

■ 연구논문

손-팔 시스템에 전달되는 전동수공구의 진동감쇠 특성
-Vibration Damping Characteristics of the Powered Hand Tools
on Hand-Arm System-

장 규 표*
Jang, Kyu Pyo
김 길 주**
Kim, Kil Joo
이 동 춘***
Lee, Dong Choon

ABSTRACT

In this study, the vibration damping characteristics of the powered hand tools transmitted in hand-arm system were examined and compared. The types of powered tools for the experiment are general typed drill, impact drill, grinder, and wire brush. To analyze the characteristics of vibration damping, the magnitude of acceleration of vibration on X, Y, and Z direction at tool, hand, wrist, and the joint between forearm and upper arm were measured respectively.

The results indicated that impact drill generated the highest value of acceleration of vibration among the four types of tools used in the experiments. The highest value of the amount of acceleration of vibration was found in the direction of Y. And the amount of acceleration of vibration was significantly affected by the type of tool, type of work, and pushing forces. As become the more distant from the tool, the smaller the amount of acceleration of vibration. Also, the bigger the pushing force at the tool, the higher the acceleration of vibration.

* 창원전문대학 산업공학과 교수

** 동아대학교 산업공학과 박사과정

***동아대학교 산업시스템공학과 교수

1. 서론

공구는 특정 기능을 수행하기 위한 것뿐만이 아니라, 인간의 물리적인 한계를 극복할 수 있도록 설계되고 선택되어야 한다. 인간공학적으로 잘 고려된 설계와 적절한 공구의 선택은 생산성 및 제품 품질 향상과 근로자들의 노동력 손실 감소 등에 기여한다(Waterbury, 1986). 반대로 좋지 못한 설계와 과도한 사용은 손과 손목, 팔 등에 있어서 CTDs의 유발 원인이 되고(Armstrong, 1983; Aghazadeh and Mital, 1987), 작업의 생산성에도 중대한 부정적인 영향을 미치며, 낮은 생산성은 작업자의 직장 만족과 근로 동기를 저하시키는 연쇄작용을 일으킨다(Eklund, 1995). 특히 전동공구의 크기, 무게, 형태 및 진동 특성 등은 작업자의 누적 스트레스로 인한 외상병을 유발시키는 중요한 요소들이라고 할 수 있으므로(Cannon et al., 1981; Freivalds and Eklund, 1993; Schwartz, 1989) 진동을 흡수하는 물질의 사용이나 진동 주파수, 공구 무게, 일일 총 사용 시간 등의 조정을 통하여 그 악영향을 최소화 할 필요가 있다.

따라서 본 연구에서는 전동수공구를 사용할 때 공구에서 발생하는 진동으로 인한 여러 가지 악영향을 최소화하기 위해 전동수공구 사용 시 전완에 전달되는 진동 특성을 각 부위에서 측정된 진동 가속도를 이용하여 분석하고자 한다. 본 연구에서는 주조공장, 조선소, 자동차 정비소, 건설현장 등 산업현장에서 가장 보편적인 작업이라고 할 수 있는 드릴링 작업과 그라인딩 작업을 대상으로 하였으며, 각 작업별로 두 가지 공구 유형에 따른 진동감쇠 특성을 조사하였다. 드릴링 작업에서는 일반형 드릴(general typed drill)과 충격형 드릴(impact drill), 그리고 그라인딩 작업에서는 그라인더(grinder)와 와이어 브러쉬(wire brush) 등 4가지 종류를 실험에서 사용하였다. 이러한 연구의 결과는 각 공구의 진동 크기와 손, 손목, 팔 등의 전완 각 부위에서의 감쇠 정도를 알 수 있게 함으로써 전동수공구의 종류의 선택과 사용 조건의 설정 등 전동수공구 사용으로 인한 직업적 상해를 예방할 뿐만 아니라 인간공학적 작업설계의 기초자료로 유용하게 활용될 수 있을 것이다.

2. 실험 방법

2.1 피실험자

본 연구의 실험에는 손과 손목을 포함한 상지에 어떠한 종류의 질환 또는 상해 경험이 없는 신체 건강한 남자 대학생 15명을 대상으로 하였다. 피실험자의 평균 연령은 22.86 ± 1.70 [세]이었으며, 평균 신장은 175.14 ± 4.37 [cm], 평균 몸무게는 68.36 ± 8.18 [Kg]이었다.

2.2 실험장치

본 연구의 실험에 사용된 실험 장치 및 장비들은 피실험자들의 기본적인 인체계측을 위한 Anthropometer(Martin Type), 높이를 조절할 수 있는 조절식 작업대, 진동측정 및 분석 시스템, 그리고 작업시 작업물에 가해지는 미는 힘(push force)을 일정하게 유지하기 위한 CAS 전자 저울 시스템 등이다. 또한 작업에 사용되어진 공구들로는 충격식 드릴, 일반형 드릴, 전동

그라인더, 와이어 브러쉬 등이다.

여기서 진동공구는 220V, 60Hz의 일반적으로 사용되는 공구를 사용하였고, 충격형 드릴은 25,000회/min 의 타격수를 갖는 것을 사용하였다. 진동 측정 및 분석시스템에서 사용된 분석기는 그림 1에서 보는 바와 같이 AND 3600 WCA-RMA이고, 진동 데이터의 수집을 위한 측정기(Piezo-electronic sensor)의 경우 공구에는 PCB 38730(500G), 손목과 손등에는 Rion사의 Vibration Meter VM-61과 VM-82를 사용하였으며, 팔에는 PCB 7394(50G)를 사용하였다. 진동 측정기의 규격은 표 1과 같고, 표 2는 실험조건 즉, 작업공구에 따른 재료 및 작업시 공구에 가해지는 미는 힘의 크기를 나타낸다.

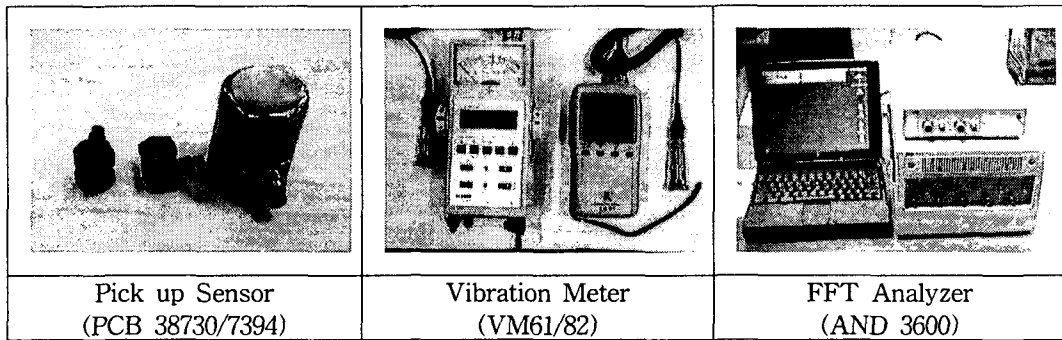


그림 1. 진동 측정 및 분석 장비

표 1. 진동 측정기(Piezo-electronic sensor)의 규격

구 분	PCB 38730	PCB 7394	VM-61	VM-82
측정 주파수 범위	1~10kHz	1~10kHz	3~5kHz	3~5kHz
측정 용량	500G	50G	10G 100G	10G 100G
민감도	±0.5%	±0.5%	3%	3%

표 2. 실험조건

공 구	재 료	재료의 강도	미는 힘	진동측정방향
일반형 드릴	철 판	25.5(Shore hardness)	15 Kgf	X, Y, Z
			25 Kgf	
충격형 드릴	대리석	88.4(Shore hardness)	15 Kgf	
			25 Kgf	
그라인더	철 판 (CO ₂ 용접)	29.5(Shore hardness)	1 Kgf	
			2 Kgf	
와이어 브러쉬	철 판	25.5(Shore hardness)	1 Kgf	
			2 Kgf	

2.3 실험 절차

실험 실시 전 피실험자들을 대상으로 실제 현장에서의 작업환경과 같은 작업조건 아래에서의 모의 작업을 통해 실험조건과 절차에 익숙해지도록 적응훈련을 시켰다. 진동측정시의 작업 자세는 수평면에 작업물을 두고 작업을 하도록 하는 한 가지 작업자세를 취하도록 하여 작업 자세의 변화에 따른 변수를 최소화하였다. 이때 드릴링 작업의 경우 작업물과 공구가 서로 수직을 유지하게 하여 실제 수직면에서의 작업시와 동일한 조건을 유지하도록 하였다. 또한 5명의 피험자를 대상으로 예비실험을 실시하여 전완의 손, 손목, 팔 부위 중 진동 가속도 값이 공통적으로 가장 크게 나오는 부분을 진동 측정 위치로 선정하였다. 예비실험결과 손, 손목, 팔에서의 진동 가속도가 가장 높게 나오는 부분은 모든 피험자가 거의 동일하였다. 그림 2는 진동 측정 위치 및 진동 방향을 나타낸다. 진동 측정 방향은 ISO 5349의 정의에 따라 X, Y, Z의 세 방향으로 설정하고 각 방향에 대한 공구, 손, 손목 및 팔에서의 진동 가속도 값을 측정하였다.

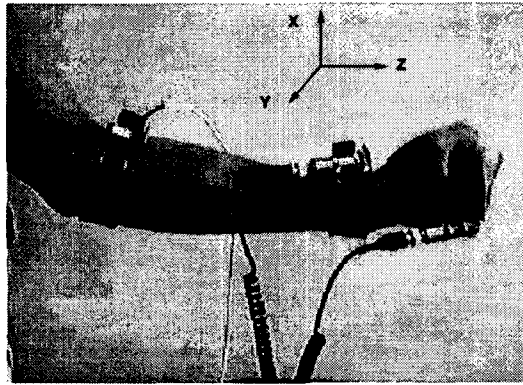


그림 2. 진동 측정 위치 및 진동 방향

본 실험은 미리 준비된 모의 작업장에서 각 실험 세션(session)별로 실시하였다. 각 실험 세션별 작업시간은 약 30초 정도이다. 진동 데이터의 샘플링에 필요한 시간은 약 15초 정도이지만 작업이 안정된 상황에서 데이터의 샘플링이 이루어져야 하기 때문에 작업 안정에 필요한 시간을 포함하면 약 30초 정도가 소요된다. 각 실험 세션별로 정해진 작업조건을 유지하면서 작업을 실시하게 하고, 이때 만약 실험도중 피실험자가 주어진 실험조건을 유지하지 못하였을 경우에는 다시 실시하였다. 각 실험의 순서는 랜덤하게 시행하였다. 각 세션간에는 실험에 의한 피로의 영향을 줄이기 위하여 최소 20분간의 휴식시간이 주어지도록 하였다. 본 연구의 실험절차는 그림 3과 같다.

2.4 분석 방법

실험으로부터 측정된 데이터는 ISO 5349(1986)에서 인체에 영향을 미치는 진동 주파수 범

위를 6.3~1250[Hz]로 규정하고 있으므로, 이 범위에 대한 주파수 성분만을 대상으로 하여 분석하였다. 진동 측정기를 통해 얻어진 진동 데이터를 시간 영역에서의 신호 분석을 위해 고속 푸리에 변환(Fast Fourier Transform)을 하였고, 주파수 영역에서 Spectrum분석(김희강 등, 1992; 우광방과 황금인, 1988; 이채욱, 1997)을 실시하였다. 또한 2수준의 미는 힘과 4가지 공구 요소에 대해 공구와 전완의 각 부위별(손동, 손목, 팔) 진동 방향별 유의성을 평가하기 위하여 1/3 Octave 분석을 통해 얻어진 진동 가속도의 Overall값으로 분산분석을 실시하였다.

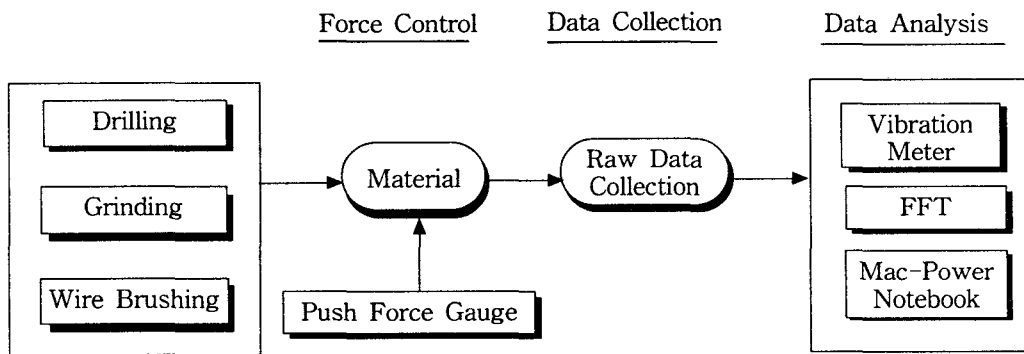


그림 3. 실험 절차도

3. 결과 및 분석

3.1 충격형과 일반형 드릴 작업의 분석

실험 결과는 1/3 옥타브 분석에서의 Overall값을 중심으로 분석하였다. 드릴작업의 각 요인별(작업형태, 진동방향, 가한 힘, 측정부위) 진동 측정 데이터의 차이를 알아보기 위하여 분산 분석한 결과는 표 3과 같다. 이 분산분석에서는 공구와 미는 힘이 주요 요인이기 때문에 그들에 의한 교호작용만 나타내 보였다. 나머지 2인자 교호작용, 3인자 및 4인자 교호작용 효과는 오차항에 플링하였다.

표 3. 드릴링 작업의 분산분석

Source	DF	SS	MS	F
R(Repetition)	14	4.828	0.345	0.04
A(Tools)	1	2139.725	2139.725	227.92**
B(Direction)	2	69.503	34.752	3.70*
C(Push force)	1	122.752	122.752	13.08**
D(Measurement point)	3	6189.229	2063.076	219.76**
A×C	1	97.645	97.645	10.04**
Error	697	6543.676	9.388	
Total	719	15167.358		

* P≤0.05. ** P≤0.01

표 3의 분산분석표를 살펴보면 드릴링 작업에 있어서 반복에 따른 피실험자간의 유의차는 나타나지 않았으나, 공구, 진동방향, 미는 힘, 측정 부위 및 공구와 미는 힘 사이의 교호작용효과에는 유의차가 있는 것으로 나타났다.

충격형 드릴과 일반형 드릴의 진동 가속도에 대한 평균값을 그래프로 나타내면 그림 4와 같다. 그림 4에서 충격형 드릴의 진동가속도 평균값은 $132.38[m/sec^2]$ 로 일반형 드릴의 진동가속도 평균값인 $7.73[m/sec^2]$ 보다 매우 높게 나타났다. 따라서 충격형 드릴의 작업강도가 높음을 알 수 있다.

진동 방향별 진동 가속도 값의 평균을 나타내면 그림 5와 같다. 그림 5에서 Y방향의 진동가속도가 충격형 드릴은 $44.42[m/sec^2]$, 일반형 드릴은 $4.06[m/sec^2]$ 로 X, Z방향의 값보다 높게 나타났다.

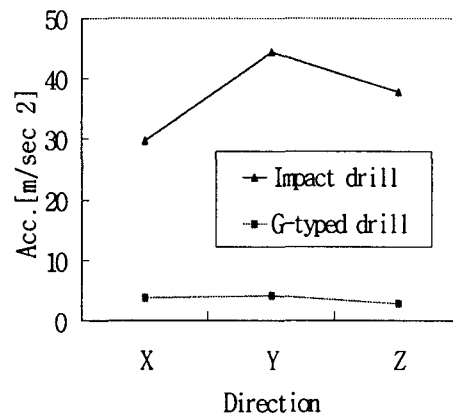
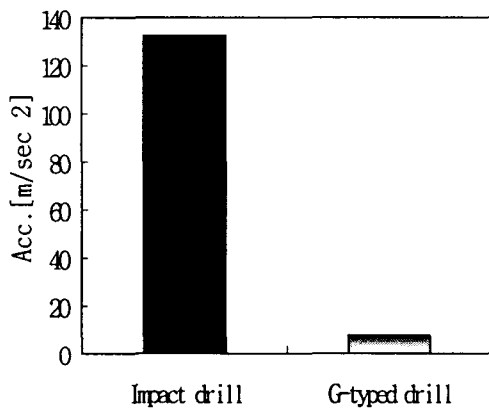


그림 4. 충격형과 일반형 드릴의 평균 진동 가속도 그림 5. 진동 방향별 평균 진동 가속도

미는 힘에 따른 진동가속도의 평균은 그림 6과 같다. 그림 6에서 충격형 드릴은 15[Kgf]일 때 $29.67[m/sec^2]$, 25[Kgf]일 때 $44.98[m/sec^2]$ 이며, 일반형 드릴은 15[Kgf]일 때 $3.10[m/sec^2]$, 25[Kgf]일 때 $3.98[m/sec^2]$ 으로 나타났다. 즉 미는 힘이 클수록 진동가속도는 높게 나타났다. 따라서 드릴 작업에서는 미는 힘에 따라 작업할 때 발생하는 진동의 크기가 달라짐을 알 수 있었다.

또한 측정 부위별 평균 진동가속도는 그림 7과 같다. 그림 7에서 충격형 드릴은 공구에서의 진동가속도가 $132.38[m/sec^2]$ 인데 손에서는 $10.48[m/sec^2]$ 로 92%가 감소되었다. 손목에서는 $5.36[m/sec^2]$ 로 공구의 96%, 팔에서는 $1.09[m/sec^2]$ 로 공구의 99%가 감소됨을 보였다. 일반형 드릴은 공구에서의 진동가속도가 $7.73[m/sec^2]$ 인데 손에서는 $3.26[m/sec^2]$ 로 58%가 감소되었다. 손목에서는 $2.67[m/sec^2]$ 로 공구의 65%, 팔에서는 $0.48[m/sec^2]$ 로 공구의 94%가 감소됨을 보였다. 즉, 공구에서 멀어질수록 진동 감쇠가 많이 일어나 진동의 영향이 작음을 알 수 있었다.

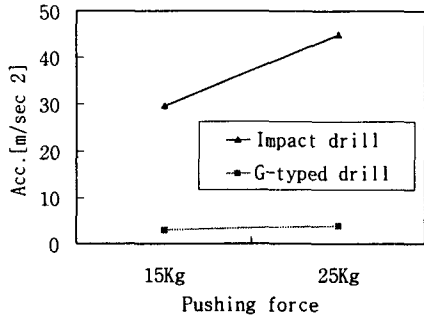


그림 6. 미는 힘별 평균 진동 가속도

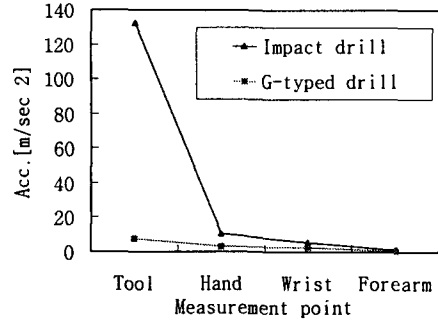


그림 7. 측정 부위별 평균 진동 가속도

3.2 그라인더와 와이어브러쉬 작업의 분석

그라인더 작업의 진동 측정 데이터를 분산분석한 결과는 표 4와 같다. 이 분산분석에서는 주요 요인이 공구와 미는 힘이기에 때문에 공구와 미는 힘의 교호작용 효과를 구하였으나 유의한 차이가 나타나지 않았기 때문에 오차항에 풀링하였다. 나머지 2인자 교호작용, 3인자 및 4인자의 교호작용 효과도 오차항에 풀링하였다.

표 4. 그라인딩 작업의 분산분석

Source	DF	SS	MS	F
R(Repetition)	14	0.047	0.003	0.09
A(Tools)	1	0.597	0.597	18.66**
B(Direction)	2	7.384	3.692	115.38**
C(Push force)	1	0.003	0.003	0.09
D(Measurement point)	3	126.513	42.171	1317.84**
Error	698	22.556	0.032	
Total	719	157.100		

* : P≤0.05, ** : P≤0.01

표 4의 분산분석표를 살펴보면 그라인딩 작업에 있어서도 드릴링 작업에서와 같이 반복에 따른 피험자간의 유의차는 나타나지 않았다. 그러나 각 개별 요인 중 미는 힘에 따른 진동의 차이에 있어서는 드릴링 작업에서와는 달리 유의차가 없는 것으로 나타났다. 이는 수준간의 힘의 차이가 드릴링 작업에서는 10[kgf]인 반면 그라인딩 작업의 경우 1[kgf]로, 수준간의 힘의 차이가 크지 않기 때문인 것으로 추정된다. 그리고 공구, 방향, 측정지점간에는 유의한 차이가 있는 것으로 나타났다.

그라인더와 와이어 브러쉬의 진동 가속도값에 대한 평균을 그래프로 나타내면 그림 8과 같다. 그림 8에서 그라인더의 진동가속도 평균값은 12.16[m/sec²]으로 와이어 브러쉬의 진동가속도

평균값인 $8.76[m/sec^2]$ 보다 높게 나타났다.

진동 방향별 진동 가속도 값의 평균을 나타내면 그림 9와 같다. 그림 9에서 Y방향의 진동 가속도가 그라인더는 $4.91[m/sec^2]$, 와이어 브러쉬는 $4.82[m/sec^2]$ 로 X, Z방향보다 높게 나타났다. 드릴의 경우와 마찬가지로 공구에서는 Y방향의 가속도가 높게 나타나므로 공구의 설계나 작업 방법에서는 Y방향의 가속도가 작게 되도록 설계하는 것이 바람직하다고 생각된다.

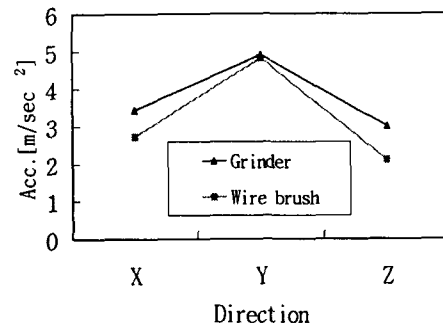
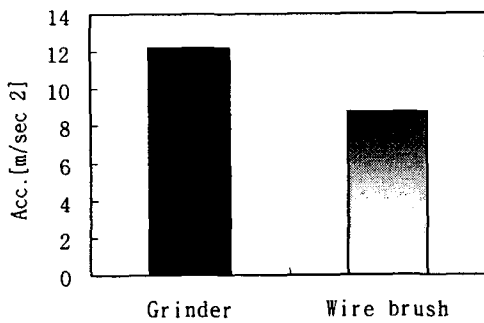


그림 8. 그라인더와 와이어 브러쉬의 평균 진동 가속도

그림 9. 진동 방향별 평균 진동 가속도

또한 미는 힘에 따른 진동가속도의 평균은 그림 10과 같다. 그림 10에서 그라인더는 1[Kgf]일 때 $3.70[m/sec^2]$, 2[Kgf]일 때 $3.84[m/sec^2]$ 이며, 와이어 브러쉬는 1[Kgf]일 때 $3.23[m/sec^2]$, 2[Kgf]일 때 $3.19[m/sec^2]$ 로 나타났다. 여기서는 드릴의 경우와는 달리 미는 힘의 차이가 크지 않기 때문에 미는 힘에 따라서 진동가속도 값이 차이가 나지 않음을 알 수 있다.

측정 부위별 진동가속도의 평균은 그림 11과 같다. 그림 11에서 그라인더는 그 자체의 진동 가속도가 $12.16[m/sec^2]$ 이었으나 손에서는 $2.06[m/sec^2]$ 로 83%가 감소되었다. 손목에서는 $0.79[m/sec^2]$ 로 94%, 팔에서는 $0.11[m/sec^2]$ 로 99%가 감소됨을 보였다. 와이어 브러쉬는 공구 자체의 진동가속도가 $8.76[m/sec^2]$ 이고, 손에서는 $2.91[m/sec^2]$ 로 67%가 감소되었다. 손목에서는 $1.07[m/sec^2]$ 로 88%, 팔에서는 $0.13[m/sec^2]$ 로 99%가 감소됨을 보였다. 그라인더와 와이어 브러쉬의 진동가속도가 일반형 드릴의 진동가속도와 비슷하기 때문에 각 측정부위에서의 감소 특성도 비슷하게 나타났다.

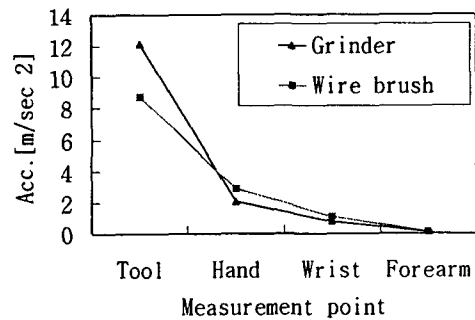
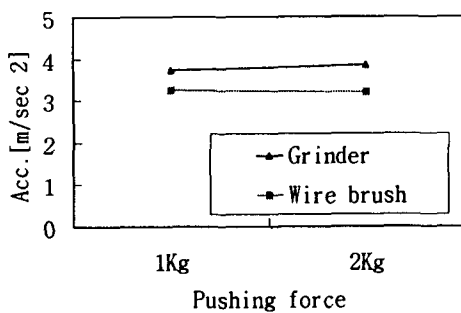


그림 10. 미는 힘별 평균 진동 가속도

그림 11. 측정 부위별 평균 진동 가속도

표 5와 그림 12는 작업별 각 측정 부위에서의 진동 가속도값과 공구에서 발생한 진동의 감소비율을 나타낸 것이다. 공구별 가속도 크기의 비교 결과 충격형 드릴, 그라인더, 와이어 브러쉬, 그리고 일반형 드릴의 순으로 높았다. 그리고 공구에서 발생된 진동의 감쇠 특성 비교에서는 가속도 값이 클수록 손에서부터 감소가 많이 되고 가속도의 세기가 작으면 손, 손목에서는 감소가 적지만 팔에서의 감소는 비슷하게 나타남을 알 수 있다. 따라서 진동의 크기가 클수록 손에서의 진동에너지 흡수량이 많으므로 진동의 영향을 가장 많이 받을 것으로 생각된다.

표 5. 공구별 진동가속도 (단위 : m/sec², %)

공구종류	측정점	공구	측정 부위		
			손	손목	팔
Impact drill	가속도	132.38	10.48	5.36	1.09
	감소비	100	92	96	99
G-typed drill	가속도	7.73	3.26	2.67	0.48
	감소비	100	58	65	94
Grinder	가속도	12.16	2.06	0.79	0.11
	감소비	100	83	94	99
Wire brush	가속도	8.76	2.91	1.07	0.13
	감소비	100	67	88	99

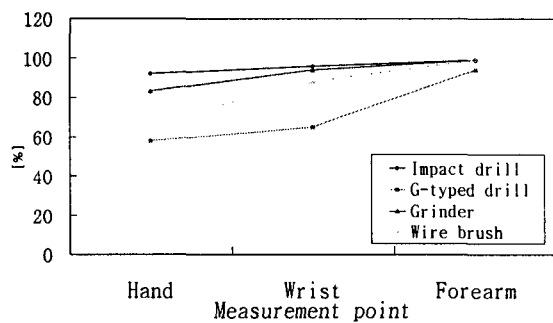


그림 12. 측정 부위별 진동 감소율

또한 사람의 전완이 댐퍼(damper) 역할을 함으로써 거의 모든 진동은 전완에서 흡수된다. 이러한 사실은 전동공구의 사용으로 인한 진동에의 노출은 인체의 전완에서 진동을 거의 흡수하기 때문에 전완은 진동성 백지와 같은 질병의 발병확률이 높을 것으로 생각된다.

4. 결론

본 연구에서는 동력식 수공구 사용 시 공구에서 발생하는 진동이 작업자의 손, 손목, 팔 등 전완의 3부위에 전달되는 진동전달특성을 비교 조사하기 위하여 산업현장에서 많이 사용되어지는 대표적인 동력식 수공구인 일반형 전동드릴, 충격형 전동드릴, 그라인더 및 와이어 브러쉬를 대상으로하여 전동공구별, 작업형태별, 재료별, 미는 힘별로 실험을 실시하였다. 전달된 진동의 크기를 나타내는 파라미터로는 진동가속도를 사용하였다.

본 연구에서 얻어진 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 공구별 진동크기의 비교에서는 일반형 드릴(7.73m/sec²)보다는 충격형 드릴(132.38m/sec²) 이, 그리고 와이어 브러쉬(8.76m/sec²)보다는 그라인더(12.16m/sec²)가 진동 가속도 값이 높게 나타났다.
- (2) 진동 방향에 따른 진동가속도의 크기는 4종류의 공구 모두 Y방향에서 가장 높은 값을 보였다. 따라서 공구의 설계나 작업방법에서 Y방향의 가속도가 작게 되도록 설계하는 것이 바람직하다고 생각된다.
- (3) 전동공구, 진동방향, 미는 힘 및 측정부위에 따라 진동 가속도의 크기에 유의차가 있었다. Brugstörms and Lundstörms(1994)은 손과 팔에 흡수되는 진동에너지를 측정하여 손과 팔의 진동 에너지 흡수는 진동수와 진동 자극의 방향에 영향을 받으며, 높은 악력 즉, 공구를

취는 힘이 클수록 손에서의 진동 감쇠가 많이 이루어져 악력은 진동 감쇠에 영향을 미친다고 보고하였다. 본 연구의 결과와 비교해 보면 진동의 감쇠특성에는 악력뿐만 아니라 미는 힘도 영향이 있음을 알 수 있었다. 즉, 진동의 크기는 전동공구 자체의 진동형태와 작업의 종류, 공구를 쥐는 힘 및 작업물에 가하는 힘의 관계에 의하여 달라짐을 알 수 있었다.

- (4) 작업시 발생한 진동이 전완의 각 부위로 전달되면서 손등, 손목, 팔에서의 진동량이 다르게 나타났다. 즉, 손등, 손목, 팔의 순으로 가속도 값이 적게 나타나 공구에서 멀어질수록 진동의 감쇠량이 많아짐을 보였고, 특히 진동 가속도의 크기가 클수록 손에서의 진동 흡수량이 많았다. 다시 말해서, 이 결과는 공구에서 발생한 진동이 손과 팔에서 대부분 흡수되고, 일정기간 누적되면 전완의 진동중후군으로 발병할 가능성이 높을 것으로 예측된다. 또한 공구에 가하는 힘이 클수록 가속도 값이 높게 나타났다. 이 결과는 힘을 많이 가할수록 근육이 강체(rigid body)에 가까워짐으로써 진동량의 흡수가 적게되기 때문이라고 판단된다.

본 연구에서는 공구, 손등, 손목, 및 팔에서의 진동가속도 값을 측정하여 공구에서 발생한 진동이 전완의 각 부위에서 감쇠되어지는 진동감쇠특성을 조사하였다. 그러나 전완에서의 진동감쇠는 진동 주파수에 따라 달라질 수 있으므로 향후에는 진동 주파수 분석을 통하여 전동공구별 진동 주파수 특성에 대한 비교와 진동 주파수별 진동감쇠특성에 관한 추가적인 연구가 요구된다.

참고문헌

- [1] 김희강, 김인환, 전병영, 전성역, 최신소음진동학, 동화기술, 1992.
- [2] 우광방, 황금인 공역, 신호와 시스템, 청문각, 1988.
- [3] 이채욱, 디지털 신호처리, 청문각, 1997.
- [4] Aghazadeh, F., and Mital, A., "Injuries due to hand tools", Applied Ergonomics, 18(4), pp. 273-278, 1987.
- [5] Armstrong, T.J., "An ergonomic guide to carpal tunnel syndrome", American Industrial Hygiene Association Journal, 43(2), pp. 103-116, 1983.
- [6] Burgström.L., and Lundström.r., "Absorption of vibration in the human hand and arm", Ergonomics, 37(5), pp. 879-890, 1994.
- [7] Cannon, L., Bernacki, E., and Walter, S., "Personal and occupational factors associated with carpal tunnel syndrome", Journal of Occupational Medicine, 23(4), pp. 255-258, 1981.
- [8] Eklund, J. A. E., "Relationships between ergonomics and quality in assembly work", Applied Ergonomics, 26(1), pp. 15-20, 1995.
- [9] Freivalds, A. and Eklund, J., "Reaction torque and operator stress while using powered nutrunners", Applied Ergonomics, 24, pp. 158-164, 1993.
- [10] International Organization for Standardization, "Mechanical vibration - Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand transmitted vibration", ISO 5349, International Organization for Standardization, Geneva, 1986.
- [11] Schwartz, W. H., "Portable power & hand tools, and fasteners", Assembly Engineering, 9, pp. 134-140, 1989.
- [12] Waterbury, R., "Power tools become user friendly", Assembly Engineering, 12, pp. 16-18, 1986.