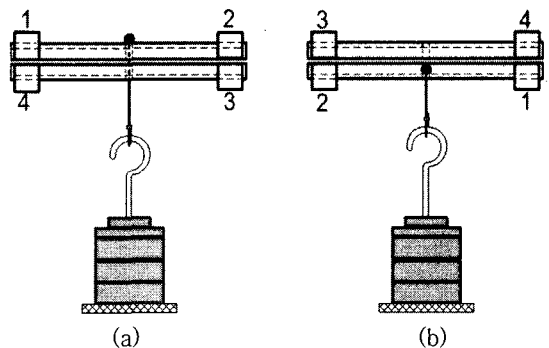


Fig. 7 Determination of voltage sensitivity of compression and tension force

$$F_1[N] = 0.502 \times \epsilon_1 [mV] \quad (3)$$

$$F_2[N] = 0.403 \times \epsilon_2 [mV] \quad (4)$$

$$F_3[N] = 0.428 \times \epsilon_3 [mV] \quad (5)$$

$$F_4[N] = 0.429 \times \epsilon_4 [mV] \quad (6)$$

4. 방진 장갑의 진동 전달률 측정

4.1 측정조건

방진 장갑은 피시험자가 착용한 상태에서 시험할 때 피시험자간의 수완계(hand-arm system) 동특성 차이가 시험 결과에 영향을 미치므로, ISO 10819에서는 3인의 피시험자를 대상으로 각 피시험자가 손 사이즈에 맞는 장갑을 착용한 상태에서 M-스펙트럼과 H-스펙트럼 각각에 대해 2회씩 반복 시험하도록 규정하고 있다. 이와 같은 과정을 통해 하나의 제품에 대해 스펙트럼별로 6개의 시험 결과가 얻어지게 되는데(3인×2회), 이 값들의 산술평균을 대푯값으로 구한다.

피시험자의 조건은 신경계, 혈액순환계, 근골격계 관련 질환이 없어야 하며 BS EN 420⁽⁸⁾에서 제시하고 있는 손의 사이즈 기준으로 7, 8, 9에 해당해야 한다. Table 1은 EN 420에서 제시하는 손 사이즈를 나타낸다.

시험에 사용되는 방진 장갑은 피시험자의 손 사이즈에 적합한 장갑이어야 하며 온도 20°C ± 5°C, 상대습도 70% 미만인 환경에서 30분 이상 보관한 후에 시험에 사용한다. 피시험자는 Fig. 1의 자세로 진동하는 핸들을 권 상태에서 팔꿈치의 각도를 90° ± 10°로 유지하고, 손목의 각도(팔의 중심선과 손등뼈의 중심선 사이의 각)는 0°에서 40° 사이에서 자세를 취하여 유지하도록 하였다. 장갑과 손바닥

표면 사이의 진동 측정값은 악력과 이송력에 의해 영향을 받기 때문에 ISO 10819의 규정에 따라 시험 중에 악력은 30 ± 5N, 이송력은 50 ± 8N 범위 내로 피시험자의 힘을 유지하도록 한다. 이 연구에서 제작한 작용력 측정용 핸들과 모니터링 시스템은 피시험자가 자신의 힘을 주어진 범위로 유지할 수 있도록 하기 위해 고안된 것이다.

4.2 시험 순서

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

① 피시험자의 손 크기를 측정하고 손 크기에 맞는 방진 장갑을 준비한다.

② 핸들과 피시험자의 손 사이에 초소형 가속도계가 삽입된 어댑터를 위치시킨 다음, Fig. 1과 같은 자세(팔꿈치의 각 90° ± 10°, 손목꺾임 각 0 ~ 40°)로 악력은 30 ± 5N, 이송력은 50 ± 8N을 유지하면서 핸들을 잡게 한다.

③ ②의 자세에서 M-과 H-스펙트럼으로 각각 핸들을 가진시키면서 핸들에 부착된 가속도계와 어댑터에 삽입된 가속도계로부터 가속도신호(a_{usRb} , a_{usPb})를 측정하여 FFT 분석기를 통해 주파수 분석의 결과를 저장한다. 주파수 분석시 해상도 0.25 Hz, Hanning 윈도우, 50회 이상 평균한다.

④ 피시험자에게 방진 장갑을 착용시킨다. 이때 가속도계가 삽입된 어댑터는 방진 장갑과 손바닥 사이에 위치하도록 한다.

⑤ 피시험자가 방진 장갑을 3분 이상 착용한 후, ②의 자세와 작용력으로 핸들을 쥐도록 한다.

⑥ M-과 H-스펙트럼으로 각각 핸들을 가진시키면서 핸들에 부착된 가속도계와 어댑터에 삽입된 가속도계로부터 가속도 신호(a_{usRg} , a_{usPg})를 측정하여 FFT 분석기를 통해 주파수 분석의 결과를 저장한다.

⑦ ⑥의 과정을 1회 반복 실시한다.

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 |

Table 2 Parameters for the band-limiting and frequency weighting filters

| Band limiting | | | Frequency weighting | | | |
|---------------|--------|-------|---------------------|--------|-------|-----|
| f_1 | f_2 | Q_1 | f_3 | f_4 | Q_2 | K |
| 6.310 | 1258.9 | 0.71 | 15.915 | 15.915 | 0.64 | 1 |

⑧ 총 3명의 피시험자에게 ①~⑦의 과정을 반복한다.

4.3 보정된 진동 전달률 계산 방법

ISO 10819에서 규정한 방진장갑의 보정된 진동 전달률 계산을 위해서는 손과 핸들에서 측정된 가속도 신호에 ISO 5349-1에서 제시하는 수완계의 주파수 가중(frequency weighting)을 적용하여 체감 진동량으로 환산하여야 한다. 주파수 가중은 식 (7)의 밴드패스 필터와 식 (8)의 가중 필터의 곱으로 구성된 전달함수로 표현되며, Table 2는 식 (7)과 (8)에 사용된 각 인자들을 정리한 것이다.⁽⁵⁾

$$H_B(s) = \frac{s^2 4\pi^2 f_2^2}{(s^2 + 2\pi f_{1s}/Q_1 + 4\pi^2 f_1^2)(s^2 + 2\pi f_{2s}/Q_1 + 4\pi^2 f_2^2)} \quad (7)$$

$$H_W(s) = \frac{(s + 2\pi f_3) 2\pi K f_4^2}{(s^2 + 2\pi f_{4s}/Q_2 + 4\pi^2 f_4^2) f_3} \quad (8)$$

ISO 10819에서 의미하는 보정된 진동 전달률은 장갑을 착용했을 때 측정된 가속도의 전달률(TR_{sg})을 장갑을 착용하지 않았을 때 측정된 가속도의 전달률(TR_{sb})로 나누어 구한다. 방진 장갑의 보정된 진동 전달률(TR_s)은 ISO 10819에 규정되어 있는 식 (9)를 이용하여 주파수 분석 결과인 TR_{sg} , TR_{sb} 로부터 실효치(r.m.s.)를 구하는 방식으로 계산된다. 보정된 진동 전달률의 평균값($\overline{TR_s}$)은 6개의 보정된 진동 전달률(3명의 피시험자에 대해 1인당 2회씩 측정된 결과)을 산술평균하여 구한다.

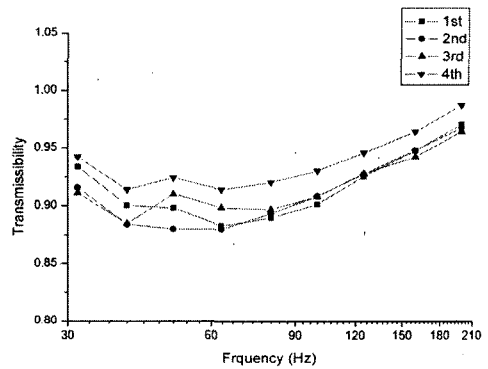
$$TR_s = \frac{TR_{sg}}{TR_{sb}} = \frac{a_{wsPg}/a_{wsRg}}{a_{wsPb}/a_{wsRb}} \quad (9)$$

4.4 방진 장갑 진동 전달률 측정 예

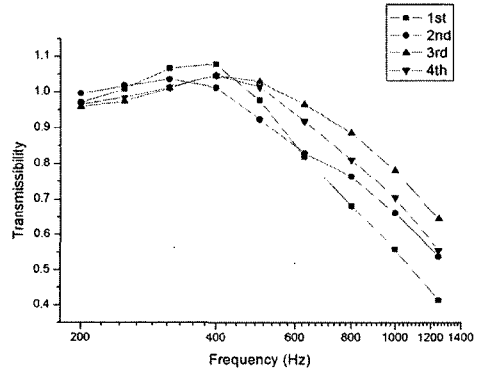
시중에서 유통되는 방진 장갑 중에서 임의로 1개를 선택하여 신체적 결격 사유가 없는 3인을 선정하여 1인당 2회씩 측정하였고, 동일한 장갑을 대상으

로 일자를 달리하여 4차례 반복하였다. M-, H-스펙트럼에 대한 1/3 옥타브 밴드별 진동 전달률(TR_M , TR_H)의 결과는 Fig. 8과 같고, 각 회차별 보정된 진동 전달률의 평균값은 Table 3으로 정리하였다.

ISO 10068에 의거하면, 보정된 진동 전달률의 크기가 M-스펙트럼에서는 1 미만일 때, H-스펙트럼에서 대해서는 0.6 미만일 때 방진 성능이 인정되므로, 시험한 장갑은 M-스펙트럼에 대해서만 방진



(a) M-Spectrum



(b) H-Spectrum

Fig. 8 Vibration transmissibility of an anti-vibration glove

Table 3 Results of measurement for vibration transmissibility of an anti-vibration glove

| | 1 | 2 | 3 | 4 |
|-------------------|--------|--------|--------|--------|
| $\overline{TR_M}$ | 0.9331 | 0.9201 | 0.9270 | 0.9496 |
| $\overline{TR_H}$ | 0.8985 | 0.9027 | 0.9429 | 0.9216 |

성능을 가지는 것을 알 수 있고, 사용하는 공구의 진동 수준이 H-스펙트럼의 주파수 영역에서 지배적이라면 방진 장갑으로 선정될 수 없을 것으로 판단된다.

5. 결 론

방진 장갑의 진동절연 성능을 확인하기 위해 악력과 이송력을 모두 측정할 수 있는 핸들을 고안하였고, LabVIEW를 이용한 PC 기반의 모니터링 프로그램에 포함하는 평가 시스템을 구축하였다. 3명의 피시험자를 대상으로 개인당 2회씩, 총 4차례(3인 × 2회 × 4차례) ISO 10819에서 제시한 방법과 절차에 따라 시험을 수행하였다. 시험을 통해 산출된 보정된 진동 전달률을 통해 방진 장갑의 성능을 평가할 수 있었다. 이 연구를 통해 구축한 방진 장갑 성능 평가 시스템은 방진 장갑의 진동절연 성능에 대한 정확한 정보를 동력공구 사용자 및 공구를 사용하는 작업장의 안전관리 책임자에게 제공함으로써 공구작업자를 수완계 진동 증후군으로부터 보호하고 적합한 일간 작업 시간을 계획하는데 기여할 것으로 판단된다.

후 기

이 논문의 연구 내용 중 일부는 2005년 중소기업 기술혁신개발사업의 지원으로 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- (1) Pelmear, P. L. and Wasserman, D. E., 1998, Hand-arm Vibration, 2nd ed., OEM Press, U. S. A.
- (2) Griffin, M. J., 1990 Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- (3) ISO 10819, 1996, 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.
- (4) Song, C. M., Jang, H. K., Kim, S. H. and Chai, J. B., 2003, Measurement of the hand-transmitted vibration using a miniature 3-axes accelerometer, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp.1043~1047.
- (5) ISO 5349-1, 2001, Mechanical Vibration - measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration-Part 1: General Requirements, International Organization for Standardization, Geneva.
- (6) Choi, S. H., Jang, H. K., 2003, Measurement of Grip and Feed Force in the Evaluation of Hand-arm Vibration, Proceedings of the KSNVE Annual Autumn Conference, pp.1038 ~ 1042.
- (7) Choi, S. H., Jang, H. K., Park, T. W., 2005, "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 the Korea Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No. 14, pp. 404 ~ 411.
- (8) BS EN 420, 1994, General Requirements for Gloves, British Standards Institution, U. K.