

## 전동드릴의 진동전달 특성에 따른 적정 드릴 무게의 결정\*

### Determination of Recommendable Powered Drill Weight by the Characteristics of Transmitted Vibration on Hand-Arm System

이 동 춘\*\*, 김 길 주\*\*\*

#### ABSTRACT

In this study, the characteristics of transmitted vibration on HAS(hand-arm system) were identified to evaluate physical load due to the work surface orientation, tool weight and push force during powered drilling tasks. The characteristics of transmitted vibration on work surface orientation showed that the acceleration of transmitted vibration on horizontal work surface was higher than that on the vertical work surface. Regarding the characteristics of transmitted vibration on tool weight, the vibration acceleration level becomes lower as the tool weight becomes heavier. The amount of transmitted vibration on hand-arm system was decreased down to the tool weight of 2.4kg. However, as the tool weight becomes heavier than 2.8kg, the amount of transmitted vibration was increased and had peak value at 3.2kg of tool weight. Regarding the characteristics of transmitted vibration on push force, the vibration acceleration level goes higher, as the push force becomes larger. The characteristics of transmitted vibration on the axis of vibration showed that the direction of  $Z_h$  had the highest acceleration compared to the direction of  $X_h$  and  $Y_h$ . The direction of  $X_h$ ,  $Y_h$  and  $Z_h$  had the highest acceleration of transmitted vibration on the hand, wrist and elbow, respectively. The results of this study showed that the condition which affect the lowest physical load to the subject on the powered drilling task would be working with the 2.4kg of tool weight on the vertical work surface.

Keyword : Transmitted vibration, Hand-arm system, Push force, Vibration acceleration, Work surface orientation

\* 본 논문은 1999년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

\*\* 동아대학교 산업시스템공학과 교수  
전 화 : 051-200-7694

E-mail:dclee@mail.donga.ac.kr

\*\*\* 동아대학교 산업시스템공학과 박사과정

## 1. 서 론

수공구의 적절한 사용은 인간에게 편리함을 가져다주는 반면, 이의 부적절한 사용은 상지에(upper extremities) 근골격계 장애(MSDs : musculoskeletal disorders)와 같은 누적외상병(CTDs : cumulative trauma disorders)의 주요 요인이 된다. 그 중에서도 손목의 반복적 사용으로 인한 손목관절후군(CTS : carpal tunnel syndrome)과 동력화로 인한 진동에 장기간 노출되었을 때 발생하기 쉬운 손-팔 진동증후군(HAVS: hand-arm vibration syndrome) 등은 수공구 사용으로 인해 발생할 수 있는 대표적인 누적외상병이다. 그 외에도 공구의 크기, 무게, 형태 등은 누적외상병을 유발시키는 중요한 요소들이라고 할 수 있다(Schwartz, 1989). Cannon(1981)은 CTS의 직업성 요인에 관한 연구에서 동력 수공구를 사용하는 작업자의 경우 CTS의 발병 가능성이 훨씬 높다고 보고 한 바 있다.

진동 수공구의 사용과 진동에 관한 연구는 크게 나누어 진동이 근육에 미치는 영향과 손과 팔(hand-arm system)에 전달되는 진동 특성에 관한 연구로 대별할 수 있다.

진동이 근육에 미치는 영향에 관해서는 일찍부터 연구되어 왔으며, 손과 팔에 전달된 진동으로 인한 불수의적인 근 수축은 손의 악력 감소를 초래하는 것으로 밝혀져 있다.

진동의 영향조사에는 근전도를 이용하여 여러 수준의 동적, 정적 부하 조건하의 다양한 손-팔 근육의 활동을 조사하고 있다(Gurram 등, 1995). 근전도는 손의 힘, 악력, 최적 손잡이의 크기 결정 등의 목적을 위해 광범위

하게 이용되고 있다(Ayoub와 Presti, 1971). 손에 전달되는 진동에 따른 근육의 반응은 근육의 전기적 활동을 조사함으로써 알 수 있다. Dupuis와 Jansen(1979)은 진동 주파수 8~500Hz 범위 내에서 진동 가속도가 일정할 때 40% MVC(maximum voluntary contraction)에서 5수준의 팔꿈치 각도에 따른 척골쪽손목굽힘근(flexor carpi ulnaris), 상완두갈래근(biceps brachii) 및 상완세갈래근(triceps brachii)의 전기적 활동에 대한 연구에서 척골쪽손목굽힘근의 활동은 진동 주파수와 팔꿈치 각도에 거의 영향을 받지 않지만, 상완두갈래근과 상완세갈래근은 진동 주파수의 영향을 받는다고 결론지었다. 또한 Radwin 등(1987)은 진동 주파수 20~160Hz의 범위에서 4수준의 주파수 크기에 따른 손의 굴근(flexor)과 신근(extensor)의 반응 특성을 근전도 측정을 통해 조사하였다. 특히, Donati 등(1992)은 손-팔의 여러 근육에 대한 진동 반응을 측정하는 가운데 악력이 손가락 신근과 굴근의 근전도 값에 유의한 영향을 미치는 것을 발견하였다. 또한 Gemme와 Saraste(1979)는 국소진동 작업자들 사이에 진동성 백지(VWF: vibration induced white finger)의 발생은 혈류감소와 관계가 있다고 하였고, Gurram(1993)은 동력수공구 작업자들에 있어서 혈류감소는 손과 손잡이 사이의 높은 압력과 관계가 있다고 하였다. 또한 동력 수공구와 관련된 파라미터들 중 손가락 굴근(finger flexor)의 반응에 영향을 미치는 주성분 요소들은 진동방향, 악력, 진동 가속도라고 보고하였다.

한편, 인간의 손과 팔에 전달되는 진동 특

성에 관한 연구로는 먼저 Abrams과 Suggs (1969)의 연구를 들 수 있다. 이들은 피부, 근육 및 골격간의 상대적 동작에 따른 진동측정오차를 줄이기 위하여 해부된 팔의 골격에 측정기를 부착하여 실험한 결과 125~500Hz 사이에서 공진이 발생하고, 300Hz이상의 고주파대역에서 진동 전달이 집중되는 경향을 밝혔다. Pyykkö 등(1976)은 손목, 팔꿈치, 위팔 부위에서 진동 수준과 쥐는 힘에 따라 20~630Hz에서의 진동전달특성을 조사한 결과, 인간의 손과 팔은 20~100Hz사이에서는 옥타브당 3dB의 감쇠를 보이고, 100Hz 이상의 경우 손목에서는 6dB, 팔꿈치와 위팔에서는 10dB이 감쇠됨을 밝혔다. Reynolds 등(1977)은 8.9N과 35.6N의 힘으로 진동 물체를 손바닥으로 잡는 경우와 손가락으로 잡는 경우에 대하여 X, Y, Z축 방향에서 손과 팔의 진동 전달 특성을 실험한 결과 200Hz이상의 주파수에서는 진동이 손과 손가락에 제한됨을 밝혔다. Gurram 등(1994)은 몇 가지 방진장갑의 효과를 알아보기 위하여 손가락, 손가락관절, 손목에 전달되는 진동을 10~500Hz대역의 주파수 범위로 측정하고 분석한 결과 장갑은 전동수공구의 진동감쇠에 효과적이지 않다고 결론지었다. 또한 Burström과 Lundström(1994)은 가진기(vibrator)를 이용하여 4~1,000Hz 대역에서 진동방향, 쥐는 힘, 진동 수준 및 자세별 진동 영향을 분석한 결과, 인간의 손과 팔에서의 에너지 흡수는 진동의 주파수와 방향에 따라 영향을 받으나 자세에 따라서는 큰 영향이 없음을 밝혔다.

이러한 선행 연구들은 진동이 손-팔 근육에

미치는 영향에 대한 평가와 진동 주파수별 인체에 전달되는 특성들에 관한 연구에 한정되어 있고, 공구의 크기, 무게, 형태 등 공구특성을 결정짓는 요소들에 대한 진동 전달 특성에 관한 연구들은 부족한 실정이다. 그러나 진동 유발성 공구 설계시에는 이들 요소들에 대한 평가가 반드시 실시되어야 하며, 작업면에 따른 진동전달특성도 고려하여야 할 요소들이다.

따라서 본 연구에서는 전동드릴작업시의 공구무게와 작업면에 따른 공구-손-손목-팔로 전달되는 진동 전달 특성을 분석하여 진동 수공구 설계 및 작업방법에 대한 인간공학적 지침을 제시함으로써, 전동 수공구 사용으로 인한 장해를 예방하는데 기여하고자 한다.

## 2. 실험방법

### 2.1 피실험자

본 연구의 실험에는 남자 대학원생 3명을 피실험자로 선정하였다. 이들은 다수의 지원자들 중 인터뷰와 Phalen's Test를 통해 손과 손목을 포함하는 상지의 근골격계에 어떠한 종류의 질환이나 상해 경험이 없는 신체 건강한 사람들 중에서 선발되었다. 피실험자들의 평균 연령은  $28.7 \pm 2.1$ 세이고, 평균 신장은  $174.0 \pm 6.3$ cm, 평균 몸무게는  $61.3 \pm 9.4$ kg이었다.

## 2.2 실험장치

본 연구의 실험에 사용된 실험장치 및 장비는 충격형 전동드릴과 CAS 전자식 저울을 이용한 힘 측정 시스템(그림 1), 그리고 진동 측정 및 분석 시스템(그림 2) 등이다. 드릴은 AEG사의 220V/60Hz 전동식 충격형 드릴로서 25,000RPM의 타격수를 갖고 있다.

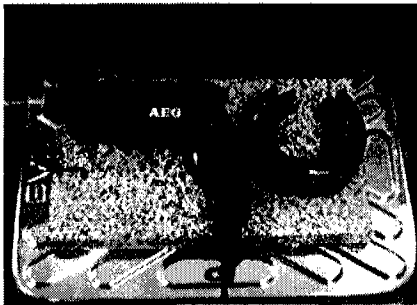


그림 1. 충격형 전동드릴 및 CAS 저울

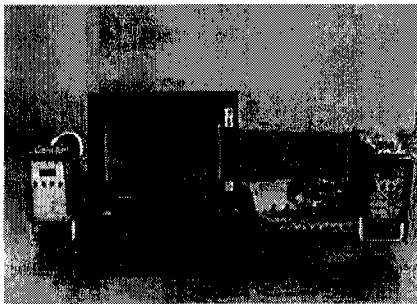


그림 2. 진동측정 및 분석 시스템

드릴 날을 장착하지 않은 상태에서의 공구 무게는 1.6kg, 길이는 270mm이다. 드릴 날은 지름이 8mm인 것을 사용하였다. 그리고 실험 조건별 공구 무게는 날을 이용하여 조절하였다. 진동 가속도계는 KISTLER사의 것을 사

용하였고, 규격은 표 1과 같다. 신호의 획득과 분석을 위하여 n-Code datagate 및 n-Soft system을 사용하였다.

표 1. 가속도계의 모델 규격

Type	SN	측정 용량
8790A500	C125325	500G
8690C50	C127159	50G
8704B50	C109125	50G
8704A50	C109127	50G

## 2.3 실험계획

본 실험에서는 공구무게 5수준(1.6kg, 2.0kg, 2.4kg, 2.8kg, 3.2kg), 작업면 2수준(수평, 수직), 그리고 작업시 미는 힘 3수준(150N, 200N, 250N) 등을 독립변수로 설정하였다. 공구 무게의 수준 결정은 시중에 시판되고 있는 유사한 유형의 충격형 드릴 중 무게의 최대치와 최소치를 구해 5수준으로 나누었다. 그리고 미는 힘의 결정은 예비 실험을 통해 최대 미는 힘과 작업이 가능한 최소 미는 힘을 구해 3수준으로 결정하였다. 재료, 실험시간, 사용하는 손, 손목 자세, 팔꿈치 각도 등은 통제변수로 하였다. 그리고 공구, 손등, 손목 및 팔꿈치의 측정점에서 획득된 각 축 방향의 RMS 진동 가속도 값을 종속변수로 선택하였다. 본 실험에 사용된 변수들을 요약하면 표 2와 같다.

표 2. 실험 변수 및 수준

변 수	수 준
독립변수	공구무게 : 1.6kg, 2.0kg, 2.4kg, 2.8kg, 3.2kg
	작업면 : 수평면, 수직면 미는 힘 : 150N, 200N, 250N 진동방향 : $X_h, Y_h, Z_h$ 측정점 : 공구, 손등, 손목, 팔꿈치
통제변수	재 료 : 대리석(SH 강도 : 88.4) 작업손 : 오른손 손목각도 : 중립 작업시간 : 20초
종속변수	RMS 가속도(G)

2.4 실험절차

실험 목적에 적합한 피실험자를 선발하고, 실험 실시전 피실험자를 대상으로 모의 작업을 통해 실험조건과 절차 및 각 실험 세션별로 정해진 힘 수준에 익숙해지도록 적응훈련을 시켰다. 먼저 작업시 사용되는 신체 부위에 대한 피실험자의 기본적인 인체 계측을 실시하였다. 그리고 진동 픽업(pick up)센서를 ISO 5349에서 정하고 있는 방법에 따라 각 축의 방향을 고려하여 공구의 손잡이 및 피실험자의 손등, 손목, 팔꿈치에 부착하였다. 센서나 케이블의 흔들림에 의한 영향을 최소화하기 위하여 케이블은 하나로 묶어 팔에 고정하였다. 센서의 위치 및 진동 축 방향은 그림 3과 같다. 센서를 부착하고 각 실험 세션별로 정해진 조건에 따라 랜덤하게 실험을 실시하였다. 진동 데이터의 샘플링에 필요한 시간은 약 10초 정도이지만 작업이 안정된 상황에서 데이터의 샘플링이 이루어져야 하기 때문에 작업 안정에 필요한 시간을 포함하면 약 20초 정도가 소요된다. 진동방향은 그림 3과

같이  $X_h, Y_h, Z_h$ 의 세 방향으로 설정하고, 각 측정점에서 진동 축 방향 별로 공구에서의 손과 팔로 전달되는 진동량을 측정하였다.

데이터의 sampling rate는 2,048Hz로 하였다. 실험의 각 세션별로 정해진 작업조건을 유지하면서 작업을 실시하게 하고, 만약 실험 도중 피실험자가 주어진 실험조건을 유지하지 못하였을 경우에는 다시 실시하였다.

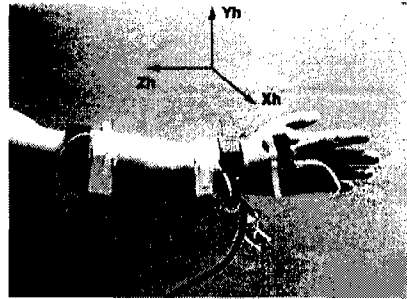


그림 3. 진동 픽업센서 부착점 및 방향

각 세션간에는 피로에 의한 영향을 줄이기 위하여 최소 10분간의 휴식시간이 주어지도록 하였다. 그림 4는 수평 작업면에서의 작업 자세이고, 그림 5는 수직 작업면에서의 작업 자세이다.



그림 4. 수평면에서의 작업자세



그림 5. 수직면에서의 작업자세

## 2.5 데이터 분석

안정된 상태에서 획득된 10초간의 데이터를 시간축을 중심으로 그려진 그래프상에서 눈으로 확인하여 가장 안정된 구간 3초간의 데이터만 취하였다. ISO 5349에서는 인체에 영향을 미치는 진동 주파수의 범위는 6.3~1,250Hz로 규정하고 있으나, 측정결과의 신뢰성을 높이기 위하여 6.3~1,000Hz 주파수 범위에서  $X_h$ ,  $Y_h$ ,  $Z_h$ 의 세 축에 대하여 획득된 RMS 가속도 값을 분석에 이용하였다. 통계적 분석은 SAS 6.12를 이용하여 분산분석 및 Duncan test를 실시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

실험 결과는 RMS 가속도 값을 이용하여 분석하였다. 드릴작업의 각 요인별(작업면, 공구무게, 미는 힘, 진동 방향, 측정점) 진동 가속도의 차이를 알아보기 위한 분산분석 결과를 요약하면 표 3과 같다. 여기서 유의적인 차이가 없는 교호작용효과는 오차항에 풀링하였다. 표 3에서 A는 작업면, B는 공구무게,

C는 미는 힘, D는 진동방향 그리고 E는 측정점을 나타낸다.

그림 6은 공구무게에 따른 진동가속도의 평균 및 Duncan test 결과를 나타낸다. 공구무게에 따른 진동가속도는 통계적으로 유의한 차이를 보였다( $p < 0.01$ ). 진동가속도의 크기는 공구 무게가 1.6kg일때 7.77G, 2.0kg일때 6.89G, 2.4kg일때 6.70G, 2.8kg일때 5.19G 그리고 3.2kg일때 5.10G로 공구의 무게가 무거울수록 진동가속도는 낮은 경향을 보였다. 이는 심한 진동을 수반하는 전동공구의 경우에는 이를 지탱하기 위해 공구자체의 무게를 어느 정도 무겁게 제작하는 것이 필요하다고 제안한 유재우(1997)의 견해와 일치한다.

표 3. 진동가속도의 분산분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	1	389.6885	389.689	43.38	0.0001
B	4	1,153.5504	288.388	32.11	0.0001
C	2	276.385	138.193	15.38	0.0001
D	2	3,809.803	1,904.902	212.07	0.0001
E	3	67,159.169	22,386.390	2492.27	0.0001
A×E	3	766.402	255.467	28.44	0.0001
B×D	8	683.776	85.472	9.52	0.0001
B×E	12	5,273.315	439.443	48.92	0.0001
C×E	6	322.416	53.736	5.98	0.0001
D×E	6	12,086.478	2,014.413	224.26	0.0001
Error	956	9,269.754	8.982		
Total	1,079	101,190.736			

진동 가속도의 크기에 영향을 미치는 무게 수준을 알아보기 위해 Duncan test를 실시하였다. 그림 6에서 보는 바와 같이 공구 무

게가 2kg과 2.4kg, 2.8kg과 3.2kg 사이에서는 유의한 차이가 없었다.

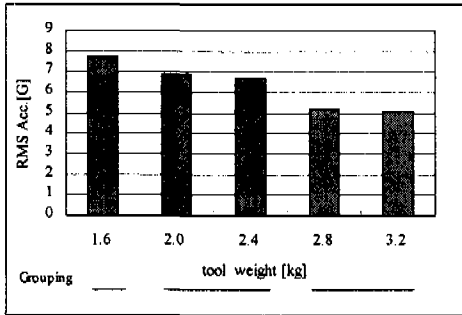


그림 6. 공구무게에 따른 진동가속도의 크기 및 Duncan test 결과

미는 힘에 따른 진동 가속도의 크기는 표 3의 분산분석 결과에서와 같이 유의한 차가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.01$ ). 그림 7에서 미는 힘에 따른 진동가속도의 평균은 150N일 때 5.63G, 200N일 때 6.54G이며, 250N일 때는 6.82G로서 미는 힘이 클수록 진동가속도도 높은 값을 보였다. 이는 장규표 등(1999)의 선행연구결과와 일치하고 있다.

따라서 미는 힘 수준간에 어떠한 관계를 보이는가를 알아보기 위해 Duncan test를 실시하여 그 결과를 그림 7에 나타내었다. Duncan test 결과 150N과 200N사이에서는 유의한 차이가 있었지만 200N과 250N 사이에서는 유의한 차이를 보이지 않았다. 이는 전동드릴 작업시의 미는 힘 200N과 250N 사이에는 진동 전달 특성에 유의한 차이가 없음을 의미한다.

진동 방향별 진동 가속도의 크기도 표 3의 분산분석 결과에서 유의한 차가 있는 것으로 나타났다( $p < 0.01$ ). 진동 방향별 진동 가속도의 평균은 그림 8과 같다.

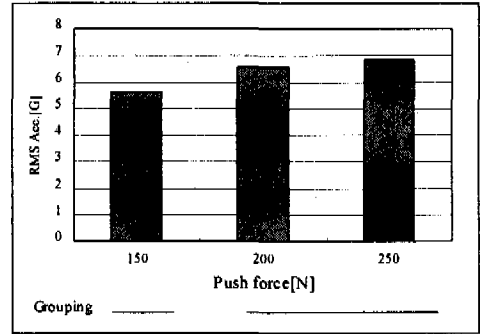


그림 7. 미는 힘에 따른 진동가속도의 크기 및 Duncan test 결과

그림 8에서  $Z_h$ 방향의 진동가속도의 평균은 8.98G로서,  $X_h$ 방향 5.15G와  $Y_h$ 방향 4.86G보다 높게 나타났다. 이는 충격형 전동드릴의 타격 방향이 공구에서 손·팔로 이어지는 진동 전달 축 방향과 일치하기 때문에 다른 방향에 비하여 높게 나타나는 것으로 판단된다. Duncan test 결과  $X_h$  및  $Y_h$ 축간에는 유의한 차이가 없지만  $Z_h$ 축과  $X_h$ 축 및  $Z_h$ 축과  $Y_h$ 축간에는 유의한 차이를 보였다.

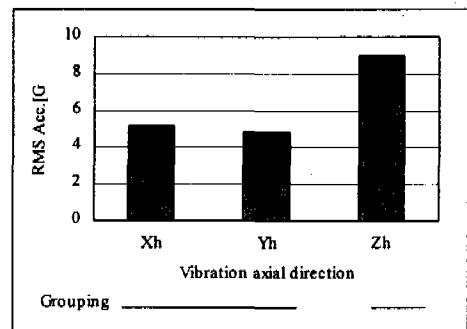


그림 8. 진동방향에 따른 진동 가속도의 크기 및 Duncan test 결과

측정점의 위치별 진동가속도의 크기는 그림 9와 같다. 공구에서의 진동가속도가 19.91G

인데 손에서는 3.12G로 84%가 감소되었다. 손목에서는 1.60G로 공구의 92%가, 팔꿈치에서는 0.69G로 공구의 97%가 감소됨을 보였다. 즉, 공구에서 멀어질수록 진동 감쇠가 많이 일어나 진동의 영향이 적음을 알 수 있다. 이 결과는 장규표 등(1999)의 연구 결과에서는 손, 손목, 팔에서 각각 92%, 96%, 99% 감소하는 것으로 보고했는데, 본 연구에서는 감쇠율이 조금 낮게 나타났다. 이러한 차이는 진동 픽업 센서의 부착위치의 차이에서 비롯된 것으로 판단된다. 선행연구에서는 센서를 근육에 가깝게 부착하였지만, 본 연구에서는 상대적으로 근육이 적은 뼈 부위에 부착하였다. 따라서 두 연구의 차이에서 볼 때 근육이 어느 정도 진동 흡수재 역할을 하는 것을 알 수 있다.

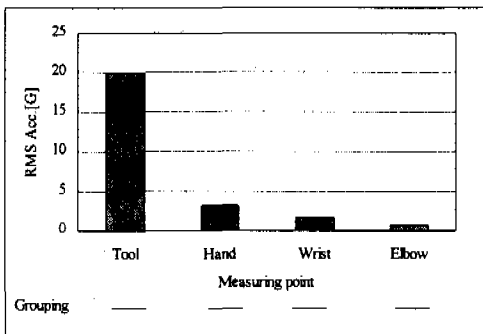


그림 9. 측정점에 따른 진동 가속도의 크기 및 Duncan test 결과

표 3의 분산분석 결과에서 통계적으로 유의한 2인자간의 교호작용효과는 그림 10~14에 나타내었다.

그림 10은 작업면과 측정점간의 2인자 교호작용효과를 나타낸다. 수평작업면은 공구,

손, 손목 및 팔꿈치에서의 진동 가속도의 크기는 각각 21.9, 3.4, 1.9, 0.5G이었다. 수직작업면은 각각 17.9, 2.9, 1.3, 0.9G로서 공구에서 손목까지는 수평작업면이 크지만 팔꿈치에서는 수직면이 더 크다. 이는 진동이 손목에서 팔꿈치로 전달되는 중에 수평작업면 일 때가 팔에서 더 많은 감쇠 현상이 일어났음을 알 수 있다. 공구에서 발생한 진동의 손, 손목, 팔꿈치로의 전달율은 수평작업면의 경우 각각 16, 9, 2%이었고, 수직작업면의 경우는 각각 16, 7, 5%로서 수직작업면이나 수평작업면 모두 손에 전달되는 진동의 전달율은 거의 같음을 알 수 있다. 따라서 공구에서 발생되어진 진동의 크기만 알 수 있으면 직접 측정하지 않는다 하더라도 손이나 팔목, 팔꿈치 등의 전완에 전달되는 진동의 크기를 추정할 수 있다. 실제 현장에서 작업중 전완에 전달되는 진동을 측정한다는 것은 상당한 어려움이 따른다. 따라서 이러한 전달율을 구하여 간접적으로 추정함으로써 진동으로 인한 작업자의 영향을 보다 쉽게 평가할 수 있고, 또한 작업자들의 건강을 위한 안전한 작업설계가 가능하다.

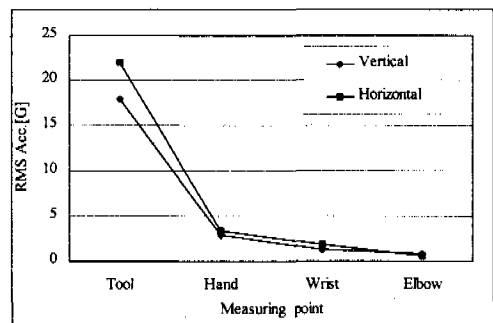


그림 10. 작업면과 측정점간의 교호작용효과



그림 11은 공구무게와 진동방향간의 교호 작용효과를 설명하고 있다. 그림에서  $X_h$ 축,  $Y_h$ 축 방향의 진동 특성은 공구무게가 1.6kg 일 때 진동 가속도는 약 6.2G로서 조금 높은 값을 보인 것을 제외하고는 다른 무게에서는 4.2~4.8G 범위에서 공구무게에 덜 민감하게 반응하였다. 반면에,  $Z_h$ 축 방향의 진동 특성은 공구무게 1.6~2.4kg까지는 진동 가속도가 10.2~11G범위로 상대적으로 상당히 높은 진동 특성을 보이다가 공구무게 2.8과 3.2kg에서 진동 가속도가 6.4G로 급격하게 낮은 특성을 보인다. 이는 공구무게 2.8kg 이상에서는 공구 자체의 무게에 의해 중력방향으로 작용하는  $Z_h$ 축 방향의 진동이 감소되었을 것으로 보인다. 따라서 전동공구의 경우 무게가 2.8kg 이상이면  $Z_h$ 축 방향의 진동은 어느 정도 감소효과가 나타남을 알 수 있다.

서의 진동의 크기는 공구무게 2.4kg까지는 공구무게가 증가함에 따라 다소 감소하는 경향을 보이나, 2.8kg부터는 다시 올라가 3.2kg에서 가장 높은 값을 보였다. 공구무게가 증가함에 따라 공구에서의 진동 크기가 감소한 것은 공구 자체의 무게에 의해 작업시의 흔들림이 감소하였기 때문이고, 손-팔-팔꿈치에서 공구무게 2.4kg까지 낮아지다가 2.8kg 이후 다시 증가한 것은 공구무게가 높아짐에 따라 공구무게를 지탱하기 위해 손잡이에 가해지는 힘이 높아졌기 때문이라고 판단된다. 즉, 공구에서 발생된 진동이 손, 손목 그리고 팔꿈치에 전달되는 진동량은 공구무게가 2.4kg일 때가 가장 낮게 나타났다. 따라서 본 실험에서의 공구무게 수준인 1.6~3.2kg 범위 내에서는 2.4kg일 때가 손, 손목, 팔꿈치로의 가장 낮은 진동 전달 특성을 보였다. 따라서 본 연구 내용으로 보아 전동드릴 무게가 2.4kg 일때 인체에 전달되는 진동의 크기가 가장 작기 때문에 전동드릴 사용시의 표준 공구 무게로 2.4kg을 권장 할 수 있다.

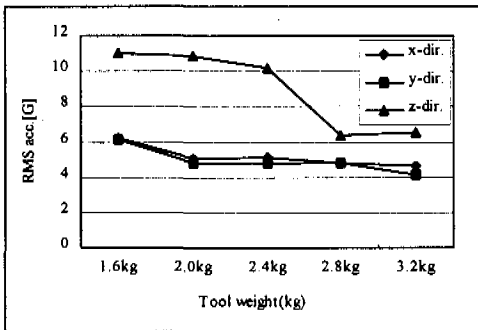


그림 11. 공구무게와 진동방향간의 교호작용효과

그림 12는 공구무게와 측정점간의 교호 작용효과를 나타내고 있다. 공구에서의 진동의 크기는 공구무게가 커짐에 따라 낮아지는 경향을 보이는 반면, 손, 팔, 그리고 팔꿈치에

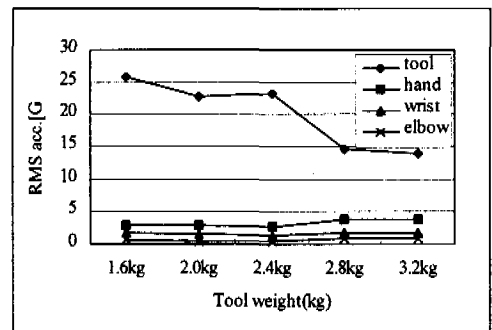


그림 12. 공구무게와 측정점간의 교호작용효과

그림 13은 작업물에 가해지는 미는 힘과 측정점간의 교호작용효과를 나타내고 있다. 미는 힘이 150N에서 200N으로 증가함에 따라 공구와 손에서는 진동 가속도 수준도 높아졌다. 그러나 미는 힘 200N과 250N에서는 차이를 보이지 않았다. 그리고 손목과 팔꿈치에서는 미는 힘에 따른 진동가속도 값의 차이는 거의 나타나지 않았다. 따라서 진동원인 공구로부터 멀어질수록 미는 힘의 영향이 적음을 알 수 있다. 또한 미는 힘 200N까지는 미는 힘이 증가할수록 진동 가속도 값도 커지지만 그 이상에서는 더 이상 증가하지 않고 거의 유사하였다.

그림 14는 진동 방향과 측정점간의 교호작용효과를 나타내고 있다. 공구에서는  $Z_h$  방향의 가속도 값이 다른  $X_h$ 와  $Y_h$  방향에 비해서 매우 크게 나타났다. 그러나 손에서는  $X_h$ 방향에서, 손목에서는  $Y_h$ 방향에서, 그리고 팔꿈치에서는  $Z_h$ 방향에서 가장 높은 값을 보였다.

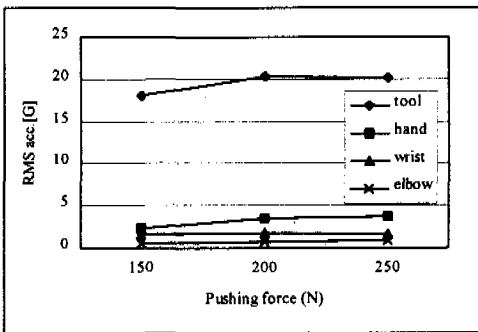


그림 13. 미는 힘과 측정점간의 교호작용효과

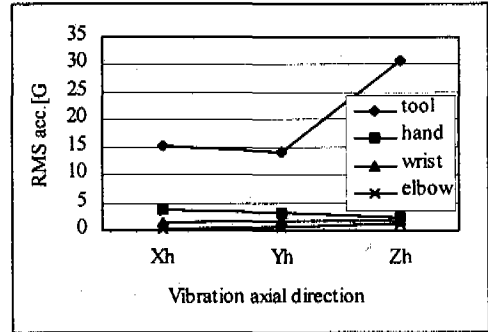


그림 14. 진동방향과 측정점간의 교호작용효과

### 4. 결 론

본 연구에서는 전동드릴 작업시 진동에 의한 물리적 부하를 평가하기 위하여 작업면, 공구무게, 미는 힘에 따른 작업자의 손, 손목, 팔꿈치로 이어지는 손-팔 시스템에 전달되는 진동 전달 특성을 파악하였다.

본 연구의 결과를 요약하면 다음과 같다.

- (1) 작업면에 따른 진동 특성은 수평작업면일 때 진동가속도가 더 크게 나타났다. 이는 공구의 타격방향과 공구에서 손으로 이어지는 진동전달방향이 중력 작용방향과 일치하기 때문이라고 판단된다.
- (2) 공구무게에 따른 진동가속도는 공구에서는 공구무게가 무거울수록 낮은 경향을 보였다. 그러나 손-팔에서의 진동가속도는 공구무게가 2.4 kg일 때가 가장 낮았다. 따라서, 권장되는 전동드릴의 무게수준은 2.4 kg이 된다.
- (3) 미는 힘에 따른 진동가속도의 수준은 미는 힘이 클수록 높은 값을 보였다.

(4) 진동 방향별 진동특성은 공구에서는  $X_h$ ,  $Y_h$ 방향에 비해  $Z_h$ 방향의 진동가속도가 가장 크게 나타났다. 그러나 손, 손목, 팔꿈치에서는 각각  $X_h$ ,  $Y_h$ ,  $Z_h$ 방향의 진동가속도가 가장 크게 나타났다.

본 연구의 결과를 종합하면 전동드릴 작업시 작업자에게 부담을 가장 적게 주는 작업조건은 2.4 kg의 공구를 가지고 수직작업면에서 작업할 때라고 할 수 있다.

본 연구의 결과는 작업자에게 동력 수공구 작업시 올바른 공구의 선택 및 작업자세와 작업방법에 대한 지침을 제공함으로써 작업능률 향상뿐만 아니라 인간공학적 전동 수공구의 설계 지침 개발을 위한 기초자료로 활용될 수 있을 것이다.

### 참고문헌

- 유재우, 체계적인 접근방법을 통한 양손 공구의 인간공학적 디자인, 대한인간공학회 춘계학술발표대회 논문집, pp. 75~81, 1997.
- 장규표, 김길주, 이동춘, 손-팔 시스템에 전달되는 진동수공구의 진동감쇠특성, 공업경영학회지, 22(52), pp. 43~52, 1999.
- Abrams, Jr., C. F. and Suggs, C. W., Chain saw vibration: Isolation and transmission through the human arm, Transactions of the ASAE, pp. 423~425, 1969.
- Ayoub, M. M. and Presti PLO, The determination of an optimum size cylindrical handle by use of electromyography, Ergonomics, 4, pp. 509~518, 1971.
- Burström, L. and Lundström, R., Absorption of vibration energy in the human hand and arm, Ergonomics, 37(5), pp. 879~890, 1994.
- 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.
- Donati, P., Bitsch, J. and Bernard, D., Measurement of the apparent mass and loads on muscles of the hand and arm during simulated breaker operation, Proceedings of the 6th International Conference on Hand-Arm Vibration, Bonn(Germany), pp. 411~422, 1992.
- Dupuis, H. and Jansen, G., Immediate effects of vibration transmitted to the hand, International symposium. Man under vibration. Suffering and protection, Udine(Italy), pp. 76~86, 1979.
- Gemme, G. and Saraste, H., Bone and joint pathology in workers using hand-held vibrating tools: An overview, Scandinavian Journal of Work Environment and Health, 13, pp. 257~264, 1979.

- Gurram, R., A study of vibration response characteristics of the human hand-arm system, Ph. D thesis, Concordia University, Montreal(Canada), 1993.
- Gurram, R., Rakheja, S. and Gouw, G. J., Vibration transmission characteristics of the human hand-arm and gloves, International Journal of Industrial Ergonomics, 13, pp. 217~234, 1994.
- Gurram, R., Rakheja, S., Gouw, G. J. and Ma, S., Influence of power tool-related parameters on the response of finger flexor muscles, International Archive Occupational Environment and Health 66, pp. 393~398, 1995.
- Pyykkö, I., Färkkilä, M., Toivanen, J., Korhonen, O. and Hyvarinen, J., Transmission of vibration in the hand-arm system with special reference to changes in compression force and acceleration, Scandinavian Journal of Work Environment and Health 2, pp. 87~95, 1976.
- Radwin, R. and Armstrong, T. J., Chaffin, D. B., Power hand tool vibration effects on grip exertions, Ergonomics 30, pp. 833~855, 1987.
- Reynolds, D. D. and Keith, R. H., Hand-arm vibration. Part I, Analytical model of the vibration response characteristics of the hand, Journal of Sound and Vibration, 51, pp. 237~253, 1977.
- Reynolds, D. D., Basel, R., Wasserman, D. E. and Taylor, W., A study of hand vibration on chipping and grinding operators, Part III: Power levels into the hands of operators of pneumatic tools used in chipping and grinding operations, Journal of Sound and Vibration 95, pp. 515~524, 1984.
- Schwartz, W. H., Portable power & hand tools, and fasteners, Assembly Engineering 9, pp. 134~140, 1989.
- 
- 저자소개**
- ◆ **이동춘(Dong-Choon, Lee)**  
 동아대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원에서 석사 및 박사학위를 취득하였으며, 현재 동아대학교 산업시스템공학과 교수로 재직중이다. 주요 관심분야는 Work station design, CTDs, Vibration 등이다.
- ◆ **김길주(Kil-Joo, Kim)**  
 동아대학교 산업공학과를 졸업하고 동 대학원에서 석사 및 박사학위를 취득하였으며, 현재 (주)태광에 재직하고 있다. 주요 관심분야는 CTDs, Vibration 등이다.
- 
- 논문접수일 (Date Received): 2000/8/14  
 논문게재승인일(Date Accepted):2000/8/28