Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 26, No. 1 pp.29-37, February 2007

그라인딩 작업시 손목자세별 국소진동 전달특성 분석*

황 성 환[1] · 이 동 춘[2]

[1]한국원자력연구소 계측제어 · 인간공학연구부 / [2]동아대학교 산업경영공학과

An Analysis of Transmitted-Vibration Characteristics by Different Wrist Posture during Grinding Tasks

Seong Hwan Hwang[1], Dong Choon Lee[2]

[1]Instrumentation & Control·Human Factors Division, KAERI, Daejeon, 305-353
[2]Department of Industrial & Management Systems Engineering, Dong-A University, Busan, 604-714

ABSTRACT

This study was performed to evaluate the characteristics of transmitted vibration to hand-arm system under different work posture while operating a light-weighted powered hand grinder. For the experiment, 8 different types of wrist posture (natural, unlar-flexion, radual-flexion, flexion, extension, complex posture, and etc.) and 3 types of feed force (20[N], 50[N], 70[N]) were considered. 10 male subjects were employed to polish metal plate with a hand grinder. All of them were normal and healthy with no history and symptom of the work related musculoskeletal disorders in the dominant hand. Vibration acceleration data were recorded with sampling rate, 2048[Hz]. In addition, unweighted overall R.M.S. acceleration at the tool and wrist, and transmissibility between them were used to evaluate factors from the recorded tri-axial vibration acceleration. The results indicate that transmissibility of natural wrist posture was significantly higher than others. In addition, as the feed force becomes larger, the vibration was transmitted in large quantities to hand-arm system through radius.

Keyword: MSDs, HAVS(hand-arm vibration syndrome), Transmitted Vibration, Hand tool, Wrist posture

1. 서 론

현재 다양한 작업현장에서 흔히 사용되고 있는 전동식 수공구는 작업의 편의성과 생산성 향상에 기여하고 있으나, 작업자는 이러한 수공구의 사용으로 인해 국소진동에 노출되고 있다. 전동공구의 크기, 무게 및 형태는 진동 발생으로 인한 작업자의 누적 스트레스를 증가시키는 주요인이며, 이러한 누적 스트레스는 근골격계질환(MSDs: musculoskeletal disorders), 특히 국소진동증후군(HAVS: hand-arm vibration syndrome)과 같은 인간공학적 문제를 야기시키고 있다(Aghazadeh and Mital, 1987; Armstrong, 1983).

이와 같이 근골격계질환에 영향을 미치는 요인에 대하여 NIOSH(1997)에서는 역학 조사를 통하여 목, 어깨, 팔꿈치, 그리고 손/손목의 신체 부위에 대하여 반복, 힘 발휘, 정적 수축, 자세, 진동 및 이들의 조합에 의한 위험요소가 주요한

*This paper has been nominated by the poster jury for best poster in the 16th World Congress on Ergonomics in Maastricht, the Netherlands.

교신저자: 황성환
주 소: 305-353 대전광역시 유성구 덕진동 150, 전화: 042-868-8732, E-mail: shhwang@kaeri.re.kr

발생 요인으로 평가하고 있다.

특히 손/손목에 대해 Armstrong 등(1982)과 Kong 등(2006)은 반복성, 지속성 및 과도한 손목 동작이 근골격계 질환 중 수근관 증후군(CTS), 건초염(tenosynovitis), 건염(tendonitis)과 DeQuervain 질환의 주요한 위험 요인으로 평가하였다. 또한 Kong 등(2006)과 Armstrong and Chaffin(1979)은 손과 손목의 건에 발생하는 질환의 유병률에 부자연스러운 손의 자세와 고도의 동적인 손목 동작이 강한 관련이 있다고 보고하였다. 관련 자료에 따르면 손/손목 관련 MSDs 중 건과 관련된 질환이 55%를 차지하는 것으로 보고되고 있다(BLS, 1996; Kong 등, 2006).

이러한 관점에서 공구에서 발생된 진동이 손-팔 시스템(hand-arm system)으로 전달되는 진동전달 특성은 사용되는 공구의 유형과 작업 대상물의 특성 및 작업시 사용되는 악력, 미는 힘, 손의 크기 등과 관련이 있다(Hall, 1997). 그러나 이러한 물리적 특성과 더불어 실제 현장에서는 다양한 작업자세가 발생하게 되므로 동적인 작업자세를 고려한 진동전달 특성의 평가가 필요하다고 판단된다.

그러므로, 본 연구에서는 그라인딩 작업시 실제 작업장에서 요구되는 다양한 손목자세를 고려하여 발생가능성이 높은 자세에 대한 공구와 손목에서의 진동전달 특성을 평가함으로써 근골격계질환의 예방과 관리에 도움이 되고자 한다.

2. 연구 방법

본 연구에서는 현장에서 발생되는 다양한 손목자세를 고려하기 위하여 중소 제조업체를 대상으로 그라인딩 작업시의 손목자세를 조사한 후 각 자세에 대하여 국소진동 평가가 실시되었다. 진동의 측정은 공구 손잡이와 손목의 요골/척골에 가속도계(accelerometer)를 부착하여 각 부위에 전달되는 진동량을 전체 비가중 RMS(unweighted overall RMS) 진동 가속도 값으로 평가하였다.

2.1 피실험자

본 연구에서는 근골격계질환의 징후 및 상해 경험이 없으며, 손목자세의 통제를 위해 직업적인 그라인딩 작업을 한 경험이 없는 대학생 피험자(남자) 10명을 피험자로 선발하였다. 이들의 평균 연령은 26.4±1.2[yr], 평균 신장은 176.83±3.43[cm], 평균 몸무게는 73.67±3.20[kg]이며, 평균 손길이는 18.7±0.8[cm], 최대악력은 46.54±4.78[kg/f]이었다.

2.2 실험장치

본 연구에서는 피험자 인체계측을 위하여 마틴식 인체계측이기(martin type anthropometric set), 미는 힘의 통제를 위해 CAS 전자저울, 그리고 진동 측정 및 분석 시스템(Nsoft-Ncode)이 사용되었다.

공구에서 발생된 진동과 손목으로 전달된 진동의 측정은 Kistler사의 가속도계를 사용하였으며 규격은 표 1과 같다. 또한 그림 1과 같이 BOSCH 사의 전동식 그라인더(220V, 1.75[kg])를 사용하여 그림 2와 같이 제작된 금속판(경도: 25.5)을 연삭하도록 하였으며, 각 작업의 유형에 따라 각각 수평 그라인딩, 수직 그라인딩과 손목 통제/자유자세에 사용되었다.

표 1. Kistler 가속도계의 사양

위치	유형	SN	측정용량
공구	8790A500	C125325	500G
손목	8690C50	C127159	50G

그림 1. BOSH 전동 그라인더

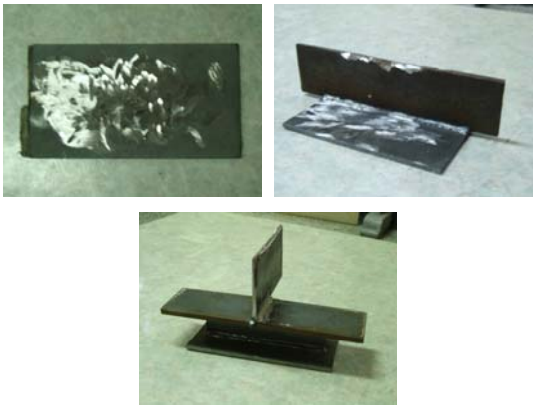

그림 2. 작업 대상물

2.3 실험 계획

본 연구에서는 손목자세에 따른 진동전달 특성의 평가를 위하여 현장에서의 다양한 자세를 조사하여 기본적인 8가지

자세를 선정하였다. 또한 작업 대상면, 사용하는 손 등은 통제변수로 설정하여 실험을 수행하였다.

종속변수로는 진동전달 특성을 파악하기 위하여 전체 비가중 RMS 진동 가속도 값과 공구와 손목의 두 부위 간의 전달률(transmissibility)을 사용하였다. 표 2는 본 연구의 실험 계획을 요약한 것이다.

표 2. 실험변수

변수	수준
독립변수	손목 자세(우측손) (8): – P1: 중립자세 – P2: 척골편향 + 신전 – P3: 척골편향 + 굴곡 – P4: 척골편향 – P5: 요골편향 – P6: 수직 그라인딩 – P7: 손목통제 자세 – P8: 손목자유 자세 미는 힘: – P1 – P5 : 20[N], 50[N], 70[N] – P6 : 10[N], 20[N] 손목에서의 진동데이터 획득 지점: – 요골 – 척골
종속변수	전체 비가중 RMS 진동 가속도 값[G] 전달률(Transmissibility between tool and wrist)

2.4 실험 절차

본 연구에서는 실험 목적에 부합되는 피험자 10명을 선발하여 모의실험 과정을 통해 맨손 작업 조건하에서 3분 이상 일정하게 미는 힘을 유지할 수 있도록 적응훈련을 실시하였다. 그 후 공구에서 손으로 전달되는 진동 전달량에 영향을 줄 수 있는 신체 부위에 대해 Martin식 인체계측기를 사용하여 인체계측을 실시하고 완전 랜덤화된 실험 조건하에서 실험을 실시하였다.

그림 3–10은 실험변수로 선정된 작업자세 하에서 실험을 실시하는 장면이다.

각 실험 간에는 피로에 의한 영향을 최소화하기 위해 1회의 실험 실시 후 최소 10분 이상의 휴식 시간을 가졌으며 실험 도중 피험자가 주어진 실험 조건을 유지하지 못하였을 경우에는 휴식 후 재 실험을 실시하였다.

또한 완전 랜덤화된 실험을 실시하기 위하여 실험 순서, 실험일자 및 손목 부착용 가속도계의 부착 순서를 조정하여 실험을 수행하였다. 본 실험에 손목에 부착된 가속도계는 공구에 부착되는 가속도계와 달리 가속도계의 민감도 문제로 인하여 측정용량이 적기 때문에 전체 실험은 각 실험 조건에 따라 공구–요골, 공구–척골의 2회 실험이 실시되었다.

그림 3. P1

그림 4. P2

그림 5. P3

그림 6. P4

그림 7. P5

그림 8. P6

그림 9. P7

그림 10. P8

2.5 데이터 분석

본 연구에서는 미는 힘의 통제를 위해 CAS 전자저울을 통해 표시된 값이 주어진 조건에 대하여 오차가 ±10% 이하로 만족하는 경우 10초 동안의 데이터를 측정장비를 사

용하여 획득하였다. 이 데이터에 대하여 RMS(root mean square) 값의 계산을 위해 time domain 상의 그래프에서 가장 안정된 1초 간의 구간 데이터를 선별한 후 Fast Fourier Filter 중 high pass filter를 사용하여 6[Hz] 이하의 저주파 성분은 소거하였다. 또한 이 데이터를 기반으로 전체 비가중 RMS($\sqrt{a_x^2+a_y^2+a_z^2}$) 진동 가속도 값의 계산 및 공구와 손목 간의 전달률을 계산하였다.

본 연구에서 진동 가속도 값의 계산을 위하여 경전동 그라인더인 것을 감안하여, ISO-5349(1986)에서 규정하고 있는 인체에 유해한 6.3~1,250[Hz] 중에서 6.3~1,024[Hz] 간의 데이터 획득을 위해 Sampling Rate는 2,048[Hz]로 설정하여 실험이 진행되었으며, 공구와 손목의 가속도계에서 측정된 Xh, Yh, Zh의 진동 벡터량은 n-Soft N-code 시스템을 사용하여 RMS 값을 획득하였다.

실험 결과 분석을 위한 통계적 분석은 SAS 8.0을 이용하여 분산분석을 실시하였으며, 사후검정 방법으로 Duncan's multiple range test를 실시하였다.

3. 실험 결과 및 분석

손목자세, 미는 힘, 손목에서의 측정 부위에 따른 진동전달 특성을 평가를 위해 공구와 손목에서의 전체 비가중 RMS 진동 가속도 값 및 공구와 손목 간의 전달률 데이터에 대한 분산분석을 실시하였다. 또한 결과 분석은 수평자세(P1-5), 수직자세(P6), 손목 통제/자유자세(P7-8)에 대하여 미는 힘 및 손목측정 부위에 대한 분석을 실시하였다.

3.1 공구에서의 진동 가속도 분석

3.1.1 수평작업자세에 대한 진동 가속도 분석(P1-5)

표 3은 수평작업자세에 대한 공구에서 발생한 전체 비가중 RMS 진동 가속도에 대한 분산분석 결과를 정리한 표이다. 표에서와 같이 수평작업자세의 경우 손목자세와 미는 힘에 대한 주효과는 매우 유의한 것으로 나타났으며(p<0.01), 2인자 교호작용은 통계적인 유의차가 없는 것으로 나타났다.

표 3. 공구에서의 ANOVA 분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	4	144.2123	36.05308	12.83	<.0001**
B	2	270.5775	135.2888	48.15	<.0001**
A*B	8	26.48246	3.310308	1.18	0.3122
Error	282	792.4152	2.809983		
Total	296	1233.688			

A: 손목자세 ; B: 미는 힘
**: p<0.01

그림 11-12는 각각 손목자세와 미는 힘의 변화에 따른 주효과를 나타내고 있다. 그림에서와 같이 손목자세에 따라서는 요골편향 자세가 가장 큰 값을 나타내고 있으며, P1-4는 같은 그룹을 형성하고 있는 것으로 나타났고, 미는 힘에 대해서는 미는 힘이 증가할수록 공구에서 발생하는 발생 진동량은 줄어드는 경향을 보이고 있다.

이러한 현상은 드릴링과 같이 전동모터의 RPM을 조절할 수 없기 때문에 경도가 동일한 작업 대상물에 대한 미는 힘의 역영향이라고 판단된다.

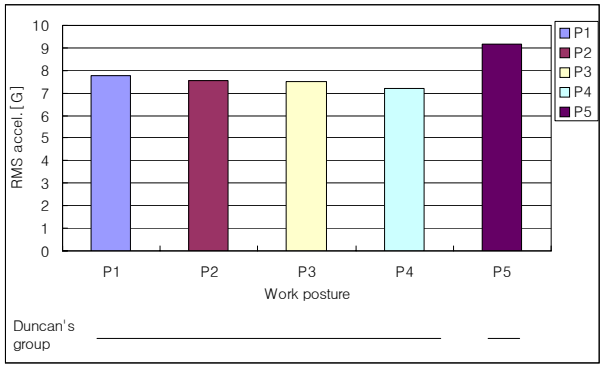

그림 11. 수평작업시 손목자세별 평균 RMS 가속도(공구)

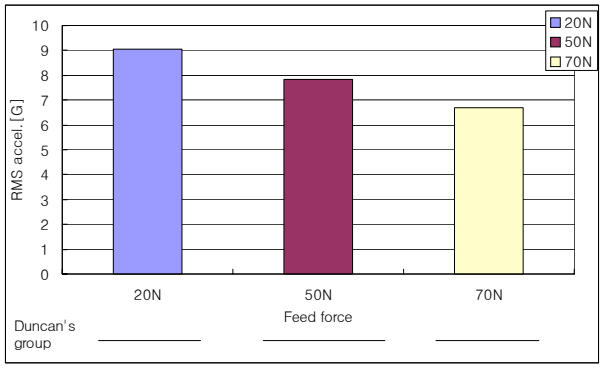

그림 12. 수평작업시 미는 힘에 따른 평균 RMS 가속도(공구)

3.1.2 수직작업자세에 대한 진동 가속도 분석(P6)

P6 자세에 해당하는 측면 수직작업에서는 미는 힘에 대해 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다.

3.1.3 손목 통제/자유자세에 대한 진동 가속도 분석(P7-8)

표 4는 손목자세를 중립자세로 통제한 P7과 손목을 자유로이 한 P8에 해당하는 작업자세를 대상으로 손목자세와

작업방향(수평모서리/수직모서리)에 대한 분산분석 결과를 요약한 표이다. 표에서와 같이 공구에서의 발생 진동량에서는 손목자세는 유의한 차이를 나타내고 있지 않으며, 작업방향에서 고도로 유의한 차이를 보이고 있다(p<0.01).

그림 13은 작업방향(수평/수직모서리)에 대한 인자의 주효과를 나타내는 그림으로서 공구에서의 발생 진동량은 수평모서리를 작업하는 경우 보다 수직모서리를 작업하는 경우 더 큰 진동 발생량을 나타내고 있으며, 이는 수직모서리의 경우 중력방향의 작업이므로 전동 그라인더를 작업 대상물에 미는 힘이 저하되어 공구 RPM의 증가로 발생한 현상이라고 판단된다.

표 4. 공구에서의 ANOVA 분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	1	0.148755	0.148755	0.42	0.5173
B	1	2.977973	2.977973	8.45	0.0045**
A*B	1	0.120789	0.120789	0.34	0.5595
Error	101	35.59058	0.352382		
Total	104	38.8381			

A: 손목자세 ; B: 작업방향
**: p<0.01

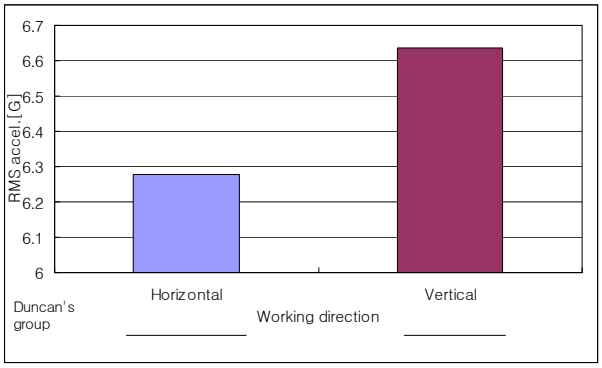

그림 13. 작업방향에 따른 평균 RMS 가속도(공구)

3.2 손목에서의 진동 가속도 분석

손목에서의 가속도 측정은 공구에서 발생된 진동이 손-팔 시스템(hand-arm system)으로 전달된 양(transmitted vibration)을 손목의 요골과 척골 두 부위에서 각각 측정된 전체 비가중 RMS 가속도 값으로 분산분석을 실시하였다.

3.2.1 수평작업자세에 대한 진동 가속도 분석(P1-5)

표 5는 수평작업자세를 취할 때 손목에서 측정된 진동 전달량을 손목자세와 손목측정점, 그리고 미는 힘에 따른 분산분석 결과이다. 표에서와 같이 손목자세에 따라서는 주효과의 유의한 차이가 발생하였으며(p<0.05), 미는 힘에 대해서는 고도로 유의한 주효과의 차이가 발생하였다(p<0.01).

표 5. 손목에서의 ANOVA 분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	4	2.158571	0.539643	2.41	0.0499*
B	1	0.015022	0.015022	0.07	0.796
C	2	7.338683	3.669342	16.36	<.0001**
A*B	4	0.765839	0.19146	0.85	0.4923
A*D	8	1.302114	0.162764	0.73	0.6688
B*C	2	1.065058	0.532529	2.37	0.095
Error	275	61.67593	0.224276		
Total	296	74.32121			

A: 손목자세 ; B: 손목측정점 ; C: 미는 힘
*: p<0.05 ; **: p<0.01

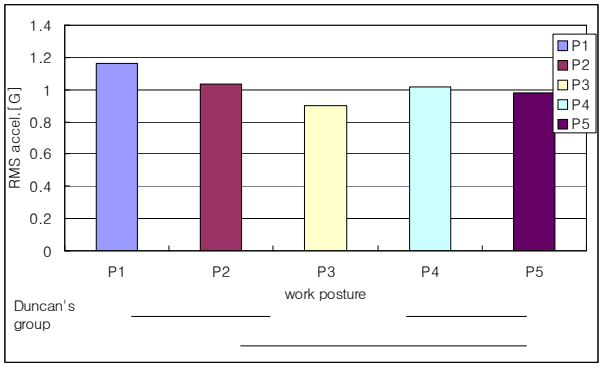

그림 14. 수평작업시 손목자세별 평균 RMS 가속도(손목)

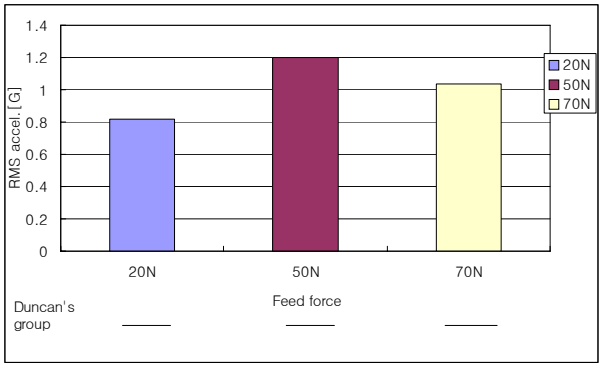

그림 15. 수평작업시 미는 힘에 따른 평균 RMS 가속도(손목)

그림 14는 수평작업자세에서의 손목자세에 따른 손목에서의 진동 전달량으로서 P1(중립) 자세를 기준으로 다른 손목자세의 경우 낮은 전달량 값을 나타내고 있다. 또한 중립자세(P1)와 척골편향 + 굴곡자세(P3)는 전달된 진동량이 가

장 큰 차이를 보인다. 또한 그림 15는 미는 힘에 따른 진동 전달량의 평균 값을 나타내는 그림으로 50[N]으로 작업시 가장 큰 진동 전달량 값을 나타내고 있으며, 20[N]의 경우 가장 낮은 값을 보이고 있다.

3.2.2 수직작업자세에 대한 진동 가속도 분석(P6)

P6 자세에 해당하는 측면 수직작업에서는 손목측정 부위와 미는 힘에 대해 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다.

3.2.3 손목 통제/자유자세에 대한 진동 가속도 분석(P7-8)

표 6은 손목 통제자세와 자유자세에 대한 손으로 전달된 진동 전달량에 대하여 손목자세, 손목측정 위치, 작업방향에 대한 분산분석 결과이며, 그 결과 손목자세와 작업방향에 대한 주효과가 유의한 것으로 나타났다(p<0.05).

표 6. 손목에서의 ANOVA 분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	1	0.250634	0.250634	6.34	0.0134*
B	1	0.079697	0.079697	2.02	0.1589
C	1	0.166027	0.166027	4.2	0.0431*
A*B	1	0.00199	0.00199	0.05	0.823
A*C	1	0.004985	0.004985	0.13	0.7233
B*D	1	0.020067	0.020067	0.51	0.4779
Error	98	3.875227	0.039543		
Total	104	4.398626			

A: 손목자세 ; B: 손목측정점 ; C: 작업방향
*: p<0.05

그림 16은 손목자세의 주효과를 나타내는 그림으로 통제자세에서 보다 자유자세에서 더 큰 진동량이 전달된 것으로 나타났다. 그림 17은 수직방향작업시 더 큰 진동 전달량을 나타내고 있다. 이는 작업방향에 따라 공구에서의 발생 진동량이 커서 생긴 결과라고 판단된다.

3.3 전체 비가중 RMS 가속도에 대한 전달률 분석

본 연구에서는 전체 비가중 RMS 진동 가속도의 전달률에 대한 분석을 실시하였으며, 이 때 전달률은 공구에서 발생한 진동량이 손-팔 시스템(hand-arm system)으로 전달된 비율(손목/공구)을 의미하는 것으로 전달률이 낮을수록 손-팔 시스템을 통과할 때 더 많은 진동 에너지를 근골격 시스템이 흡수해야 한다는 것으로 더 큰 근골격계질환의 위험에 노출시킬 수 가능성이 있는 것으로 평가할 수 있다.

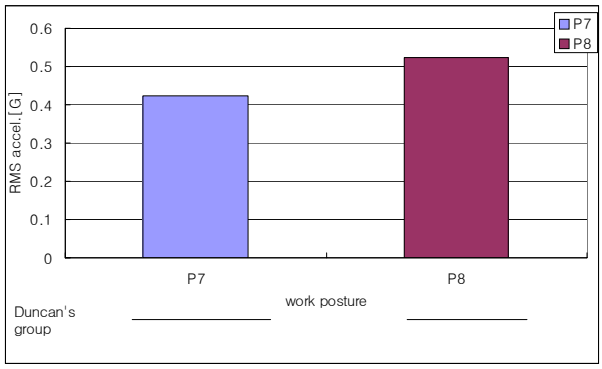

그림 16. 손목자세별 평균 RMS 가속도(손목)

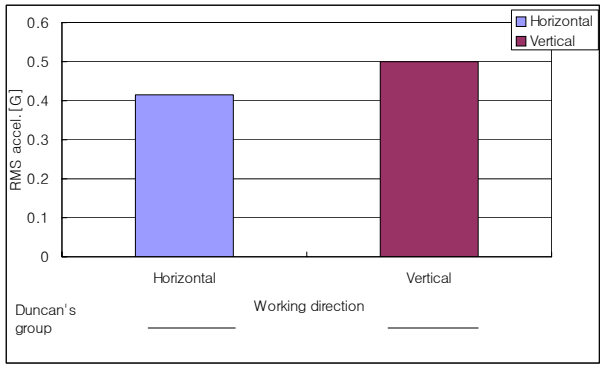

그림 17. 작업방향에 따른 평균 RMS 가속도(손목)

3.3.1 수평작업자세에 대한 전달률 분석(P1-5)

표 7은 수평작업자세 하에서의 손목자세, 손목측정점 및 미는 힘에 대한 전달률에 대한 분석 결과이다. 손목자세와 미는 힘에 대한 인자의 주효과가 유의한 것으로 나타났으며(p<0.01), 손목측정점과 미는 힘 간의 2인자 교호작용이 유의한 차이를 나타내었다(p<0.01)

표 7. 전달률에 대한 ANOVA 분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	4	0.144736	0.036184	4.68	0.0011**
B	1	0.023687	0.023687	3.06	0.0811
C	2	0.256841	0.12842	16.61	<.0001**
A*B	4	0.02728	0.00682	0.88	0.4749
A*C	8	0.009919	0.00124	0.16	0.9956
B*C	2	0.079374	0.039687	5.13	0.0065**
Error	275	2.125786	0.00773		
Total	296	2.667622			

A: 손목자세 ; B: 손목측정점 ; C: 미는 힘
**: p<0.01

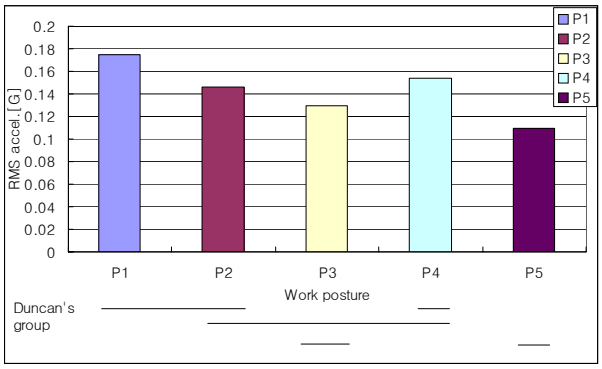

그림 18. 손목자세에 따른 전달률(수평작업자세)

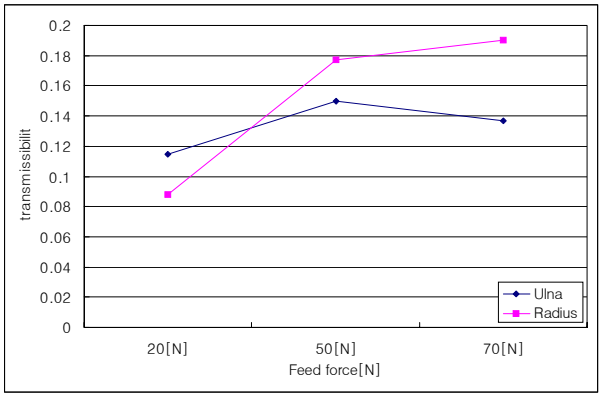

그림 19. 손목부위와 미는 힘 간의 교호작용

그림 18은 수평작업시 손목자세의 주효과의 영향을 나타내는 것으로, 요굴 작업자세(P5)가 가장 낮은 진동 전달률을 나타내었다. 또한 그림 19에서는 미는 힘과 손목측정점(요골/척골)간의 2인자 교호작용을 나타내고 있으며, 50[N]의 미는 힘을 기준으로 미는 힘이 감소할 경우 요골 쪽으로, 미는 힘이 증가할 경우 척골 쪽으로 더 많은 에너지 흡수가 손-팔 시스템에서 이루어지는 것으로 나타났다.

3.3.2 수직작업자세에 대한 전달률 분석(P6)

P6 자세에 해당하는 측면 수직작업에서는 손목측정점과 미는 힘에 대해 통계적으로 유의한 차이가 발생하지 않았다.

3.3.3 손목 통제/자유자세에 대한 전달률 분석(P7-8)

표 8은 P7과 P8에 대하여 손목자세, 손목측정점, 미는 힘의 변수에 대한 분산분석 결과를 요약한 표이다. 표에서와 같이 P7과 8에서는 손목자세에 대한 주효과가 유의한 차이를 보이고 있다(p<0.05)

그림 20은 손목자세에 따른 전달률의 특성으로 나타내는 그림으로서, 손목을 통제하는 경우 더 많은 에너지 흡수율을 나타내는 것으로 나타났다.

표 8. 전달률에 대한 ANOVA 분석 결과

Source	DF	SS	MS	F	Pr>F
A	1	0.004714	0.004714	5.37	0.0225*
B	1	0.001869	0.001869	2.13	0.1477
C	1	0.001949	0.001949	2.22	0.1393
A*B	1	0.000297	0.000297	0.34	0.5621
A*C	1	0.000185	0.000185	0.21	0.6474
B*C	1	0.000533	0.000533	0.61	0.4378
Error	98	0.085997	0.000878		
Total	104	0.095543			

A: 손목자세 ; B: 손목측정점 ; C: 미는 힘
*: p<0.05

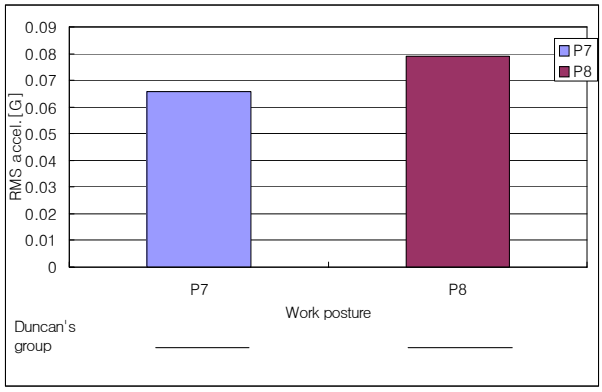

그림 20. 손목자세에 따른 전달률(손목 통제/자유자세)

4. 결론 및 토의

경전동 수공구는 가정에서뿐만 아니라 여러 생산 현장에서 다용도로 사용되는 가장 일반적인 진동 수공구이다. 이러한 전동 수공구의 사용으로 인해 작업자는 작업의 편의성을 보장받게 되지만 그에 따른 역영향으로 국소진동에 노출됨으로 인해 HAVS의 유병률을 상승시키게 되어 근골격계질환에 노출되는 결과를 가져오게 된다. 그러므로 본 연구에서는 근골격계질환을 예방과 관리를 위하여 다양한 작업 조건에서 발생할 수 있는 여러 손목자세를 고려하여 진동전달 특성을 평가하였다. 본 연구에서 평가된 공구는 작업장에서 일반적으로 사용되고 있는 경전동 그라인더를 대상으로 하였으며, 그 결과를 요약하면 다음과 같다.

가. 공구에서의 진동 가속도 분석

– 수평작업자세에 대한 진동 가속도 분석 결과 P1–4와 P5가 각기 다른 그룹을 형성하였으며, 중립자세를 기준으로 손목이 척골편향을 동반할 때보다 요골편향이 발생하는 경우 더 큰 진동이 발생하였다. 또한 미는 힘이 증가할수록 진동 발생량이 줄어드는 경향이 나타났으며, 이는 그라인더의 특성상 미는 힘이 증가할수록 공구의 회전수가 떨어지게 됨으로써 발생된 결과라 판단된다.

– 손목 통제자세와 자유자세에 대한 진동 가속도 분석결과 수평형 작업이 수직형 작업에 비해 낮은 진동 발생량을 나타내었다. 이는 수평형 작업시 공구의 무게를 활용할 수 있어 보다 낮은 진동이 발생한 것으로 판단된다.

나. 손목에서의 진동 가속도 분석

– 수평작업자세에 대한 진동 가속도 분석 결과 중립자세를 기준으로 다른 자세의 경우 낮은 진동 전달량을 보였다. 이는 공구에서의 진동 발생량이 P1–4가 같은 그룹을 형성하는데 반하여 손목으로 전달된 경우 P3(척골편향 + 굴곡)의 경우 가장 낮은 전달량을 보이고 있으므로 척골편향 + 굴곡자세가 공구와 손목사이에서 진동흡수량이 큰 것으로 보이며, 유해한 손목자세가 될 가능성이 있는 것으로 판단된다. 또한 미는 힘의 경우, 50[N]으로 작업시 가장 큰 진동 전달량을 보였으며, 20[N]으로 작업시 공구의 발생량은 가장 크나 전달된 진동량은 가장 낮은 수준을 보이므로 다른 조합에 비해 공구와 손목사이에서 가장 큰 진동감쇄가 나타났다.

– 손목 통제자세와 자유자세에 대한 진동 가속도 분석결과 자유자세보다는 통제자세가, 수직면 작업보다는 수평면 자세가 에너지 흡수량이 큰 것으로 나타났다.

다. 전체 비가중 RMS 전달률 분석

– 수평작업자세에 대한 진동 가속도 분석 결과 중립자세를 기준으로 해석할 때 척골편향 + 굴곡자세와 요골편향 자세는 가급적 피하는 것이 위험에 대한 노출을 줄일 수 있을 것으로 판단된다. 또한 가장 우수한 조합은 70[N]의 미는 힘일 때 요골에서 진동 전달률이 가장 크게 나타났다. 또한 50[N]을 기준으로 미는 힘이 감소할 경우 요골 쪽으로, 미는 힘이 증가할 경우 척골 쪽으로 더 많은 에너지 흡수가 이루어지는 것으로 나타났다.

– 손목 통제자세와 자유자세에 대한 진동 가속도 분석결과 통제자세에서 보다 많은 양의 진동 에너지를 흡수하는 것으로 나타났다.

본 연구에서는 공구에서의 진동 발생량과 손목으로 전달된 진동 전달량과 전달률을 기준으로 진동전달 특성을 평가하였다. 그러나 수직 그라인딩 작업의 경우 통계적으로 유의한 차이가 나타나지 않았으며, 이는 본 실험에서의 수직그라인딩 작업이 손목의 자세나 미는 힘에 큰 영향을 받지 않아서 발생한 현상이라 추측된다.

또한 본 연구에서는 손으로 전달된 진동량과 전달률을 평가함에 있어 전체 비가중 RMS(unweighted overall RMS) 진동 가속도 값을 사용하여, 손목관절에서의 에너지 흡수라는 관점에서 진동 특성을 해석하였으므로, 추후 주파수 가중 RMS(weighted overall RMS) 가속도에 대한 평가와 더불어 주파수 대역별 분석이 경전동 수공구의 사용으로 인한 근골격계발생의 위험도를 평가하는데 필수적이라고 판단된다. 그리고 본 연구의 대상이 경전동 그라인더에 한정되어 있으므로 본 연구 결과의 적용을 위해서는 보다 다양한 형태의 추가적인 평가가 필요할 것으로 판단된다.

참고 문헌

Aghazadeh, F. and Mital, A., Injuries due to hand tools, *Applied Ergonomics*, 8(4), 273-278, 1987.

Armstrong, T. J. and Chaffin, D. B., Some biomechanical aspects of the carpal tunnel, *Journal of Biomechanics*, 12, 567-570, 1979.

Armstrong, T. J., Foulke, J. A., Joseph, B. S. and Goldstein. S. A., Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43, 103-116, 1982.

Armstrong, T. J., An ergonomic guide to carpal tunnel syndrome, *American Industrial Hygiene Association Journal*, 43(2), 103-116, 1983.

Bureau of Labor Statistics, *Reports on survey of occupational injuries and illnesses*, Washington, DC, 1996.

Griffin, M. J., *Handbook of Human Vibration*, Academic Press Inc., San Diego, 536, 1990.

Hall, C., External pressure at the hand during object handling and work with tools, *International Journal of Industrial Ergonomics*, 20, 191-206, 1997.

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.

Kong, Y. K. Jang, H. K. and Freivalds, A., Wrist and tendon dynamics as contributory risk factors in work-related musculoskeletal disorders, *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing*, 16(1), 83-105, 2006.

NIOSH, Musculoskeletal disorders and workplace factors: a critical review of epidemiologic evidence for work-related musculoskeletal disorders of neck, upper extremity, and low back, *NIOSH publication*, No. 97-141-, DHHS, Cincinnati, 1997.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 황 성 환 ❖ shhwang@kaeri.re.kr
동아대학교 산업시스템공학과 공학박사
현 재: 한국원자력연구소 계측제어 · 인간공학연구부 Post Doc.
관심분야: HAVS, MSDs, Man-Machine system design

❖ 이 동 춘 ❖ dclee@dau.ac.kr
동아대학교 산업공학과 공학박사
현 재: 동아대학교 산업경영공학과 교수
관심분야: HAVS, MSDs, Man-Machine system design

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 08월 03일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2007년 02월 12일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2007년 02월 15일