

조선업 전동수공구의 진동평가와 진동증후군에 대한 연구*

A study on the assessment of vibration produced by the powered hand tools used and hand-arm vibration syndrome prevalent in the shipbuilding industry

임상혁**, 박희석***, 양정인****

ABSTRACT

The purpose of this study is to investigate the relationship between the acceleration of vibration by the powered hand tools used in the shipbuilding industry and the prevalence of hand-arm vibration syndrome among the shipbuilding workers. The acceleration levels and frequencies of nine powered hand tools were measured using the ISO 5349 method along with the time of exposure to the vibration of the powered hand tools. Medical examinations for 114 workers were also performed using the cold provocation test and those for 51 workers were carried out using the nerve conduction velocity test. Comparisons were made between the estimated prevalence of hand-arm vibration syndrome from ISO 5349 and the observed values by the medical examinations. The results were as follows. Four hour-energy-equivalent frequency-weighted accelerations were 6.23m/s² in the grinding job done after welding, 13.39m/s² in the grinding job done before painting. The mean exposure time while holding powered hand tools was 4.64 hours. Prevalence rates of Raynaud's phenomenon were 12.04% in the grinding after soldering, 42.9% in the grinding before painting measured using the ISO 5349 method. After exposure to vibration for 10.79 years, about a half of the workers in the grinding after welding could be expected to develop Raynaud's Phenomenon. For the workers in the grinding before painting, the latency was 5.02 years. The ISO dose-response relationship was significantly correlated neither with observed recovery rates of finger skin temperatures, blood flows nor with values of nerve conduction velocities. A multiple regression model for dose-response relationship was derived from the results.

Keyword: acceleration, vibration, Raynaud's phenomenon, ISO 5349

* 본 연구는 2001년도 홍익대학교 학술연구조성비에 의하여 수행되었음.

** 원진노동환경연구소

*** 홍익대학교 정보산업공학과

**** 한림대학교 재활의학과

1. 서 론

19세기 중반이후 광산 및 건설현장에서 공기압을 이용한 공구가 소개된 이후 금속산업 등에서 전기모터에 의한 공구가 사용되기 시작하였고, 많은 산업현장에서 광범위하게 전기모터나 공기압을 이용한 경량의 진동공구들이 사용되었다(Yamada et al., 1998). 이러한 공구들은 1950년대에 세계적으로 보급되기 시작하여 현재 거의 모든 산업현장에서 사용되고 있다. 진동공구로부터 작업자의 손과 팔, 어깨 등으로 전달된 진동은 작업자에게 불편함을 주고 정밀작업 능력을 감소시킬 뿐만 아니라, 계속하여 노출되면 손에 분포하는 혈관, 신경, 근육과 결합조직 등에 심각한 손상을 줄 수 있다(ISO, 1986). 일찍이 Loriga(1911)는 진동공구를 사용하는 작업자에게 손가락이 창백하게 되는 현상이 있다고 보고하였고, Hamilton(1918)도 이것을 직업성 레이노드씨 현상(occupational Raynaud's phenomenon)이라고 처음으로 명명하였다. Letz 등(1992)은 국소진동공구를 사용하는 근로자 중 71%가 손가락이 창백하게 변하는 백지현상(vibration white finger)을 보였으며 이들 중 84%가 손과 손가락에 저림(numbness)이나 쭈심(tingling)을 호소하고 있는 것으로 보고하였고, Tichauer(1967)은 100Hz 이하의 주파수가 주로 발생하는 진동공구를 사용하는 사람에게는 복부동통, 척추디스크, 요통, 미골통, 골관절염 등이 일어나고 100Hz 이상 250Hz 이하의 진동주파수가 주로 발생하는

진동공구사용자들에게는 상지관절의 근염, 건염, 골관절염 등이 일어나며, 250Hz 이상인 고주파가 주로 발생하는 진동수공구에서는 수지에 신경위축 및 혈관수축에서 오는 레이노드씨 현상이 주로 나타난다고 하였다.

특히 최근의 급격한 산업화에 따라 각 사업장은 기계화되어가고 진동이 수반되는 직종이 다양하게 생겨 이러한 직종에 근무하는 근로자의 진동에 의한 건강상의 문제가 점차 간과될 수 없는 것으로 생각되어 가고 있다. 이에 따라 미국산업위생전문가협회(ACGIH: American Conference of Governmental Industrial Hygienists, 1993)는 1일 진동공구 사용시간별 진동가속도의 허용기준을 제시하고 있으며, 국제표준기구(ISO: International Organization for Standardization, 1986)와 미국국립표준연구소(ANSI: American National Standards Institute, 1986)에서는 혈관장애의 초기증상이 나타나는 진동장애 유형을 10%에서부터 50%의 수준으로 분류하여, 가속도 수준과 연관시켜 진동공구의 노출시간을 예측할 수 있는 역학적인 자료를 제시하고 있다. 이밖에도 임업이 발달한 북유럽을 비롯하여 가까운 일본 등 여러 나라에서 국소진동에 대한 연구가 진행되어 왔다(Robert, 1984).

그러나 아쉽게도 우리나라에서는 국소진동에 대한 측정, 평가, 그리고 기준에 대한 관련 법규가 미흡하고 관련연구도 소수의 사례만이 발표되었다(정재열과 김정만, 1995; 김선술과 백남원, 1996; 연정택 등, 1999). 특히 절단, 용접, 그라인딩 등의 작업이 상당부분을 차지하는 선박건조 사업체에서는 진동

공구의 사용비율이 매우 높음에도 불구하고 국내에서의 진동현황조사나 평가가 거의 이루어지지 않고 있는 실정이다. 따라서 본 연구에서는 조선업에서 일반적으로 사용되고 있는 공기압력식 진동공구에서 발생하는 진동수준을 평가하고 진동장애의 유병율을 조사하여 사업장에서의 진동노출을 관리하기 위한 기초 자료를 제공하는데 있다.

본 연구의 구체적 목적은 다음과 같다.

① 선박건조 작업에서 주로 사용되고 있는 공기압력식 진동공구에 대해 공구별, 작업상황별 진동수준, 주파수 특성, 총작업시간중 노출시간 등을 분석하고,

② 국제표준기구(ISO)에서 제시한 양반응관계(dose-response relationship)의 방정식을 이용하여 진동장애의 유병 가능성을 평가하고,

③ 냉수 침지검사(cold provocation test)를 통한 피부온도 및 혈류량의 변화, 근전도 검사를 통한 말초신경염 여부 판정을 통하여 위의 결과를 검증하여

④ 실제 현황을 정확히 파악하여 진동이 작업자에게 영향을 주는 요인을 분석하고, 이를 토대로 진동공구 관리의 기초자료를 제공하는 데 있다.

작업장을 대상으로 실시되었으며, 현재 선박 건조 작업장에서 주로 사용되는 수지진동공구인 그라인더(grinder) 및 임팩트렌치(impact wrench)를 측정대상으로 하였다. 대상근로자는 수지진동공구 노출정도가 큰 근로자와 적은 작업자를 모두 포함하여 114명에 대해 진동 노출력, 진동 노출수준, 혈관계 증상조사를 위한 냉수침지검사를 실시하였고, 신경계 증상조사를 위해 이들 중 51명에 대해서 근전도 검사를 실시하였다. 근전도 검사의 경우 검사시간과 검사장소의 제약으로 인해 전체 대상자에 대해서 실시하지 못하였고 노출정도가 큰 작업자와 적은 작업자 중 무작위 추출한 51명에 대해서 검사를 실시하였다. 대상자들의 평균연령은 34.8(±5.8)세였고, 진동공구를 사용한 평균 작업경력은 5.7(±3.5)년 이었다. 작업내용별로 분류해서 보면 사상(용접후 용접부위의 거친 부분을 갈아내는 작업) 및 소지(도색전 도색면을 갈아내는 작업)작업자가 59명으로 가장 많았고, 취부(철판을 이어 배의 형태를 만드는 작업)작업자가 22명(19.3%)으로 그 뒤를 이었다. 이 밖에 배관조립, 용접작업, 자재관리, 도장부 스프레이작업 등이 소수를 차지했다.

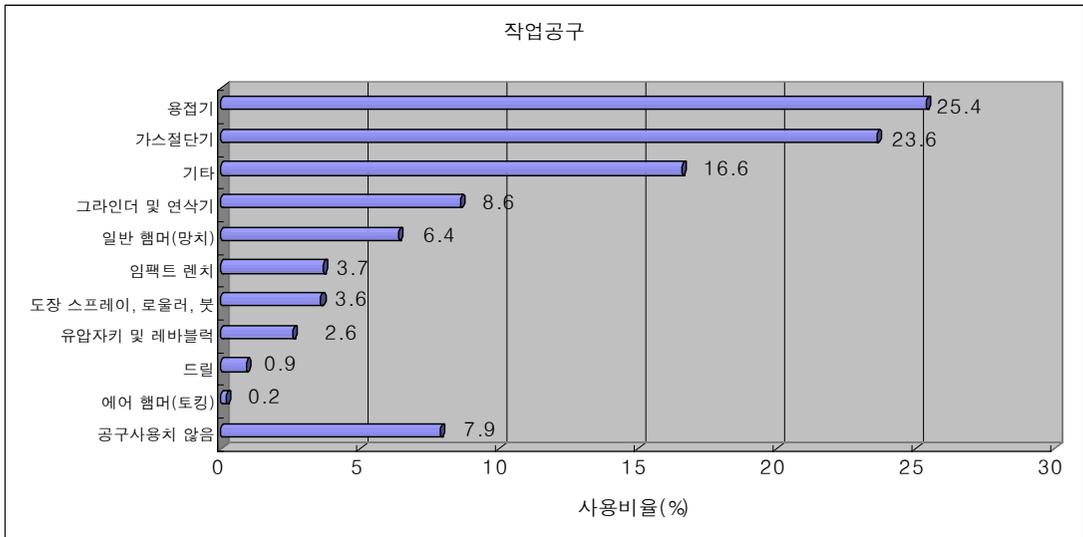
2.2 진동공구의 진동수준측정 방법

선박건조 작업에서 주로 사용되는 진동공구인 그라인더 및 임팩트렌치에 대해서 측정을 실시하였다. 대상 선박건조 사업장에 일반적으로 사용되는 공구 현황은 [그림 1]과 같다. [그림 1]에서 나타나있듯이 현재 사용되고 있는 수지 진동공구 중 드릴이나 에어햄머

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

본 조사는 2001년 10월에 모 선박건조



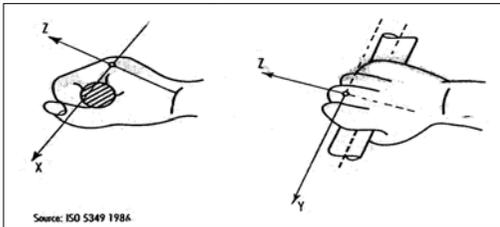
[그림 1] 작업공구 사용현황

의 경우는 사용빈도가 극히 저조하다. 따라서 노출시간이 적고, 질병 발생에 거의 영향을 미치지 못할 것으로 추정되어 측정에서 제외하였다. 그라인더 및 임팩트렌치의 경우, 현재 사용되고 있는 공구들이 동일한 종류라도 제조사에 따라 발생진동의 크기가 다소 차이가 있기 때문에 가장 많이 사용되는 회사의 공구를 측정대상으로 하였다. 그리고 ISSA(International Section for Research, 1989) 자료에 의하면 ISO 5349 측정방식을 통하여 측정한 진동장비별 가속도 값이 같은 장비일지라도 작업방법에 따라 그 변위가 상당히 크므로 각각의 작업방법에 따라서 진동을 측정하였고, 공구의 종류에 따라 9가지 공구에 대해 진동특성을 측정하였다. 즉 그라인더의 경우 4인치, 7인치, 베이비, 디스크 페이퍼를 부착한 4인치, 부러쉬를 부착한 4인치, 부러쉬를 부착한 베

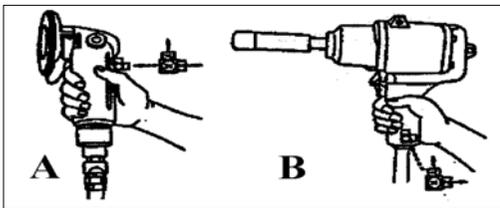
이비 그라인더에 대해 측정했고, 임팩트렌치의 경우 1인치, 1/2인치, 3/4인치에 대해 측정하였다.

측정을 위하여 3개의 가속도계(piezoelectric accelerometer : B & K, type 4374), 증폭기(8ch charge amplifier : B & K, type 5974), 테이프레코더(tape recorder : SONY, PC208Ax), 주파수 분석기(B & K, pulse), 보정기(vibration calibrator : B & K, type 4294)를 사용하였다. 공구진동에 의해 가속도계에서 발생하는 전기적 신호를 증폭하기 위해 각각의 가속도계의 감도를 고려하여 증폭기의 스위치를 설정하였으며 손에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 가속도계를 작업자가 작업시에 접촉하는 부위에 흔들리거나 틈이 없게 밀착하였다. 또한 3축 방향의 설정은 [그림 2]에서 제시된 바와 같이 ISO 5349-1986(E)의 기

본중심 좌표계(basicentric coordinate system)를 이용하였으며, 이를 근거로 대표적인 수지진동공구에 대한 각각의 축의 방향을 [그림 3]에 나타내었다. 각 공구에서 발생하는 진동은 테이프 레코더에 저장하였다. 여기에 저장된 데이터는 실험실에서 주파수 분석기의 1/3 옥타브를 이용하여 6.3Hz~1250 Hz의 주파수 범위에 대하여 분석하였다. 측정의 정확성을 위해 이들 장비에 대해 보정기를 통해 159.2Hz에서 10mm/sec²로 보정하였다.



[그림 2] 기본 중심 좌표계



[그림3] 손잡이의 위치에 따른 가속도계의 부착부위와 축 방향
(A)그라인더 (B)임팩트 렌치

작업자들이 실제로 진동에 노출되는 시간을 파악하기 위하여 업무별/ 사용공구별로 현장에서 스톱워치를 사용하여 실노출시간을 측정하였다. 측정 자료와 개별 작업자들의 작업시간 설문조사를 통해 기준시간동안 작업자별의 공구별 실제 공구 사용시간 비율을 산출하였다.

2.3 진동노출 평가

진동노출에 대한 분석 및 평가는 ISO 5349-1986(E)를 근거로 하였으며 주로 1일 노출량에 기초하여 평가하였다. 진동의 인체 노출량에 대한 분석은 일반적으로 1일 8시간 작업할 경우, 진동이 손에 전달되는 총시간은 4시간을 넘지 않는다고 가정하여, 1일 노출량을 4시간 동안의 에너지 등가 주파수 가중 가속도(energy-equivalent frequency-weighted acceleration)로 표현한다. 만약 1일 총 노출량이 4시간과 다를 때는 식(1)로 구하게 된다.

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

$(a_{h,w})_{eq(4)}$: 4시간에서의 에너지등가 주파수 가중 가속도

$a_{h,w}(t)$: 가중가속도의 순간값

τ : 하루 동안 진동노출시간 합

T_4 : 4시간

또한 에너지 등가 가속도 값(energy equivalent acceleration)이 4시간을 넘게 될 경우에는 식(2)로 환산하여 4시간 동안의 환산된 가속도 값을 얻게 된다.

$$(a_{h,w})_{eq(4)} = \left(\frac{T}{T_4} \right)^{\frac{1}{2}} (a_{h,w})_{eq(T)} \quad \dots (2)$$

$(a_{h,w})_{eq(T)}$: T시간 동안의 에너지 등가 주파수 가중 가속도

총 1일 노출량이 여러 다른 주파수 가중

가속도 값을 갖고 있을 경우(여러 진동공구를 사용할 경우)에는 식(3)으로 가속도 값을 결정한다.

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

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

$(a_{h,w})_{eq(t_i)}$: i번째 진동공구에 대해 t_i 시간 동안 노출되었을 때 혼합 에너지 등가 주파수 가중 가속도

또한 주파수 가중 가속도 $(a_{h,w})$ 는 식(4)로 구할 수 있다.

$$(a_{h,w}) = \left[\sum_{j=1}^n (K_j a_{h,j})^2 \right]^{1/2} \dots (4)$$

K_j : ISO 5349에서 1/3 옥타브 밴드로 주파수 분석을 할 때 주파수대별 가중치

$a_{h,j}$: 1/3 옥타브 밴드에서 측정된 주파수 값

n : 1/3 옥타브 밴드에 사용된 주파수 밴드 수

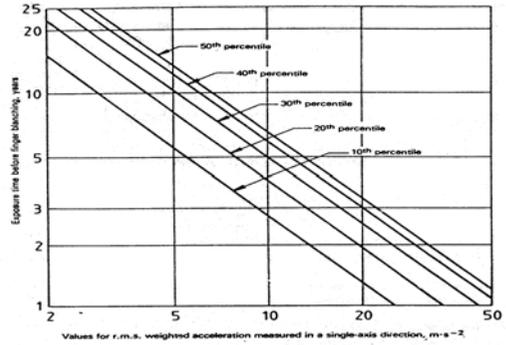
진동노출량-영향에 대한 평가는 ISO-5349-1986(E) 부록 A의 식(5)를 통해서 구했으며 [그림 4]에 나타내었다.

$$C = \left[\frac{(a_{h,w})_{eq(4)} \times T_F}{95} \right]^2 \times 100 \dots (5)$$

$(a_{h,w})_{eq(4)}$: 4시간 에너지 등가 주파수 가중 가속도

C : 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있는 가능성(10 ~ 50% 값을 갖는다.)

T_F : 레이노드씨 현상이 나타나기까지 노출 년 수(1 ~ 25 년 사이 값을 갖는다.)



[그림 4] 레이노드씨 현상이 나타날 수 있는 가능성별 진동 노출시간과 진동수준(가속도)과의 관계 (ISO 5349-1986(E) Annex A)

[그림 4]는 임의의 다른 진동 가속도 값에 노출되었을 경우 노출집단의 일부에서 레이노드씨 질병 같은 혈관계 질병이 나타날 가능성이 있는 노출 년 수를 제시한 것으로 4시간 동안의 주파수 가중등가 가속도 값 $(a_{h,w})_{eq(4)}$ 이 2m/s² 인 진동 가속도 값에 15 년 동안 노출되었을 때 이 값에 노출된 작업자의 약 10%가 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있으며, 같은 가속도에서 노출작업자의 50%이상이 레이노드씨 현상을 나타내는데 걸리는 노출 년 수는 대략 25년 정도임을 나타낸다.

2.4 의학적 진단 및 평가방법

실제로 진동노출로 인한 건강장해 정도를 파악하기 위해 냉수 침지검사 (cold

provocation test)와 근전도 검사를 실시하였다. 냉수 침지검사는 10℃의 물에 팔꿈치까지 10분간 담그기 전, 담근 후, 물에서 나온 후 5분, 10분, 15분, 20분 후의 피부온도를 피부 온도계(skin thermometer, Yokogawa, Medel 2455)를 이용하여 검사하였다. 실내온도는 약 22℃로 일정하게 유지하였고 피검자의 손을 책상 위에 손바닥이 위로 향하도록 올려놓고 중지의 끝을 온도계로 측정하였다. 이때 혈류량(blood flow)을 Vascular Laboratory Systems (BioMedix)을 사용하여 함께 측정하였다. 전기생리적 검사는 Synergy (ModelecR, 영국) 근전도 기기를 사용하여 실내 온도는 20~25℃를 유지하도록 하고 소인속도는 운동신경 5 msec/division, 감각신경 1 msec/division, 민감도는 운동신경 5 mV/division, 감각신경 20 V/division으로 하였다. 또한 filter setting은 운동신경검사 1~10,000Hz, 감각신경은 10~2,000Hz로 하였으며, 자극빈도는 초당 1회, 자극기간은 0.1 m/sec로 하였다. 원위부의 말초신경 기능을 알기 위하여 양측 정중신경, 척골신경 전도검사를 Liveson과 Ma(1992)의 방법에 따라 실시하였으며 감각신경과 복합근육 활성화전위의 진폭과 원위잡시, 감각신경 활성화전위의 진폭, 주관절 이하에서의 운동 전도속도를 측정하였다. 정상과 비정상의 가름은 Liveson과 Ma(1992)에 의한 각 신경의 기능 지표의 정상 범주에 들어가는 것을 정상으로 하여 기준을 삼았다.

3. 결 과

3.1 공회전시 주파수별 특성 및 가속도 값

Radwin 등(1990)은 일정한 주파수 범위 내에서 높은 가속도 수준을 나타내는 주파수와 기기제조회사에서 제공한 속도와는 매우 연관성이 있다고 하였고, 제조회사에서 제공된 자유회전속도를 알면 공구에서 발생된 진동수준을 알 수 있고, 이에 대한 진동대책을 세우는데 매우 중요한 자료가 될 수 있다고 하였다. 그러나, 본 연구에서 실제 작업에 사용되는 자유회전속도와 기기제조회사에서 제공된 자유회전속도와는 큰 차이가 있어 일단 공회전시 진동특성을 측정하였다. 9가지 공구에 대한 공회전시 진동특성은 가속도 수준을 1/3 옥타브 주파수 폭으로서 ISO 5349에서 국소진동의 주파수범위로 규정하고 있는 6.3~1250Hz의 주파수 범위 내에서 관찰한 결과를 [그림 5]에 표시하였다. 주파수 분석결과 각각의 공구별로 현저히 높은 가속도 수준을 나타내는 주파수대가 차이가 있었으나 대체적으로 점차 고주파로 갈수록 큰 값을 나타내고 있는 것으로 나타났다. 공회전시 각각의 장비에 대한 주파수 가중 가속도값은 [표 1]에 나타내었다. 분석결과를 살펴보면 공회전시 가속도 값은 그라인더나 임팩트렌치나 큰 차이를 보이지 않았고, 그라인더의 경우 디스크 페이퍼나 부리쉬를 부착했을 경우가 부착하지 않았을 경우보다 공통적으로 높은 가속도 값이 발생하는 것으로 나타났다.

[표 1] 공회전시 공구별 주파수 가중 가속도

공구의 종류	가속도 (m/s ²)
(A) 7" Grinder	5.7
(B) 4" Grinder	3.6
(C) Baby Grinder	8.6
(D) 4" Grinder with disk paper	16.9
(E) 4" Grinder with brush	17.8
(F) Baby Grinder with brush	16.9
(G) 3/4" Impact Wrench	4.4
(H) 1" Impact Wrench	3.7
(I) 1/2" Impact Wrench	5.8

3.2 노출시간

하루 평균 진동공구를 사용하여 작업하는 시간은 설문조사를 통하여 조사하였다. 여기서 하루 평균 진동공구 사용시간이라 함은 작업준비, 장소 이동 등을 포함한 시간으로써 공구를 손으로 잡고 일하는 실제 노출 시간과는 구별된다.

진동공구에 하루 중 노출되는 시간은 다음 절차에 따라 계산하였다.

① 작업자를 대상으로 문진을 통한 1일 평균근무시간 산출

② 점심 및 휴식시간을 제외한 실제 작업시간 산출

③ 실제 작업시간 중 진동공구 사용시간비율 산출후 공구별 실제 노출시간 계산

대표적으로 진동노출 수준이 높은 그라인더 사용 작업의 경우는 사상작업과 소지작업으로 나눌 수 있다. 이들 각각의 작업시 사용하는 공구와 시간이 다양하여서 각 공구별 실제 노출시간을 스톱워치를 사용하여 측정하

였고 사용비율을 산출하였다. 그 결과는 [표 2]에 나타내었다.

[표 2] 진동공구에 따른 노출비율

사상 작업		소지 작업	
사용공구	노출비율	사용공구	노출비율
7" Grinder	25%	4" Grinder with disk paper	64%
4" Grinder	50%	4" Grinder with brush	16%
Baby Grinder	25%	Baby Grinder with brush	20%

문진을 통해 조사된 작업자들의 1일 평균 근무시간은 8.98 ± 0.66 시간인 것으로 나타났고, 점심 및 휴식시간 1시간 30분을 제외한 실제 작업시간은 7.48시간이었다. 다음으로 실제 작업시간 중 진동공구의 사용시간비율을 산출하기 위하여 1시간 동안 평균 사용시간을 관측한 결과 1시간 중 37.2분(62%)정도 공구를 손에 잡고 작업을 하는 것으로 나타났고, 이에 따른 소지 및 사상 작업자들이 그라인더에 하루 중 노출되는 시간은 평균 4.64시간으로 조사되었다. 이를 각 작업에서 사용하는 공구별로 [표 2]을 이용

[표 3] 1일 작업에서의 공구별 예상 노출시간

사상 작업		소지 작업	
공구 종류	예상 노출시간	공구 종류	예상 노출시간
7" Grinder	1.16	4" Grinder with disk paper	2.97
4" Grinder	2.32	4" Grinder with brush	0.74
Baby Grinder	1.16	Baby Grinder with brush	0.93

하여 시간을 구하면 [표 3]과 같다.

사상작업자의 경우 4인치 그라인더에 노출되는 시간은 평균 2.32시간, 7인치 혹은 베이비 그라인더에 노출되는 시간은 각각 1.16시간으로 나타났으며, 소지작업자의 경우 디스크페이퍼를 부착한 4인치 그라인더에 평균 2.97시간, 브러쉬를 부착한 4인치 그라인더에 평균 0.74시간, 브러쉬를 부착한 베이비 그라인더에 평균 0.93시간 노출되는 것으로 나타났다. 임팩트렌치는 가공물 크기에 따라 볼트 규격의 차이 및 렌치 작업을 하는 볼트 수에 영향을 받아 노출 시간의 변화를 가져오는 것으로 조사되었다. 볼팅 작업 소요 시간은 평균 1개당 약 2.1초인 것으로 나타났으며 하루 평균 작업시간이 최대 1시간을 넘지 않았고 1시간당 평균 볼팅 시간은 약 2분 30초로 파악되었다. 이들 공구 실제 사용 시간은 작업자에 따라 사용공구 및 실제 사용 시간의 차이가 많이 있으므로 작업자별로 별도로 계산하여 평가에 사용하였다.

3.3 작업시 진동 발생량

실제 작업시 노출수준을 평가하기 위하여 작업종류별로 작업자가 작업을 할 때의 가속도 수준을 측정하였다. 측정은 이미 측정방법

에서 언급되었듯이 3축을 기본으로 한 측정이 이루어졌다. 측정결과는 [표 4]와 같다.

[표 4] 작업중 측정된 공구별 주파수 가중 가속도

공구 종류	Dominant Axis	가속도 (m/s ²)		
		X축	Y축	Z축
(A) 7" Grinder	Y	1.47	2.00	1.87
(B) 4" Grinder	Z	2.51	2.23	3.26
(C) Baby Grinder	Z	8.10	9.94	10.41
(D) 4" Grinder with disk paper	X	12.44	8.38	11.98
(E) 4" Grinder with brush	X	14.09	13.36	11.07
(F) Baby Grinder with brush	Y	7.73	12.43	8.81
(G) 3/4" Impact Wrench	Y	8.03	14.14	9.32
(H) 1" Impact Wrench	Y	17.99	25.96	20.59
(I) 1/2" Impact Wrench	X	30.18	24.82	21.11

ISO 5349에 의하면 가장 큰 진동가속도 값을 나타내는 축의 값을 기준으로 노출량을 평가하는 Dominant axis method를 이용하고 있어 이 값을 함께 표시하였다.

결과를 살펴보면 임팩트렌치가 그라인더보다 대체적으로 높은 가속도 값이 발생하는 것으로 나타났고, 그라인더의 경우는 공회전시 분석결과에서도 추정했듯이 디스크 페이퍼나 브러시를 부착했을 경우가 더 높은 가속도 값

이 발생하는 것으로 나타났다. 공구별 가속도 값의 측정결과를 보면 동일공구 사이에 상당히 큰 차이가 있음을 알 수 있는데 이는 가속도 값의 크기가 작업방법이나 작업특성에 영향을 많이 받기 때문이다. 공구 사용시 측정된 주파수 가중 가속도를 보면 공회전시보다 가속도 값이 더 큰 경우도 있는데 이것 역시 작업방법이나 작업특성에 따른 차이로 설명할 수 있다. 즉, 베이비 그라인더의 경우는 모서리 부분에 대한 용접 잔류물을 제거하는 작업을 주로 하게 되는데 작업자세가 불안정하게 되어 공구를 지탱하는 악력이 약해져 이로 인해 공구의 운전이 불안해 보다 큰 가속도 값을 얻게 된다. 또한, 임팩트렌치의 경우는 발생하는 진동이 타격수에 따른 충격을 동반하는 충격성 진동공구이므로 타격이 없는 공회전시보다는 훨씬 큰 가속도 값을 얻게 된다.

각각의 경우에 대한 Dominant Axis 주파수 특성 분석은 [그림 6]과 같다. 대부분 현저한 가속도수준을 나타내는 주파수의 범위는 250-800Hz로 비교적 저주파에서보다는 고주파에서 높은 진동수준이 발생되었으며, 1250 Hz 이상의 주파수에서 발생된 진동수준은 점차 감소하는 것으로 나타났다. 공회전시 주파수 분석과 비교해 보면 전체적으로 높은 가속도 수준을 나타내는 주파수대가 저주파쪽으로 이동되어 있는 것을 볼 수 있다. ISO 5439에서 주어진 주파수대별 가중 요소 (weighting factor)를 보면 25Hz 이하의 저주파대에 그 가중치를 크게 주고 있다. 즉, 높은 가속도 수준을 나타내는 주파수대가 저주파쪽으로 이동된다는 것은 진동이 인체에 미치는 영향이 더 클 수 있음을 간접적으로

나타내는 것이라 할 수 있다.

4시간 에너지 등가 주파수 가중 가속도 ($(a_{h,w})_{eq(4)}$) 값은 [표 5]에 나타내었다. 실제 평균 노출시간이 30분 이상 되는 6가지

[표 5] 노출시간에 따른 4시간 에너지 등가 주파수 가중 가속도 ($(a_{h,w})_{eq(4)}$)

공구의 종류	실제 노출 시간	Dominant Axis의 가속도 값	$(a_{h,w})_{eq(4)}$
(A) 7" Grinder	1.16	2.00	1.08
(B) 4" Grinder	2.32	3.26	2.49
(C) Baby Grinder	1.16	10.41	5.60
(D) 4" Grinder with disk paper	2.97	12.44	10.33
(E) 4" Grinder with brush	0.74	14.09	6.06
(F) Baby Grinder with brush	0.93	12.43	5.99

공구에 대해 4시간 에너지 등가 주파수 가중 가속도 값을 구한 결과 디스크 페이퍼를 부착한 4인치 그라인더의 경우가 노출 시간이 가장 길며, 따라서 노출시간에 따른 진동가속도 값에 있어서도 10.33m/s²으로 가장 높은 진동 노출 수준을 나타내었다. 다음으로 브러쉬를 부착한 4인치 그라인더, 브러쉬를 부착한 베이비 그라인더 순이었다.

실제 사업장에서는 하나의 공구만을 사용하는 것이 아니라 다양한 진동 공구를 혼합하여 사용한다. 이들 중 그 진동수준이 높은 작업인 사상 및 소지작업의 실제 노출 시간과 가속도 값을 [표 6]에 나타내었다. 이들의 가속도 값은 7인치 그라인더, 4인치 그라인더, 베이비 그라인더를 동시에 사용하는 사상작업의

[표 6] 작업종류에 따른 4시간 에너지 등가 주파수 가중 가속도($(a_{h,w})_{eq(4)}$)

작업종류	Type of Tool	실제 노출 시간	$(a_{h,w})_{eq(T)}$	$(a_{h,w})_{eq(4)}$
7" Grinder				
사상작업	+ 4" Grinder	4.64	5.78	6.23
	+ Baby Grinder			
4" Grinder with disk paper				
소지작업	+ 4" Grinder with brush	4.64	12.43	13.39
	+ Baby Grinder with brush			

경우 6.23m/s², 디스크페이퍼를 부착한 4인치 그라인더, 브러쉬를 부착한 4인치 그라인더, 브러쉬를 부착한 베이비 그라인더를 동시에 사용하는 소지작업의 경우 13.39m/s²를 나타내었다. 대상자들의 작업내용은 사상작업과 소지작업만 있는 것이 아니므로 다양한 공구사용 조합에 따라 각각의 실제 노출수준을 구해보면 평균 3.97(±5.06)m/s²의 가속도 수준을 나타내고, 그 범위는 0.6m/s²에서 14.6m/s²까지 나타났고, 가장 많은 빈도를 차지한 것이 2.9m/s²와 13.4m/s²이었는데, 전자는 주로 용접후 용접면에 약간의 사상을 하는 취부작업자들의 경우였고, 후자는 소지작업자들이었다.

*에너지 등가 주파수 가중가속도 $(a_{h,w})_{eq(T)}$: 식 (3)에 의해 계산된 값

3.4 근로자의 노출 평가

우선 진동노출 수준이 높은 사상 및 소지작업을 하는 근로자 총 59명에 대하여 손에 전달된 진동수준의 평가를 위해 ISO 5349 부록 A의 평가방법을 적용하였다. 사상 및 소

지작업자들의 평균 작업 년 수는 5.67±2.99년으로 최저 0.08년에서 최고 18.75년까지 근무 경력간의 차이가 있었다. 이 중 1년 미만이 3명, 1년에서 5년 미만이 16명, 5년에서 10년 미만이 36명, 10년 이상이 4명으로 5년에서 10년 미만이 대상의 61%를 차지하였다.

ISO 5349의 방정식은 수지 창백 증세의 잠복기간이 1년 이하 또는 25년 이상인 경우 평가에서 제외하도록 되어있어 이 들을 제외하였고, 제외한 나머지 작업자들이 현재 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있을 가능성은 사상작업이 평균 12.04%, 소지작업이 42.9%이었다. 사상작업을 하는 작업자의 절반이상이 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있는 노출 년 수는 약 10.79년 이상인 것으로 나타났고, 소지작업자의 절반이상이 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있는 노출 년 수는 약 5.02년 이상인 것으로 나타났다. 노출 가능성별 노출 년 수는 [표 7]에 나타내었다.

이들 소지 및 사상 작업자들 이외의 다른 작업을 하는 근로자들 55명에 대해서도 역시 진동노출 수준과 노출기간에 따른 진동수준

[표 7] ISO 5349를 이용한 유병율에 따른 진동공구 노출 경력

작업 종류	공구 종류	유병율 (%)				
		10	20	30	40	50
진동 노출 경력(년)						
7" Grinder						
사상 작업	+ 4" Grinder	4.83	6.82	8.36	9.65	10.79
	+ Baby Grinder					
4" Grinder with disk paper						
소지 작업	+ 4" Grinder with brush	2.24	3.17	3.89	4.49	5.02
	+ Baby Grinder with brush					

평가를 ISO 5349 부록 A의 평가방법을 적용하였고, 현재 수준에서 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있을 가능성을 평가하였다. 평가결과 현재 평균 18.56(±15.85)%의 유병 가능성을 나타냈다.

3.5 의학적 진단 결과

진동노출로 인한 건강장해 정도를 실제 유병율로 파악하기 위해 51명을 대상으로 근전도 감사를 실시하였다. 전체 51명 중 Liveson과 Ma(1992)가 제시한 방법에 의해서 정상과 비정상을 구분한 결과 말초신경염이 있다고 진단된 작업자가 13명(25.5%)이었다. 냉수침지검사를 통한 중지끝 피부온도 변화와 혈류량의 변화는 각 개인별로 객관적으로 비교가능하도록 회복율로 정의해서 비교하였다. 회복율은 최초 온도나 혈류량 값과 냉수침수후 5분후의 온도나 혈류량 값과의 차이를 100으로 정하고 10분 후, 20분 후에 처음 값과의 차이를 앞에서 구한 100의 값에 대한 비율로 계산하여 합한 값을 의미한다. 이때 회복율은 값이 클수록 회복정도가 늦는

것을 의미한다. 앞에서 근전도 검사를 통해 나누어진 정상군과 비정상군간의 혈류량 회복율과 피부온도 회복율을 비교해 보면 비정상 그룹의 경우가 회복정도가 늦는 것을 알 수 있고, 이는 통계적으로도 유의한 차이를 보였다[표 8].

[표 8] 진동 고노출군과 저노출군과의 회복율 비교

	회복율	
	정상군	비정상군
혈류량*	1.5340	1.7808
피부 온도*	1.2502	1.4521

* p < 0.05

3.6 ISO 양-반응관계식의 평가

ISO에서 제시한 양반응관계(Dose-response Relationship)의 방정식으로 구한 유병율과 근전도 검사결과와 냉수 침수검사를 통한 피부온도 및 혈류량의 회복정도간의 상관분석을 통해 ISO 양-반응관계식을 평가해 보았다. 근전도 검사를 통해 감각 신경 전달 속도와 운동 신경 전달속도 값의 conduction

velocity, amplitude, Latency의 대표값을 설정해 ISO 양-반응관계와의 상관관계를 살펴보았다. 이와 더불어 냉수 침수검사를 통한 피부 온도 및 혈류량의 회복율과의 상관관계도 함께 살펴보면 [표 9]와 같다.

[표 9] 각 검사간의 상관 관계

	ISO 유병율	혈류량	피부온도	근전도 대표값
ISO 유병율	1.000			
혈류량	0.057 (P=0.648)	1.000		
피부 온도	0.134 (P=0.281)	0.439 (P=0.000)	1.000	
근전도 대표값	0.234 (P=0.190)	0.350 (P=0.025)	0.205 (P=0.092)	1.000

결과를 보면 앞서 근전도 검사를 통해 나누어진 정상군과 비정상군간에 피부 온도나 혈류량의 회복율이 뚜렷한 차이를 보였던 것과 마찬가지로 혈류량의 회복율과 피부 온도의 회복율, 혈류량의 회복율과 근전도 대표값과는 통계적으로 유의하게 양의 상관관계를 나타냄을 알 수 있다. 그러나, ISO 양-반응관계식을 통해 구한 유병율은 근전도 대표값뿐만 아니라 피부 온도의 회복율, 혈류량의 회복율과도 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

ISO 양반응관계식의 이러한 단점을 보완하

기 위해서는 별도의 다른 관계식이 필요하므로 근전도 대표값과 피부 온도의 회복율, 혈류량의 회복율을 조합하여 진동노출로 인한 건강장해 정도를 나타낼 수 있는 대표변수를 정의하고, 대표변수와 4시간 등가 가속도 값, 진동공구에 노출된 기간(년)과의 회귀분석을 실시하였다.

모형의 결정계수(R square)는 0.829로 회귀모형이 본 연구에서 정의한 진동노출로 인한 건강장해정도의 대표값을 82.9%정도 설명한다고 할 수 있다. 다중회귀분석 결과, 4시간 등가 가속도값(P=0.004)과 진동공구에 노출된 기간(년)(P=0.000)이 유의확률(p-value) 0.05이하의 유의한 변수로 나타났다으며, 이상의 결과로 요약된 다중선형회귀 모델은 다음과 같이 표시된다.

$$\text{진동노출로 인한 건강장해정도} = 17.3 \times 4 \text{ 시간등가 가속도값} + 33.6 \times \text{진동노출기간(년)}$$

4. 결론 및 토의

본 연구에서는 선박건조 사업장에서 사용되어지고 있는 대표적인 진동공구에 대해서 공구를 사용하는 근로자들이 국소진동에 노출될 경우 노출정도 및 노출기간에 따른 레이노드

[표 10] 회귀모델의 타당성 검증 (* significant at p < 0.01)

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	4322145.7	2	2161072.846	65.599	0.000*
Residual	889484.084	27	32943.855		
Total	5211629.8	29			

씨 현상이 일어날 가능성 수준(유병율)을 예측평가 하였고, 의학적으로 평가방법에 대한 검증을 하였다.

Jorulf(1986)는 트럭 조립라인에서 가속도 노출수준이 3.9~18.1m/s²의 범위에 노출되는 904명을 대상으로 레이노드씨 현상 유병율이 23%이었으며, 말초 신경염의 유병율은 진동 노출 기간이 7년에서 9년 사이에서 33%로 보고하였다. Yu 등(1986)도 레이노드씨 현상의 유병율은 진동노출기간과 연관이 있다고 보고하고 있으며, 작업 년 수가 증가할수록 레이노드씨 현상 또한 증가한다고 보고하였다. 미국산업안전보건청(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)는 미국의 두 주물공장과 조선소에서 진동에 노출된 385명에 대한 자료를 분석한 결과 레이노드씨 현상의 유병율은 주물공장에서 47%이었고, 조선소에서 19%로 보고하였다. 이들에 대한 평균 잠복기간은 각각 1.4년과 16.5년으로 보고하였으며, 레이노드씨 현상은 주물 또는 선박 작업자들 사이에서 공구를 사용한 연수에 비례해서 유의하게 증가하였다고 보고하였다. 이러한 결과는 본 연구에서 제시한 회귀모델에서도 진동노출시간에 비례하여 건강장애정도가 심해지는 것으로 설명하고 있어 동일하게 확인할 수 있었다.

평가를 위해 가속도 값을 사용하게 되는데 본 연구에서는 이러한 가속도 값의 적용에 있어 몇 가지 제한사항을 두고 있다.

첫째, 가속도 값은 진동공구의 모터에서 발생하는 진동과 작업시 작업부위와의 접촉으로 발생하는 진동이 주요한 요인이다. 그러나 또

다른 요인으로 공구를 지탱하는 압력, 작업자 세 및 조건, 작업속력도 그리고 공구의 무게 등이 있으며 이러한 요인별로 동일 공구라 할 지라도 가속도 값의 차이를 보이게 된다. 본 연구에서는 대상 사업장에서 사용되고 있는 공구에 대해 공구별로 사업장 전체의 평균을 얻기 위해서 앞에서 언급한 다양한 요인별로 분류하지는 않고, 작업내용에 따라서만 분류하였다.

둘째, 가속도 값의 산정 방법으로 주파수 가중 가속도 값과 주파수 비가중 가속도 값이 있다. 전자는 1/3 octave 주파수의 가속도 값이 인체장애에 미치는 영향은 3.6Hz ~ 16 Hz 사이에서 영향이 크며 그 이상의 주파수로 갈수록 점차적으로 감소한다고 가정을 하였으며, 이는 ANSI[S3·34](1986), ACGIH(1990), ISO 5349(1986), European Standard[ENV 25349] (ECS, 1992) 그리고 British Standards Institution[BSI 6482, 7482 part 2](BSI, 1987, 1991) 등에서 적용하고 있다. 후자는 주파수가 인체에 미치는 영향은 특정주파수와 관계없이 모든 주파수에 걸쳐 동일하게 작용한다고 가정하였으며 대표적인 예는 NIOSH (1989)에서 제안한 방법이다. NIOSH방법에 의하면 가중 가속도 값의 적용은 고주파로 갈수록 점차적으로 과소평가 될 수 있으며 비가중 가속도 값은 가속도계에서 발생하는 가속도 값 자체가 비가중이기 때문에 측정 및 평가를 간단하게 할 수 있는 것으로 알려져 있다. 그러나 Letz 등(1992)의 연구에 의하면 이 두 방법 사이의 빈약한 상관관계 때문에 상호비교가 용이하지 않으며, Griffin(1992)은 중요 주

파수(dominant frequency)가 저주파수(250Hz 이하)를 갖는 공구의 경우 가중 가속도 값을 적용해야 한다고 보고하고 있다. 본 연구에서는 ISO 5349를 통해 레이노드씨 현상이 발생할 노출시간을 예측하였으므로 주파수 가중 가속도 값을 사용하였으나 주파수범위와 주파수 가중 유무와의 관계는 설문과 실험연구를 통해 보다 더 연구가 진행되어야 한다고 판단된다. 따라서, 향후 진행될 연구에서는 진동 가속도 값에 영향을 줄 수 있는 여러 요인별 분류와 주파수 가중과 비가중 사이의 비교 및 상관관계를 규명하는 연구가 진행되어야 할 것이다.

그리고 Bovenzi는 ISO 5349의 수치 창백 증세의 관찰된 유병율의 평가 결과, 기대와 관찰된 잠복기간에서 좋은 상관성을 나타낸다고 하였으나 단지 회전식 공구로서 돌을 연마하는 작업자였고, 충격성 공구로부터 진동에 노출된 작업자에서의 수치 창백 증세의 유병율은 과대 평가하는 것으로 보고하였다(Bovenzi, 1994). 또한 ISO 5349의 구조식에 대한 몇몇 연구자들에 의해서 보고된 결과, 진동에 노출된 여러 분류의 작업자들에서 레이노드씨 현상의 위험성은 과대 평가하는 것으로 보고되고 있다(Futatsuka et al, 1984, Tasker, 1986). 위의 연구들로 보아 ISO 5349에 의해서 제공된 양반응의 구조식은 특별한 공구, 즉 그라인더 형태와 체인쏘우(chain saw)로부터 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 6.3Hz에서 1250Hz의 옥타브 밴드를 위한 진동 주파수, RMS 크기, 노출 기간, 진동의 방향 등은 제시하고 있으나, 현저히 낮은 진동 주파수를 나타내는 공구와, 짧고 일시적인 노출의 양상, 손가락의 자세 및 위치, 작업시 손과 팔의 형태, 작업하는 동안의 또 다른 근육 활동이나 쥐는 힘 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.

한편 Brammer(1986)는 ISO 5349의 진동 노출 평가방법에 대한 오류를 발견하였고, 이를 보완하기 위해 대상집단의 50%가 레이노드씨 현상을 보일 수 있는 잠복기간과 잠복기간의 표준편차를 구할 수 있는 방정식을 제시하였다. Brammer 등은 이 연구에서 작업을 수행하는 동안 진동 노출에 영향을 미치는 요인들이 구체적으로 적용되지 않은 점, 소수의 작업자를 기초로 한 역학적인 제한점, 매일 노출기간과 연관된 정보의 부족 등을 고려하지 않은 점등으로 ISO 5349의 구조식에 대한 오류는 더 커질 것으로 판단하였고, 진동 노출 평가를 위해서는 과거의 국소진동 노출기간, 손의 혈액순환에 손상을 줄 만한 질병, 과거 손의 손상, 말초신경 조직의 장애 등에 대한 연구가 행해져야 한다고 제안하였다. 이러한 점들은 본 연구에서도 마찬가지로의 한계점으로 드러났으며, 본 연구에서 정의한 회귀식에서의 새로운 평가변수(진동노출로 인한 건강장애 정도 평가변수)로 제한적으로 설

명할 수 있다.

냉수 침지검사는 수지진동 증후군 진단에 일반적으로 사용되는 검사(Zenz et al., 1994)로 Niioka 등(1986)은 위양성, 위음성이 6%, 민감도 80%, 특이도 100%를 갖는다고 보고하였고, Bovenzi(1988)는 민감도 100%, 특이도 87%를 갖는다고 보고하였다. 진동노출군과 비노출군을 비교한 연구에서 비노출군은 검사 10분 후 피부온도가 검사전 피부온도와 거의 같았고 이는 노출군에서의 진단에 정확한 자료가 된다고 하였고(Kurumatani et al, 1986), 수지진동 증후군이 있는 환자군과 대조군의 연구에서는 환자군에서 피부온도 회복이 늦어짐을 보고하였다(Bovenzi, 1986). 본 연구에서도 역시 앞선 연구에서와 마찬가지로 비정상군에서 회복이 늦어지는 것을 새로 정의한 회복율을 통해서 볼 수 있다.

단순 반복 동작으로 인한 근골격계 질환은 실제 근로자들에게 많음 불편을 주고 있음에도 불구하고 그것에 대한 인식 및 대책은 부족한 실정이다. 특히 수공구에 의한 레이노드씨 현상은 급속한 기계화 및 자동화로 반복작업이 증가되면서 앞으로 직업성 질환 중에서 차지하는 비중이 늘어날 것으로 여겨진다. 따라서 우리나라에서도 예방 및 대책을 위한 인간공학적 고려와 조기에 환자를 발견할 수 있는 선별 기준을 마련하여 근로자들의 건강증진에 도움이 되어야 할 것으로 보인다. 이러한 점에서 본 연구는 기존의 연구가 증상위주의 평가인데 반해서 비교적 다수의 작업자를 대상으로 실제 건강검진을 통해서 평가했다는 데 그 의의가 있다고 할 수 있다. 본 결

과는 진동으로 인한 건강장해에 관한 관리기준을 마련하는데 귀중한 기초자료가 되리라 기대한다.

참고 문헌

- 김선술, 백남원, 자동차 조립공정에서 공기압력식 진동공구의 국소진동평가, 한국산업위생학회지, 6(1), 1-16, 1996.
- 정재열, 김정민, 자동차 조립공정라인에서 이중-햄머형(Double-hammer type) 임팩트 렌치와 오일-펄스형(Oil-pulse type) 임팩트 렌치 예리공구의 국소진동 가속도 및 소음수준, 한국산업위생학회지, 5(2), 147-159, 1995.
- 연정택, 박상규, 김소연, 이태영, 장재연, 금속가공 작업자의 국소진동 평가. 한국산업위생학회지, 9(2), 52-65, 1999.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) : Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, 78-81, 1993.
- American Conference of Governmental Industrial Hygienists(ACGIH) : Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, Hand-arm(segmental) vibration(82-6), Ohio, 1990-91.
- American National Standards

- Institute(ANSI) : Guide for the measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand(S3 · S4), New York, 1986.
- Bovenzi M., Cardiovascular responses of vibration-exposed workers to a cold provocation test, *Scand. J. Work Environ. Health*, 12(4), 378-381, 1986.
- Bovenzi M., Vibration white finger, digital pressure and some biochemical findings on workers operating vibrating tools in the engine manufacturing industry, *Am. J. Ind. Med.*, 14, 575-584, 1988.
- Bovenzi M., Hand-arm vibration syndrome and dose response relation for vibration for vibration induced white finger among quarry drillers and stonecarvers, *Occupational and Environmental Medicine*, 51, 603-611, 1994.
- Brammer A.J., Dose-response Relationships for Hand-Transmitted Vibration, *Scand. J. Work Environ. Health*, 12, 284-288, 1986.
- British Standards Institution(BSI) : Measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand(BSI 6482), London, 1987.
- British Standards Institution(BSI) : Instrumentation for the measurement of vibration exposure of human beings. Part 2. Specification for instrumentation for measuring the vibration transmitted to the hand(BSI 7482 Part 2), London, 1991.
- European Committee for Standardization : Mechanical vibration-Guidelines for the measurement and th assessment of human exposure to hand-transmitted vibration (ENV 25349), Brussels, 1992.
- Futatsuka M., Sakurai T., Ariizumi M., Preliminary evaluation fo dose-effect relationship for vibration-induced white finger in Japan, *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 54, 201-221, 1984.
- Griffin MJ., *Handbook of Human Vibration*, Academic Press, New York, 1992.
- Hamilton A., A study of fpastic anmia in the hands of stonecutters, An effect of the air hammer on the hands of stonecutters, *Industrial accidents and hygiene series, Bulletin 236, No.19, U.S. Dept. of labor, Bureau of Labor Statistics*, 53-66, 1918.
- International Organization for

- Standardization(ISO) :Mechanical vibration-guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration(ISO 5349), Genva, 1986.
- ISSA : International Section for Research, 1989.
- Jorulf, L., Vibration-induced Effects Caused by Impact Wrenches used in Truck Assembly, *Scand. J. Work. Environ. Health*, 12, 269-271, 1986.
- Kurumatani N., Iki M., Hirata K., Moriyama T., Satoh M., Usefulness of fingertip skin temperature for examining peripheral circulatory disturbances of vibratiing tool operators, *Scand. J. Work Environ. Health*, 12(4), 245-248, 1986.
- Letz R, MG Cherniack, F Gerr, D Hershman, P Pace, A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration, *Br J Ind Med.*, 49, 53-62, 1992.
- Liveson, Ma., Laboratory reference for clinical neurophysiology, F. A. Davis Company, Philadelphia, 1992.
- Loriga, G., The use of pneumatic hammers, *Boll Ispett, Lavoro*, 1911.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH) : Criteria for a reommended standard-Occupational exposure to hand-arm vibration, Public Health Service Centers for Disease Control, Division of Standards Development and Technology Transfer, Cincinnati, Ohio, 1989.
- Nioka T., Kojima Y., Hiroshi K., Saito K., Diagnostic method for the vibration syndrome with special reference to finger skin temperature and vibratory sense threshold, *Scand. J. Work Environ Health*, 12(4), 251-253, 1986.
- Radwin, R. G., Armstrong, T. J., Vibration Exposure for Selected Power Hand Tools Used in Automobile Assembly, *Am. Ind. Hyg. Assoc. J.*, 51(9), 510-518, 1990.
- Robert, A., Vibration syndrome in chipping and grinding workers, *J. Occup. Med.*, 26(10), 765-788, 1984.
- Tasker, E.G., Assessment of Vibration Levels Associated with hand-held Roadbreakers, *Scand. J. Work. Environ. Health*, 12, 407-412,

1986.

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

Yamada, S. H., Sakakibara Prevention strategy for vibration hazards by portable power tools, national forest model of comprehensive prevention system in Japan, Ind Health, 36, 141-153, 1998. .

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, 12, 289-292, 1986.

Zenz, C., Dickerson O.B., Horvath E.P., Occupational Medicine, Mosby, St Louis, 1994.

저자 소개

◆ 임상혁

한양대학교 의과대학 졸업
 한양대학교 의학석사
 현재 원진녹색병원 노동건강연구소 소장
 관심분야: 산업의학, 안전 및 보건

◆ 박희석

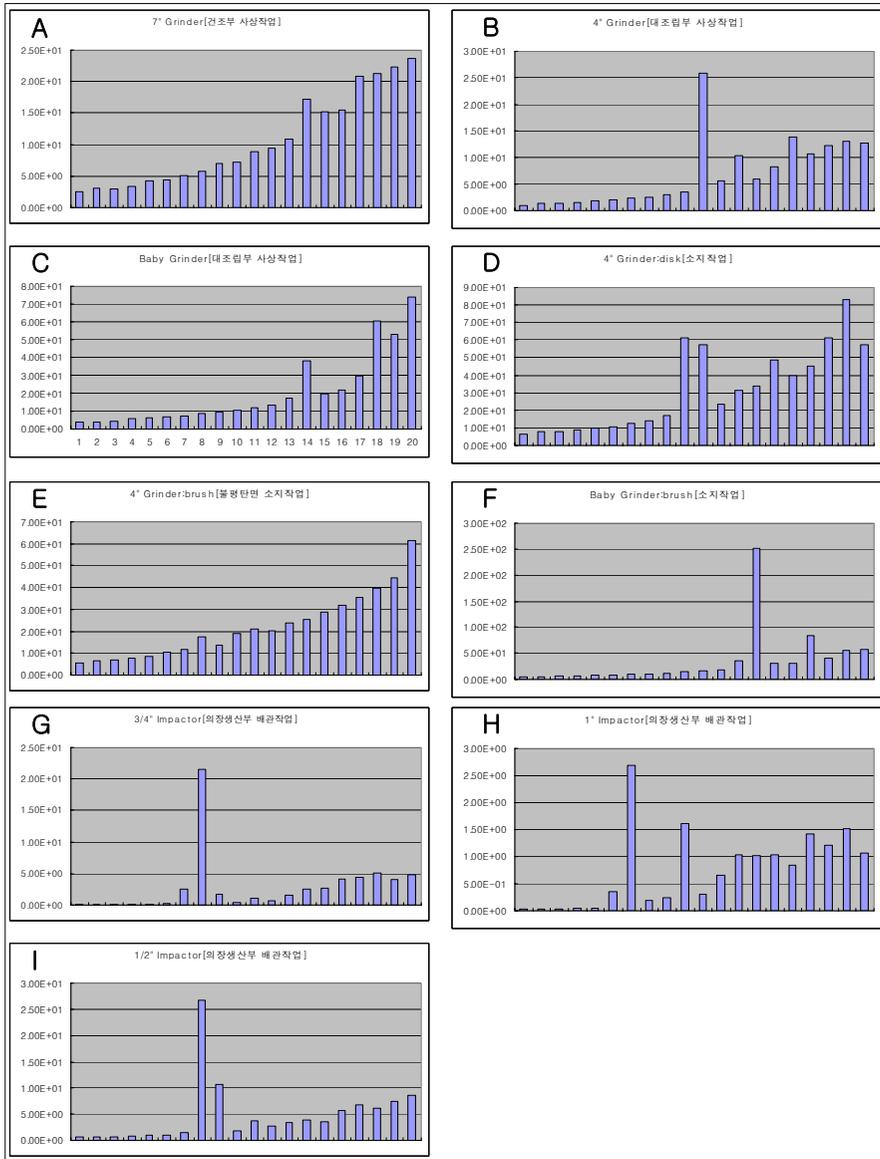
서울대학교 산업공학과 졸업
 KAIST 공학석사
 미국 미시간대학교 공학박사
 현재 홍익대학교 정보산업공학과 교수
 관심분야: 근골격계질환, HCI, 인체진동 등

◆ 양정인

이화여자대학교 의과대학 졸업
 아주대학교 의학석사
 현재 춘천성심병원 재활의학과 근무
 관심분야: 통증, 근골격계질환, 척추손상 등

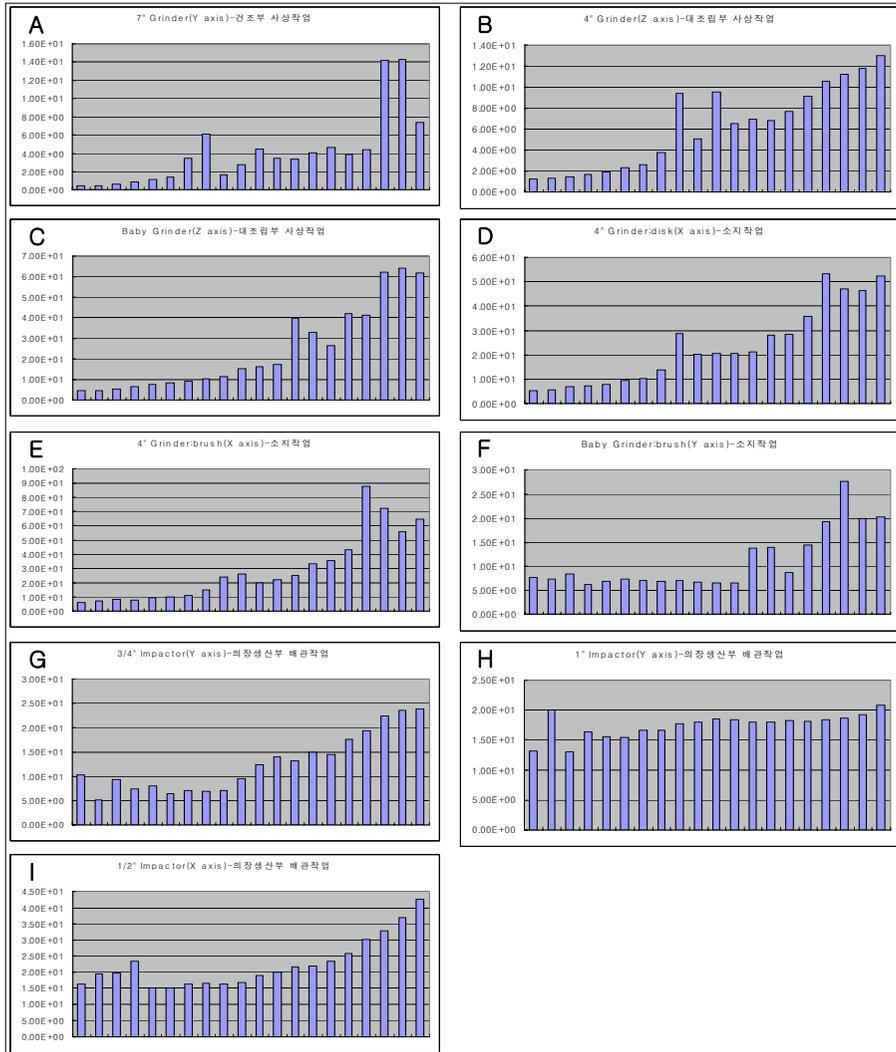
논문접수일 (Date Received): 2002/9/2

논문게재승인일 (Date Accepted): 2002/10/10



[그림 5] 공구에 따른 주파수 분석

- (A) 7" Grinder (B) 4" Grinder (C) Baby Grinder (D) 4" Grinder with disk paper
 (E) 4" Grinder with brush (F) Baby Grinder with brush (G) 3/4" Impact Wrench
 (H) 1" Impact Wrench (I) 1/2" Impact Wrench



[그림 6] Dominant Axis에 대한 주파수 분석 (A) 7" Grinder (B) 4" Grinder (C) Baby Grinder (D) 4" Grinder with disk paper (E) 4" Grinder with brush (F) Baby Grinder with brush (G) 3/4" Impact Wrench (H) 1" Impact Wrench (I) 1/2" Impact Wrench