Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 18, No. 1 1999.4

前腕의 局部 振動이 작업자의 屈筋 및 伸筋 疲勞에 미치는 영향

The Effects of Hand-Arm Vibration on Flexor and Extensor Fatigue

이 동 춘* · 김 길 주**

Abstract

It is very common to use the powered hand tools to enhance the productivity in various types of industry. But the use of the powered hand tools could cause health problems such as cumulative trauma disorders and vibration white fingers.

In this study, the effects of hand-arm vibration and anatomical hand position on localized muscle fatigue were analyzed. Eight healthy male subjects volunteered for the study. Vibration frequencies of 0, 40, 80, 100, 150, and 200Hz and hand position of flexion and ulnar deviation were selected for the independent variables of the experiment. Median frequency shifting was used as a dependent variable.

The results indicated that at the vibration frequency of 40Hz and accelation of 2g, the muscle fatigue was the greatest. For the hand position, there was significant difference between neutral and flexion, and neutral and ulnar deviation, but no difference between flexion and ulnar deviation. These results could be applied in designing powered hand tools to minimize the health problems.

Key Words : extensor, flexor, hand-arm vibration, median frequency shift

* 동아대학교 산업시스템공학과 교수
** 동아대학교 산업공학과 박사과정
이 논문은 1997년도 동아대학교 학술연구조성비(공모과제)에 의하여 연구되었음.

1. 서 론

수공구의 동력화는 생산성 향상뿐만 아니라 작업자의 육체적 피로 경감 및 안전 도모에도 크게 기여하고 있다. 그러나 전동 수공구는 공구자체의 중량이 늘어나고, 진동(vibration)이 발생함으로써 누적외상병(CTDs; Cumulative Trauma Disorders)과 같은 반대급부적 문제점을 야기시킬 수 있다(박희석, 1996). Cannon et al.(1981)은 손목관 증후군(CTS; Carpal Tunnel Syndrome)과 관련된 직업적인 요인에 관한 연구에서 전동 수공구를 사용하는 작업자의 경우 CTS 발병 가능성이 훨씬 높다고 보고한 바 있다. 특히 공구의 크기, 무게, 형태 및 진동 특성 등은 작업자에게는 누적 스트레스가 되어 CTDs 등의 질환을 유발시키는 중요한 요소가 된다(Schwarts, 1989). 이들 요소들 중 전동 수공구의 사용으로 인해 신체에 악영향을 미치는 중요 요소는 손과 팔에 전이되는 국부 진동(hand-arm vibration)을 들 수 있다. 국부 진동은 감각 저하를 초래할 수 있으며, 장기간 지속적으로 노출되는 경우에는 Dead fingers 또는 Raynaud's phenomenon 이라고도 불리는 진동성 백지병(vibration white fingers)이 될 수도 있다(Kume et al., 1984).

동력 수공구의 사용과 이에 따른 작업자의 신체적 영향에 관련된 국내외 선행 연구들은 다수가 있다. 국외 연구로서 Kim & Fernandez(1993), Marely & Fernandez (1995)는 심물리적인 방법을 적용하여 성(sex), 인가되는 힘(applied force), 손의 자세(position of hand) 등에 따른 최대 허용 작업빈도수(Maximum Acceptable Frequency; MAF) 결정에 관한 연구를 수행하였다. 이들 연구에서는 손목의 편향(deviation)은 MAF값을 상당한 수준으로 감소시키는 것으로 나타났다. 또한 남자는 여자보다 높은 MAF값을 보이고, 사용되는 힘이 증가함에 따라 MAF값이 크게 감소함을 밝혔다. 이들 연구의 목적은 위험인자들을 분리하고, 이들 인자들이 MAF에 미치는 영향을 결정하기 위한 것이었다. Armstrong et al.(1987), Radwin et al.(1987)은 전동 수공구의 진동이 손잡이를 쥐는 힘에 미치는 영향에 대해 분석하였다. 이들은 무게, 진동수, 가속도 크기, 진동방향 등을 변동시켜 실험한 결과 진동 주파수와 진동 가속도는 손잡이를 쥐는 힘에 유의한 영향이 있었으나, 진동방향은 유의하지 않음을 알았다. Burström & Lundström(1994)은 손과 팔에 전달되는 진동의 영향을 손과 팔에 전달되는 진동에너지의 총량으로서 평가하였다.

한편 국내연구로서 박호상(1992)은 진동환경하에서 앉은자세와 선자세에 대하여 자세에 따른 영향을 근전도 측정을 통해 분석하였으며, 김철홍(1994)은 누적외상병 예방을 위한 drilling 작업시의 작업 빈도를 심물리적 방법과 근전도 측정을 통해 평가하고, 손목의 각도와 힘의 발휘 정도에 따른 작업빈도를 추정할 수 있는 회귀모형식을 개발하였다. 박희석(1994), Park(1994)은 특정 진동수에서 진동변위가 손가락 굴근 및 손목 굴근의 운동반응에 미치는 영향을 규명하기 위해 진동크기, 진동주파수, 근력 등의 다양한 실험조건에 따

른 근전도 신호를 분석한 결과, 손목 굴근에서는 진동 크기가 증가함에 따라 RMS EMG값이 증가하였으나, 손가락 굴근은 진동의 크기에 영향이 없었다고 보고하였다. 또한 유재우(1995, 1997)는 최근에 와서 수공구들이 동력화 되고 그 성능은 갈수록 나아져 가고 있는 반면에, 이의 사용으로 인한 사고라든지 손목관증후군(CTS)과 같은 누적외상병은 별로 나아짐이 없이 경우에 따라서는 더 심해져 가고 있다고 전제하고, 이러한 CTDs 예방을 위한 수공구의 인간공학적 설계를 위한 체계적인 접근방법을 공구의 무게와 형태, 그리고 손잡이(grip)를 중심으로 제안하였다. 그는 수공구의 무게는 인간의 근력을 기준으로 할 때 한손으로 사용하는 공구는 2.3kg, 양손으로 사용하는 경우에는 15kg을 초과하지 않아야 하고, 특히 한손으로 사용하는 공구는 회전 모멘트가 걸리는 경우 이를 최소화하여야 하며, 가능한 0.4kg 이내로 하는 것이 좋다고 하였다. 또한 심한 진동을 수반하는 전동공구의 경우에는 이를 지탱하기 위해 공구자체의 무게를 어느 정도 무겁게 제작하는 것이 필요하다고 제안하였다. 또한 박희석(1996)은 수공구를 사용하는 작업장의 인간공학적인 평가를 위해 스크류 드라이버 작업시의 수평거리 및 수직거리에 따른 작업자의 피로 정도를 심물리적 방법과 근전도 측정을 통해서 평가하였고, 작업시 장갑 착용의 효과에 대해서도 분석하였다. 그는 스크류 드라이버 작업시 근육피로의 불편도를 줄이는 방법으로서 동력식 수공구의 도입을 고려할 수 있다고 하였으며, 동력식 수공구를 사용할 때 자동적으로 수반되는 기계 진동(vibration)은 우리 몸에 반작용을 비롯한 각종 악영향을 줄 수 있으므로 진동을 흡수하는 물질의 사용이나 진동주파수 조정, 공구 무게의 조정 등을 통하여 그 악영향을 최소화하여야 한다고 하였다. Kim et al.(1996)은 5명의 대학생을 피실험자로 하여 수공구의 무게와 손의 자세가 정적인 자세에 있어서 상지의 자세 떨림에 미치는 영향에 대한 연구에서, 수공구의 무게와 손의 자세는 상지(upper extremity)의 떨림에 영향을 미치는 것으로 보고하였다.

이러한 선행 연구들은 진동 및 작업자세가 작업자의 수행도나 근피로에 미치는 영향에 대해 각기 독립적으로 고려되어졌다. 그러나 실제 작업에 있어서는 여러 가지 손목자세와 진동이 작업자에게 함께 스트레스로 작용하기 때문에 이들을 동시에 고려한 실험설계가 되어야 하며 진동과 작업자세에 따른 근육의 피로도에 관한 연구가 필요하다.

따라서 본 연구에서는 근전도(EMG) 측정을 통하여 손목자세와 진동주파수가 전완의 굴근 및 신근 피로에 미치는 영향을 평가하여, 근피로에 가장 많은 영향을 미치는 진동주파수와 손목자세를 결정하고자 한다.

2. 실험방법

2.1 피실험자

본 실험에서는 8명의 남자 대학생 및 대학원생들이 참가하였으며, 피실험자들에게는 실험참여에 대한 약간의 금전적 보상을 하였다. 피실험자들은 지원자들 중 인터뷰와 Phalen's Test를 통해 근골격계에 아무런 이상이 없는

표 13. 피실험자들의 인체계측치

항 목	평 균	표준편차	항 목	평 균	표준편차
연 령	26.3	1.89	어깨점 팔꿈치 길이(cm)	29.7	1.65
키(cm)	170.3	3.14	팔꿈치 손끝 길이(cm)	41.2	1.74
몸무게(kg)	67.4	4.31	손 길이(cm)	16.9	0.87
손목 굴곡(°)	78.6	6.73	손목 너비(cm)	5.4	0.32
손목 측굴편향(°)	30.0	5.54	손목 두께(cm)	4.1	0.27
최대 악력(kg)	46.5	3.42	손목 둘레(cm)	15.8	0.95

건강한 사람을 선발하였다. 피실험자들의 평균 연령은 26.3세(표준편차 1.89세)였고, 기본적인 인체 측정치의 평균과 표준편차는 표 1과 같다. 피험자들의 주사용손은 모두 오른손이었으며, 손과 관계된 측정치들은 주사용손을 대상으로 하였다.

2.2 실험장치 및 기구

악력의 측정과 실험시 피실험자들이 10% MVC를 유지할 수 있도록 하기 위하여 Jamar Hydraulic Hand Dynamometer를 사용하였고, 손목의 굴곡(Flexion) 및 측골편향(Ulnar Deviation) 자세 조절을 위해 상하좌우 각도 조절이 가능하도록 본 연구실에서 개발한 치구와 피험자들의 기본적인 인체계측을 위한 Martin식 인체계측기 및 Goniometer를 사용하였다. 진동 생성 및 측정을 위해 B&K사의 Vibration Exciter (Type 4808, B&K), Power Amplifier (Type 2712, B&K), Sine Generator (Type 1023, B&K) 그리고 Rion사의 Vibration Meter(VM-61, Rion) 등이 사용되었다. 또한 근전도 신호의 기록 및 저장을 위해 Noraxon사의 MyoSystem 2000, MyoSoft 및 PentiumII PC가 사용되었다. 2개의 근육군을 대상으로 EMG 신호를 측정하기 위하여 2개의 채널이 사용되었고, 각 채널의 Sampling Rate는 1024Hz로 설정하였다. 본 연구의 실험장치 구성 및 자료 분석 절차는 그림 1과 같다.

2.3 실험계획

본 실험에서는 0Hz(무진동), 40Hz, 80Hz, 100Hz, 150Hz, 200Hz등 6수준의 진동주파수와 중립(Neutral), 굴곡(2/3 Max. Flexion) 및 측골 편향(2/3 Max.

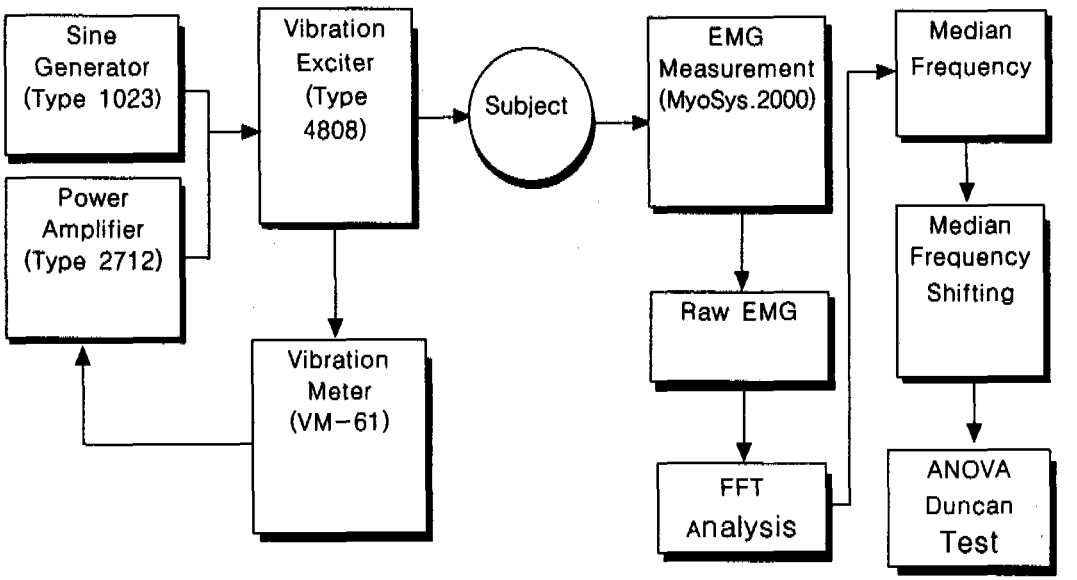

그림 1. 실험장치의 구성 및 분석 절차

Ulnar Deviation)의 3가지 손목자세를 독립변수로 하였다. 일반적으로 손목자세의 경우 손목 꺾임이 최대치의 1/3 이상이 되면 손목에 상당한 부담을 줄 수 있으므로 작업시 이러한 자세는 피하고 가능한 한 중립자세를 취하는 것이 좋다고 알려져 있지만, 전동 그라인더, 전동 브러쉬, 전동 드릴 등의 전동 수공구를 많이 사용하는 주물공장, 제관공장 및 수리조선 등의 작업현장에서는 실제적으로 최대치의 2/3 이상 손목이 꺾인 자세에서 작업을 하는 경우가 많다. 따라서 가장 바람직한 자세인 중립자세와 실제 작업시에 많이 취해지고 있는 자세간의 비교를 위하여 중립, 굴곡(2/3 Max.) 및 측굴 편향(2/3 Max.)의 3가지 손목자세를 독립변수로 선정하였다.

통제변수로는 진동체를 쥐는 손 힘, 실험시간, 사용하는 손, 자세, 팔꿈치 각도, 실험순서 및 진동 가속도(2g) 등이었고, Flexor Carpi Ulnaris와 Extensor Carpi Ulnaris의 두 근육에서 획득된 EMG 신호의 Mean Frequency값을 종속변수로 선택하였다. 각 실험 세션의 전과 후에 EMG 신호를 측정하여 실험전의 값을 기준(reference)으로 실험후의 값과 비교하여 MFS(Median Frequency Shifting)값을 이용하여 진동수준에 따른 각 근육의 피로도 차이에 대한 통계적 평가를 하였다. 본 실험에 사용된 변수들을 요약하면 표 2와 같다.

2.4 실험 절차

먼저 피실험자들의 최대 악력(100%

표 2. 실험계획에 도입된 각종 변수 및 수준

변수의 종류	수 준
독립변수	손목자세 : 중립(Neutral), 굴곡(2/3 Max. flexion), 척골 편향(2/3 Max. ulnar devation) 진동 주파수 : 0Hz, 40Hz, 80Hz, 100Hz, 150Hz, 200Hz
종속변수	EMG data : MFS(Median Frequency Shifting)값
통제변수	진동체를 쥐는 손 힘 : 10%MVC 실험 시간 : 5분 사용 손 : 오른손(주사용 손) 자 세 : 선 자세, 팔꿈치 각도 90° 실험순서 : 완전 랜덤 진동 가속도 : 2g($9.8ms^{-2}\times2$)

MVC)과 키, 몸무게, 최대 굴곡 및 측굴편향 등의 기본적인 인체측정치들을 준비한 Data sheet에 기록한다. 최대 악력(grip strength) 측정은 Caldwell et al.(1974)의 프로토콜과 이동춘과 장규표(1997)의 방법을 토대로 측정하였다. 피실험자는 팔꿈치 각도 90° 를 유지한 채 손목은 중립 상태에서 최대 힘까지 서서히 증가시켜 최대 힘에서 2초간 유지하게 하였으며, 두 번의 시행 중 최대값을 기록하였다. 근육의 피로에 의한 영향을 최소화하기 위해 각 측정간에는 5분 이상의 충분한 휴식을 취하도록 하였다.

인체계측은 한국공업규격(KS A 7003, KS A 7004)과 선행연구(중앙대학교 산업디자인연구소, 1998)의 방법을 토대로 실시하였다.

기본적인 인체계측이 끝난 후 주사용 손의 손목 굽힘과 펴는 동작에 관여하는 주요 근육으로서 Flexor Carpi Ulnaris(그림 2)와 Extensor Carpi Ulnaris(그림 3)를 전완의 굴근(flexor)과 신근(extensor)으로 선택하였다. 실험 시작 30분전에 표면전극(surface electrodes)을 Volume이 가장 두드러진 곳에 근섬유질의 진행방향과 평행되게 붙였으며, Bipolar 전극의 중심간 간격은 3cm되게 하였고, Ground용 전극은 피부와 뼈사이의 근육이 없는 손목 바깥점에 붙였다. 표면전극의 부착이 끝나고 나서 실험에 들어가기 전에 피실험자로 하여금 선택된 근육부위를 가볍게 움직이게 하여 EMG 신호가 제대로 기록되는지를 확인하고, 거시적인 Noise에 대하여는 그 원인을 제거하였다.

실험준비가 완료되고 나서 각 실험 세션별로 실험을 실시하였는데, 세션별 실험은 피실험자에게 스트레스를 가하는 부분과 EMG 측정부분으로 구분할 수 있다. 피실험자에게 스트레스를 가하는 실험은 각 세션에서 정의된 손목자세와 진동주파수에 따라 10% MVC의 악력을 유지한 채 5분간 진동체와 연결된 Hand Dynamometer의 손잡이를 쥐고 있도록 하였다. 이 때 10% MVC의 악력 유지는 피험자가 Hand Dynamometer의 눈금을 보면서 스스로 통제하도록 하였다. 실험시간 5분은 자세와 통증 정도가 뚜렷이 차이가 나는 수준을 결정하기 위한 예비실험의 결과에 의하

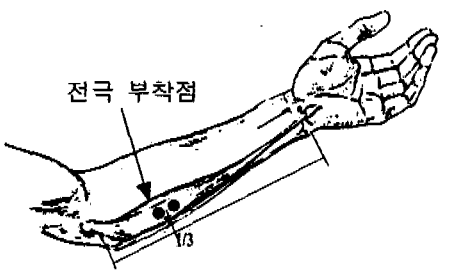

그림 16. Flexor Carpi Ulnaris

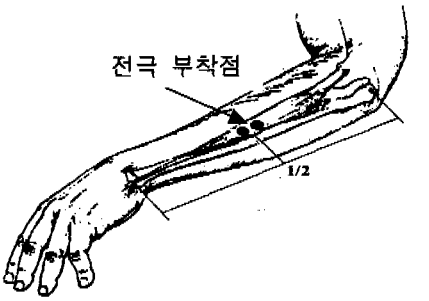

그림 3. Extensor Carpi Ulnaris

여 결정하였다. 또한 악력수준을 10% MVC로 유지토록 한 것은 예비실험 결과 진동 스트레스가 가해지는 조건하에서 그 이상의 악력수준으로서는 5분 이상 유지하기가 힘들기 때문이다. EMG 측정은 피실험자에게 스트레스를 가하기 직전과 직후에 50% MVC의 악력으로 힘을 준 상태에서 각각 10초 동안 EMG 신호를 기록하였다. 이 때, 50% MVC의 악력으로 힘을 유지토록 한 것은 낮은 수준의 악력으로서는 MFS를 이용한 근피로 분석시 정도가 떨어지기 때문이다. 분석에 사용된 데이터는 10초 동안 기록된 값 중 시작 3초간과 마지막 2초간의 데이터는 버리고 중간 부분 5초간의 값을 이용하였다.

2.5 데이터 분석

근전도(EMG)는 근육의 사용 여부와 힘, 피로도 등과 같은 근육 특성을 정량화 할 수 있는 측정 방법으로서 근전도 신호를 효과적으로 분석하기 위한 방법들에 대한 많은 연구가 이루어 지고 있다. 특히 육체 피로의 한 형태인 국부근육피로(localized muscle fatigue)를 측정하기 위한 여러 가지 매개변수를 이용한 분석기법들이 연구되고 있다. Piper의 연구에서는 근육 피로시 주파수 천이(frequency shifting)가 발생함을 알았고, 이 후 주파수 분석이 근육피로 분석에 주로 이용되고 있다(정명철 · 김정룡, 1997). 즉, 근육이 피로해지기 시작하면 근전도 신호의 저주파수 범위의 활성이 증가하는 반면에 고주파수 범위의 활성이 감소하므로 근육의 피로 정도에 따라 MPF(Mean Power Frequency)와 MF(Median Frequency)가 감소한다. 특히 MFS 정도를 통해 근육 피로도를 측정하는 방법은 현재 근육 피로도를 측정하는 방법으로 가장 일반적으로 사용되고 있다(현수돈 · 김정룡, 1997). MF 값은 근육이 운동을 시작하게 되면 점점 낮아지다가 운동이 끝나고 휴식이 시작되면 다시 점점 높아지고, 자극의 진동수준이 낮을수록 값이 높고 시간이 경과함에 따라 낮아진다. 또한 힘을 가한 상태에서 시간이 경과하면 시간에 따라 점점 낮아진다. 천이 속도도 위와 유사한 경향을 보인다.

따라서 본 연구에서는 근육 수축시 발생하는 근전도 신호를 FFT(Fast Fourier Transform)를 이용한 스펙트럼분석을 통해 해석하고, 여기에서 얻어지는 MFS 값을 이용하여 진동 주파수 및 손목 자세에 따른 굴근

(flexor)과 신근(extensor) 피로 정도를 분산 분석(ANOVA) 및 Duncan 다중 비교를 통하여 평가하였다.

3. 결과 및 고찰

3.1 실험 데이터 수집

피실험자별 실험 세션의 전후 즉, 근육이 피로하기 전과 후에 전완의 굴근과 신근으로부터 기록된 Raw EMG 신호로부터 Spectral

표 15. 굴근 및 신근에서의 MFS 값

(Hz)

근육 / 실험수준	굴 근		신 근	
	평 균	표준편차	평 균	표준편차
N-0Hz	15.5	3.89	14.4	3.66
N-40Hz	33.4	12.08	33.9	12.19
N-80Hz	28.5	11.29	27.0	11.39
N-100Hz	25.6	7.56	23.3	9.24
N-150Hz	19.9	6.58	20.3	6.39
N-200Hz	17.9	3.60	18.0	5.24
F-0Hz	21.9	4.85	22.0	5.18
F-40Hz	45.4	13.64	45.0	11.24
F-80Hz	37.0	15.68	35.8	13.01
F-100Hz	33.5	13.27	30.1	13.47
F-150Hz	27.1	8.03	26.0	7.76
F-200Hz	23.3	5.04	25.1	8.24
UD-0Hz	24.5	4.84	22.1	4.82
UD-40Hz	46.1	14.54	47.0	13.6
UD-80Hz	36.1	14.55	35.0	12.65
UD-100Hz	32.8	10.90	30.9	13.08
UD-150Hz	26.4	7.74	28.5	8.55
UD-200Hz	22.8	4.13	23.8	7.34

N : Neutral, F : Flexion, UD : Ulnar Deviation

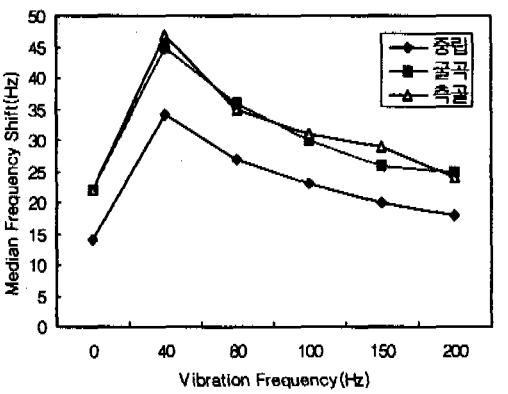

그림 4. 진동 수준에 따른 신근의 MFS 값

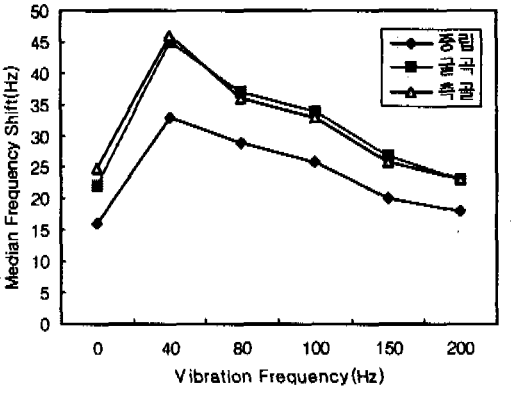

그림 5. 진동 수준에 따른 굴근의 MFS 값

표 16. 굴근의 진동수준과 손목자세에 따른 분산분석표

Source	df	SS	MS	F	Pr>F
Vibration(V)	5	8054.583	1610.917	16.42	0.0001**
Wrist(W)	2	2016.292	1008.146	10.28	0.0001**
V×W	10	192.875	19.288	0.20	0.9962
Total	17	10263.75			

** Significant at p<0.01

Analysis를 통해 얻어진 Median Frequency의 차이를 표 3에 나타내었다. 또한 굴근과 신근의 진동 수준별 손목자세에 따른 각 피실험자별 MFS값을 그림 4와 그림 5에 정리하였다.

Median Frequency의 천이 정도는 무진동(0Hz) 일 때 가장 낮고, 40Hz에서 가장 높게 나타났다. 그러나 진동 주파수가 40Hz 이상에서는 진동 주파수 수준이 높아짐에 따라 MFS 값은 점점 낮아졌다. 이것으로 손목 굴근과 신근의 피로에 가장 많은 영향을 미치는 진동 수준은 고주파수대의 진동보다는 40Hz 전후의 저주파수임을 알 수 있었다. 이는 진동 주파수가 높을수록 손에서의 진동감쇠량이 높아져 전완에 전달되는 진동량이 상대적으로 적어지기 때문으로 판단된다.

또한 손목 자세에 따른 비교에서도 굴근과 신근 모두 중립자세일 때 가장 낮았으며, 굴곡과 측골편향에서 높게 나타났다. 이는 작업시 손목자세는 중립상태가 가장 바람직하다는 일반적인 사실을 입증하고 중립이 아닌 자세에서는 어떠한 형태이든 유사하게 나쁜 영향을 미친다는 사실을 알 수 있다.

3.2 굴근의 피로 분석

굴근으로부터 근육의 피로전과 후에 얻어진 Raw EMG 신호의 MFS 값을 가지고 분산분석한 결과는 표 4와 같다. 진동 수준과 손목자세는 모두 굴근 피로에 통계적으로 유의하게 영향을 미친다는 것을 알 수 있었으며, 진동과 손목자세간의 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았다.

따라서 어떠한 손목자세 그리고 어떤 수준의 진동 주파수가 손목 굴근 피로에 영향을 주는지를 알아보기 위해서 Duncan 다중비교를 실시하였으며, 그 결과는 그림 6 및 그림 7과 같다. 그림 6에서 보는 바와 같이 굴곡(F)과 측골편향(UD) 사이에는 MFS 값의 차이가

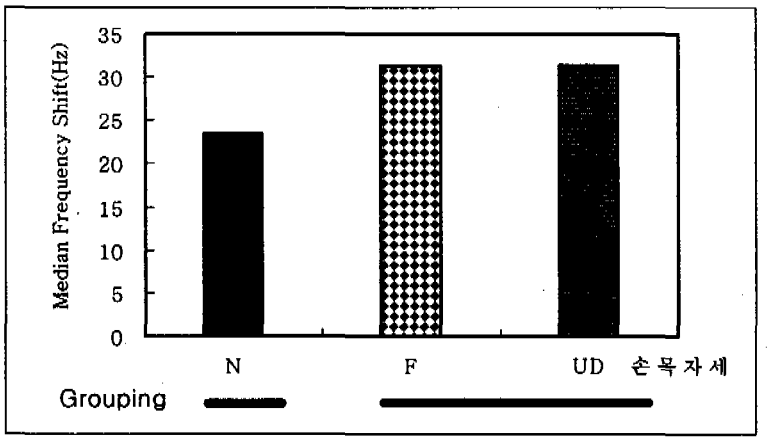

그림 6. 손목자세에 따른 굴근의 Duncan Test 결과

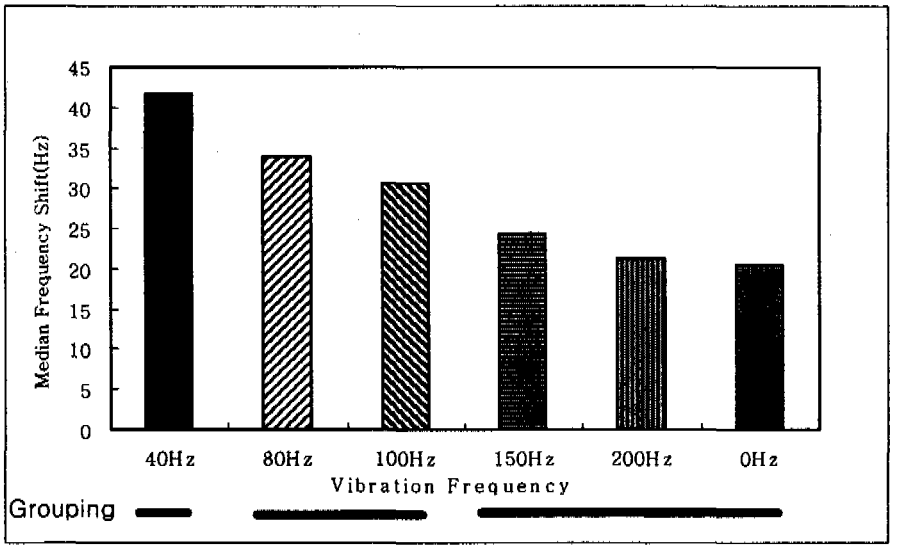

그림 7. 진동 주파수에 굴근의 따른 Duncan Test 결과

별로 없지만, 중립자세와 이들 자세간에는 굴근 피로에 미치는 영향에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다($p<0.01$).

또한 그림 7에서와 같이 진동 주파수 40Hz는 다른 모든 진동 주파수에 비하여 큰 차이를 보임을 알 수 있었다. 그리고 150Hz와 200Hz는 40Hz, 80Hz 및 100Hz와는 큰 차이를 보이지만 무진동(0Hz)과는 거의 차이가 없는 것으로 나타났다. 즉 150Hz 이상의 고주파수 진동에서는 굴근 피로에 미치는 진동의 영향은 거의 차이가 없음을 알 수 있다.

3.3 신근의 피로 분석

신근으로부터 근육의 피로 전후에 얻어진 Raw EMG 신호의 MFS 값을 분산분석한 결과는 표 5와 같다. 굴근에서와 마찬가지로 진동 수준과 손목자세는 모두 신근 피로에 통계적으로 유의하게 영향을 준다는 것을 알 수 있었으며, 진동과 손목자세간의 교호작용은 통계적으로 유의하지 않았다.

손목자세에 따른 Duncan 다중비교 결과(그림 8) 굴근에서와 마찬가지로 굴곡(F)과 측골편향(UD) 사이에는 신근 피로에 미치는

표 5. 신근의 진동수준과 손목자세에 따른 분산분석표

Source	df	SS	MS	F	Pr>F
Vibration(V)	5	7917.472	1583.494	16.32	0.0001**
Wrist(W)	2	2130.389	1065.194	10.98	0.0001**
V×W	10	158.778	15.878	0.16	0.9983
Total	17	10206.639			

** Significant at $p<0.01$

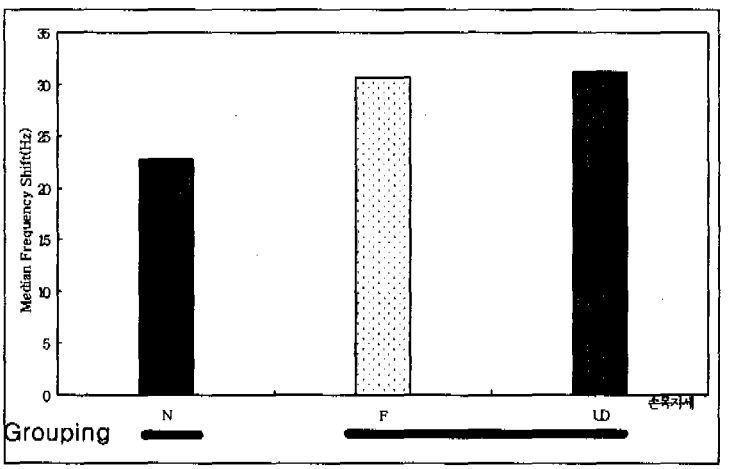

그림 8. 손목자세에 따른 신근의 Duncan Test

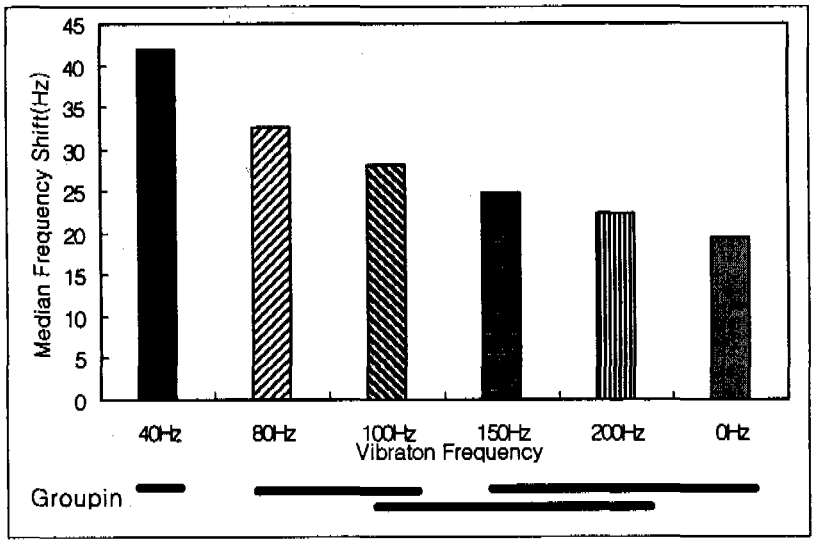

그림 9. 진동 주파수에 따른 신근의 Duncan Test 결과

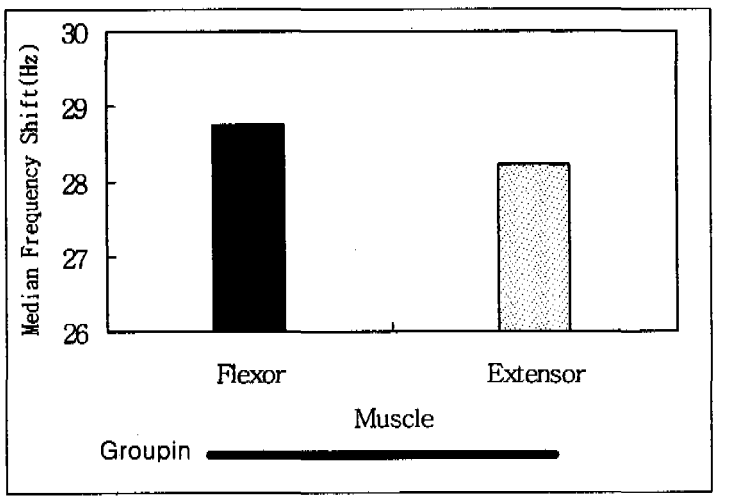

그림 10. 굴근과 신근의 Duncan Test 결과

영향에 차이가 별로 없지만, 중립자세와 이들 자세간에는 큰 차이가 있음을 알 수 있었다 ($p<0.01$).

어떤 수준의 진동 주파수가 신근 피로에 영향을 주는지를 알아보기 위한 Duncan 다중비교 결과는 그림 9와 같으며, 굴근에서와는 조금 차이를 보이고 있다. 진동 주파수 80Hz와 100Hz 사이와 150Hz, 200Hz 및 무진동(0Hz) 사이 그리고 100Hz, 150Hz 및 200Hz 사이에는 신근 피로에 미치는 영향에는 차이가 별로 없으나($p<0.01$), 40Hz는 다른 모든 진동 주파수와, 80Hz는 150Hz,

200Hz 및 0Hz간에 큰 차이가 있음을 알 수 있었다($p<0.01$). 또한 100Hz와 0Hz 간에도 큰 차이를 보임을 알 수 있었다($p<0.01$). 그리고 신근에서도 굴근에서와 마찬가지로 150Hz와 200Hz에서는 무진동(0Hz)과 차이가 없는 것으로 보아 150Hz 이상의 고주파수 진동에서는 신근 피로에 진동의 영향이 거의 없음을 알 수 있었다.

또한 굴근과 신근간에 피로도 차이가 있는가를 알아보기 위하여 Duncan Test를 실시한 결과(그림 10) 두 근육간에는 피로도 차이가 별로 없는 것으로 나타났다($p<0.01$). 이는 수 작업시 손목 굴근과 신근이 함께 동원되어 움직임이나 힘의 발휘에 관여하는 것으로 해석할 수 있고 또한 진동의 영향도 동일한 수준으로 받는 것으로 볼 수 있다.

4. 결 론

본 연구는 진동주파수와 손목자세에 따라 전완의 굴근과 신근의 피로에 미치는 영향을 EMG 신호를 이용하여 분석하였다. 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

1. 손목자세에 있어서 굴곡과 측골편향시 중립의 경우에 비하여 전완의 굴근 및 신근 피로에 미치는 영향이 통계적으로 유의하게 차이가 났다. 그러나 굴곡과 측골편향간에는 유의한 차이가 없었다. 이는 작업시 손목을 중립자세로 유지하는 것이 가장 바람직하다는 일반적인 이론과도 일치하며, 어떠한 형태로의 손목 꺾임일지라도 거의 유사한 정도로 전완의 근 피로를 유발시킨다는 것을 알 수 있었다.

2. 진동주파수에 따른 피로 분석 결과는 굴근 및 신근 모두 40Hz에서 피로에 가장 많은 영향을 미치고, 80Hz 이상에서는 고주파수로 갈수록 영향의 정도가 점점 낮게 나타났다. 이는 진동주파수가 높을수록 손에서의 진동감쇠량이 높아져 전완에 전달되는 진동량이 상대적으로 적어지기 때문으로 판단된다. 또한 Duncan Test 결과 150Hz 이상의 주파수에서는 무진동과 거의 유사한 결과를 보였다. 따라서 150Hz 이상의 주파수에서는 굴근과 신근의 피로에 미치는 진동의 영향은 상대적으로 매우 적음을 알 수 있었다. 이것은 Park(1994)의 연구에서 높은 진동수(〉150Hz)는 상대적으로 약한 TVR(Tonic Vibration Reflex)을 일으켜 근육과 건에 적은 스트레스가 가해진다고 보고한 것과 일치한다.

3. 굴근과 신근간의 피로도 차이 분석 결과 두 근육간에는 피로도 차이가 별로 없는 것으로 나타났다. 이는 수공구 등을 이용한 수 작업시 손의 움직임이나 힘의 발휘에는 굴근과 신근이 함께 동원되어 관여하는 것으로 이해할 수 있으며, 각 근육에 전달되어지는 진동량도 유사한 것으로 추정된다.

본 연구의 결과는 산업현장에서 전동 수공구를 사용하는 작업자들의 누적외상병, 진동성 백지병 등과 같은 질환의 예방에 도움을 줄 수 있을 뿐만 아니라 전동수공구와 이를 사용하는 작업의 인간공학적 설계시 유용한 기초자료로 활용되어질 수 있을 것이다.

본 연구에서는 실험의 요건상 연구범위를 한정하여 진동가속도 2g에서의 주파수 크기와 손목자세에 따른 전완의 굴근 및 신근 피로에 미치는 영향에 대한 분석 및 평가를 행하였다.

그러나 진동가속도의 크기가 달라질 경우 그 결과값이 달라질 수 있다. 따라서 향후 연구에서는 진동가속도의 크기를 여러 수준으로 나누어 실험하여 그 결과를 일반화하는 것이 요구된다. 또한 실제 전동 수공구 작업시 손과 팔의 각 부위에 전달되는 진동 전달 특성의 정량적 평가와 EMG 분석 결과와의 상관분석을 통해 진동이 근 피로에 미치는 영향을 보다 객관적으로 평가할 필요가 있다.

참 고 문 헌

[1] 김철홍, "누적외상병 예방을 위한 Drilling 작업 빈도에 관한 연구", 1994년도 대한 인간공학회 춘계학술발표대회 논문집, 41-48, 1994.

[2] 박호상, "진동환경하에서 각작업자세에 미치는 특성분석", 대한 인간공학회 10주년 기념 학술대회 논문집, 141-147, 1992.

[3] 박희석, "Frequency Analysis of the Tonic Vibration Reflex of the Hand Flexor Muscles", 1994년도 대한 인간공학회 춘계학술발표대회 논문집, 49-51, 1994.

[4] 박희석, "스크류 드라이버를 사용하는 작업장의 인간공학적 평가: 심리육체적 접근방법", 대한인간공학회지, 15(2), 51-62, 1996.

[5] 유재우, "Handtool의 인간공학적 설계를 위한 체계적인 접근방법", 1995년도 대한 인간공학회 추계학술발표대회 논문집, 231-239, 1995.

[6] 유재우, "체계적인 접근방법을 통한 양손공구의 인간공학적 디자인", 1997년도 대한 인간공학회 춘계학술발표대회 논문집, 75-81, 1997.

[7] 이동춘, 장규표, "한국 성인의 악력특성분석에 관한 연구", 대한인간공학회지, 16(1), 73-83, 1997.

[8] 정명철, 김정룡, "근육 피로도 분석시 사용되는 매개변수들간의 민감도 비교 연구", 1997년도 대한 인간공학회 추계학술발표대회 논문집, 406-413, 1997.

[9] 중앙대학교 산업디자인 연구소, 산업디자인을 위한 한국인 인체측정 및 활용 기술개발에 관한 연구, 1998.

[10] 한국공업표준협회, 한국공업규격 KS A 7003 인체측정용어, 1989.

[11] 한국공업표준협회, 한국공업규격 KS A 7004 인체측정방법, 1989.

[12] 현수돈, 김정룡, "High Heel이 허리 근육 피로에 미치는 영향에 관한 연구", 대한인간공학회지, 16(3), 37-48, 1997.

[13] Armstrong, T. J., Fine, L. J., Radwin, R. G. and Silverstein, B. S., "Ergonomics and the effects of vibration in hand-intensive work", Scandinavian Journal of Work, Environment and Health, 13, 286-289, 1987.

[14] Burström, L., and Lundström, R., "Absorption of vibration in the human hand and arm", Ergonomics, 37(5), 879-890, 1994.

[15] Caldwell, L. S., Chaffin, F.N., Dukes, D. B., Kroemer, K. E. H., Laubach, L. L., Snook, S. H., and Wasserman, D. E., "A proposed standard procedure for static muscle strength testing", American Industrial Hygiene Journal, 35, 201-206, 1974.

[16] Cannon, L., Bernacki, E., and Walter, S., "Personal and occupational factors associated with carpal tunnel syndrome", Journal of Occupational

Medicine, 23(4),255-258, 1981.

[17] Kim, C. H. and Fernandez, J. E., "Psychophysical frequency for a drilling task", International Journal of Industrial Ergonomics, 12, 209-218, 1993.

[18] Kim, J. Y., Song, H. Y., Yun, M. H. and Lee, M. W., "Effects of Tool Weight and Hand Posture on the Postural Tremor of the Upper Extremity", Journal of the Ergonomics Society of Korea, 15(2), 177-184, 1996.

[19] Kume, Y., Maeda, S. and Hashimoto, F., "Effects of localized vibration in work environment on organic functions at finger tip for surface roughness", Proceedings of the 1984 international conference on occupational ergonomics, 457-461, 1984.

[20] Marley, R. J. and Fernandez, J. E., "Psychophysical frequency and sustained exertion at varying wrist postures for a drilling task" Ergonomics, 38, 303-325, 1995.

[21] Park, H. S. , "Effects of hand tool vibration on involuntary muscle contraction", Porceedings of The 3rd Pan-Pacific Conference on Occupational Ergonomics, 127-131, 1994.

[22] Radwin, R. G., Armstrong, T. J. and Chaffin, D. B., "Power hand tool vibration effects on grip exertions", Ergonomics, 30(5), 833-855, 1987.

[23] Schwartz, W. H., "Portable power & hand tools, and fasteners", Assembly Engineering, 9, 134-140, 1989.