한국소음진동공학회 2005년도 추계학술대회논문집, pp. 251~254.

방진장갑 진동 전달률 측정에서의 측정불확도 추정

Estimation of the Measurement Uncertainty in Measuring the Vibration Transmissibility of Anti-vibration Gloves

홍석인† · 장한기* · 최석현**

Seok-In Hong, Han-Ki Jang and Seok-Hyun Choi

Key Words : Uncertainty of Measurement(측정불확도), Vibration Transmissibility(진동전달율), Anti-vibration Gloves(방진장갑)

ABSTRACT

In this study vibration transmissibilities of the selected anti-vibration gloves were measured, and the measurement uncertainty was estimated. Since human factors such as palm size, gripping condition and dynamic properties of the hand-arm effect the measurement a lot, it is necessary to know ow much the uncertainty is. This study takes the measurement procedure suggested in ISO 10819. Three subjects joined at each test and each anti-vibration glove was tested twice per a subject. Average and standard deviation of vibration transmissibility were calculated and uncertainty of them were estimated at 95% confidence level.

1. 서 론

동력공구(Power tool)로부터 발생되는 극심한 진동 및 충격은 공구 사용자의 손과 팔, 어깨 등으로 전달되어 공구 사용자에게 불편함을 주고 작업량을 감소시킨다. 뿐만 아니라, 장시간 노출시에는 손의 혈관이 썩어 들어가 손이 하얗게 변하는 백수증(white hand disease)과 같은 혈관계 질환, 손목의 근골격계 사이를 통과하는 신경계가 눌려서 신경계 장애가 발생하는 수근관증후군(Carpel tunnel syndrome)과 같은 신경계 질환, 골관절염 및 척추디스크와 같은 근골격계 질환 등이 발생하기도 한다[1]. 방진장갑은 이와 같은 질병의 위험으로부터 공구 사용자를 보호해 줄 수 있는 1차적인 보호구로 적절한 방진장갑의 선택은 공구 사용자의 혈관계, 신경계, 근골격계 질환의 예방에 도움을 줄 수 있다.

방진장갑의 진동절연성능을 평가할 수 있는 방법으로 ISO 10819[2]에서 제시하는 방진장갑 진동전달율 측정 방법이 있다. 본 논문에서는 ISO 10819에서 제시하는 방법으로 방진장갑의 진동전달율을 측정하고 측정불확도를 계산함으로써 정확한 방진장갑의 진동절연성능을 확인해 보고자 한다.

† 고등기술연구원, 선임연구원
E-mail : dorry@iae.re.kr
Tel : (031) 330-7455, Fax : (031) 330-7116

* 고등기술연구원

** 고등기술연구원, 아주대학교 기계공학과 대학원

2. 방진장갑 진동전달율 측정

2.1 시험장치 구성

피시험자가 그림 1에서 보여주는 자세와 같이 팔꿈치의 각도를 90°가 되도록 유지할 수 있는 높이로 가진기(IMV VS-120-06)를 가진기 지지대 위에 설치하였다. 가진기는 횡방향으로 가진될 수 있도록 90° 회전시켰고, 가진기에는 악력과 이송력을 동시에 측정할 수 있도록 고안된 핸들[3]을 설치하였다.

가진신호는 가진기의 자체 컨트롤러에서 ISO 10819에서 제시하는 M과 H 스펙트럼을 설계하여 핸들을 가진하였고, 방진장갑을 통해 손으로 전달되는 신호는 손바닥과 장갑사이를 잘 밀착시켜 줄 수 있도록 그림 2와 같이 어뎁터를 만들어서 그 속에 소형 가속도계(ENDEVCO 23A)를 삽입하여 가속도를 측정하였다. 이 가속도 신호는 B&K Charge Amplifier(Type 2635)를 거쳐 FFT 분석기(B&K 3560 Pulse)를 거쳐 처리되었다. 핸들의 안쪽에도 가속도계(PCB)를 부착하여 정확하게 핸들이 가진되고 있는지 확인하였다. 핸들에 부착한 스트레인게이지의 변형율 신호는 스트레인게이지 앰프(Kyowa DPM712B Strain Amplifier)를 거쳐

DAQ 보드(National Instrument)에서 측정되었으며, 악력과 이송력은 스트레인게이지의 변형율로부터 LabVIEW를 이용하여 작성한 프로그램을 통해 계산하고 모니터링되었다.

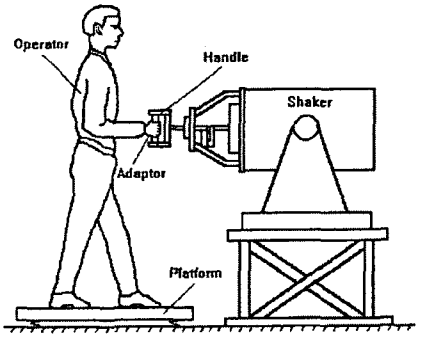

그림 1 시험장치 및 측정자세

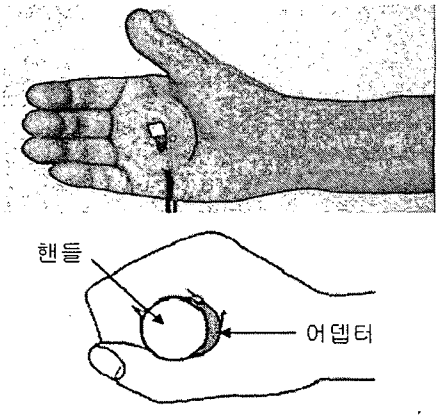

그림 2 소형 가속도계가 삽입된 어댑터

2.2 방진장갑 진동전달율 측정 방법

(1) 측정조건

방진장갑은 피시험자가 착용한 상태에서 시험하게 되는데, 이 때 피시험자의 수완계(Hand-arm)의 동특성이 시험 결과에 영향을 미칠 수 있다. 따라서, ISO 10819에서는 3인의 피시험자를 선정하고, 각 피시험자가 손 사이즈에 맞는 장갑을 착용하고 M 스펙트럼과 H 스펙트럼 각각에 대해 2회씩 반복 시험하도록 권고하고 있다. 이와 같은 과정을 통해 하나의 제품에 대해 스펙트럼 당 6개의 시험 결과가 얻어지게 되는데(3인×2회), 이 값의 평균을 취하여 대푯값으로 제시하게 되어 있다.

이 때 피시험자가 되기 위한 신체 조건은 수완계 계통으로 신경계, 혈액순환계, 근골격계 관련 질환이 없어야 하며 BS EN 420[4]에서 제시하고 있는 손의 사이즈 기준으로 7, 8, 9에 해당해야 한다. 표 1에 EN 420에서 제시하는 손 사이즈를 정리하였다.

표 1 손의 사이즈 (EN 420:1994)

Hand size	Hand circumference [mm]	Length [mm]
7	178	171
8	203	182
9	229	192

시험에 사용되는 방진장갑은 피시험자의 손과 동일한 사이즈의 장갑이어야 하며 주위 온도 20℃±5℃, 상대습도 70% 미만인 환경에서 30분 이상 보관한 후에 시험에 사용되어야 한다.

피시험자는 그림 1에 도시한 바와 같은 자세로 진동하는 핸들을 쥐고 실험에 임하게 되는데, 시험 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 악력과 이송력에 의해 영향을 받기 때문에 가속도 측정 중에는 악력을 30±5 N, 이송력을 50±8 N 으로 유지하도록 피시험자에게 요구하였다.

(2) 측정순서

① 피시험자의 손 크기를 측정하고 손 크기에 맞는 방진장갑을 준비한다.

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

③ ②의 자세에서 M과 H 스펙트럼으로 각각 핸들을 가진시키면서 핸들에 부착된 가속도계와 어댑터에 삽입된 가속도계로부터 가속도신호(A_{sPh}, A_{sPb})를 측정하여 주파수 분석한 후에 이를 저장한다. (해상도 0.25Hz, Hanning window, 50회 이상 평균)

④ 피시험자에게 방진장갑을 착용시킨다. 이때 가속도가 삽입된 어댑터는 방진장갑과 손바닥 사이에 위치하도록 한다.

⑤ 방진장갑을 3분 이상 착용한 상태에서 ②의 자세로 핸들을 쥐도록 한다.(악력은 30N±5N, 이송력은 50N±8N로 유지)

⑥ M과 H 스펙트럼으로 각각 핸들을 가진시키면서 핸들에 부착된 가속도계와 어댑터에 삽입된 가속도계로부터 가속도신호(A_{sPg}, A_{sPg})를 측정하여 주파수 분석을 한 후에 이를 저장한다. (해상도 0.25Hz, Hanning window, 50회 이상 평균)

⑦ ⑥의 과정을 1회 반복 실시한다.

⑧ 총 3명의 피시험자에게 ①~⑦의 과정을 반복한다.

⑨ 방진장갑 진동전달율 계산 방법에 따라 진동전달율을 계산한다.

(3) 진동전달율 계산 방법

ISO 10819에서 의미하는 진동전달율은 장갑을 착용했을 때의 핸들과 손에서 측정된 가속도의 비(TR_{sg})를 장갑을 착용하지 않았을 때의 핸들과 손에서 측정된 가속도의 비(TR_{sb})로 나누어 준 것이다. 즉 방진장갑의 진동전달율(TR_s)은 식 (1)과 같다.

$$TR_s = \frac{TR_{sg}}{TR_{sb}} = \frac{a_{wsPg}/a_{wsRg}}{a_{wsPb}/a_{wsRb}} \qquad (1)$$

두 가지 스펙트럼에 대한 진동전달율의 결과값은 이렇게 측정한 6개(3명의 피시험자, 1인당 2회) 진동전달율을 산술평균한 것으로 사용한다. 이 때 측정된 손과 핸들에서 측정한 가속도 신호에는 ISO 5349-1[5]에서 제시하는 수완계의 주파수 가중치를 적용하여야 한다.

2.2 방진장갑 진동전달율 측정 결과

시중에서 유통되는 방진장갑중에서 임의로 1개를 선택하여 5명의 피시험자들 가운데서 임의로 3명씩 뽑아서 4회에 걸쳐 ISO 10819에서 제시하는 방법으로 진동전달율 측정 시험을 실시하였다. 1/3 Octave band별 전달율, TRm, TRh를 Table 2에 평균과 표준편차로 정리하였다.

3. 측정 불확도 계산

3.1 방진장갑 진동전달율에서의 측정불확도

방진장갑의 진동전달율 측정에서 불확도 인자는 크게 반복 측정에 의해 발생하는 부분과 측정 장비의 정밀도에 의해 발생하는 불확도로 나눌 수 있다. 반복 측정에 의해 발생하는 불확도는 테스스당 6회 반복 측정한 결과로 표준불확도를 추정하였고 측정장비와 관련된 불확도는 교정성적서에 표시된 불확도를 사용하였다.

3.2 방진장갑 진동전달율의 측정불확도 계산

반복측정에 의해 구한 data를 통계적 방법에 의해 구하는 표준 불확도는 식 (2)와 같다.

$$u_A = \frac{\sigma}{\sqrt{n}} \qquad (2)$$

여기서, u_A : 표준불확도

σ : 표준편차

n : 측정회수

이다.

표 2의 측정 결과를 식 (2)를 통해 반복 측정에 의한 표준불확도를 계산하였다.

방진장갑 진동 전달율 측정 시험에 사용된 가속도계 2개의 교정 성적서에 나와있는 불확도와 반복 측정에 의한 표준불확도를 합성하는 과정을 거쳐 합성표준불확도를 계산하

표 2 방진장갑의 진동전달율 측정 결과

Spectrum	Frequency [Hz]	Test 1		Test 2		Test 3		Test 4	
		Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation	Average	Standard Deviation
M	16	0.9727	0.0239	0.9776	0.0188	0.9774	0.0326	0.9952	0.0197
	20	0.9755	0.0200	0.9764	0.0169	0.9780	0.0314	0.9898	0.0286
	25	0.9651	0.0142	0.9564	0.0256	0.9559	0.0349	0.9755	0.0345
	31.5	0.9339	0.0131	0.9157	0.0269	0.9112	0.0344	0.9421	0.0189
	40	0.9003	0.0326	0.8839	0.0205	0.8845	0.0463	0.9139	0.0131
	50	0.8981	0.0468	0.8797	0.0242	0.9099	0.0490	0.9240	0.0284
	63	0.8826	0.0425	0.8797	0.0247	0.8984	0.0483	0.9138	0.0161
	80	0.8894	0.0364	0.8932	0.0227	0.8969	0.0462	0.9202	0.0122
	100	0.9012	0.0334	0.9079	0.0227	0.9077	0.0427	0.9301	0.0082
	125	0.9253	0.0335	0.9274	0.0225	0.9278	0.0328	0.9457	0.0104
	160	0.9475	0.0270	0.9479	0.0205	0.9420	0.0171	0.9641	0.0093
	200	0.9703	0.0240	0.9675	0.0169	0.9642	0.0180	0.9871	0.0122
H	200	0.9699	0.0170	0.9962	0.0177	0.9589	0.0090	0.9655	0.0108
	250	1.0085	0.0149	1.0166	0.0093	0.9738	0.0159	0.9840	0.0173
	315	1.0657	0.0178	1.0346	0.0295	1.0106	0.0212	1.0123	0.0166
	400	1.0778	0.0380	1.0127	0.0579	1.0462	0.0370	1.0460	0.0169
	500	0.9770	0.0825	0.9234	0.0610	1.0288	0.0866	1.0144	0.0464
	630	0.8186	0.1262	0.8289	0.0347	0.9650	0.1277	0.9175	0.0733
	800	0.6812	0.1393	0.7627	0.0774	0.8854	0.1444	0.8106	0.0641
	1000	0.5589	0.1265	0.6624	0.1189	0.7802	0.1657	0.7051	0.0545
	1250	0.4143	0.0819	0.5389	0.1431	0.6448	0.1654	0.5559	0.0397
	1600	0.2856	0.0483	0.3962	0.1186	0.5048	0.1389	0.3993	0.0372
TRm		0.9331	0.0325	0.9201	0.0166	0.9270	0.0325	0.9496	0.0061
TRh		0.8985	0.0509	0.9027	0.0228	0.9429	0.0605	0.9216	0.0221

였다.

$$u_c = \sqrt{(u(a)/a)^2 + (u(b)/b)^2 + (u(c)/c)^2 + \ldots} \quad (3)$$

여기서, u_c :합성표준불확도

$u(a)$: 측정량 a의 표준불확도

이다.

측정량이 일정한 신뢰구간을 갖도록 하기 위해서는 표준불확도에 포함인자(Coverage factor)를 곱하는 방식을 사용한다.

$$U = k \times u_c \quad (4)$$

여기서, U : 확장불확도

k : 포함인자

이다.

본 시험에서 95% 신뢰구간을 갖는 k 값은 자유도가 5이므로 2.65를 사용하였다.

표 2의 시험결과로부터 표준불확도를 구하고 가속도계의 교정성적서의 불확도와 합서한 후 확장불확도를 계산한 결과를 그림 3에는 1/3 Octave band 별 진동전달율을 표 3에는 TRm과 TRh의 결과를 정리하였다.

표 3 방진장갑의 진동전달율과 측정불확도 (95%, k=2.65)

	Spectrum	진동전달율	확장불확도(%)
Test 1	M	0.9331	5.58
	H	0.8985	10.54
Test 2	M	0.9201	4.56
	H	0.9027	9.01
Test 3	M	0.9270	5.60
	H	0.9429	11.04
Test 4	M	0.9496	4.18
	H	0.9216	8.97

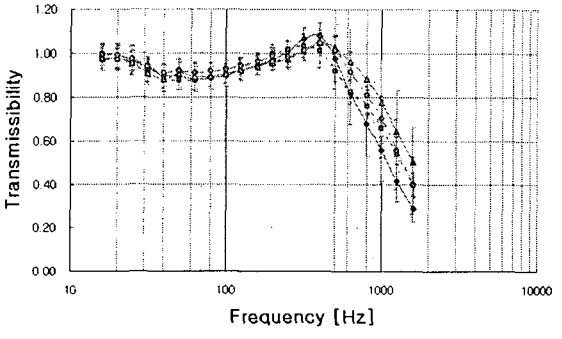

그림 3 1/3 Octave band별 방진장갑의 진동전달율과 측정불확도에 따른 오차범위(95%, k=2.65)

4. 결론

방진장갑의 진동절연 성능을 확인하기 위해 총 5명의 피시험자중에서 3명을 임의로 선발하여 ISO 10819에서 제시하고 있는 방진장갑의 진동전달율 측정 방법으로 총 4회에 걸쳐 방진장갑의 진동전달율을 측정하였고 표 3과 그림 3에서 보여주는 결과를 얻었다.

방진장갑의 진동전달율을 정확히 측정하는 것은 방진장갑의 진동절연 성능에 대한 정확한 정보를 바탕으로 진동공구 사용자들의 보호에 기여할 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

(1) Pelmear, P. L. and Wasserman, D. E., 1998, Hand-arm Vibration, 2nd ed., OEM Press.

(2) 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.

(3) 최석현 등, 2003, "수완계 진동 평가에 영향을 미치는 작용력의 측정", 추계학술대회 논문집, 한국소음진동공학회, pp.1038-1042.

(4) BS EN 420:1994, General requirements for gloves.

(5) ISO 5349-1:2001, Mechanical Vibration : Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration.