

# 저진동 공구 개발 가이드라인 구축을 위한 실험적 연구

## An Experimental Research for the Development of the Guideline of Low Vibration Hand Tools

최석현† · 장한기\* · 오승준\*\* · 노종진\*\*

Seok-Hyun Choi, Han-Kee Jang, Seung-Jun Oh, Jong-Jin Noh

**Key Words:** Power tool (동력 공구), Hand-arm system (수완계), Hand-transmitted vibration (수전달 진동), Health (보건), Guideline (가이드라인)

### ABSTRACT

The reduction of tool vibration has been a serious issue for both employers and workers because of the risks of vibration transmitted to the workers. In this study a hand-arm vibration measurement and evaluation system was developed based on ISO 5349:2001 and used for analyzing relation of vibration level and components of tools. This system consists of a notebook PC installed a LabVIEW program and the data acquisition system including two 3-axial accelerometers and a NI-DAQ card. Vibration measurement tests were conducted for eight angle grinders and four impact wrenches where 3 subjects were used for each of the tools. The relation between different components of each tool and its vibration total value made it possible to set-up a guideline of tool design. In the past engineers developed tools by using their experience and intuition, but by using this system it became possible to design tool components so as to minimize the risks of hand-transmitted vibration.

### 1. 서론

1839년 공기압 공구(Pneumatic tools)가 프랑스 탄광에서 사용된 것을 시초로, 19세기 이후 동력 수공구(Power hand-held tools)는 자동차 조립 라인과 조선회사를 비롯한 많은 사업장 근로자들에 의해 사용되기 시작하였다. 동력수공구를 사용의 증가와 더불어 산업 보건과 관련된 문제점이 발생하였는데, 동력수공구에서 발생하여 작업자의 손을 통해 신체로 전달되는 충격 및 진동이 인체에 미치는 유해성에 대해서 1862년 레이노드 박사에 의해 발표된 이래 현재까지 많은 연구가 수행되어왔다. 공구의 진동 및 충격은 '수완계 진동(Hand-arm vibration)' 또는 '수전달 진동(Hand-transmitted vibration)'의 용어로 사용되며, 작업 효율을 저감시키고, 장기간 피폭되면 혈관계, 신경계 그리고 근골격계 장애등과 같은 수완계 진동 증후군(HAVS, Hand-arm vibration induced syndrome)을 유발할 수 있다<sup>(1)(2)</sup>. 대부

분의 선진국에서 이러한 장애들을 산재 목록에 포함시켜 발병한 근로자에게 보상을 하도록 규정하고 있을 뿐 아니라, 동력공구를 사용하는 작업자들의 일간 진동 피폭량을 제한하는 규정을 시행해 오고 있다. 이와 같은 규정 및 법규들의 1차 목적은 작업자의 보건을 위한 것이지만, 작업자의 산업재해는 결국 소속회사와 관련업계에 경쟁력 저하를 의미하므로, 진동 피폭량을 제한하는 것은 결국 양자에게 모두 이익이 된다. 최근에는 국내에서도 공구진동이 근골격계 질환의 유해요인의 하나로 부각되어 사회적 문제가 되고 있으며, WTO 체제의 상호인증제도의 도입에 따라 인체에 미치는 동력 공구의 진동을 평가하는 KS 규격이 속속 제정되고 있으며, 한편 생산 현장에서의 진동 피폭량에 대한 규제가 조만간 도입될 것이 예상된다. 규제가 도입될 경우, 소비자들은 진동 피폭량에 대한 객관적 데이터를 보유하지 못한 국산 공구 대신 외국제품을 구입할 수밖에 없게 되고, 저진동 공구개발이 늦어질 경우 국내 공구업체는 도태될 수밖에 없을 것이다. 향후 동력공구의 제품경쟁력은 이미 안정화 단계에 도달한 기본 성능이 아니라 인체에 대한 유해성의 크기로 결정될 것이므로, 이와 같은 맥락에서 동력공구의 진동을 정확히 측정하고 평가하기 위한 기술의 현장 적용은 국내 시장의 보호뿐만 아니라 수출 경쟁력 증

† 책임저자: 정회원, 고등기술연구원 제품기술연구센터, 아주대학교 기계공학과 대학원

E-mail : oaat8@iae.re.kr

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

\* 고등기술연구원 제품기술연구센터

\*\* 양산기공 주식회사

대를 위해서 절실히 요구된다.

본 연구에서는 인체에 유해한 공구 진동 성분을 저감하여 공구 사용자의 질병발생을 사전에 억제함과 동시에, 인체에 미치는 공구 진동량을 공구선정의 기준으로 삼는 고가 공구 시장으로의 진출을 위한 기반을 조성하는데 있다. 이를 위해 연구 개발 과정은 크게 2 단계로 나뉜다. 먼저, 1 단계에서는 ‘수완계 진동 측정 및 평가 시스템’을 구축하는 것으로서 공구에 의해 인체에 미치는 유해성, 즉 진동 피폭량을 정확하게 측정할 수 있는 기술을 적용한 측정 및 평가 시스템으로 개발하는 것이고, 2 단계에서는 개발한 시스템을 적용하여 공압 임팩트 렌치와 앵글 그라인더 등의 공구류의 설계 부품과 인체 피폭량의 상관관계를 분석하여 저진동 공구 개발을 위한 가이드라인을 확립하는 것이다.

## 2. 저진동 공구 개발 가이드 라인 구축

### 2.1 저진동 공구 개발을 위한 시스템 구축

공구 자체의 진동을 측정하는 것이 아닌, 진동이 인체에 미치는 영향을 보다 정확하게 평가하기 위해 ISO 5349:2001<sup>(3)(4)</sup>은 3 축에서의 진동 측정을 권장하고 있다. 이때, 적용하는 좌표는 접촉점 기준 좌표계(Basicentric coordinates)를 사용하며, 작업자의 손과 공구 손잡이 사이의 작은 공간에서 가속도를 측정토록 권장하고 있다. ISO 5349-1 에서 평가량을 산출하기 위해 제시하는 신호처리의 방법은 Fig. 1 과 같이 요약할 수 있다.

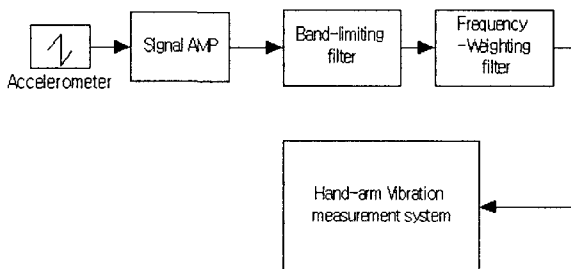


Fig. 1 수완계 측정 시스템의 개념도

대역제한 필터(Band-limiting filter)는 5.6Hz 에서 1250 Hz 사이의 옥타브밴드 범위로 진동의 주파수를 제한하고자 저역통과 필터(Low-pass filter)와 고역통과 필터(High-pass filter)를 결합한 필터이고, 주파수 가중필터(Frequency

weighting filter)는 손으로 전달되는 각기 다른 주파수의 진동에 주파수 가중치를 주기 위한 필터이다.

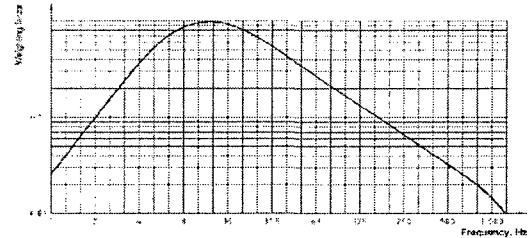


Fig. 2 주파수 가중치 곡선

수완계 진동 측정 시스템(Hand-arm vibration Measurement system)은 3 축으로 측정된 주파수 가중된 가속도를 식(1)과 같은 방법으로 각각 주파수 가중된 가속도의 실효치를 구하고, 식(2)와 같이 벡터의 크기를 구하는 방식으로 합산(root sum of squares)하여 평가량인 진동 총값( $a_{hv}$ )을 계산하는 역할을 한다.

$$r.m.s. = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N a_{wi}^2} \quad (1)$$

$$a_{hv} = \sqrt{a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2} \quad (2)$$

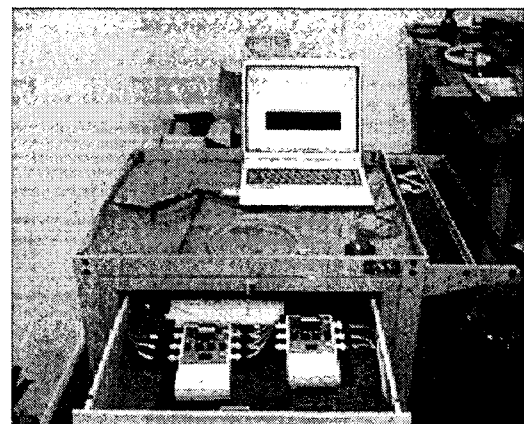


Fig. 2 측정 시스템 구성

수완계 진동 피폭량 측정 및 평가 시스템의 주요 하드웨어로서 초소형 3 축 가속도계(PCB 356A01), 가속도계 앰프(PCB 480B21), Data

acquisition Card(NI 6062E)를 내장한 노트북이며, National Instruments 의 LabVIEW 프로그램을 이용하여 작성한 측정 및 평가 프로그램으로 구성된다. 또한 측정 시 가속도계의 위치가 공구 진동에 의해 변하는 것을 방지하기 위해 가속도계가 삽입될 수 있는 유연한 재질의 보조용구(Adapter)를 사용 하였다<sup>(5)</sup>.

### 2.2 공구 설계 가이드라인 구축

본 연구에서는 공기압으로 구동되는 앵글 그라인더와 임팩트 렌치를 대상으로 설계 인자와 진동 피폭량과의 상관 관계를 규명하여 공구의 진동을 저감하기 위한 설계 가이드라인을 구축을 위해 실험을 수행 하였다.

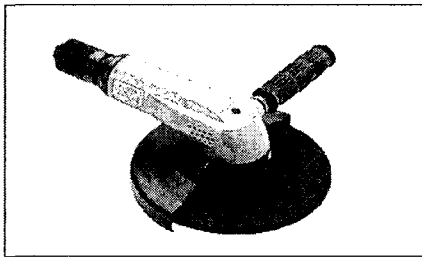


Fig. 4 앵글 그라인더

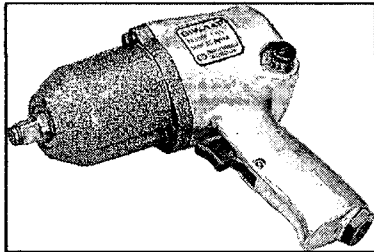


Fig. 5 임팩트 렌치

이를 위해서 앵글 그라인더에 대해서는 3 종의 설계 변경인자를 선정하여 8 종(2<sup>3</sup>)의 모델을 제작하였고, 임팩트 렌치에 대해서는 2 종의 설계 변경인자를 선정하여 4 종(2<sup>2</sup>)의 모델을 제작하였다.

Table 1 앵글 그라인더의 설계변경인자 적용

설계인자 \ 공구	1	2	3	4	5	6	7	8
절첩식 핸들 장착		○			○		○	○
방진 Cashing Cover			○		○	○		○
볼베어링 직경 증가				○		○	○	○

Table 2 임팩트렌치의 설계변경인자 적용

설계인자 \ 공구	1	2	3	4
Motor Assy 길이 증가		○		○
Hammer 강도 증가			○	○

Table 1 과 2 는 설계변경인자가 적용된 공구 모델이다. 3 인의 작업자에 대해서 3 가지 작업 조건으로 공구 모델별로 10 회씩 측정하였다.

### 3. 시험결과 및 고찰

진동 피폭량인 진동 총값을 계산하여 설계 변경인자와의 상관관계를 분석하였고, 결과를 통해 설계 변경인자가 진동 저감에 기여하는 정도를 분석하였다. Fig. 6 과 7 은 앵글 그라인더와 임팩트 렌치에 대해 각각 작업모드 별로 측정된 실험결과를 산술 평균하여 그래프로 나타낸 것이다.

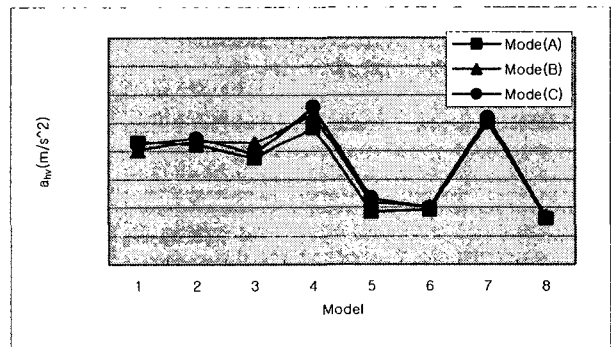


Fig. 6 앵글 그라인더의 진동 총값

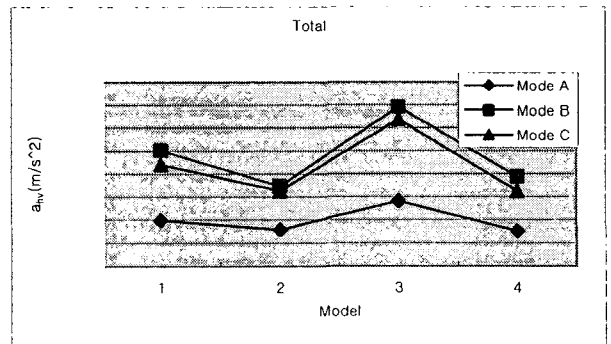


Fig. 7 임팩트 렌치의 진동 총값

기존 제품(1)과 3 개의 설계 변경인자를 적용한 앵글 그라인더의 수완계 진동 측정결과(Fig. 6)의 분석을 통해서 다음의 결론을 얻을 수 있다.

- 작업 모드가 바뀌어도 전체 적인 진동 피폭량의 변화 경향은 일치한다.
- 볼 베어링의 직경을 증가시켜 케이싱의 두께가 줄어든 경우에는 진동 피폭량이 증가하였고, Casing Cover 를 삽입한 경우에는 감소하였다. 그리고 두개의 변경인자가 공존하는 경우에 Casing Cover 의 진동 절연 성능이 우수하다. 즉, 공구의 내구성을 고려하여 볼 베어링의 직경을 증가시킨 것은 진동 피폭량을 크게 하였으나, Casing Cover 를 사용하면 증폭되는 것을 막을 수 있다.
- 볼 베어링과 Casing Cover 를 모두 적용한 모델(6)과 (8)은 내구성과 진동 피폭량의 측면에서 모두 우수할 것으로 예상된다. 특히 모델(8)은 사이드 핸들을 접을 수 있는 기능이 있어 작업을 용이하게 하는 장점이 있고, 진동 피폭량이 증가하지 않으므로 현장 적용에 문제가 없을 것으로 판단된다.

2 개의 설계 변경인자를 적용한 임팩트 렌치의 수완계 진동 측정결과(Fig. 7)의 분석을 통해서 다음의 결론을 얻을 수 있다.

- 그라인더와 마찬가지로 작업 모드가 바뀌어도 전체 적인 진동 피폭량의 경향은 일치한다.
- 모델(3)의 경우 진동 총값이 증가하였는데, 모델(3)은 Hammer 의 재질을 변경하는 것으로 Hammer 의 강도가 커지면서 Anvil 을 타격하는 충격력이 커졌기 때문이며, 내구성 면에서는 향상될 수 있지만, 진동 피폭량의 측면에서는 바람직하지 못한 것으로 판단된다.
- 모델(2)와 (4)는 기존 제품에 비해 진동 총값이 감소하였다. Motor Ass'y 길이를 변경하여 적용한 모델들인데, 시험전에는 공구의 출력의 향상되어 진동이 증가 할 것으로 예상하였으나, 측정 결과 진동 저감 효과를 가져왔다. 또한, 모델(4)의 경우는 Hammer 재질 변경으로 인한 진동 증가 효과를 상쇄시킬 수 있으므로, 내구성 향상과 진동 피폭량 저감의 효과를 모두 만족시킬 수 있었다.

#### 4. 결론

본 연구에서는 인체 피폭량 측정 시스템을 이용하여 앵글 그라인더와 임팩트 렌치를 대상으로 기존의 제품과 부품의 설계 변경을 통해 제작한 공구에 대해서 진동 피폭량을 측정하였다. 그 결과 설계 변경인자와 진동 수준의 상관관계를 분석하여 설계 가이드라인을 구축하였다. 저진동 공구개발

의 기술력을 확보하여 제품 개발 주기 단축에 활용할 수 있을 것으로 예상하며, 본 연구 개발에서의 가장 큰 의의는 이전까지 경험과 직관에만 의존하여 개발하였던 공구 설계 과정의 오류에서 벗어나 진동 피폭량을 설계 기준의 하나로 정립하였다는 것이다. 본 연구 과정에서 시험이전에는 앵글 그라인더의 볼 베어링의 직경을 증가시킨 것은 진동량을 감소할 것으로 예상하였으나, 케이싱의 두께가 줄어들게 되어 오히려 진동이 증폭되는 결과를 가져왔고, 또한 임팩트렌치에서 Motor Ass'y 의 길이를 증가시킨 것은 진동을 증폭시킬 것으로 예상하였으나, 오히려 진동 피폭량이 감소하는 결과를 가져왔다. 공구 진동을 저감에 대한 소비자의 요구가 지속되어왔지만, 진동 피폭량을 측정할 도구의 부재로 인해서 측정 데이터를 제시할 수 없었는데, 수완계 진동 측정 및 평가 시스템 구축과 활용을 통해 설계 부품이 진동 수준에 어떤 영향을 미치는지에 대한 상관관계를 규명할 수 있는 계기가되었다.

#### 후 기

본 연구의 일부는 중소기업청에서 시행한 '중소기업기술혁신 개발사업'의 지원으로 수행되었습니다.

#### 참고문헌

- (1) Griffin, M. J., 1990 Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- (2) 장계길 외, 2003, "동력수공수의 소음 진동 평가 및 관리 방안 연구." 한국 산업 안전공단, 산업안전 보건연구원.
- (3) 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.
- (4) ISO 5349-2, 2001, Mechanical vibration -Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration 2: Practical guidance for measurement at the workplace, International Organization for Standardization, Geneva.
- (5) 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.