

Flexible Palm 어댑터의 개발을 통한 동력 공구의 진동 특성을 고려한 방진장갑의 성능 평가

Estimation of Anti-vibration Glove Performance Considering the Vibration Characteristic of Power Tool through Development of Flexible Palm Adapter

송 치 문† · 장 한 기* · 홍 석 인** · 채 장 범***

Chi Mun Song, Han-Kee Jang, Seok-In Hong and Jangbom Chai

(2009년 1월 6일 접수 ; 2009년 1월 30일 심사완료)

Key Words : Flexible Palm Adapter(flexible palm 어댑터), Hand-transmitted Vibration(수전달 진동), Anti-vibration Glove(방진장갑), Power Tool(동력 공구), Vibration Transmissibility(진동 전달률)

ABSTRACT

This study aims to show the guideline to select optimal anti-vibration gloves for specific power tools to prevent hazardous vibration to human body. It is most desirable for the correct evaluation of hand-transmitted vibration from the power tool handle to measure the acceleration between the handle surface and the hand palm as recommended in ISO 5349-1. First, the accurate acceleration measurement device was developed of which the thickness and weight were less than 6 mm and 12 g respectively so that it can be placed between the handle and the palm without any inconvenience during the measurement. Finally, using the device we estimated anti-vibration glove performances considering the frequency characteristics of generated vibration by the power tool.

기 호 설 명

- a_w : 수완계 주파수 가중치가 적용된 가속도
- a_{ws} : 진동 스펙트럼에서의 주파수 가중치가 적용된 가속도
- s : M 또는 H 스펙트럼
- a_R : 핸들 바닥에서 측정된 가속도
- a_P : 손바닥에서 측정된 가속도
- a_g : 방진장갑 착용 상태에서 측정된 가속도

a_b : 방진장갑 미착용 상태에서 측정된 가속도

TR : 진동 전달률

TR_M : M 스펙트럼에 대한 진동 전달률

TR_H : H 스펙트럼에 대한 진동 전달률

1. 서 론

동력 공구(power tool)를 이용한 작업시 공구에서 발생하여 작업자의 손과 팔, 어깨 등으로 전달되는 극심한 진동 및 충격은 작업자에게 불편함을 주고 작업효율을 감소시킬 뿐만 아니라 장시간 노출시 혈관계, 신경계, 근골격계의 질환 또는 심각한 손상을 유발하는 것으로 알려져 있다^(1,2). 선진국의 통계 자료를 보면, 발생 진동량이 큰 동력 공구를 사용하

† 교신저자; 정회원, 고등기술연구원, 아주대학교
E-mail : cmsong@iae.re.kr

Tel : (031)330-7477, Fax : (031)330-7360

* 정회원, 고등기술연구원, (현)두산인프라코어 예측설계기술팀

** 정회원, 고등기술연구원, (현)삼성전자 생활가전사업부

*** 정회원, 아주대학교 기계공학과

는 작업기간이 3~5년 이상 되면 자각 증상이 발생하고, 진동 피폭 기간이 장기화될 경우 손의 혈관이 썩어 들어가 손이 하얗게 변하는 백수증(white hand disease)에 이르기도 한다. 또 손에 반복 충격이 가해지는 경우에는 손목의 근골격계 사이를 통과하는 신경계가 눌려서 신경계 장애가 발생하는 Carpel tunnel syndrome과 같은 회복이 어려운 질병의 수준으로 발전하기도 한다⁽³⁾.

이와 같이 심각한 문제를 야기하는 공구의 진동은 그 크기와 피폭 시간 등에 의해 그 유해성이 결정된다⁽⁴⁾. 따라서 수완계로 전달되는 진동을 정확히 측정하는 것은 매우 중요한 일이라 하겠다. ISO 5349:2001⁽⁴⁾이나 ISO 10819:1996⁽⁷⁾과 같은 관련 국제 규격에서는 핸들에서 발생하는 진동을 3축으로 측정할 것을 규정하고 있으며, 손과 핸들 표면사이에서 측정하는 것이 가장 바람직하지만 측정이 용이하지 않을 경우에 한해 손에 인접한 지점이나 보조용구를 이용하여 측정할 것을 대안으로 제시하고 있다. 그러나 손바닥과 인접한 지점에서 측정하거나 보조 용구를 사용하여 측정하는 경우 손으로 전달되는 진동과 차이가 생길 수 있으며, 이는 인체에 대한 유해성을 평가하는데 정량적으로 영향을 미칠 수 있다. 따라서 수완계로 전달되는 진동을 보다 정확히 측정할 수 있는 어댑터가 요구된다.

방진장갑은 백수증, Carpel tunnel syndrome과 근골격계 질환 발생 위험으로부터 공구 사용자를 보호해 줄 수 있는 1차적인 보호 수단으로서 해당 공구의 진동 발생 특성을 고려하여 적절한 방진재질을 선정하는 것이 매우 중요하다. 하지만 ISO 10819: 1996의 방진 성능 평가 방법은 공구의 진동 특성과 무관하게 전 주파수 영역의 성능을 기준으로 하고 있다. 따라서 공구의 진동 특성의 차이를 반영하지 못하는 단점이 있어서 동력 공구 진동의 주파수 특성을 고려한 방진장갑의 성능을 평가하는 것이 요구된다.

이 연구에서는 3축 가속도계를 장착하여도 작업자가 공구의 핸들을 잡는데 전혀 불편함을 주지 않고, 작업자의 손이 공구의 핸들과 밀착될 수 있는 어댑터를 개발하여 동력 공구에서 발생한 진동을 정확히 측정하고, 측정된 진동을 분석하여 공구의 특성을 고려한 방진장갑의 성능을 평가하여 인체에 유해한 진동을 사전에 예방할 수 있도록 특정 공구

에 대한 최적의 방진장갑을 선정할 수 있는 방법을 제시하고자 한다.

2. 수전달 진동 평가를 위한 Flexible Palm 어댑터 개발

2.1 Flexibl Palm 어댑터 개발

공구에서 발생하는 진동은 그 크기와 피폭 시간에 의해 그 유해성이 결정되기 때문에 수완계로 전달되는 진동을 정확하게 측정하는 것은 매우 중요하다. 공구의 진동을 측정하기 위하여 손바닥과 핸들 사이에서 진동을 측정하거나, 손바닥 인근 지점에서 진동을 측정할 수 있는 여러 종류의 어댑터들이 상용화 되었으나, 관심 주파수 대역에서의 진동 전달률이 나쁘고 핸들을 쥐는 악력과 이송력과 같은 작용력에 의하여 수전달 진동량이 변화되어 정확한 진동을 측정하는데 문제가 되고 있다⁽⁵⁾. 특히 ISO 10819:1996에서는 손에서 진동을 측정하기 위하여 어댑터의 무게 및 치수 등 필요한 사양을 제시하고 있으나, 외국 작업자를 고려하여 결정하였기 때문에 손이 작은 국내의 작업자들이 사용하기에는 문제가 있으며, 수전달 진동을 정확하게 측정할 수가 없다.

이 연구에서는 공구의 진동과 방진장갑의 진동 전달률에 대하여 핸들과 작업자 손바닥 사이에서의 진동을 정확히 측정하기 위하여 Fig. 1과 같이 초소형 3축 가속도계를 삽입 할 수 있는 flexible palm 어댑터⁽⁶⁾를 개발하였으며, 이를 이용함으로써 공구의 진동 및 방진장갑의 진동 전달률을 정확하게 측정할 수 있게 되었다. 개발된 flexible palm 어댑터는 실리콘 재질로 제작되었으며, 초소형 3축 가속도계를 장착한 전체 두께와 무게가 각각 6 mm, 12 g으로 ISO 10819:1996에서 제시한 두께 15 mm, 무게 15 g 보다 작고 가볍게 개발하였다.

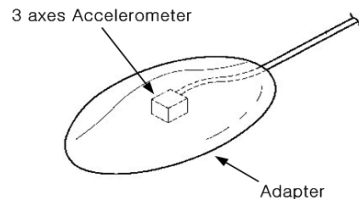


Fig. 1 Flexible palm adapter for the measurement of the hand-transmitted vibration in three axes

2.2 Flexible Palm 어댑터 성능

Fig. 2는 핸들에 작용되는 악력과 이송력을 일정하게 유지하면서 Fig. 5와 같은 작용력 측정용 핸들 표면의 진동과 가속도계가 장착된 flexible palm 어댑터에 대한 진동 전달률 실험 결과이다. 가진기 테이블의 퓌 현상으로 발생한 830 Hz에서의 작은 피크를 제외한다면, 진동 전달률이 가장 좋은 값인 1.0에 대하여 전달률의 편차가 1.8%로서 매우 좋은 진동 전달률을 보이고 있다.

수전달 진동에 대한 측정의 정확성은 악력과 이송력의 크기에 따라, 그리고 핸들을 잡는 수완계의 자세에 따라 바뀔 수 있다. 이 연구에서는 모든 측정을 하는 동안 ISO10819:1996에서 제시한 방법에 따라 자세를 유지하기 때문에 수전달 진동의 정확성은 악력과 이송력의 변화에 따라 바뀔 수가 있다. 따라서 악력과 이송력에 따른 측정용 핸들 표면의 진동과 가속도계가 장착된 flexible palm 어댑터에 대한 진동량 비율을 분석하였으며, 그 결과는 Fig. 3과 같다. 이때 악력과 이송력의 조합은 9가지로 설정하였다.

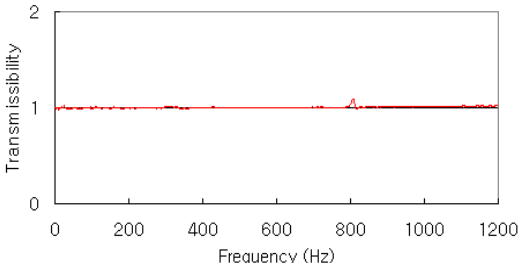


Fig. 2 Vibration transmissibility of the flexible palm adapter

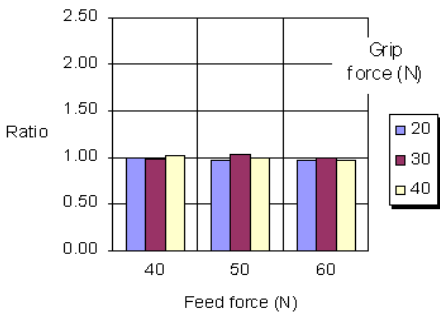


Fig. 3 Ratios of root mean squares of frequency-weighted acceleration of the flexible palm adapter

실험 결과(Fig. 3)를 보면 0.96에서 1.04의 비율로 9가지의 작용력 조건에서 1.0에 대한 가장 큰 편차가 4% 정도로써 매우 좋은 결과를 보이고 있다.

앞에서의 두 실험 결과로부터 수전달 진동을 정확하게 측정할 수 있는 flexible palm 어댑터의 우수한 성능을 입증하였다. 특히, 동력 공구의 경우 측정 지점이 조금만 벗어나도 진동의 크기 및 특성이 다르게 나타날 수 있으나 flexible palm 어댑터는 실리콘 재질로 제작되어 동력 공구 핸들의 직경이 변화하더라도 핸들에 3축 가속도계를 용이하게 밀착시킬 수 있어서 손바닥과 핸들 표면 사이에서의 진동을 측정하는 ISO 5349:2001의 권고사항을 만족하게 되었다. 또한 flexible palm 어댑터를 방진장갑의 성능 실험에 사용함으로써 핸들과 손 사이 또는 장갑내피와 손바닥 사이에 잘 밀착되어 안정적으로 정확한 가속도를 측정할 수 있게 되었다.

3. 동력 공구의 수전달 진동 측정

3.1 수전달 진동 측정 시스템

초소형 3축 가속도계(Kistler, 8764A500)를 삽입할 수 있는 flexible palm 어댑터⁽⁵⁾를 사용하여 수전달 진동 측정 시스템(Fig. 4)을 구성하였다. 이 시스템에 사용된 가속도계와 앰프 등과 같은 실험장비는 Table 1에 정리하였다⁽⁶⁾.

방진장갑의 성능 평가를 위한 수전달 진동 측정에 사용한 동력 공구는 Table 2와 같이 산업 현장에서 가장 많이 사용하는 4인치 앵글 그라인더를 선정하였으며, 수전달 진동은 ISO 5349-1:2001⁽⁴⁾에서

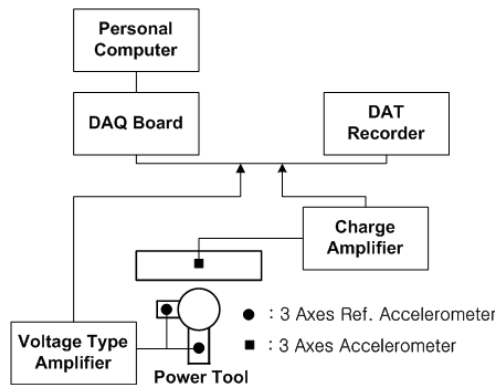



Fig. 4 Experimental set-up for measurement of the hand-transmitted vibration

Table 1 Specification of experimental equipments

Equipments (Model & Maker)	Q'y	Application
3 Axes Accelerometer (Kistler 8764A500)	2	Vibration measurement at two points of the power tool
3 Axes Accelerometer (B&K 4321)	1	Vibraion measurement at the specimen
Voltage amplifier (Kistler 5134A)	2	Signal amplification
Charge amplifier (B&K Nexus)	1	Signal amplification
DAT Recorder (SONY PC216A)	1	Data storage
DAQ Board (NI PCI-6062E)	1	Data acquisition

Table 2 Specification of experimental power tool

Power tool	Specification
	Wheel size : 4 inch RPM : 11,000 Weight : 1.55 kg Average air consumption : 0.6 m ³ /min

제시하는 위치에서 측정하였으며, 데이터 기록은 공구 진동의 특성 분석을 위한 시간 데이터 확보를 위해 테이프 레코더(Sony PC216A)에 기록하였다. 작업장에서 사용하는 적정 공기압은 6 bar이다.

3.2 수전달 진동 측정 조건

동력 공구에서 측정되는 진동은 여러 가지 인자에 의해서 좌우 되는데, 시편에 가하는 힘(이송력), 공구를 쥐는 힘(악력), 자세 등에 의해 영향을 받는 것으로 알려져 있다. 이 연구에서는 이와 같은 인자의 영향을 고려하여 공구의 진동을 측정하였다. 그러나 실제 측정 조건에서 악력과 이송력을 측정하는 것은 현실적으로 매우 어렵다. 특히, 악력의 경우, 작업자가 공구를 쥐는 힘은 작업을 제대로 수행할 수 있느냐에 의해 그 수준이 결정되는 것이지만 임의로 악력을 조절하여 작업을 수행하는 것은 위험할 수 있기 때문이다. 따라서 이 연구에서는 악력의 경우, 작업자가 작업에 적절하게 공구를 쥐 상태를 유지하도록 하고 진동을 측정하였으며, 이송력의 경우는 시편과 공구 사이의 반발력과 진동량에 큰 영향을 미치기 때문에 중요한 변수로 설정하였다

(11). 일정한 토크로 정반에 고정된 시편에 3축 가속도계를 부착하여 가공시 발생하는 가속도를 부하의 크기로 간주하여 측정 조건으로 활용하였으며, 산업 현장에서 근무하는 전문 작업자를 통하여 실험실내 조건에서 실제 작업시 부하에 대한 수준을 수치적으로 설정하였다.

4. 방진장갑의 진동 전달률 측정

4.1 방진장갑 진동전달률 측정 장치

방진장갑의 진동 전달률은 ISO 10819:1996⁽⁷⁾에서 제시한 손바닥 측정지점에 수직한 방향으로 31.5 Hz 부터 1250 Hz의 주파수 범위에 대해 핸들로부터 손바닥으로 전달되는 진동에 대해 측정하며, 방진장갑을 착용하지 않을 때와 착용했을 때의 상태에서 핸들과 손사이의 전달률 들의 차이로 정의할 수 있다⁽¹⁰⁾.

실험에 사용되는 Fig. 5의 알루미늄 핸들은 이 연구실에서 개발한 것으로써, 악력과 이송력을 동시에 측정할 수 있도록 고안되어 제작되었으며, 피시험자의 자세(Fig. 6) 및 실험에 관한 조건은 ISO 10819:1996의 규정에 따른다.

가진 신호는 가진기(IMV VS-120-06)의 자체 컨트롤러에서 ISO 10819:1996에서 규정한 입력신호인 M 스펙트럼과 H 스펙트럼을 설계하여 가진기에 장착된 핸들을 가진하였으며, 정확한 가속도를 측정하기 위하여 손바닥과 장갑 사이에서 Fig.1의 flexible palm 어댑터를 이용하여 가속도를 측정하였다. Flexible palm 어댑터는 유연한 재질로 이루어져 있어서 핸들에 밀착시키면 핸들과 손 사이 또는 장갑내피와 손바닥 사이에 잘 밀착되어 안정적으로 정확한 가속도를 측정할 수 있다⁽⁵⁾. 측정된 가속도 신호는 증폭기(B&K, 5635)를 거쳐 FFT 분석기(B&K, 3560)에서 신호 처리하였다. 악력과 이송력은 스트레인 게이지의 변형률로부터 계산되어 지는데, 변형률 신호는 핸들에 부착한 스트레인 게이지를 통하여 스트레인 증폭기(Kyowa, DPM712B)를 거쳐 데이터 수집 보드로 입력된다. 실험에 사용된 방진장갑은 Table 3과 같다.

4.2 방진장갑 진동 전달률 측정 조건

(1) 가진 신호

방진장갑의 진동 전달률 측정에 사용되는 가진 신호는 ISO 10819:1996에서 제시하고 있는 M과 H

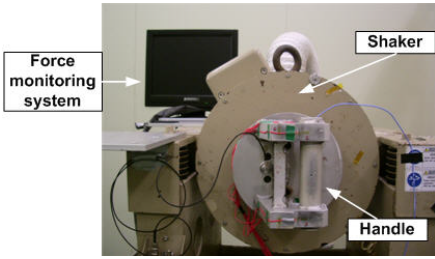


Fig. 5 Force measurement handle for the evaluation of anti-vibration gloves

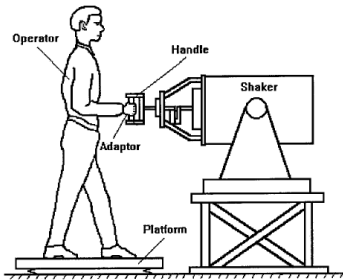



Fig. 6 Evaluation method of anti-vibration gloves

Table 3 Specification of experimental anti-vibration glove

Anti-vibration glove	Material
	Nu^2O_2 Polymer

스펙트럼이다. M 스펙트럼은 31.5 Hz부터 200 Hz 사이의 주파수 범위에 대한 진동전달률 측정에 사용되며, H 스펙트럼은 200 Hz부터 1250 Hz의 주파수 범위에 대한 진동전달률 측정에 사용된다⁽¹²⁾. M과 H 스펙트럼의 파워밀도함수(PSD; power spectral density)는 식 (1)과 같이 정의되며, Fig. 7은 두 가지 가진 신호의 스펙트럼을 그래프로 표현한 것이다.

$$PSD = c \cdot (HP_{12})^2 \cdot (LP_{12})^2 \quad (1)$$

여기서, $s = \frac{f}{f_c} j$, $HP_{12} = \frac{s^2}{1 + 1.414s + s^2}$ 이고, $LP_{12} = \frac{1}{1 + 1.414s + s^2}$ 이다. 각 상수들은 Table 4와 같다.

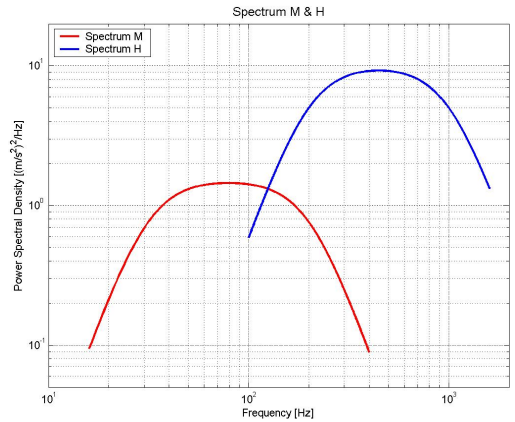


Fig. 7 M spectrum and H spectrum

Table 4 Cut-off frequencies and factors for vibration spectrum

Spectrum	$f_c(HP)_{12}$ Hz	$f_c(LP)_{12}$ Hz	c (m/s ²) ² /Hz
L	8	31.5	0.82
M	31.5	200	1.52
H	200	1250	10.0

(2) 측정 조건 및 방법

방진장갑은 피시험자가 착용한 상태에서 실험하게 되는데, 이때 피시험자의 수완계의 동특성이 실험 결과에 영향을 미칠 수 있다. 따라서 ISO 10819 :1996에서는 3인의 피시험자를 선정하고, 3개의 동일한 제품을 준비하여, 각 피시험자가 손 사이즈에 맞는 장갑을 착용하고 M 스펙트럼과 H 스펙트럼 각각에 대해 2회씩 반복 실험하도록 권고하고 있다. 이와 같은 과정을 통해 스펙트럼 당 6개의 실험 결과가 얻어지게 되는데(3인×2회), 이 값의 평균을 취하여 대푯값으로 제시하게 되어 있다⁽⁹⁾. 이때 피시험자가 되기 위한 신체 조건은 BS EN 420⁽⁸⁾에서 제시하고 있는 손의 사이즈 6~11 범위 중에서 7, 8, 9에 해당해야 한다. 손 사이즈 7, 8, 9에 해당하는 장갑의 사이즈는 일반적으로 M, L, XL이 된다.

피시험자는 ISO 10819:1996의 규정에 따라 Fig. 6에 도시한 바와 같은 자세로 진동하는 핸들을 쥐고 실험에 임하게 되는데, 실험 중에는 팔꿈치의 각도를 90°±10°로 유지하고 손목의 각도(팔의 중심선과 손등 뼈의 중심선 사이의 각)는 0°에서 40°사이에서 적절한 각도를 취하여 유지하도록 하였다. 그리고 장갑과 손바닥 표면 사이의 진동 측정치는 약

력과 이송력에 의해 영향을 받기 때문에 가속도 측정 중에는 악력을 30±5 N, 이송력을 50±8 N 으로 유지하도록 피시험자에게 요구하였다⁽⁷⁾.

(3) 진동 전달률 계산

측정된 모든 가속도 신호(a_{Rb} , a_{Rb} , a_{Ry} , a_{Ry})에 ISO 5349-1:2001에서 제시한 주파수 가중치를 적용시킨다. 그리고 측정된 가속도 신호의 두 가지 스펙트럼별 R.M.S.값과 1/3 옥타브 밴드별 실효치를 계산한다. ISO 10819:1996에서 의미하는 진동 전달률은 장갑을 착용했을 때의 핸들과 손에서 측정된 가속도의 전달률(TR_{sg})을 장갑을 착용하지 않았을 때의 핸들과 손에서 측정된 가속도의 전달률(TR_{sb})로 나누어 준 것이다. 즉, 방진장갑의 진동 전달률(TR_s)은 식(2)와 같다.

$$TR_s = \frac{TR_{sg}}{TR_{sb}} = \frac{a_{wsRy} / a_{wsRy}}{a_{wsRb} / a_{wsRb}} \quad (2)$$

5. 동력 공구 진동을 고려한 방진장갑의 성능 평가

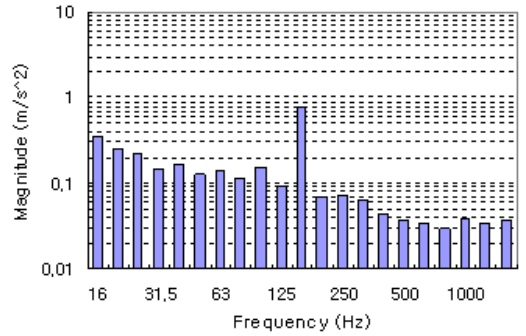
5.1 동력 공구의 주파수 특성 분석

세 방향으로의 스펙트럼 결과(Fig 8)를 보면 손바닥에 수직한 방향으로의 진동은 작고, 이에 수직한 두 방향으로의 진동이 상대적으로 크게 나타나고 있다. 이들 진동의 백터합인 Fig. 8(d)을 보면 160 Hz 밴드에 해당하는 진동이 압도적으로 높게 나타나고 있어서 전체 진동량의 상당부분을 차지하고 있음을 알 수 있다. 이 주파수 성분을 저감시키면 체감 진동량 또한 크게 낮출 수 있으며, 이 주파수 성분은 해당 동력 공구의 회전수(11,000 rpm)와 관련된 것임을 알 수 있는데, 회전수는 주파수 183 Hz에 해당한다. 이 결과로부터, 해당 동력 공구의 회전 주파수 성분과 관련된 요인을 제거해 나가는 것이 필요하다.

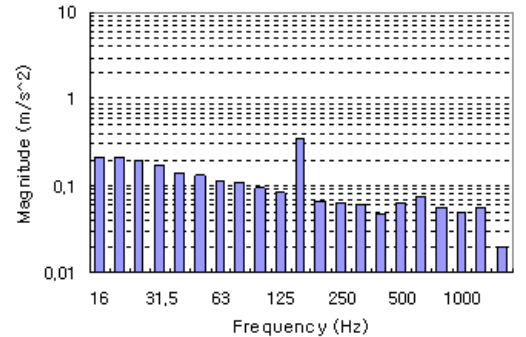
5.2 공구 진동을 고려한 방진장갑 성능 평가

Fig. 9는 방진장갑의 진동 전달률을 M 스펙트럼과 H 스펙트럼에 대해서 수단계 주파수 가중치를 적용하여 1/3 옥타브 밴드별로 도시한 것이다.

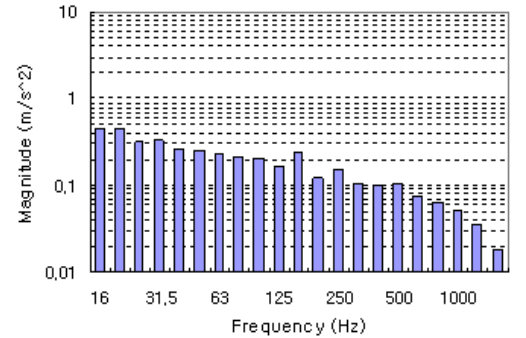
동력 공구의 진동 스펙트럼을 측정된 후 진동량이 크게 형성되는 주파수 대역에 대하여 진동 절연



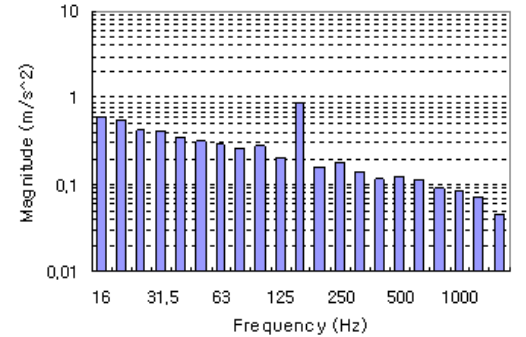
(a) X direction



(b) Y direction



(c) Z direction



(d) Vector sum

Fig. 8 1/3 octave band for power tool vibration of frequency-weighted acceleration

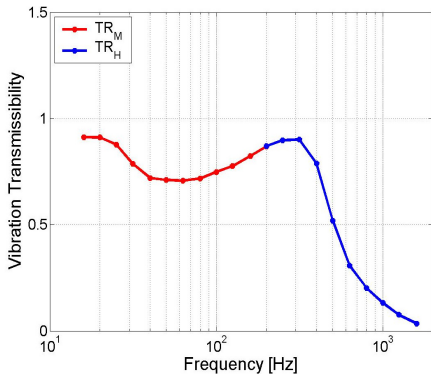


Fig. 9 Transmissibility of anti-vibration glove

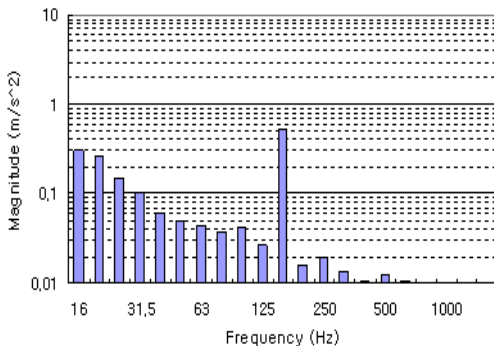


Fig. 10 Hand-transmitted vibration when put anti-vibration glove

효과가 뛰어난 방진장갑을 적용한다면 작업자의 손으로 전달되는 진동량을 최대한 저감할 수 있을 것이다⁽¹³⁾. 공구의 진동 스펙트럼과 방진장갑의 전달률을 곱해서 전체 에너지를 평가하면 장갑 착용 상태에서의 수완계 전달 체감 진동량을 평가할 수 있다. 사용 조건에 따라 공구 진동의 스펙트럼이 다소 차이가 나지만 주파수 특성의 경향이 유사하기 때문에 해당 공구에 대한 진동 특성을 대표할 수 있다. 결국, 공구의 진동 주파수 특성에 대한 방진장갑의 성능을 평가함으로써 특정 공구에 대하여 최적의 방진장갑을 선정할 수 있게 된다.

앞의 방진장갑의 진동 전달률을 4인치 앵글 그라인더에 적용하게 되면 손으로 전달되는 진동량은 Fig. 10과 같이 계산되어진다.

Fig. 8과 Fig. 10을 비교하여 보면 4인치 앵글 그라인더를 작동하였을 때 진동 피크가 형성되어 있는 160 Hz 밴드에 해당하는 구간에서 진동량이 매우 크게 저감된 것을 확인 할 수 있으며, 뿐만 아니

라 고 주파수 대역에서도 진동량도 매우 크게 저감된 것을 알 수 있다. 따라서 이 연구에서 제시한 동력 공구의 진동 주파수 특성에 대한 방진장갑의 성능 평가 방법을 이용하여 방진장갑을 선정한다면 작업자에게 피폭되는 수전달 진동을 사전에 최대한 예방하고, 인체에 대한 유해성을 효과적으로 차단할 수 있게 된다.

6. 결 론

이 연구에서는 작업자의 손과 동력 공구 핸들의 형상에 맞도록 디자인하여 핸들을 쥐는 손바닥 안에서 3축으로 수전달 진동을 정확히 측정할 수 있는 flexible palm 어댑터를 개발하여 수전달 진동 측정 시스템과 방진장갑 성능 평가 시스템에 적용함으로써 동력 공구의 진동 및 방진장갑의 진동 전달률을 정확히 측정할 수 있게 되었으며, 이를 이용하여 동력 공구 진동의 주파수 특성을 고려한 방진장갑의 성능을 평가하였다. 그 결과 방진장갑의 진동 절연 성능을 분석하여 공구와 연계함으로써 인체에 유해한 수전달 진동을 사전에 차단할 수 있는 최적의 방진장갑을 선정할 수 있는 방법을 제시하는 연구 성과를 거두었다. 또한 이 연구 결과는 방진장갑의 재질 및 소재 개발에 활용할 수 있으며, 특수한 목적의 방진장갑을 설계하기 위한 좋은 정보가 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- (1) Pelmear, P. L. and Wasserman, D. E., 1998, *Hand-arm Vibration*, 2nd ed., OEM Press.
- (2) Waersted M, Westgaard R H, 1991, "Working Hours as a Risk Factor in the Development of Musculoskeletal Complaints," *Ergonomics*, Vol. 34, pp. 265~276.
- (3) Pecora, L. J., Udel, M. and Christman, R. P., 1960, "Surveys of Current Status of Raynaud's Phenomenon of Occupational Origin," *American Industrial Hygiene Association Journal*, Vol. 21, pp. 80~83.
- (4) International Organization for Standardization, 2001, ISO 5349-1; *Mechanical Vibration-*

Measurement and Evaluation of Human Exposure Hand-transmitted Vibration. Part 1:General Requirements.

(5) Song, C. M., Jang, H. K. and Chai, J. B., 2009, "Comparison of Dynamic Properties of Transducer Adapters for Measurement of Hand-transmitted Vibration," Proc. IMechE Part C: J. Mechanical Engineering Science, Vol. 223(C2), pp. 345~351.

(6) 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 2003, pp.1043~1047.

(7) International Organization for Standardization, 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, 1996.

(8) British Standards Institution, 1994, BS EN 420; General Requirements for Gloves.

(9) Hewitt, S., 1998, "Assessing the Performance of Anti-vibration Gloves - A Possible Alternative of ISO 10819, 1996," Ann. Occup. Hyg., 42, pp. 245~252.

(10) Rakheja, S., Dong, R. G., Welcome, D. E. and Schopper, A. W., 2002, "Estimation of Tool-specific Isolation Performance of Anti-vibration Gloves," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 30, pp. 71~87.

(11) Jang, H. K., Song, C. M., Hong, S. I. and Choi, S.H., 2006, "Investigations of Uncertainties in the Measurement and Evaluation of Hand-transmitted Vibration," The 1st American Conference on Human Vibration, National Institute of Safety and Health, Morgan Town, West Virginia, U.S.A.

(12) Rakheja, S., Wu, J. Z., Dong, R. G. and Schopper, A. W., 2002, "A Comparison of Biodynamic Models of the Human Hand-arm System for Applications to Hand-held Power Tools," Journal of Sound and Vibration, Vol. 249, No. 1, pp. 55~82.

(13) Dong, R. G., McDowell, T. W., Welcome, D. E. and Smutz, W. P., 2005, "Correlations between Biodynamic Characteristics of Human Hand-arm System and the Isolation Effectiveness of Anti-vibration Gloves," International Journal of Industrial Ergonomics, Vol. 35, pp. 205~216.

(14) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press.