

자동차 조립공정에서 공기압력식 진동공구의 국소진동평가

서울대학교 보건대학원

김 선 술 · 백 남 원

- Abstract -

Assessment of Vibration Produced by Pneumatic Hand Tools Used in Automobile Assembly

Sun Sul Kim and Nam Won Paik

School of Public Health, Seoul National University, Seoul, Korea

This study was conducted at an automobile assembly line located in Kyonggi-do, Korea from January 16 to February 28, 1995. The purposes of this study were to assess worker exposures to hand-arm vibration and the performance of gloves for reduction of vibration. The exposure to vibration was measured using to the ISO 5349(1986) method. Vibration acceleration and frequency spectra for each tool were determined on-line replicating actual working conditions and analyzed together with exposure time for evaluating individual worker exposure. Eight pneumatic hand tools, 60 workers exposed to hand-arm vibration, and three pairs of gloves were involved in this study. Results are summarized as follows.

1. Dominant frequencies of vibration for all tools(n=8) measured in this study ranged from 250 Hz to 800 Hz.
2. There was no significant correlation between dominant frequencies and free running speed ($p>0.05$).
3. Total predicted exposure times of using impact, hammer type did not exceed 40 minutes, but metal finish task, using grinder and sander exceeded 40 minutes.
Total exposure time affected significantly the frequency-weighted, 4 hr equivalent acceleration.
4. Predicted prevalence and observed exposure period data were compared in workers(n=60), according to ISO 5349. In this results, 23(50.0 %) and 24(48.07 %) persons exceeded the mean latency periods for vibration-induced white finger(VWF) at 10 % (n=46) and 50 % (n=52) standards, respectively. On the basis of ISO equation, mean latent periods for VWF were 3.23, 4.72 years at 10 %, 50 % standards, respectively.
5. Reduction of vibration by gloves was evaluated. Since impact pneumatic tools produced low

※ 이 논문은 1994년도 산업보건연구소 연구비 지원에 의하여 이루어졌음.

frequency vibrations, conventional gloves did not provide any protection. Gloves A and C amplify somewhat the signal at frequency below 400 Hz; the attenuation increases progressively by frequency to reach 18 dB (7.94×10^{-6} m/s²) at 1,000 Hz.

slightly worsening Glove B did not provide any protection and made the situation slightly worse.

However, since they make the hands warm, the occurrence of vibration-induced white fingers may be reduced.

Key Words : Hand-Arm Vibration, Pneumatic Hand Tools, Vascular Disorders, Frequency-Weighted Energy Equivalent Acceleration. Vibration-Induced White Finger(VWF)

I. 서 론

공기압력식, 전기식, 수압식, 체인소우(chain saws)등의 진동 공구로부터 작업자의 손과 팔, 어깨 등으로 전달된 진동은 작업자에게 불편함을 주고 정밀작업에 능력을 감소시킬 뿐만 아니라 계속하여 노출되면 혈관(blood vessels), 신경(nerves), 뼈(bones), 손과 팔의 근육과 연결조직에 심각한 손상을 줄 수 있다(ISO/DIS 5349, 1986). 1911년에 Loriger등에 의하면 진동공구를 사용하는 작업자에게 손가락이 창백하게 되는 현상이 있다고 보고되었고, Hamilton(1918) 및 Gurdjian & Walk(1945) 등도 이 현상을 외상성 수혈관강직질환(手血管强直疾患)이라 칭하고, 직업성 레이노씨 현상(Raynaud's Phenomenon) 이라고 처음으로 기재하였다(Agate, 1949).

Tichauer(1967)에 의하면 100 Hz 이하의 주파수가 주로 발생하는 진동공구를 사용하는 사람에게는 내장하수증, 복부동통, 혈변, 척추디스크, 요천골동통, 미골통, 골관절염등이 일어나고 100 Hz 이상 250 Hz 이하의 진동주파수가 주로 발생하는 진동공구사용자에게는 상지관절의 외관상 섬유조직염, 골관절염등이 일어나며, 250 Hz 이상인 고주파가 주로 발생하는 진동공구에서는 신경위축및 혈관운동 신경불안전에서 오는 레이노씨 현상이 주로 나타난다고 하였다.

근래 산업화에 따라 각 사업장은 기계화되어가고 진동이 수반되는 직종이 다양하게 생겨 이러한 직종에 근무하는 근로자의 산업보건문제가 점차 간과될 수 없는 것으로 생각되어 가고 있다.

국소진동에 대해 미국정부산업위생전문가협회회(American Conference of Governmental Indu-

strial Hygienists, ACGIH, 1993)는 1일 노출시간별 허용기준을 제시해놓고 있으며, 국제표준기구(International Organization for Standardization, ISO, 1986)와 미국국립표준연구소(American National Standard for Institute, ANSI, 1986)에서는 혈관장애의 초기증상을 나타낼 수 있는 잠복기간을 10 %에서 부터 50 %의 수준에서 가속도 수준과 연관시켜 예측할 수 있는 역학적인 자료를 제시하고 있다. 그러나, 우리나라 노동부에서는 국소진동에 대한 측정, 평가, 그리고 기준자체도 제시되어 있지 않고, 이에 대한 연구도 매우 미흡한 편이다.

따라서 본 연구의 목적은 자동차 조립공정에서 일반적으로 사용되고 있는 공기압력식 진동공구에서 발생하는 진동수준을 평가하여 산업장에서의 진동폭로를 관리하기 위한 기초자료를 제공하는데 있다.

본 연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

- ① 자동차 조립라인에서 일반적으로 사용되고 있는 8가지의 공기압력식 진동 공구에 대해 실제 발생된 진동수준, 주파수의 특성, 총작업시간중 실제노출시간 등을 분석하고;
- ② 국제표준기구와 Brammer 등이 제시한 양반응관계(Dose-Response Relationship)의 방정식을 이용하여 수지창백증세(Finger Blanching)의 장애를 보일 수 있는 가능성을 평가하고;
- ③ 서로 다른 재료가 내장된 3종류의 방진장갑에 대하여 방진효과를 평가하는데 있다.

II. 대상 및 방법

1. 연구 대상

본 조사는 1995년 1월 16일부터 1995년 2월 28일까지 경기도소재 모 자동차 조립라인을 대상으로

실시되었으며, (1) 진동공구로는 공기압력식 진동공구 즉 충격형 렌지 3가지, 해머형 렌지 2가지, 회전식 연마기 3가지로 총 8가지의 공구가 사용되었으며; (2) 대상근로자는 5개 부서 조립라인에서 위의 공구들을 사용하는 60명에 대해 진동수준을 평가하였고; (3) 보호장갑에 대한 방진효과를 평가를 위하여 3종류의 방진장갑이 사용되었다.

2. 연구 내용 및 방법

(1) 측정 대상 공구의 특성

자동차 조립라인에서 대표적으로 사용되고 있는 공기압력식 진동공구의 형태 및 무게, 회전속도, 공기소비량 그리고 작업내용등이 아래의 표 1에 요약되어 있으며, 측정된 진동기기의 종류와 손잡이의 모양, 손을 쥐는 자세 및 3축(X, Y, Z) 측정점에 대한 구체적인 위치는 그림 1에 나타내었다.

(2) 측정 방법

측정위치

진동공구에 대한 국소진동의 측정 위치는 ISO 5349, ANSI, ACGIH의 방법에 따라 손과 접촉한

부위와 가장 가까운 곳에 어댑터(adaptor)를 손잡이 위치에 흔들림과 공진이 없게 단단히 고정시킨후 자력식가속도계(magnetic accelerometer)를 부착하여 기본중심좌표체계(Basicentric Coordinate System)에 따라 3축(X, Y, Z)에 대해서 측정하였다(ISO 5349, 1986; ACGIH, 1993; Pyykko, 1976). 그림 1의 (C)의 기기와 같이 손잡이가 2개인 경우 진동 측정은 양손에 대해 실시하였다.

주파수가중된 진동가속도를 측정하기 위하여 Bruel & Kjaer 모델인 적분형진동측정기기 2513(Intergrating Vibration Type 2513)을 Bruel & Kjaer 실시간신호분석기기 2144(Real Time Signal Analyzer Type 2144)와 연결하여 측정하였으며, 1/3 옥타브범위과장(One-Third Octave Band Spectra)은 Bruel & Kjaer 실시간신호분석기기 2144(Real Time Signal Analyzer Type 2144)로 주파수의 범위를 16 Hz-1250 Hz로 선택한 후 기기 내에 내장되어 있는 프로그램(Software Version 1.40 Program)을 사용하여 측정자료를 모두 저장하였다. 저장된 자료는 실험실내에서 Kodak Diconix 1805 Printer로 출력하여 평가하

Table 1. Description of Tools and Associated Tasks

Type of Tool	Air Consumption (m ³ /min)	Weight (kg)	Free Running Speed (rpm)	Task Description
(A) Calking Hammer	0.1	0.83	6000	Screwing on to a Small Bolt in order to Fix
(B) Impact Wrench(Offset)	0.6	1.8	6500	Screwing on to a Bolt in order to Fix
(C) Vertical Grinder	1.1	3.8	7100	Rough Metal Finishing and Grinding
(D) Impact Wrench(Straight)	0.5	1.3	5800	Screwing on to a Bolt in order to Fix
(E) α -Impact Wrench	0.6	2.16	4500	Screwing on to a Bolt in order to Fix
(F) Light Duty Sander	0.4	0.83	2400	Metal Surface Lightly Finishing
(G) Dag 100s Grinder	0.6	1.5	8000	Metal Surface Finishing
(H) Chipping Hammer	0.45	1.8	3600	Remover Rough Piece of Metal Surface

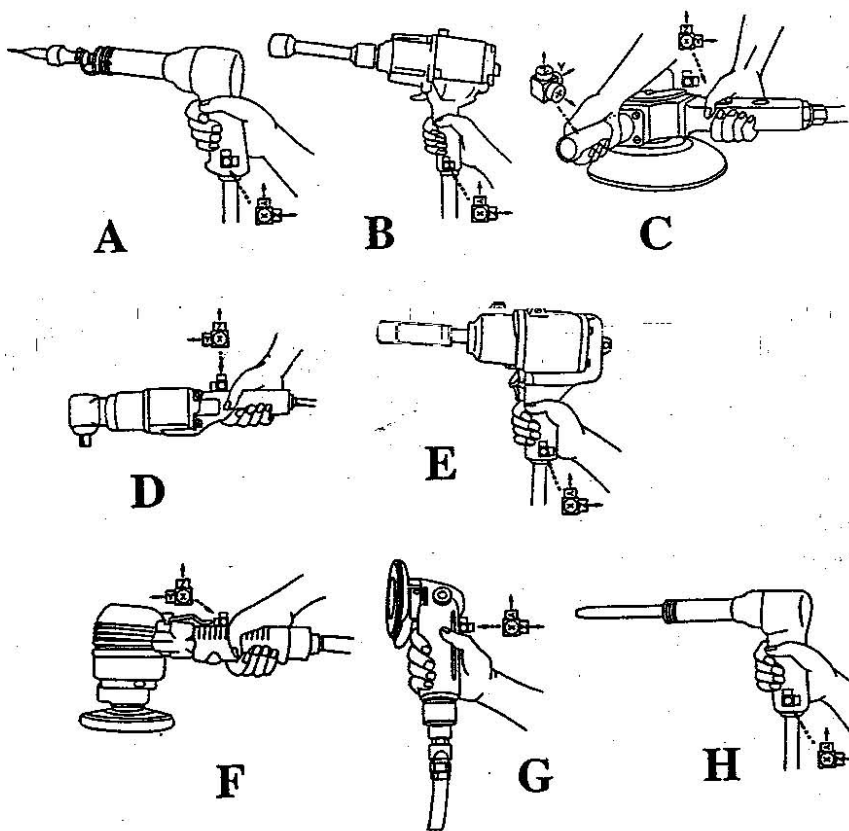


Fig. 1.

Handle and Grip Posture for the Eight Tools Included in the Survey. Accelerometer Locations and Corresponding Coordinates in the x, y, and z Axes are also Included.

(A)Calking Hammer (B)Impact Wrench(Offset Type) (C)Ver-tical Grinder (D)Imp-act Wrench(straight type) (E)α-Impact Wrench (F)Light Duty Sander (G)Dag100s Grinder (H)Chipping Hammer.

Table 2. Values of K_j for conversion of one-third octave band measurements to weighted measurements

Frequency (Hz)	Weighting factor(K_j)	Frequency (Hz)	Weighting factor(K_j)	Frequency (Hz)	Weighting factor(K_j)
6.3	1.0	40	0.4	250	0.063
8.0	1.0	50	0.3	315	0.05
10.0	1.0	63	0.25	400	0.04
12.5	1.0	80	0.2	500	0.03
16	1.0	100	0.16	630	0.025
20	0.8	125	0.125	800	0.02
25	0.63	160	0.1	1000	0.016
31.5	0.5	200	0.08	1250	0.0125

였으며, 이들 기기는 진동측정 전후에 대하여 100 Hz에서 9.8 m/sec²로 보정하여 처리하였다. 그림 2에는 국소진동측정 내용에 대한 블랙선도(Black Diagram)를 나타내었다.

주파수 가중된 가속도수준은 ISO 5349에 따라 6.3-1250 Hz에서 발생한 가속도(Acceleration,

m/s²)수준을 방정식 (1)을 적용하여 산출하였다.

$$a_{h,j} = \sqrt{\sum_{j=1}^n (K_j a_{h,j})^2} \quad (1)$$

K_j is the weighting factor for the j th one-third octave band or octave band given respec-

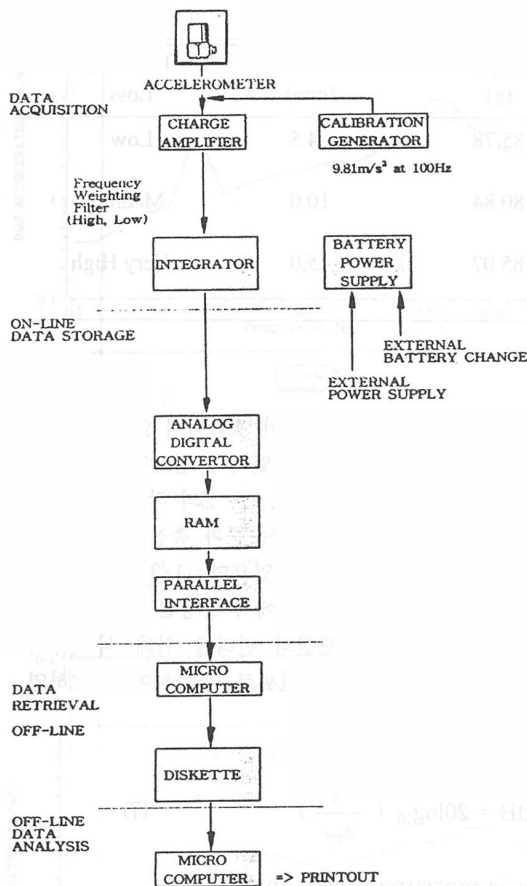


Fig. 2. Black Diagram for Assessment of Vibration Exposure.

tively in Table 2;

$a_{h,j}$ is the acceleration measured in the j th one-third octave band or octave band, in m/s^2 ;

n is the number of one-third octave or octave band being used.

진동 노출시간 분석

진동 노출시간 분석을 위하여 일일 근무자가 생산하는 자동차 생산대수, 관찰기간의 수, 공기압력식 진동공구를 가동하는 평균시간을 고려하여 하루의 총 노출시간을 산출하였다. 주파수가중된 4시간 가속도수준은 하루중 총 노출되는 시간을 평가한후 식 (2)에 적용하여 계산하였다.

$$(a_{h,w})_{eq(4)} = \left[\frac{1}{T_4} \int_0^t [a_{h,w}^{(i)}]^2 dt \right]^{1/2} \dots\dots\dots (2)$$

$(a_{h,w})_{eq(4)}$ is the energy equivalent acceleration for a period of 4 hours, in m/s^2 ;

$a_{h,w}^{(i)}$ is the instantaneous value of the weighted acceleration, in m/s^2 ;

t is the total duration of the working day, in hours;

$T_4 = 4$ hours.

만약 작업자가 주파수 가중된 가속도 수준이 다른 여러 가지 진동공구를 사용한 경우 식 (3)을 사용하여 주파수가중된 4시간 가속도수준을 계산하였다.

$$(a_{h,w})_{eq(T)} = \left[\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n [(a_{h,w})_{eq(t_i)}]^2 t_i \right]^{1/2} \dots\dots\dots (3)$$

where

$$T = \sum_{i=1}^n t_i$$

$(a_{h,w})_{eq(t_i)}$ is the frequency-weighted energy equivalent acceleration for the j th exposure component of duration t_i , in hours.

(3) 근로자의 노출평가

ISO 5349 부록 A는 진동 유도 수치창백증세 가능성을 하루 4시간의 기간으로 년수의 노출시간에 대해 주파수 가중된 에너지의 합수로서 예측할 수 있는 정보를 제공하는데 공기압력식 진동공구를 사용하는 조립라인 근로자 60명의 진동 노출 수준을 평가하기 위하여 수치창백증세의 평균 잠복기간을 식 (4), (5), (6)을 사용하여 계산하였다. 여기서 주파수가중된 가속도 수준은 방정식 (1), (2), (3)을 사용하여 평가하였으며, 계산된 잠복기간과 실제 폭로기간과 비교평가 하기 위하여 기록된 자료와 개인적인 질문을 통하여 실 노출시간을 파악하였다.

$$C = \left[\frac{(a_{h,w})_{eq(4)} * T_f}{95} \right]^2 * 100 \dots\dots\dots (4)$$

where

Table 3. Glove Characteristics

No	Type of Gloves	Materials	Weight (g)	Thickness (mm)	Dexterity Loss
A	Vibrastop Hand Pad	Cotton + Urethane (Finger Open)	85.78	4.5	Low
B	Sanon	Natural Ring Rubber (Finger Close)	80.84	10.0	Medium
C	SuperGlove101	Leather + Urethane (Finger Close)	85.07	5.0	Very High

$(a_{h,w})_{eq(4)}$ is the frequency-weighted energy equivalent acceleration for the period of 4 hours, in m/s^2 ;

C is the percentile of exposed persons expected to show vascular disorders;

T_f is the exposure time before finger blanching in years.

방정식 (4)를 적용한 결과 수치창백증세의 잠복기간이 1년에서 25년 사이를 벗어난 경우 평가에서 제외하였다.

Brammer 등이 제시한 대상집단의 50 %가 수치창백증세를 나타낼 수 있는 평균잠복기간과 이에 대한 표준편차(standard deviation)를 식 (5), (6)과 같이 적용하여 실 폭로기간과 비교 평가하였다.

$$t_{LI} = 78.7/ak^{1.07} \quad (5)$$

$$s = 0.01 + 0.46t_{LI} \quad (6)$$

t_{LI} is the mean latency interval for finger blanching in a population in years;

ak is the frequency weighted energy equivalent acceleration for the period of 4 hours, in m/s^2 ;

s is standard deviation.

(4) 방진장갑의 방진효과

방진 효율을 평가하기 위하여 그림 1에 제시된 진동기기중 조립라인에서 많이 사용하고 있는 충격형 렌지에 대해 3가지의 방진장갑을 착용한 경우와 착용하지 않은 상태로 구분하여 전달된 진동의 비로써 결정한다. 아래의 표 3은 방진장갑의 특성으로 방진재료의 종류 및 물질의 형태, 중량, 두께와 작업속

런도 손실의 주관적인 판단이 포함되어 있다.

이들 장갑의 착용전후에 있어서 전달된 진동수준의 차를 비교하기 위하여 X, Y, Z의 각축에서의 진동수준을 주파수가중된 진동수준과 총진동수준의 값을 가속도의 값으로 비교하였으며, 1/3 주파수폭을 기준으로 6.3 Hz-1250 Hz에서 발생된 각각의 진동수준을 관찰하였다. 관찰의 편리를 위해 식 (7)과 같이 가속도의 값을 dB단위로 환산하여 비교하였다.

$$dB = 20\log_{10} \left(\frac{a}{a_{ref}} \right) \quad (7)$$

a is measured level, in m/s^2 ;

a_{ref} is reference level ($10^{-6} m/sec^2$)

쥐는 힘(Grip Force)과 조이는 힘에 의한 요소를 최소화하기 위하여, 모든 실험은 같은 사람에 대해 실시하였고, 적용된 힘을 일정하게 유지하도록 훈련하였다.

III. 결과 및 고찰

1. 8가지 진동 공구에서 손에 전달된 진동의 특성

(1) 주파수별 특성

공기압력식 진동공구에서 발생된 가속도 수준을 1/3 주파수폭으로서 ISO 5349에서 국소진동의 주파수범위로 규정하고 있는 6.0-1250 Hz의 주파수범위 내에서 관찰한 결과를 Z축 방향에 대하여 그림 3과 그림 4에 표시하였다. 대부분의 공기압력식 진동공구에서 발생된 현저한 가속도수준을 나타내는 주파수의 범위는 250-800 Hz로 비교적 저주파에서

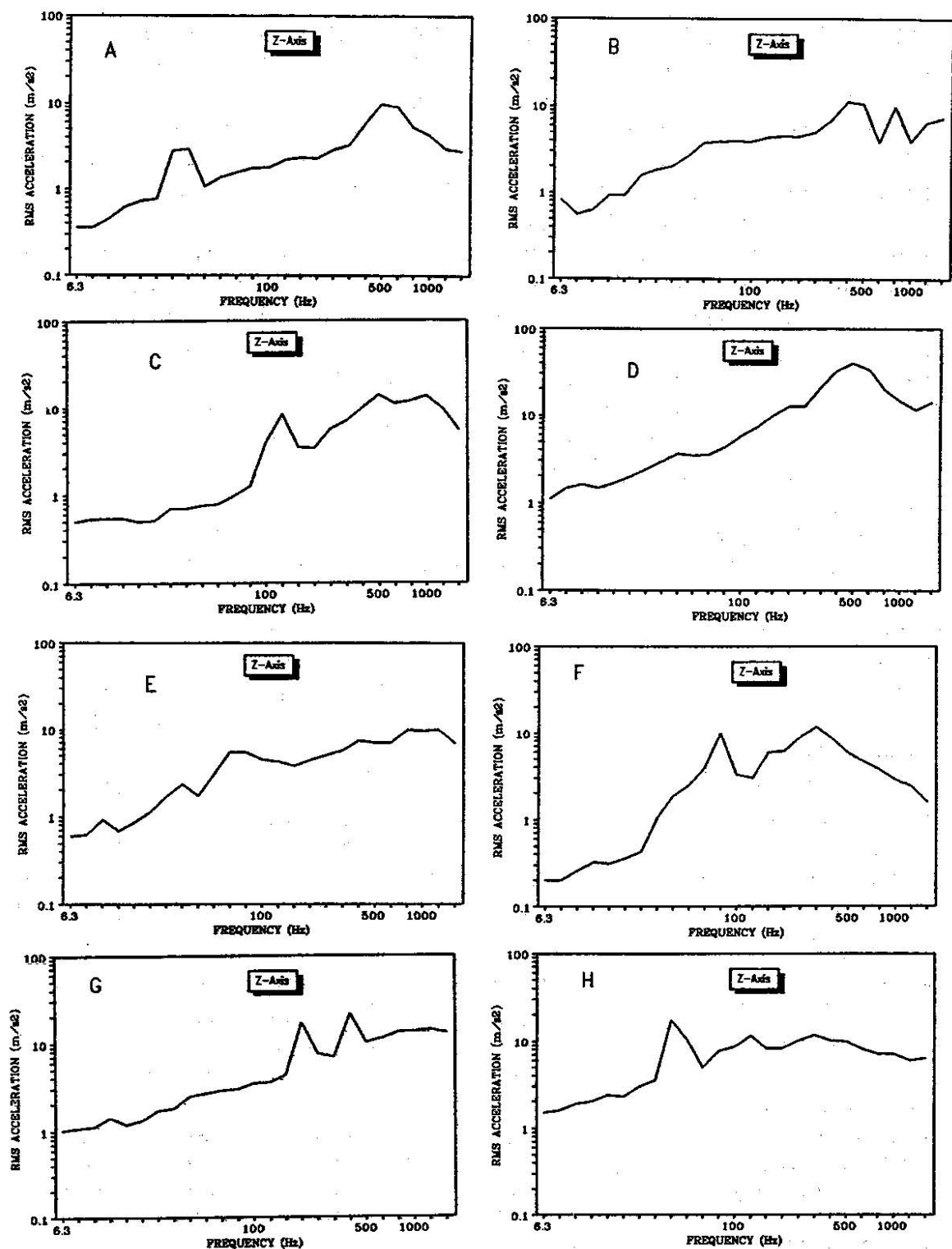


Fig. 3. Representative Power Spectra for the Eight Tools Tested in the Z-Axis. (A) Calling Hammer (B) Impact Wrench(Offset Type) (C) Vertical Grinder (D) Impact Wrench(Straight Type) (E) α -Impact Wrench (F) Light Duty Sander (G) Dag100s- Grinder (H) Chipping Hammer.

보다는 고주파에서 높은 진동수준이 발생되었으며, 1250 Hz 이상의 주파수에서 발생한 진동수준은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 그림 1의 B, E의 충격식 랜지의 경우 각 주파수별 진동수준은 비슷하게 발생하고 있으나 주파수가증된 진동수준에서는 차이가 있었다. D형(Straight Type)의 경우 고주파영역에서 가장 높은 진동수준을 보였으며(39.81 m/sec², 500 Hz), 총 진동수준 또한 가장 높게 발생되었다(36.31 m/sec²). 이는 부속 공구의 연결부분이 심하게 마모되어 결합력이 부족하고 볼트 및 너트의 크기가 다른 기기들과 비교할때 상대적으로 크며, 그림 1에서와 같이 무게중심이 앞쪽으로 되어 있어 작업자가 손잡이를 잡을때 쥐는 힘이 불안정하기 때문인 것으로 보인다. 충격식진동공구중 E(α -Impact wrench)형의 형태는 각각의 주파수별로 가장 낮은 진동수준을 보이고 있으며(14.62 m/sec², 63.0 Hz) 총진동수준 또한 낮게 나타났다(16.96 m/sec²). 특별히 낮은 주파수범위에서 진동수준을 나타내는 이유는 진동공구의 내부및 손잡이에 방진처리장치가 되어 있고, 소모되는 공기의 배출방식이 한곳에 집중되지 않고 분산되어 배출되기 때문에 발생한 진동수준을 크게 감소시키는 것으로 나타났다.

표 4는 각각의 공구별로 현저히 높은 주파수영역에서 발생한 진동수준을 나타내었다. Radwin등(1990)은 일정한 주파수 범위 내에서 현저히 높은 가속도수준을 나타내는 주파수와 기기 제조회사에서 제공한 자유회전속도와는 매우 연관성이 있다고 ($R^2=0.93$, Slope=0.88)하였고, Miwa 등은 6,000~

8,000 rpm, 즉 100 Hz에서 공기 압력식공구중 회전식 그라인더기의 경우 현저히 나타난 주파수요소와 매우 상관성이 있다고 보고하고 있는데, 이는 기기제조회사에서 제공된 자유회전속도를 알면 공구에서 발생한 진동수준을 알수 있고, 이에 대한 진동대책을 세우는데 매우 중요한 자료가 될수 있다고 하였다.

그러나, 이 연구에서 실 작업시간동안 실시한 8가지의 공기압력식 진동공구에서 발생한 현저한 주파수 요소와 기기제조회사에서 제공된 자유회전속도와 회귀분석(Regression Analysis)결과 $R^2=0.427$ ($p>0.05$)으로 통계학적 유의성이 없는 것으로 나타났다. 이는 8가지의 공기압력식 진동기기의 종류가 Miwa 등이 분석한 회전식 그라인더뿐만아니라 충격식, 해머형 등이 포함되고, 회전속도 또한 2,400~7,100 rpm으로 다양하며, 공구의 마모도, 손과 공구사이에서의 기계적인 결합, 쥐는 힘, 작업의 숙련도 등이 다르기 때문인 것으로 나타났다.

(2) 노출시간의 분석

표 5는 8가지의 공기압력식 진동공구를 사용하는 동안 하루중 총 노출시간을 분석하였으며, 표 6은 총 노출시간을 고려한 주파수가증된 4시간 가속도수준및 총수준을 나타내었다. 각 공구별 하루중 진동에 노출되는 시간을 살펴보면, 회전형의 경우 40~75분으로 충격식의 20~33분에 비해 1회 작업 및 하루에 폭로되는 시간이 더 많은 것으로 나타났다. 이때 하루중 실제 폭로된 시간은 표 6에서 보는 것과 같이 주파수가증된 4시간 가속도수준에 크게 영

Table 4. Summary of Main Frequency and Corresponding Individual Axis Acceleration for Tools Tested

Type of Tool	Main Frequency (Hz)	Acceleration(m/s ²)		
		X	Y	Z
(A) Calking Hammer	400	7.50	7.58	9.77
(B) Impact Wrench	400	13.49	17.58	11.22
(C) Vertical Grinder	500	18.84	8.03	13.96
(D) Impact Wrench (Straight Type)	500	16.98	10.35	39.81
(E) α -Impact Wrench	63	14.62	8.03	9.88
(F) Light Duty Sander	80	9.12	28.18	11.22
(G) Dag100s Grinder	200	32.73	40.73	16.98
(H) Chipping Hammer	40	15.48	18.40	19.98

Table 5. Vibration Exposure Time Analysis

Type of Tool	No of Products/Day	Total Operation Time(min)	Unit operations observed	*Unit Operation Time(sec)	^b Predicted Daily Exposure Time(min)
(A) Calking Hammer	120	14.40	54	8 (SD=0.99)	32.0
(B) Impact Wrench	120	8.33	50	10 (SD=0.56)	20.0
(C) Vertical Grinder	500	2.25	15	9 (SD=7.5)	75.0
(D) Impact Wrench	240	4.00	30	8 (SD=1.9)	32.0
(E) α -Impact Wrench	300	2.25	30	4.5 (SD=2.25)	22.5
(F) Light Duty Sander	190	3.50	15	14 (SD=10)	44.0
(G) Dag100s Grinder	190	4.00	15	16 (SD=8.2)	51.0
(H) Chipping Hammer	500	1.30	20	4 (SD=3.5)	33.0

*Unit tool operating time was computed by summing tool operation time during the observation period and dividing by unit operations observed. ^bPredicted daily exposure time was computed by multi-plying No of Products/Day.

Table 6. Summary of Frequency-Weighted Individual Axis and Total Vibration

Tool Description	Location use of Handle	Predicted Daily Exposure Time(min)	Frequency-Weighted 4-hr Energy Equivalent Vibration(m/s ²)			Total (m/s ²)
			X	Y	Z	
(A) Calking Hammer	Right	32.0	7.28	6.49	7.28	12.17
(B) Impact Wrench(Offset)	Right	20.0	10.24	10.24	9.13	17.11
(C) Vertical Grinder	Right	75.0	17.47	15.40	18.50	29.74
	Left	75.0	22.00	18.72	17.08	33.56
(D) Impact Wrench	Right	32.0	16.31	14.54	29.00	36.31
(E) α -Impact Wrench	Right	22.5	11.55	6.96	10.29	16.96
(F) Light Duty Sander	Right	44.0	8.25	19.13	10.88	23.50
(G) Dag100s Grinder	Right	51.0	18.35	24.19	23.10	38.15
(H) Chipping Hammer	Right	33.0	14.76	16.56	14.76	26.65

향을 미치는 것으로 나타났다.

2. 근로자의 노출 평가

조립 공정에서 공기압력식 진동 공구를 사용하는 근로자 총 60명에 대하여 손에 전달된 진동 수준의 평가를 위해 ISO 5349 부록 A의 평가 방법을 적용하였으며 이들 60명에 대한 평균 가속도 수준을 표 7에 나타내었다.

위의 표 7과 같이 주파수 가중된 4시간 평형 가속도의 평균은 $47.50 \pm 27.95 \text{ m/s}^2$ 이었으며, 평균 노출 기간은 4.62 ± 3.49 년으로 최저 0.42년에서 최고 15.58년으로 근무 경력간의 차이가 있었다. 이중 1년 미만인 3명, 1년에서 5년이 36명, 6년에서 10년이 19명, 15년 이상은 2명으로 1년에서 5년사이의 근로자가 전체 대상의 60 %를 차지하였다.

ISO 5349의 방정식에서 수지 창백 증세의 잠복기

간이 1년 이하 또는 25년 이상인 경우 평가에서 제외하였으며, 제외 대상은 10 %, 50 %기준에서 각각 14명(1년이하 11명, 25년 이상 3명), 8명(1년이하 2명, 25년이상 6명)으로 10 %기준에서는 높은 진동을 나타내는 근로자가 대부분이었고, 50 %기준에서는 반대로 낮은 진동 수준을 나타내는 근로자가 대부분 제외되었다.

이 결과 평가 전후에 있어서 평균 진동 노출 수준의 감소와는 반대로 평균 수지 창백 증세의 잠복기간이 길어지게 되는 현상이 나타나는데 이는 ISO 5349 방정식 때문으로 제외된 대상들에 대한 제 평가는 더 많은 연구가 있어야 하겠다.

표 8과 그림 4에서와 같이 10 %의 기준에 대한 결과를 살펴보면, 주파수 가중된 4시간 평형 가속도 평균은 $14.75 \pm 7.33 (1.56 \sim 26.35) \text{ m/s}^2$ 로, 수지 창백 증세의 기대 잠복기간은 2.73년으로 나타났으며, 전체 대상 집단(46명)의 50 %가 수지 창백 증세의 유병율을 나타내었다.

사용 공구별 평균 진동 수준은 임팩트형 과 그라인더형의 경우 각각 $15.17, 12.76 \text{ m/s}^2$ 이었으며, 기대 잠복기간은 2.73, 5.68년으로 그라인더형태를 취급하는 근로자에서 더 긴 잠복기간을 나타내었는데, 위의 가장 큰 이유는 상대적으로 높은 진동 수준을 나타내는 근로자들이 평가에서 제외되었기 때

Table 7. Summary of the workers exposed to Vibration

Number of Workers Exposed to Vibration	Years Exposed to Vibration	Mean Aw(eq4) m/s ²
60	4.62 ± 3.49 (0.42~15.58)	47.50 ± 27.94 (10~120)

Table 8. Expected Latency and Prevalence of VWF Assessed According to ISO 5349

Percentile of Population	Type of Tools	Number of Workers Exposed to Vibration	Mean Aw(eq4) (m/s ²)	Years of Exposure to Vibration	Expected Latency at Prevalence (years)	Observed Latency Prevalence
10	A	38	15.17 ± 7.01 (2.10~26.35)	3.75 ± 2.90 (0.42~9.0)	2.73 ± 2.29 (1.02~14.30)	42.1 %
	B	8	12.76 ± 8.94 (1.56~22.6)	5.34 ± 4.37 (1.25~15.0)	5.68 ± 6.64 (1.33~19.26)	62.5 %
	A and B	46	14.75 ± 7.33	4.03 ± 3.2	3.23 ± 3.53	50.0 %
50	A	41	18.15 ± 10.65 (5.50~51.96)	3.79 ± 2.86 (0.42~9.00)	5.03 ± 2.90 (1.29~12.21)	41.5 %
	B	11	27.96 ± 15.24 (7.67~55.9)	6.38 ± 4.76 (1.25~15.58)	3.53 ± 2.68 (1.20~8.76)	72.7 %
	A and B	52	20.22 ± 12.29	4.34 ± 3.46	4.72 ± 2.90	48.07 %

A: Impact wrenches

B: Grinders

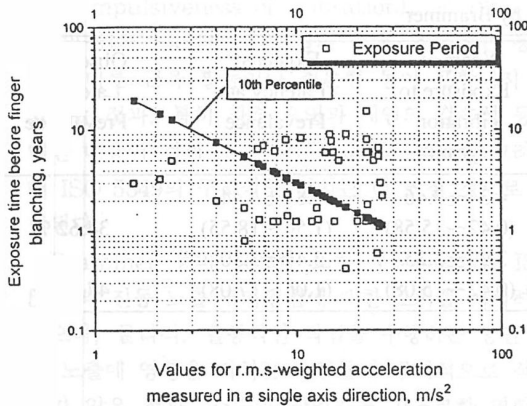


Fig. 4. Exposure and latency period for 10 Percentile of a population group exposed to vibrations in three coordinate axes.

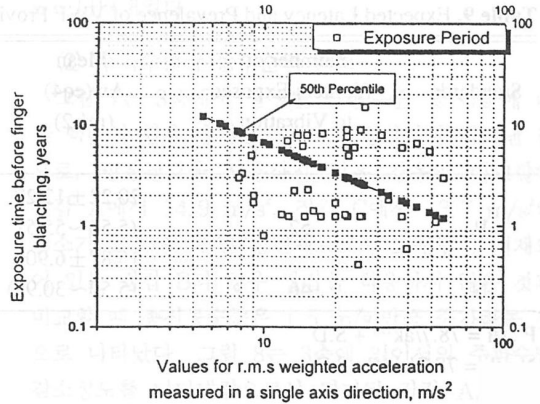


Fig. 5. Exposure and latency period for 50 Percentile of a population group exposed to vibration in three coordinate axes.

문이다.

표 8과 그림 5에서와 같이 50 %를 기준으로 살펴보면, 주파수 가중된 4시간 평형 가속도 평균은 20.22 ± 12.29 ($5.5 \sim 55.9$) m/s^2 이었으며, 기대 잠복기간은 4.72년으로 전체 대상(52명)의 48.07 %가 수지 창백 증세의 유병율을 나타내었다.

임팩트형과 그라인더의 사용 공구별 평균 발생 진동 수준은 각각 18.15, 27.96 m/s^2 로 그라인더 작업자에서 더 높은 진동 수준을 나타내었으며 ($p < 0.05$), 각각의 잠복기간은 5.03, 3.53년으로 그라인더작업자에서 더 짧은 잠복기간을 나타내었다. 이는 10 %기준 적용시와는 다르게 상대적으로 낮은 진동 수준을 나타내는 근로자들이 평가에서 제외되었기 때문이다. 따라서, 그라인더의 작업자들에서 수지 창백 증세에 대한 유병율은 72.7 %로 임팩트형 작업자의 41.5 %에 비해 상대적으로 높게 나타났다.

한편 Brammer 등(1986)은 대상 집단의 50 %가 수지 창백 증세를 보일 수 있는 잠복기간에 대한 방정식과 잠복기간의 표준편차를 제시하고 있는데, 위의 방정식을 이용하여 평균잠복기간 및 수지 창백 증세의 유병율을 평가하여 ISO 5349와 비교하였다. (표 9, 그림 6)

표 9에서와 같이 음의 편차를 기준으로 살펴보면, 전체 대상 집단(46명)의 47.8 %가 수지 창백 증세의 유병율을 나타내었으며, 평균 잠복기간은 3.44년으로 ISO 5349의 10 % 기준시(3.23년)와 큰 차이

를 나타내지 않았다.

양의 편차를 기준으로 살펴보면, 전체 대상 집단(52명)의 34.62 %가 수지 창백 증세의 유병율을 나타내었고, 기대 잠복기간은 6.81년으로 ISO 5349의 50 %기준(4.72년)과는 다소의 차이가 있었다. 이는 Brammer 등이 제시한 구조식을 적용시 ISO에서 적용되지 못했던 낮은 진동 수준을 나타낸 근로자들이 포함되었기 때문이며, 상대적으로 수지 창백 증세의 잠복기간이 연장된 것이다.

이상과 같이 두 방정식을 이용한 수지 창백 증세의 잠복기간과 유병율의 평가 결과 음의 편차를 적용한 경우 큰 차이를 볼 수 없었고, 양의 편차를 적용한 경우에는 다소 차이가 있는 것으로 나타났다.

한편 김성천 등(1974)은 진동 공구 사용자 231명 중 수지의 자각 증상을 호소하는 근로자는 33 %로 보고하였으며, 이때 작업 시간과 자각 증상 호소를 연관지어 진동 공구 사용이 오래된 뒤에 비로서 자각 증상이 나타나고, 자각 증상으로 가장 빈번히 나타나는 것은 "저림"으로 79 %, 다음이 겨울철에 가끔 "손가락이 하얗게 된다"가 37.7 %, "손이 굳어 진다"가 32.5 %로 보고하였다.

Jorulf (1986)는 트럭 조립 라인에서 가속도 노출 수준이 3.9-18.1 m/s^2 의 범위에 폭로되는 904명을 대상으로 손가락 창백 증세의 평가 결과 유병율이 23 %였으며, 무감각증(numbness)의 유병율은 진동 노출 기간이 7년에서 9년사이에서 33 %로 보고하였다. Yu Zeag-Shau 등(1986)도 손가락 창백

Table 9. Expected Latency and Prevalence of VWF Provided by Brammer

Standards	Number of Workers Exposed to Vibration	Mean Aw(eq4) (m/s ²)	Years of Exposure to Vibration (years)	Expected Latency at Prevalence	Observed Latency Prevalence
P	52	20.22 ± 12.27 (5.50 ~ 55.5)	4.34 ± 3.46 (0.42 ~ 15.58)	6.81 ± 4.44 (1.56 ~ 18.55)	34.62 %
N	46	15.87 ± 6.90 (5.50 ~ 30.98)	3.99 ± 3.23 (0.42 ~ 15.08)	3.44 ± 3.30 (1.06 ~ 17.08)	47.80%

P : $tli = 78.7/ak^{1.07} + S.D$

N : $tli = 78.7/ak^{1.07} - S.D$

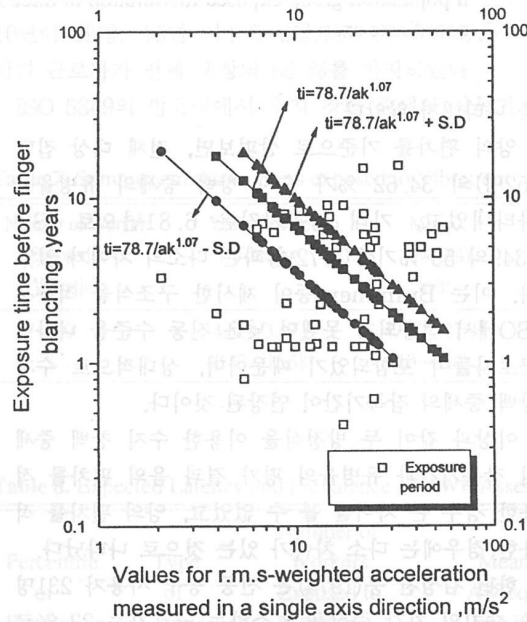


Fig. 6. Exposure and latency periods by provided Brammer.

증세의 유병율은 진동노출기간과 연관이 있다고 보고하고 있으며, 작업년수가 증가할수록 손가락 창백 증세의 유병을 또한 증가한다고 보고하였다.

NIOSH는 미국의 두 주를 공장과 조선소에서 진동에 노출된 385명에 대한 자료를 분석한 결과 수지 창백 증세의 유병율은 주물 공장에서 47 %였고, 조선소에서 19 %로 보고하였다. 이들에 대한 평균 잠복기간은 각각 1.4년과 16.5년으로 보고하였으며, 수지 창백 증세의 심각성은 주물 또는 선박 작업자

들 사이에서 공구를 사용한 연수에 비례해서 유의하게 증가하였다고 보고하였다(Wasserman et al, 1983).

본 조사에서의 수지 창백 증세가 발생할 수 있는 유병율은 위의 연구 결과에 비해 다소 높은 초과율을 보여주고 있는데, 이는 4시간 주파수가중된 진동 수준이 상대적으로 높게 발생하였기 때문인 것으로 나타났다. 한편 Bovenzi 등은 ISO 5349의 수지 창백 증세의 관찰된 유병율의 평가 결과, 기대와 관찰된 잠복기간에서 좋은 상관성을 나타낸다고 하였으나 단지 회전식 공구로서 둘을 연마하는 작업자에서였고, 충격형 공구로부터 진동에 노출된 작업자에서의 수지 창백 증세의 유병율은 과대 평가하는 것으로 보고하였다. (Bovenzi et al, 1994). 또한 ISO 5349의 구조식에 대한 몇몇 연구자들에 의해서 보고된 결과, 진동에 노출된 여러분류의 작업자들에서 수지 창백 증세의 위험성은 과대 평가하는 것으로 보고되고 있다(Futatsuka et al, 1984. Pelmer et al, 1985. Tasker, 1986).

위의 결과들로 보아 ISO 5349에 의해서 제공된 양반응의 구조식은 특별한 공구, 즉 그라인더형태와 체인쇼우로부터 진동에 노출된 작업자들의 위험성 평가를 위해서는 적합한 것으로 나타나지만, 기타 다른 모든 공구들에 대해 완전히 적용시키는데는 어려움이 있는 것으로 보여진다. (Bovenzi, 1994).

또한 ISO 5349에서 제시된 양반응관계의 구조식은 중심주파수가 6.3 Hz에서 1250 Hz의 옥타브 밴드를 위한 진동 주파수, RMS 크기, 노출 기간, 진동의 방향 등은 제시하고 있으나, 현저히 낮은 진동 주파수를 나타내는 공구와, 짧고 일시적인 폭로의

양상(Impulsiveness of Vibration), 손가락의 자세 및 위치, 작업시 손과 팔의 형태, 작업하는 동안의 또다른 근육 활동이나 쥐는힘 등이 포함되지 않았다는 점과, 특히 환경 요인과 개인의 감수성 등에 대한 내용이 전혀 포함되지 않았다는 점들을 고려할 때 ISO 5349의 구조식의 편차는 더 커질 것으로 판단된다.

Brammer 등의 방정식 또한 부분적으로는 ISO 5349의 진동 노출 평가방법에 대한 오차를 제시하고 있으나, 물리적, 활동적인 작업을 수행하는 동안 진동 노출에 영향을 미치는 요인들이 구체적으로 적용되지 않은 점과, 소수의 작업자를 기초로한 역학적인 제한점, 매일 노출 시간과 연관된 정보의 부족, Crest Factor 등을 고려하지 않은 점등을 고려할 때 위의 구조식에 대한 편차는 더 커질 것으로 판단되며, 더 나아가 근로자의 진동 노출 평가를 위하여는 과거의 국소진동노출기간, 손의 혈액순환에 손상을 줄 만한 질병, 뼈의 결합 부분에 순환계의 결점에 원인이 될 만한 과거 손의 손상, 말초신경 조직의 장애 등에 대한 연구가 행해져야 할 것이다.

단순 반복 동작으로 인한 근골격계 질환은 실제 근로자들에게 많은 불편을 주고 있음에도 불구하고 그것에 대한 인식 및 대책은 부족한 실정이다. 특히 손가락 창백 증세는 급속한 기계화 및 자동화로 반복 작업이 증가되면서 앞으로 직업성 질환 중에서 차지하는 비중이 늘어날 것으로 여겨진다. 따라서 우리 나라에서도 직업성 수근터널증후군의 예방 및 대책을 위해 작업 공정의 인간공학적 고려와 초기에 환자를 발견할 수 있는 선별 기준을 마련하여 근로자들의 건강 증진에 도움이 되어야 할 것으로 보인다.

3. 손에 전달된 진동에 대한 방진장갑의 감소효율 평가

(1) 총 진동수준의 변화

자동차 조립라인에서 충격형 렌지에 대해 표 2에서 제시한 3가지의 방진장갑을 착용한 경우와 착용하지 않은 경우로 나누어 3축, 즉 X, Y, Z축의 각각에서 발생된 주파수가중된 진동수준과 이들의 값을 벡터(Vector)의 합으로 계산하여 감소정도를 평가하였으며 (그림 7), X, Y, Z축에서 주파수별 (6.3-1250 Hz)감소정도를 dB단위로 환산하여 그림

8에 나타내었다.

(2) 주파수별 진동수준의 변화

그림 7은 3축에서 발생된 진동수준 및 이들에 대한 벡터의 합을 총진동수준으로 평가하여 나타낸 값으로, 방진장갑을 사용하지 않은 경우와 비교할때 장갑 A에서 14.9 m/s^2 , 장갑 C에서 13.7 m/s^2 의 감소가 있었다. 반면 방진재료로서 고무링이 내재되어 있는 장갑 B의 경우 장갑을 착용하지 않은 것과 비교할 때 총진동수준은 1.5 m/s^2 만큼 증가하는 것으로 나타났다. 그림 8는 3축에 있어서의 주파수별 감소정도를 나타낸값으로서 평가된 장갑 A, B, C 각각의 방진장갑은 400 Hz이하의 주파수에서 부분적으로 발생된 진동수준이 확장되었으며, 몇몇 주파수에서는 최고 5 dB ($3.16 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$) 정도까지 확장되는 것을 보여주고 있다.

그러나 방진 장갑을 착용했을 경우에 있어서, 주파수가 증가할수록 발생된 진동수준의 감소정도가 커지는데 특히 1,000 Hz이상의 주파수에서는 10~18 dB ($1.7 \times 10^{-6} \sim 7.94 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$) 정도의 감소가 있었다(장갑 A, C). 따라서, 충격식 렌지로 작업이 이루어지는 동안 3가지의 방진장갑을 사용할 경우 400 Hz 이상의 비교적 고주파에서의 진동수준은 명백하게 감소하고 있어 우레탄(Urethane)계열의 방진재료는 고주파에서의 진동수준을 낮추는데 효과가 있는 것으로 나타났다.

한편 장갑 B의 경우 3축에 대한 총진동수준은 증가하고 있으며, 특히 100 Hz이하의 저주파수에서

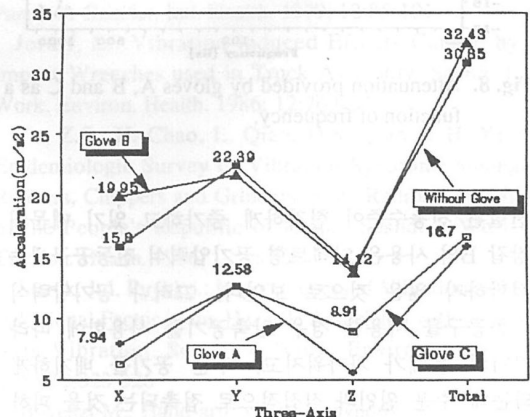


Fig. 7. Attenuation provided by gloves A, B and C as an acceleration unit.

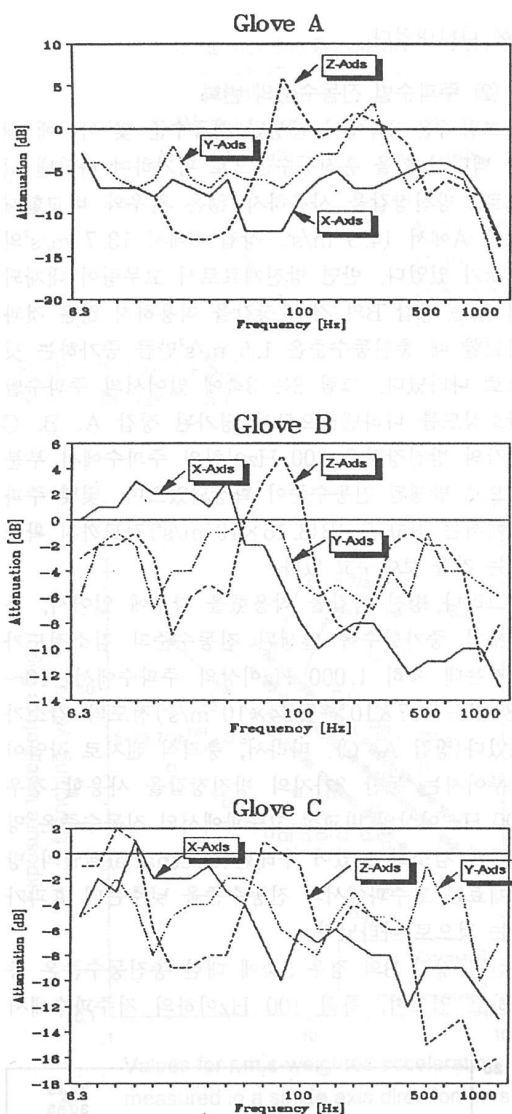


Fig. 8. Attenuation provided by gloves A, B and C as a function of frequency.

전달된 진동수준이 현저하게 증가하고 있기 때문에 장갑 B의 사용은 임팩트형 공기압력식 진동공구에는 적합하지 않은 것으로 보인다. 그러나 공기압력식 진동공구를 사용할 경우 압축공기를 사용함에 따라 기기의 몸체가 차가워지고, 추운 공기를 배기하게 되는데 추운 원인과 직접적으로 접촉되는 것을 피하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

장갑 C의 경우를 구체적으로 살펴보면, 높은 주파

수인 200 Hz이상에서 현저히 감소된 진동수준을 나타내고 있는데 충격식 렌지와 같은 비교적 높은 주파수에서의 진동수준을 나타내는 진동공구를 사용할 경우 적당한 것으로 나타났다. 그러나 장갑 C사용자의 주관적인 판단결과, 손가락이 개방되어 있지 않은 관계로 인해 작업속련도의 손실이 매우 높은 것으로 조사되고 있어 실제로 사용되는데는 어려움이 있는 것으로 나타났다.

손가락이 개방되어 있는 장갑 A는 장갑 C와 비슷한 진동수준의 감소를 보이고 있고, 작업속련도의 손실이 미약하다는 주관적인 판단을 받아들일 때 자동차 조립라인에서 공기압력식 진동공구를 사용시 가장 적합한 것으로 나타났다.

그러나, 방진장갑의 선택시에는 속련도의 손실, 안전성의 문제, 작업자의 편리 및 궁극적으로 얼마나 방진장갑이 유용하게 사용될 것인지는 앞으로 더 많은 연구가 있어야 하겠다.

IV. 요약 및 결론

본 연구는 1995년 1월 16일부터 1995년 2월 28일까지 경기도 지역에 위치한 자동차조립라인에서 대표적으로 사용되고 있는 공기 압력식 진동공구에 있어서 발생된 진동 수준을 조사하였다.

이 연구의 목적은 자동차 조립공정에서 사용되고 있는 진동공구에서 발생된 진동수준의 특성을 파악하고 이들에 노출된 근로자를 평가하는데 있으며, 방진장갑에 의하여 전달된 진동 수준의 감소가 있는지를 파악하여 진동 노출을 최소화하기 위한 대책을 세우는데 있다. 진동의 노출 측정은 ISO 5349의 방법을 적용하였으며, 각 개인의 진동노출을 결정하기 위하여 실 작업시간중에 노출 시간과 함께 주파수의 특성과 가속도수준을 측정하였다. 연구의 대상은 8개의 공기압력식 진동 공구와 60명의 근로자, 3개의 방진 장갑이었으며, 위의 연구 결과 다음과 같은 결론을 얻었다.

1. 8가지의 대표적인 진동공구에서 발생된 현저히 높은 진동수준에대한 주파수의 범위는 250~800 Hz에서 였고, 1.250 Hz 이상의 주파수 범위에서 발생된 진동수준은 점차 감소하는 것으로 나타났다.

2. 8가지의 공구사용시 실 작업시간중에 발생된

현저히 높은 주파수영역과 공구의 자유회전속도와
선형회귀분석결과 $R^2 = 0.427$ 로 통계학적 유의성은
없는 것으로 나타났다.

3. 충격식, 해머식의 공구에서 하루중 총 노출시
간은 40분을 초과하지 않았으나, 금속 표면연마로서
사용되는 그라인더와 연마형의 경우 모두 40분을 초
과하여 발생하였고, 이때 하루중 진동에 노출되는
시간은 주파수 가중된 4시간 평형 가속도 수준에 크
게 영향을 미치는 것으로 나타났다.

4. ISO 5349에 따라 60명을 대상으로 수지창백
증세를 나타낼 수 있는 평균잠복기간을 주파수가중
된 4시간 평형가속도 수준과 실 노출기간에 연관시
켜 평가한 결과 10 % (n=46)의 기준에서 23(50 %)의
명이 기대잠복기간을 초과하여 발생되었고, 50
% (n=52)의 기준에서는 24(48.07 %)명이 기대잠복
기간을 초과하여 나타났다. ISO 5349의 방정식을
기초로 예상된 수지창백증세의 평균잠복기간은 10
%, 50 %의 기준에서 각각 3.23년과 4.72년으로
나타났다.

5. 3가지의 방진장갑사용시에 손에 전달된 진동수
준의 감소효율 평가결과 장갑 A, C의 경우 400 Hz
이하의 주파수 폭에서 발생한 진동수준은 증가가 있
었지만, 400 Hz이상의 주파수에서는 점차 감소하는
것으로 나타났다. 특별히 1000 Hz에서는 최고 18
dB ($7.94 \times 10^{-6} \text{ m/s}^2$)의 감소가 있었다. 장갑 B의
경우 전체진동수준의 차이는 거의 없었으나, 6.3~
100 Hz 범위내에서 발생한 진동수준은 오히려 증가
하였다. 저주파수에서 진동수준을 나타내는 공구들
에 있어 장갑 B는 오히려 상황을 악화시킬 수 있
으나, 이들은 실제 작업장에서 손이 차가워지는 것을
보호 할 수 있으므로 진동으로 인한 수지창백증세의
유병율을 감소시키는데 도움이 될 것이다.

참 고 문 헌

김성천, 이태준: 진동공구 사용자의 주관적 호소와
수지피부온도의 한냉이상반응. 가톨릭대학의학부논문집
1974; 27: 369-375

International Organization for Standardization:
Guidelines for the Measurement and the Assessment of
Human Exposure to Hand Transmitted Vibration

(ISO/DIS 5349). Switzerland: International
Organization for Standardization, 1986

Hamilton, A.: A Study of Spastic Anemia in the Hand
of Stonecutters, Bull. No. 236, U.S. Department of
Labor, Bureau of Labor Statistics, 1918

Guardjian, E.: Traumatic Vasospastic Disease of the
Hand(White Fingers). J. A. M. A. 1945; 129.: 668-772

Tichauer, E. R.: Ergonomics: The State of the Art.
Am. Ind. Hyg. J. 1967; 28(5):51-59

American Conference of Governmental Industrial
Hygienists(ACGIH): Threshold Limit Values for
Chemical Substances and Physical Agents and
Biological Exposure Indices, 1993, 78-81

American National Standards Institute: Guide for the
Measurement and Evaluation of human Exposure to
Vibration Transmitted to the Hand(ANSI S3.34-1986).
New York: American National Standards Institute, 1986

Brammer, A.J.: Dose-Response Relationships for
Hand-Transmitted Vibration, Scand. J. Work. Environ.
Health. 1986; 12 : 284-288

Rens, G., P. Dubrulle, J. Malchare.: Efficiency of
Conventional Gloves Against Vibration, Ann. Occup.
Hyg. 1987; 31(2):249-254

Pyykko, I. M., J. Farkkila, O. Toivanen, and J.
Hyvarinen.: Transmission of Vibration in the Hand-Arm
System with Special Reference to Changes in
Compression Force and Acceleration. Scand.J. Work.
Environ. Health. 1976; 2:88-95

Radwin, R. G., T.J. Armstrong.: Vibration Exposure
for Selected Power Hand Tools Used in Automobile
Assembly. Am. Ind. Hyg. Assoc. J. 1990;51(9):510-518

Miwa, T., Y. Yonekawa, A. Nara, K. Kanada, K.
Bada.: Vibration Isolators for Portable Vibrating Tools,
Part 1. A Grinder. Ind. Health. 1979; 12:85-101

Jorulf, L.: Vibration-induced Effects Caused by
Impact Wrenches used in Truck Assembly. Scand. J.
Work. Environ. Health. 1986; 12:269-271

Yu, Z.S., H. Chao, L. Qiao, D.S. Qian, Y.H. Ye.:
Epidemiologic Survey of Vibration Syndrome among
Riveters, Chippers and Grinders in the Railroad System
of the People's Republic of China. Scand. J. Work.
Environ. Health. 1986; 12:289-292

Starck, J, I. Pyykko.: Impulsiveness of Vibration as an
Additional Factor in the Hazards Associated with Hand-
Arm Vibration. Scand. J. Work. Environ. Health.
1986;12:323-326

Bovenzi M.: Hand-arm vibration syndrome and dose-
response relation for vibration induced white finger
among quarry drillers and stonecarvers. Occupational

and Environmental Medicine. 1994; 51:603-611

Futatsuka M, Sakurai T, Ariizumi M. Preliminary evaluation of dose-effect relationship for vibration-induced white finger in Japan. Int Arch Occup Environ

Health. 1984; 54:201-221

Tasker EG. Assessment of Vibration Levels Associated with Hand-Held Roadbreakers. Scand J Work Environ Health. 1986; 12:407-412