

수전달 진동 저감을 위한 방진 핸들의 효과 분석

The Analysis of the Effect of the Vibration-proof Handle Used for the Reduction of Hand-transmitted Vibration

최석현*·장한기**·박태원***

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

Key Words : Hand-arm system(수완계), Hand-transmitted vibration(수전달 진동), Vibration-proof handle(방진 핸들), Frequency-weighting(주파수 가중), Vibration total value(진동 총값)

ABSTRACT

Thesedays, the reduction of hand-transmitted vibration of hand-held power tools is important issue for operators' welfare, In the study, frequency response function is measured and vibration total value is evaluated for solving the principle and effect of the BOSCH's vibration-proof handle. This handle functions as a dynamic damper and has the effect, 22% vibration total value reduction under idling condition using a system that consists of a PC with data acquisition system and LabVIEW program. The program in the system makes it possible to evaluate vibration total value according to ISO 5349. This handle offers a good example for figuring out the physical contradiction between the work efficiency and operators' health.

1. 서론

수완계 진동(Hand-arm Vibration) 또는 수전달(Hand-transmitted)진동은 주로 착암 동력공구(Hand-held power tool)에서 발생하는 충격 및 진동이 작업자들의 손을 통하여 신체로 전달될 때 발생한다.

수전달 진동은 작업자의 작업 효율을 저감시키고, 장기간 피폭되면 혈관계, 신경계 그리고 근골격계의 복합적인 장애인 수완계 진동 증후군(HAVS, Hand-arm vibration induced syndrome)¹⁾을 유발하는 것으로 알려져 있다. 유럽국가들은 이러한 장애를 직업병 목록에 포함시키고, 대부분의 선진국에서는 이미 수십년 전부터 동력공구를 사용하는 작업자들의 1 일 진동 피폭량을 제한하는 규정을 시행하고 있다.

국내에서는 수완계 진동 측정 및 평가에 대한 ISO 규격이 도입되어 KS 로 제정 예고 되었고, 인체 유해도 평가량의 랜덤 오차를 감소시키기 위한 방법에 대해서도 KS 규격으로 제정 예고 된 상태이다. 수완계 진동은 노사간 분쟁의 원인이

될 가능성이 크기 때문에 국내에서도 수완계 진동에 대한 강제 규제가 제정 될 것으로 예상된다.

수완계 진동을 감소시키는 1 차적 방법은 공구의 출력을 감소시키는 것이지만, 이는 작업 효율을 저하시키는 물리적 모순을 갖고있다. 이러한 물리적 모순을 해결하기 위한 방법으로는 진동 발생원과 인체로 전달되는 경로를 분리하거나 동력공구에서 발생하는 진동 중에서 인체에 유해성이 큰 주파수 성분을 제거 또는 감소시키는 것이 될 수 있다.

세계적인 공구 제조사인 BOSCH 에서 수전달 진동을 획기적으로 감소시킬 수 있는 핸들을 개발하여 전동공구에 적용하였다. 본 연구의 목적은 BOSCH 사에서 개발한 전동 공구용 방진 핸들의 진동 저감 원리와 성능을 규명하고, 인체 피폭량을 기준으로 하여 진동 저감 효과를 평가하여 향후 국내 공구 제조업체의 대응 방안에 대해 모색해 보고자 함이다.

2. 방진 핸들 성능 평가 시험

2.1 평가 항목

Fig 1 에와 같은 9" 그라인더를 대상으로 BOSCH 사에서 공급하는 방진 핸들(Vibration-proof handle)과 일반적으로 국내에서 사용되고 있는 보조핸들을 대상으로 진동 전달률을 비교하

* 책임저자, 정회원, 고등기술연구원 제품기술연구센터
아주대학교 기계공학과 대학원
E-mail : oaat8@iae.re.kr
Tel : (031)330-7411, Fax : (031) 330-7116
** 정회원, 고등기술연구원 제품기술연구센터
*** 정회원, 아주대학교 기계공학과

고, 또한 실험실 내에서 현장과 같은 작업 환경을 구현하여 ISO 5349-1(2001)을 기준으로 한 인체 피폭량을 비교하였다. 수완계 진동의 측정 물리량은 가속도이며, 평가량은 '주파수 가중된 실효치 가속도 진동 총값(Vibration total value of frequency weighted r.m.s. acceleration)'을 사용한다.^{2,3)}

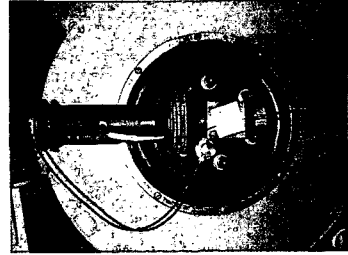


Fig. 1 the 9" Grinder with the Vibration-proof handle

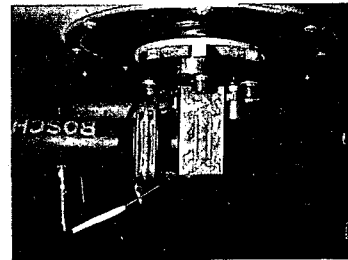
2.2 진동 전달률 측정 실험 및 결과

가진기에서 가해지는 진동이 파지부에서 작업자의 손으로 전달되는 특성을 확인하기 위해서 Fig. 2의 (a),(b)와 같이 방진 핸들을 고정 블록을 이용하여 가진기의 가진 방향에 대해서 수직으로 부착하였고, 가속도계를 가진기의 기진부와 핸들 파지부의 중심에 각각 하나씩 부착하였다. 가진 형태는 랜덤으로 하였고, 가진력의 크기는 30 mm/sec (r.m.s.)의 속도로 주었다. 방진 핸들과 일반핸들에 대해서 작업자가 작용력을 가하지 않은 경우와 두명의 작업자가 각각 작용력을 가한 경우에 대해서 주파수 응답함수를 구하였다. 일반 핸들과 방진 핸들에 대한 주파수 응답함수는 Fig. 3 및 Fig. 4와 같다.

일반 핸들의 경우는 공진 주파수가 약 300 Hz 부근이며, 대부분의 주파수 영역에서 작업자가 핸들을 쥐고 있는 동안에 0 dB 이상이므로 진동을 증폭 시키는 것으로 볼수 있고, 방진 핸들의 공진 주파수는 약 90Hz로서 공구의 기본 회전수를 기준으로 설계 되어 있으며, 작업자가 핸들을 파지한 경우에는 350 Hz 까지의 주파수 범위에서 진동 전달률이 0 dB 이하이므로 진동이 감쇄되어 전달된다. 이체 피폭량 계산을 위한 주파수 가중치 적용시에 있어서 350 Hz 이상의 주파수 성분을 가지는 가속도는 유해성 평가에 5% 만 기여하고, 이 이상의 주파수 성분은 더욱 기여도가 낮으므로, 방진 핸들의 진동 절연 효과가 우수한 것으로 평가할 수 있다.



(a) Front view



(b) Top view

Fig. 2 The Experimental setup for the measurement of frequency reponse function of the vibration-proof handle

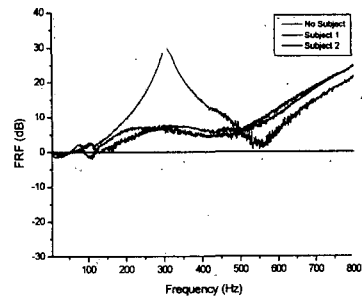


Fig. 3 The FRF of the common side handle

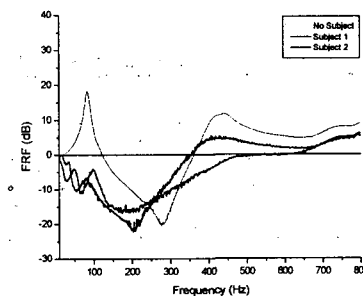


Fig. 4 The FRF of the Vibration-proof handle

방진 핸들의 진동 절연 효과를 규명하기 위해서 Fig. 5 와 같이 방진 핸들의 구조를 살펴보면, 중앙부에 돌출된 볼트는 핸들이 과도한 변형을 하지 못하도록 스톱퍼(Stopper)의 역할을 하고 있고, 벨로우즈 형태로 제작된 방진 고무는 표면의 면적을 증가시켜 변형시 응력 집중을 최소화함으로써 고무재질의 내구성을 확보하기 위한 것이다. 방진 핸들의 진동 절연 효과는 핸들 전체가 동흡진기(Dynamic Damper)의 역할을 함으로써 발생하는 것으로 판단된다.

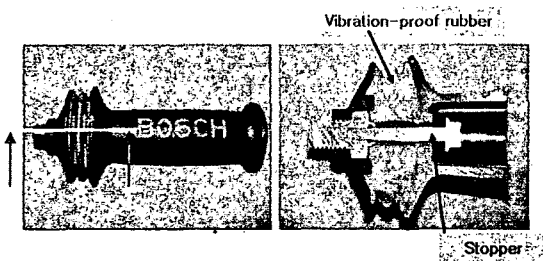


Fig. 5 The section of the vibration-proof handle

2.3 인체 피폭량 측정 실험 및 결과

수완계 진동을 측정하고 인체에 미치는 유해성을 평가하는 대표적인 규격은 ISO 5349(2001)이므

로, ISO 5349-1 에서 제시하는 주파수 가중치(Frequency-weighting)를 적용하여 방진 핸들과 기존의 상용화 된 보조 핸들에서의 인체 피폭량을 비교하였다.

인체 피폭량 측정시스템은 초소형 3 축 가속도계를 이용한 가속도 측정장치와 측정되는 신호를 제어하기 위한 PC 기반 데이터 처리 장치와 LabVIEW 프로그램으로 구성된다. 프로그램에서는 주파수 가중치 적용과 실시간 데이터 분석 및 처리가 가능하도록 하였다.

Table 1 의 결과는 아이들링 상태와 그라인딩 작업 상태에서 그라인더의 몸체와 핸들에서 측정 한 수완계 진동 피폭 평가량이다. 진동 피폭 평가량 a_{hv} (root sum of squares of weighted r.m.s. accelerations)는 아이들링 상태일 때 보다 그라인딩 작업 일 때 상대적으로 낮음을 알 수 있다. 이 결과는 아이들링 상태에서 발생하는 진동이 주파수 가중치 적용시 가중치가 큰 영역의 주파수 범위에 존재하기 때문이다.

Table 2 는 아이들링 상태에서 2 명의 작업자를 대상으로 한 실험의 결과이다. 방진 핸들 적용 후 피폭 진동량(a_{hv})이 일반 핸들 적용시 대비 각각 17%, 28% 저감되었다. 이때, 개인별 차이와 동일 작업자의 시험 회차에 따른 차이는 작업도중 악력과 이송력 등의 작용력의 변화와 작업자의 신체 특성에 의해 핸들에 부가되는 동특성의 차이에 기인한다.^{6,7)}

Table 1 The Comparison of evaluation of human exposure to vibration with the vibration-proof handle

	a_{hx} (m/s^2 , r.m.s.)		a_{hy} (m/s^2 , r.m.s.)		a_{hz} (m/s^2 , r.m.s.)		a_{hv} (m/s^2 , r.s.s.)	
	Idling	Operating	Idling	Operating	Idling	Operating	Idling	Operating
Body	5.88	4.72	5.88	4.23	2.53	2.71	8.69	6.89
Handle	7.01	5.05	3.12	3.93	4.98	3.03	9.15	7.08

Table 2 The Comparison of evaluation of human exposure to vibration with the vibration-proof handle and the common side handle

	a_{hx} (m/s^2 , r.m.s.)		a_{hy} (m/s^2 , r.m.s.)		a_{hz} (m/s^2 , r.m.s.)		a_{hv} (m/s^2 , r.s.s.)	
	Subject 1	Subject 1	Subject 1	Subject 2	Subject 1	Subject 2	Subject 1	Subject 2
일반 핸들	7.11	9.87	3.93	5.03	4.55	4.31	9.31	11.89
BOSCH 핸들	4.79	5.70	5.86	6.09	1.373	1.88	7.69	8.55

인체의 진동 피폭 평가량의 평균 22% 감소는 유럽 등의 선진국에서 활용되는 작업조건 관리지침(UK Action limit)의 공구의 진동량에 따른 일간 작업 허용 시간(순수히 가공이 이루어지는 시간)을 제한하는 가이드라인을 기준으로 할 때⁸⁾, 해당 공구(Bosch 9" 그라인더, GWS21+230JH)에 일반 핸들을 장착한 경우에는 33 분, 방진 핸들을 장착한 경우에는 57 분으로서, 방진 핸들을 사용하였을 때 일간 허용 가공시간을 약 1.7 배 증가시키는 효과를 보이고 있다.

3. 결론

동력 공구를 사용하는 작업자의 보건과 관련하여 관심의 초점이 되고 있는 수완계 진동이다. 수완계 진동 피폭량 저감을 위한 연구의 일환으로 국내보다 능동적으로 대처하고 있는 선진국의 방진 핸들을 대상으로 실험을 수행한 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 방진 핸들의 진동 저감 원리는 공구 핸들 자체를 동흡진기(Dynamic damper)로 구현하여 아이들링 및 가공시에 발생하는 주요 진동 주파수 성분을 저감하는 것이다.

2. 인체의 수완계(Hand-arm system)에 미치는 유해성을 기준으로 판단할 때, 방진 핸들은 피폭량 저감효과 및 허용 작업시간 증대 효과가 큰 것으로 판단된다.

3. 공구 작업의 효율을 감소시키지 않으면서 수완계 진동 평가량을 저감시키는 방법으로 방진 핸들의 도입은, 공구 진동에 대한 규제가 엄격한 유럽, 미국 지역에서의 마케팅에 미치는 긍정적인 효과가 클 것으로 판단된다.

참고문헌

- (1) M. J. Griffin, 1990, "Handbook of Human Vibration", Academic Press
- (2) ISO 5349-1:2001, Mechanical vibration - measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 1: General requirements
- (3) ISO 5349-2:2001 Mechanical vibration - Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration - Part 2: Practical guidance for measurement at the workplace
- (4) KS B 2041 진동 및 충격-용어
- (5) ISO 8662-1~14 Hand-held portable power tools-Measurement of vibrations at the handle
- (6) 최석현 등, 2004, "수전달 진동 평가를 위한 공구핸들에서의 진동과 작용력의 동시 측정", 추계학술 발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 689~694.
- (7) 최석현 등, 2003, "수완계 진동 평가에 영향을 미치는 작용력의 측정", 추계학술발표회 논문집, 한국소음진동공학회, pp. 1038~1042.
- (8) BS 6842:1987 Guide to measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand