

선박건조업에서 사용되는 그라인더의 진동평가와 수지진동증후군 예측 모델 개발

임상혁^{1*} · 이윤근¹ · 박희석²

¹원진재단 노동환경건강연구소, ²홍익대학교 정보산업공학과

Assessment of Vibration Produced by the Grinder Used in the Shipbuilding Industry and Development of Prospective Prevalence Model of Hand-arm Vibration Syndrome

Sanghyuk Yim^{1*} · Yunkeun Lee¹ · Hee-sok Park²

¹Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health,
²Department of Industrial & Information Engineering, Hong-ik University

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 to develop the prospective prevalence model for the hand-arm vibration syndrome among the shipbuilding workers.

The acceleration levels and frequencies of six types of grinder were measured using the ISO5349 method along with the time of exposure to the vibration from the powered hand tools. Medical examination for 114 workers were performed using the cold provocation test. Comparisons were made between the estimated prevalence of hand-arm vibration syndrome from ISO5349 and the observed values from the medical examinations. By multiple regression, we developed the prospective prevalence model of hand-arm vibration syndrome produced by the hand tools used in the shipbuilding industry.

4 hour-energy-equivalent frequency-weighted accelerations were 6.23m/s² in the grinding job done after welding, and 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, and 42.9% in the grinding before painting measured using the ISO5349 method. After exposure to vibration for 10.79 years, about a half of the

workers in the grinding after welding could developed Raynaud's Phenomenon. For the workers in the grinding before painting, the latency was 5.02 years. The ISO equation for dose-response relationship was not significantly correlated with observed recovery rates of finger skin temperatures, blood flows and amplitudes of nerve conduction velocities. A multiple regression model for dose-response relationship was proposed from the results. Recovery rate of the skin temperatures = -0.668 + 0.337 × 4 hour energy equivalent frequency-weighted accelerations + 0.767 × duration of vibration exposure(years)

The validity was proved by multiple regression analysis after correlation transformation and regression results based on model-building data and validation data.

Key Words : vibration, acceleration, Hand-arm Vibration Syndrome, Raynaud's phenomenon, ISO5349

I. 서론

우리나라 작업장에서도 과거 인력으로 수행되던 작업들에 진동공구가 급속도로 널리 사용되고 있으며, 제조업의 거의 모든 작업장에 진동공구가 사용되고 있다. 따라서 가까운 장래에 진동공구로 인한 건강장해가 많은 작업장에서 문제가 되리라 예상되며, 적절한 진동 노출한계와 함께 관리방안 제시가 시급히 요구되고 있다. 특히 우리나라의 대표적 수출주력산업이며, 약 40만 명(선박건조업 9만 8천명, 협력유관업체 약 30만 명)의 많은 작업자가 고용된 선박건조 사업체에서는 절단, 용접, 그라인딩 등의 작업에서 진동공구의 사용비율이 매우 높음에도 불구하고 국내에서의 진동현황조사나 평가가 거의 이루어지지 않고 있다(통계청 2002; 2003).

수지진동증후군은 진동수공구를 사용함으로 나타나는 말초 혈관장해(진동백지증, Vibration white fingers)와 말초 신경장해를 총칭하는 질병명으로, 외국의 많은 연구결과를 보면 수지진동증후군의 유병율이 매우 높음을 알 수 있었다. 그러나 국내의 경우에서는 국소진동으로 인한 수지진동증후군으로 1998년부터 2002년 사이 단지 5명의 작업자가 산업재해로 인정되었다(근로복지공단, 2004). 이는 우리나라에는 수지진동증후군 환자가 없다는 것을 의미하는 것이 아니라, 진동에 대한 건강문제를 조기 발견하고 관리하는 체계가 없다는 것을 나타내며, 상당수의 환자들이 정부의 통계 외에 숨겨져 있을 가능성을 의미한다. 즉 이 후 수지진동증후군으로 심각한 사회 문제가 야기될 수 있음을 보여준다고 하겠다(유철인 등, 2002).

이미 외국에서는 진동공구의 1일 노출시간별 허용기준을 제시하고 있으며, 혈관장해의 초기증상을 나타낼 수 있는 잠복기간을 10%에서부터 50%의 수준으로 가속도 수준과 연관시켜 예측할 수 있는 역학적인 자료를 제시하고 있다(ACGIH, 1993; ISO, 1986; ANSI, 1986). 상기에서 제시된 기준 이외에도 유럽연합, 러시아, 일본 등등 세계 여러 나라에서도 자체적으로 진동평가 및 관리기준을 가지고 있다(Robert, 1984). 하지만 우리나라에서는 관리기준은 물론 진동의 예방 관리에 가장 기초가 되는 진동수준의 측정결과조차 불충분한 실정이다.

한편, ISO5349는 세계적으로 확고한 기준으로 사용되고 있으며, 대부분의 국가가 이 지침을 준용하여 각 국가별 기준을 정하고 있다. 그러나 ISO5349 양-반응 관계식은 주로 역학연구를 통해 얻어진 관계식이라는 점, 증상 유병율을 질병

의 유병율로 보았다는 점, 진동가속도와 진동 노출 기간 이외 다른 변수를 고려하지 않았다는 점, 그리고 주로 줄톱(chain saw)에 대한 영향만을 보았다는 점에서 한계를 가지고 있다고 알려져 있다(Bovenzi, 1994; McGeoch와 Gilmour, 2000; Nilsson과 Lundström, 2001).

본 연구에서는 ISO5349의 주요 대상작업인 벌목업의 줄톱공구가 아닌 선박건조업에서 일반적으로 사용되고 있는 공기압식 진동공구(그라인더)에서 발생하는 진동수준을 평가하고자 한다. 그리고 수지진동증후군의 증상조사뿐만 아니라 의학적 평가를 통해 유병율을 조사하여 그 결과가 국제기준에 비추어 어느 정도 수준인지 파악하고, 유병율을 예측할 수 있는 ISO 양-반응 관계식에 적용하여 그 타당도를 검증하였다. 나아가 ISO 양-반응 관계식의 선박건조업에서의 수용 가능여부를 검토하였고 만약 수용이 가능하지 않다면, 선박건조업에서 사용되는 진동공구로 인한 수지진동증후군 유병율의 모델을 제시하여 진동으로 인한 건강상의 문제를 예방하고 관리하기 위한 자료를 제공하는데 있다.

II. 대상 및 방법

1. 연구대상

본 조사에서는 현재 선박건조 작업장에서 주로 사용되는 수지진동공구인 그라인더(grinder)를 측정대상으로 하였고, 그라인더 작업자를 의학적 검진 대상작업자로 정하였다.

조선업의 직종을 그라인더 사용으로 분류하여 보면, 그라인더를 주공구로 2시간 이상 사용하는 작업자(사상작업자 finishing grinders, 소지작업자 prepainting grinders), 그라인더를 보조공구로 1-2시간 이하 사용하는 작업자(용접 취부작업자), 그라인더를 1시간 이하, 간헐적으로 사용하는 작업자(조립, 절단 작업자) 등으로 나눌 수 있다. 총작업자 975명 중 그라인더 사용시간에 따라 114명을 무작위로 선정하였다. 대상자들의 평균연령은 34.8 (±5.8)세이었고, 진동공구를 사용한 평균 작업경력은 3.18(±0.9)년이었으며, 고노출군(공구 사용시간 2시간이상) 36명(31.6%), 중노출군(공구 사용시간 1-2시간) 39명(34.2%), 저노출군(공구 사용시간 1시간미만) 39명(34.2%)이었다. 114명에 대해 진동 노출력, 진동 노출수준, 혈관계 증상조사를 위한 냉각유발검사를 실시하였다.

2. 진동공구의 진동수준측정 방법

대상 선박건조 사업장에 일반적으로 사용되는 그라인더의 종류에 따라 6가지 공구에 대해 진동특성을 측정하였다. 4인치, 7인치, 베이비, 디스크 페이퍼를 부착한 4인치, 브러시를 부착한 4인치, 브러시를 부착한 베이비 그라인더에 대해 측정하였고, 측정된 그라인더의 무게는 제조사에 따라 작은 차이가 있기 때문에 가장 많이 사용되는 회사의 공구를 측정하였다.

측정을 위하여 3개의 가속도계 (piezoelectric accelerometer: B&K, type 4374), 증폭기 (8ch charge amplifier: B&K, type 5974), 테이프 레코더 (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 어댑터를 사용하여 흔들리거나 틈이 없게 밀착하였다 (Griffin, 1990).

또한 3축 방향의 설정은 Fig. 1에서 제시된 바와 같이 ISO5349-1986(E)의 기본중심 좌표계 (basicentric coordinate system)를 이용하였으며, 이를 근거로 대표적인 수직진동공구에 대한 각각의 축의 방향을 Fig. 2에 나타내었다. 각 공구에서 발생하는 진동은 테이프 레코더에 저장하였다. 여기에 저장된 데이터는 실험실에서 주파수 분석기의 1/3 옥타브를 이용하여 6.3Hz~1250Hz의 주파수 범위에 대하여 분석하였다. 측정의 정확성을 위해 이들 장비에 대해 보정기의 보정 주파수와 가속도 값은 159.2Hz에서 1.02G ($9.8 \times 1.02 \approx 10\text{m/s}^2$)로 보정하였다.

3. 진동노출시간평가

진동공구에 하루 중 노출되는 시간은 다음 절차에 따라 조

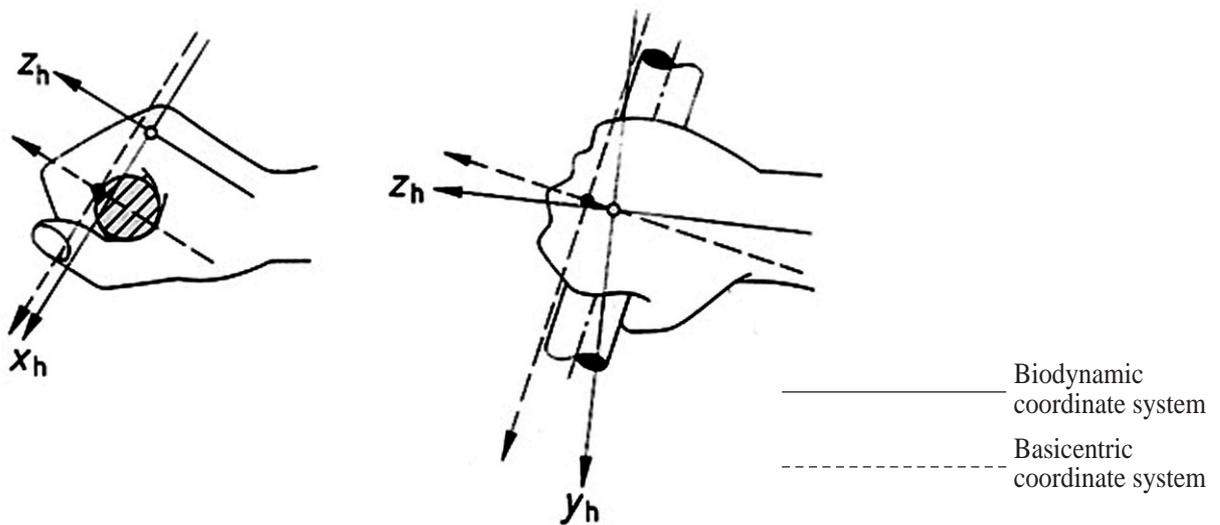


Fig. 1. Basicentric Coordinate System (ISO, 1986).



Fig. 3. Finishing grinders.



Fig. 4. Prepainting grinders.

사하였고 계산하였다.

① 작업자를 대상으로 설문을 통한 1일 평균 근무시간 산출

② 점심 및 휴식시간을 제외한 실제 작업시간 산출

③ 오전 오후 각 1시간동안 실노출시간 산출

④ 공구별 실제 노출시간 계산 : 관찰된 1시간동안 실노출 시간에 산출된 실제 작업시간을 곱하여 산출

실노출시간은 업무별/사용공구별로 현장에서 스톱워치를 사용하여 측정하였다. 조사 대상자 114명 중 사상(용접 후 용접부위의 거친 부분을 갈아내는 작업, Fig. 3) 및 소지(도색 전 도색면을 갈아내는 작업, Fig. 4) 작업자 36명은 전체 사용공구 및 작업방법, 사용시간이 비슷하여 12명(33.3%)을 조사하였고, 나머지 부서의 작업자는 사용공구 및 작업방법, 실제 사용시간이 달라 전수 조사하였다.

4. 진동노출 평가

진동노출에 대한 분석 및 평가는 ISO 5439-1986(E)와 이를 번역한 연정택 등(1999)의 논문을 근거로 하였으며 1일 노출량에 기초하여 평가하였다. 인체 노출량에 대한 분석은 일반적으로 1일 8시간 작업할 경우, 진동이 손에 전달되는 총 시간은 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 아래의 식으로 구하게 된다.

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

$(a_{h,w})_{eq(4)}$: 4시간에서의 에너지등가 가속도
 $a_{h,w}(t)$: 가중가속도의 순간 값
 τ : 하루 동안 진동노출시간 합
 $T_4 = 4$ 시간

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

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

$(a_{h,w})_{eq(T)}$: 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.

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

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

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

또한 주파수 가중 가속도는 식(4)로 구할 수 있다.

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

K_j : ISO5349에서 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)을 통해서 구했다.

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

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

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

T_F : 레이노드 현상이 나타나기까지 노출 년수(1~25 년 사이 값을 갖는다.)

5. 의학적 진단 및 평가방법

실제로 진동노출로 인한 건강장해 정도를 파악하기 위해 냉각유발검사와 신경생리검사를 실시하였다.

냉각유발검사는 NIOSH 기준(1989)에 따라 실시하였으며, 10℃의 물에 팔꿈치까지 10분간 담근 후, 담그기 전, 물에서 나온 후 5분, 10분, 15분, 20분 후의 피부온도를 피부 온도계(skin thermometer, Yokogawa Model 2455)를 이용하여 검사하였다. 실내온도는 약 22℃로 일정하게 유지하였고 피검자의 손을 책상 위에 손바닥이 위로 향하도록 올려놓고 중지의 끝을 온도계로 측정하였다. 이때 혈류량을 Vascular Laboratory Systems (BioMedix)를 사용하여 함께 측정하였다.

진동노출로 인한 건강장해 정도를 실제 유병율로 파악하기 위하여 114명 중 무작위로 51명을 선택하여, 재활의학 전문의가 신경생리검사를 실시하였다. 신경생리검사는 Synergy (ModelecR) 근전도 기기를 사용하여 실행하였으며, 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.

6. 모델개발에 이용된 통계방법

수지진동증후군 유병율 예측 모델 개발에 이용된 통계방법은 다음과 같다.

- ① 상관분석을 통한 독립변수를 선정하였고, 상관관계가 있다고 밝혀진 변수간 산점도의 적합회귀선을 구하였다. 선형회귀가 적합한 회귀선으로 나타났다.
- ② 다중선형회귀분석을 이용하여 수지진동증후군 유병율 예측 모델을 개발하였다.
- ③ 회귀식으로 얻어진 계수의 단위가 상이함으로써 발생할 수 있는 비교의 불완전성(lack of comparability)을 교정하기 위해 correlation transformation 후 다중선형 회귀분석을 하였다. 그 과정은 다음과 같다. 먼저 각 변수의 표준화된 표준편차를 구한다.

$$S_y = \sqrt{\frac{\sum_i (Y_i - \bar{Y})^2}{n-1}}, \quad S_k = \sqrt{\frac{\sum_i (X_{ik} - \bar{X}_k)^2}{n-1}} \quad (k=1, \dots, p-1) \dots\dots\dots (6)$$

구해진 표준편차를 이용하여 표준화된 변수의 값을 계산한다.

$$Y'_i = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \left(\frac{Y_i - \bar{Y}}{S_y} \right) \quad X'_{ik} = \frac{1}{\sqrt{n-1}} \left(\frac{X_{ik} - \bar{X}_k}{S_k} \right) \quad (k=1, \dots, p-1) \dots\dots\dots (7)$$

표준화된 변수의 값을 이용하여 standardized regression model을 얻을 수 있다.

$$Y'_i = \beta'_1 X'_{i1} + \dots + \beta'_{p-1} X'_{i,p-1} + \epsilon'_i \dots\dots\dots (8)$$

- ④ 회귀식의 타당도를 검증하기 위하여 연구 대상을 무작위 표본추출하여 model-building data와 validation data로 나눈 후 피부온도 회복율과 감각신경 전위값을 종속변수로 하고, 4시간 등가가속도, 진동공구 사용 년 수를 독립변수로 하여 회귀분석을 하였다.

III. 결과

1. 노출시간

설문을 통해 조사된 작업자들의 1일 평균 근무시간은 8.98 ± 0.66시간인 것으로 나타났고, 점심 및 휴식시간 1시간 30분을 제외한 실제 작업시간은 평균 7.48시간이었다. 다음으로 실제 작업시간 중 진동공구의 사용시간 비율을 산출하기 위하여 1시간 동안 평균 사용시간을 관측한 결과 사상작업자는 1시간 중 37.2 ± 6.66분, 소지작업자는 1시간 중 37.2 ± 12.33분정도 공구를 손에 잡고 작업을 하는 것으로 나타나, 사상 및 소지작업자들이 그라인더에 하루 중 노출되는 시간은 동일하게 평균 4.64시간으로 조사되었다(Table 1).

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, 브러시를 부착한 4인치 그라인더에 평균 0.74시간, 브러시를 부착한 베이비 그라인더에 평균 0.93시간 노출되는 것으로 나타났다.

2. 작업시 진동 발생량

실제 작업시 노출수준을 평가하기 위하여 작업종류별로 작업자가 작업을 할 때의 가속도 수준을 측정하였다. ISO5349에 의하면 가장 큰 진동가속도 값을 나타내는 축의 값을 기준으로 노출량을 평가하는 Dominant axis method를 이용하고 있어 이 값을 함께 표시하였고, 2001년 개정된 ISO5349에서는 진동가속도 값을 세 축의 벡터 합으로 계산하는 것으로 바뀌어 벡터합도 함께 표시하였다(Table 2).

결과를 살펴보면 디스크 페이퍼나 브러시를 부착했을 경

우가 더 높은 가속도 값이 발생하는 것으로 나타났으며, 가속도 범위에서 제시된 바와 같이, 동일공구 사이에 상당히 큰 차이가 있음을 알 수 있는데, 이는 가속도 값의 크기가 작업방법이나 작업특성에 영향을 많이 받기 때문이다(연정택

등, 1999).

대부분 현저한 가속도수준을 나타내는 주파수의 범위는 250-800Hz로 비교적 저주파에서보다는 고주파에서 높은 진동수준이 발생되었으며, 1250Hz 이상의 주파수에서 발생된

Table 1. Analysis of vibration exposure rate

Sasang operator			Soji operator		
power tools	exposure rate	time(h)	power tools	exposure rate	time(h)
7" Grinder	25%	16 ± 0.82*	4" Grinder with disk paper	64%	2.97 ± 1.42
4" Grinder	50%	2.32 ± 0.64	4" Grinder with brush	16%	0.74 ± 0.45
Baby Grinder	25%	1.16 ± 0.89	Baby Grinder with brush	20%	0.93 ± 0.35

* : means ± SD

Table 2. Frequency weighted acceleration

Type of tools	Dominant axis	Acceleration(m/s ²)			
		Dominant axis		Vector sum	
(A) 7" Grinder	Y	2.00	(1.1~3.3)*	3.11	(2.9~5.5)
(B) 4" Grinder	Z	3.26	(2.6~4.7)	4.68	(3.7~6.8)
(C) Baby Grinder	Z	10.41	(6.6~15.6)	16.52	(7.8~24.2)
(D) 4" Grinder with disk paper	X	12.44	(4.8~31.8)	19.20	(5.4~49.1)
(E) 4" Grinder with brush	X	14.09	(7.1~27.7)	22.35	(10.3~40.5)
(F) Baby Grinder with brush	Y	12.43	(6.34~34.5)	17.08	(7.8~49.7)

* : acceleration range

Table 3. $(a_{h,w})_{eq(4)}$ according to actual exposure time

Type of tools	Actual exposure time	Acceleratoin of dominant axis	$(a_{h,w})_{eq(4)}$
(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	0.7	14.09	6.06
(F) Baby Grinder with brush	0.93	12.43	5.99

Table 4. $(a_{h,w})_{eq(4)}$ according to actual exposure time (when exposed to sevral tools)

Type of tools	Actual exposure time	$(a_{h,w})_{eq(T)}$	$(a_{h,w})_{eq(4)}$
Sasang operation 7" Grinder + 4" Grinder + Baby Grinder	4.64	5.78	6.23
prepainting grinders 4" Grinder with disk paper + 4" Grinder with brush + Baby Grinder with brush	4.64	12.43	13.39

진동수준은 점차 감소하는 것으로 나타나 김선술 등(1996)과 동일한 결과를 얻을 수 있었다.

4시간 에너지 등가 주파수 가중 가속도($(a_{h,w})_{eq(4)}$) 값은 Table 3에 나타내었다. 실제 평균 노출시간이 30분 이상 되는 6가지 그라인더에 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/s²로 가장 높은 진동 노출수준을 나타내었다. 다음으로 브러시를 부착한 4인치 그라인더, 브러시를 부착한 베이비 그라인더 순이었다.

실제 사업장에서는 하나의 공구만을 사용하는 것이 아니라 다양한 진동공구를 혼합하여 사용한다. 이들 중 그 진동수준이 높은 작업인 사상 및 소지작업의 실제 노출 시간과 가속도 값을 Table 4에 나타내었다. 이들의 가속도 값은 7인치 그라인더, 4인치 그라인더, 베이비 그라인더를 동시에 사용하는 사상작업의 경우 6.23m/s², 디스크페이퍼를 부착한 4인치 그라인더, 브러시를 부착한 4인치 그라인더, 브러시를 부착한 베이비 그라인더를 동시에 사용하는 소지작업의 경우 13.39m/s²를 나타내었다.

철판을 잇기 위한 임시 용접 후 용접면에 약간의 사상을 하

Table 5. Exposure time and percentiles of population of VWF

Type of tools	Percentile of population, C					
	10	20	30	40	50	
	Exposure time, years					
Sasang operation	7" Grinder + 4" Grinder + Baby Grinder	4.83	6.82	8.36	9.65	10.79
prepainting grenders	4" Grinder with disk paper + 4" Grinder with brush + Baby Grinder with brush	2.24	3.17	3.89	4.49	5.02

Table 6. Results of skin temperature by cold provocation test (N=114, °C)

Skin temp	Right 3rd finger tips				Left 3rd finger tips			
	before test	after 5min	after 10min	after 20min	before test	after 5min	after 10min	after 20min
Means*	32.82	26.38	29.19	31.50	32.80	26.18	28.98	31.21
SD(±)	2.01	4.18	3.92	2.82	2.14	4.26	4.25	3.26
Minimum	25.80	18.90	21.50	23.60	23.40	19.10	21.10	22.40
Maximum	35.90	33.10	35.30	35.90	35.90	33.90	34.70	35.20

* : p<0.001 by paired T test

Table 7. Comparison of skin temperature between exposure groups (N=114, °C)

Expoure group	Skin temp	Right 3rd finger tips				Left 3rd finger tips			
		before test	after 5min	after 10min	after 20min	before test	after 5min	after 10min	after 20min
low	Means*	33.51	29.01	31.31	32.84	33.59	29.11	31.44	32.81
	SD(±)	1.23	3.57	2.63	1.86	1.40	3.40	2.44	1.96
mind	Means*	33.21	25.73	29.21	32.22	32.90	24.69	28.35	31.54
	SD(±)	2.01	3.98	3.57	2.02	1.97	4.11	3.81	2.44
high	Means*	31.7	24.25	26.5	28.84	31.67	24.03	26.26	28.57*
	SD(±)	2.03	3.52	4.00	3.36	2.31	3.52	4.45	4.07

* : p<0.01 by ANOVA test

는 취부작업자들의 경우에는 1.9m/s², 취부작업 이후 철판을 잇는 용접작업 전후에 약간의 사상을 하는 용접작업자들의 경우에는 1.6m/s²이었고, 타 작업군의 작업자도 이보다 낮은 수준으로 조사되었다. 즉, 선박제조업에서 진동노출이 심한 작업 순서는 그라인더를 주된 공구로 사용하는 사상과 소지작업, 그 다음이 취부 및 용접 작업, 그리고 기타 타작업은 진동에 대한 노출이 미미함을 알 수 있었다.

3. 작업자의 진동 노출평가

우선 진동노출 수준이 높은 사상 및 소지작업을 하는 작업자 총 59명에 대하여 손에 전달된 진동수준의 평가를 위해 ISO5349 부록 A의 평가방법을 적용하였다. 사상 및 소지작업자들의 평균 작업 년 수는 3.18 ± 0.99년이었다.

ISO5349의 방정식

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

을 통해 작업자들이 현재 진동백지증을 나타낼 수 있을 가능성은 사상작업이 평균 12.04%, 소지작업이 42.9%이었다. 사상작업을 하는 작업자의 절반이상이 진동백지증을 나타낼 수 있는 노출 년 수는 약 10.79년 이상인 것으로 나타났고, 소지작업자의 절반이상이 진동백지증을 나타낼 수 있는 노출 년 수는 약 5.02년 이상인 것으로 나타났다(Table 5).

4. 냉각유발검사 및 신경생리검사

냉각유발검사를 통한 대상자 114명의 피부온도는 Table 6과 같다. 냉수 침지를 마치고 5분 후, 우측 수지 피부온도는 냉수 침지 전 피부온도보다 약 6.4℃ 감소하였고, 좌측 수지 피부온도는 약 6.6℃ 감소하였다. 10분 후, 우측 수지 피부온도는 냉수 침지 전 피부온도보다 약 3.6℃ 감소하여 5분 후 피부온도보다 2.8℃ 증가하였고, 좌측 수지 피부온도는 약 3.8℃ 감소하여 5분후 피부온도보다 2.8℃ 증가하였다. 20분 후, 양측 수지 피부온도는 정상 값과 1-1.3℃의 차이를 보였다.

진동노출군간의 피부 온도 변화의 비교에서도 모든 피부 온도 측정시간에 따라 온도가 세 군에서 통계적으로 의미 있게 변화하였으며, 사상, 소지작업자(고노출군)가 가장 회복이 늦었으며, 취부, 용접작업자(중노출군), 기타 작업자(저노출군) 순이었다(Table 7).

냉수 침지를 마치고 5분후, 우측 수지 혈류량은 냉수 침지 전 혈류량보다 약 0.92 m/sec 감소하였고, 좌측 수지 혈류량은

약 0.8m/sec 감소하였다. 10분후, 우측 수지 혈류량은 냉수 침지 전 혈류량보다 약 0.38m/sec 감소하여 5분후 혈류량보다 0.54 m/sec 증가하였고, 좌측 수지 혈류량은 약 0.48m/sec 감소하여 5분후 혈류량보다 0.32m/sec 증가하였다. 20분후, 양측 수지 혈류량은 아직 정상 값을 회복하지 못하였다.

5. 선박건조업에서의 수지진동증후군 유병률 예측 모델 개발

1) ISO 양-반응 관계식의 평가

ISO에서 제시한 양-반응관계의 방정식으로 구한 유병률과 신경생리검사결과 및 냉수 침수검사를 통한 피부온도 및 혈류량의 회복정도간의 상관분석을 통해 ISO 양-반응 관계식을 평가하였다. 신경전도 검사 중 감각신경 전위 값을 대표값으로 하고, 냉각유발검사를 통한 피부 온도 및 혈류량의 회복율은 냉수침지 전 피부온도에서 냉수침지를 마치고 10분 후의 피부온도를 뺀 값을 대표값으로 하여 ISO 양-반응 관계식의 상관관계를 살펴보았다. 그 결과는 Table 8과 같다.

혈류량의 회복율과 피부 온도의 회복율은 통계적으로 유의하게 양의 상관관계를 나타냄을 알 수 있다. 그러나 ISO 양-반응 관계식을 통해 구한 유병률은 감각신경 전위뿐만 아니라 피부 온도의 회복율, 혈류량의 회복율과도 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다. 이는 ISO 양-반응 관계식이 선박건조업에서의 진동수공구에 의한 수지진동증후군 유병률 예측에 한계가 있다는 것을 보여준다.

2) 상관분석을 통한 독립변수 선정

선박건조업에서의 수지진동증후군 유병률 예측 모델을 개발하기 위해, 감각신경 전위와 피부 온도의 회복율, 말초혈관 및 말초신경 증상을 진동노출로 인한 건강장해 정도를 나타낼 수 있는 종속변수로 하고, 수지진동증후군에 영향을 미치는 것으로 알려진 진동 가속도, 작업 년 수, 진동공구 사용 년 수, 총 흡연량, 총 음주량을 독립변수로 하여, 변수들 간에 상관성을 분석하였다(Table 9).

① 피부온도의 회복율은 공구 가속도 값이 클수록, 공구 사용 년 수가 오래 될수록 회복이 더디며, 감각신경 전위값은 공구 가속도 값이 클수록 낮아지는 것으로 조사되었다.

② 피부온도의 회복율로 대표되는 말초혈관 순환장애와 감각신경 전위값으로 대표되는 말초신경 전도장애는 서로 통계적 관련성이 없는 것으로 조사되었다. 이는 말초혈관 순환장애와 말초신경 전도장애는 서로 독립적이라는 것을 의미한다.

③ 말초혈관 및 말초신경 증상은 피부온도의 회복율, 감각

Table 8. Correlation between examination methods

	ISO Percentile of population	blood flow	skin temperature	conduction amplitude
ISO percentile of population	1.000 -			
blood flow	0.057 p=(0.648)	1.000 -		
skin temperature	0.134 p=(0.281)	0.710* p=(0.000)	1.000 -	
conduction amplitude	-0.234 p=(0.190)	-0.213 p=(0.126)	-1.186 p=(0.186)	1.000 -

Table 9. Correlation between risk factors, Hand-arm vibration symptoms and results of examination methods

	T	C. Amp	(a) _{eq(4)}	Duration	Age	Smoking	Alcohol drinking	Vascular Sx	Neurologic Sx
T ¹⁾	-								
C. Amp ²⁾	-0.270	-							
(a) _{eq(4)}	0.796*	-0.428*	-						
Duration ³⁾	0.529*	-0.170	0.295*	-					
Age	0.067	-0.243	-0.026	0.060	-				
Smoking	0.161	-0.152	-0.089	0.087	0.459*	-			
Alcohol drinking	-0.010	-0.049	0.025	0.065	0.087	0.482*	-		
Vascular Sx ⁴⁾	0.034	-0.150	-0.053	0.009	0.065	0.036	0.033	-	
Neurologic Sx ⁴⁾	0.131	-0.003	0.167	0.127	-0.107	-0.133	0.147	0.374*	-

1) T : skin temperature
 2) C. Amp : conduction amplitude
 3) Duration : duration of using powered tools
 4) Sx : symptoms
 * p<0.01

Table 10. Results of ANOVA

Model	Sum of Squares	df	Mean Square	F	Sig.
Regression	537.478	2	268.739	148.690	0.000
Residual	200.619	111	1.807		
Total	738.097	113			

신경 전위값과 통계적 연관성이 없는 것으로 조사되었다.

④ 말초혈관 순환장애에 관련성이 있는 것으로 알려진 흡연량은 본 조사에서는 통계적 의미가 없을 뿐만 아니라 음의 상관관계를 나타내었는데, 이는 진동공구 작업자의 금연으로 인해 나타난 것으로 보인다.

3) 수치진동증후군 유병율 예측 모델 개발

(1) 다중선형회귀분석을 이용한 수치진동증후군 유병율 예측 모델 개발

상관분석 결과에 따라 상관관계가 있다고 밝혀진 피부온도의 회복율과 감각신경 전위를 각각 4시간 등가가속도 값, 공구 사용 년 수, 4시간 등가가속도 값*공구 사용 년 수와 회귀분석을 하였다. 4시간 등가가속도 값*공구 사용 년 수의 교호작용은 상관계수가 0.295로 낮으므로 변수에 포함하였다. 회귀분석 결과의 통계적 유의성은 없었으며, 이는 변수들 간의 다중공선성 효과 때문이다.

따라서 피부온도의 회복율과 감각신경 전위를 각각 4시간 등가가속도 값, 공구 사용 년 수와 회귀분석을 하였다. 선택된 4시간 등가 가속도 값, 공구 사용 년 수는 ISO관계식에서도 사용되는 변수이었다. 피부온도의 회복율(말초순환장애, 진동백지증)과 4시간 등가 가속도 값, 공구 사용 년 수와의 회귀분석 결과는 Table 10과 같다.

모형의 결정계수(R²)는 0.728로 회귀모형이 본 연구에서 정의한 진동노출로 인한 건강장애정도의 대표값을 72.8% 정도 설명한다고 할 수 있다. 다중회귀분석 결과 4시간 등가 가속도 값(P=0.000)과 진동공구 사용 년 수(P=0.000)가 유의확률(p-value) 0.01이하의 유의한 변수로 나타났으며, 이상의 결과로 요약된 다중선형회귀모델은 다음과 같이 표시된다.

말초혈관 순환장애 정도(진동백지증, 피부온도의 회복율 정도)(℃) =

$$-0.668+0.337 \times 4\text{시간등가 가속도 값}(\text{m/sec}^2)+0.767 \times \text{진동 노출기간}(\text{년})$$

감각신경 전위를 4시간 등가 가속도 값, 공구에 사용 년 수와 회귀분석한 결과 유의확율을 벗어났다.

(2) Correlation transformation 후 수치진동증후군 유병율 예측 모델

correlation transformation 후 얻어진 회귀식은 아래와 같으며, 결정계수는 0.728로 본연구에서 얻어진 회귀모델과 같았다. 4시간 등가 가속도 값(P=0.000)과 진동공구 사용 년 수(P=0.000)가 유의확률(p-value) 0.01이하의 유의한 변수로

나타났다. 본 연구의 다중선형회귀모델과는 차이를 보이지 않아 본 연구모델의 계수간 비교의 불완전성은 적은 것으로 추정된다.

말초혈관 순환장애 정도(진동백지증, 피부온도의 회복율 정도)(℃) =

$$0.337 \times \text{표준화된 4시간등가 가속도 값}+0.700 \times \text{표준화된 진동노출기간}$$

correlation transformation 후 감각신경 전위를 4시간 등가 가속도 값, 공구에 사용 년 수와 회귀분석한 결과 역시 전술한 바와 같이 회귀모델을 구할 수 없었다.

(3) 수치진동증후군 유병율 예측 모델의 검증

본 연구에서 얻어진 회귀식의 타당도를 검증하기 위하여 연구 대상을 무작위 표본추출하여 model-building data와 validation data로 나눈 후 피부온도 회복율과 감각신경 전위값을 종속변수로 하고, 4시간 등가가속도, 진동공구 사용 년 수를 독립변수로 하여 회귀분석을 하였다.

가. Model-building data를 이용한 회귀분석

전체 대상자 114명 중 60명을 model-building data로 하여 얻어진 피부온도 회복율의 회귀식은 다음과 같다. 감각신경 전위값은 전체 대상자 51명 중 27명을 model-building data로 하여 분석하였으나 통계적으로 유의한(p<0.05) 회귀 모델을 추출할 수 없었다.

말초혈관 순환장애 정도(진동백지증, 피부온도의 회복율 정도)(℃) =

$$-1.162+0.337 \times 4\text{시간등가 가속도 값}(\text{m/sec}^2)+0.919 \times \text{진동 노출기간}(\text{년})$$
: R² = 0.775, P<0.01

나. Validation data를 이용한 회귀분석

전체 대상자 114명 중 54명을 validation data로 하여 얻어진 피부온도 회복율의 회귀식은 다음과 같다. 감각신경 전위값은 전체 대상자 51명 중 24명을 validation data로 하여 분석하였으나 역시 통계적으로 유의한(p<0.05) 회귀 모델을 추출할 수 없었다.

말초혈관 순환장애 정도(진동백지증, 피부온도의 회복율 정도)(℃) =

$$-0.434+0.337 \times 4\text{시간등가 가속도 값}(\text{m/sec}^2)+0.705 \times \text{진동노출기간}(\text{년})$$
: R² = 0.730, P<0.01

다. Model-building data와 validation data의 회귀분석 비교

Model-building data와 validation data를 통해 얻어진 회귀식을 비교하였다(Table 11, Fig. 5). 비교 결과 두 군의 회귀식에 서 큰 차이가 보이지 않아 본 연구에서 도출된 모델의 타당성이 있음을 보여주고 있다.

IV. 고찰

ISO5349는 세계적으로 확고한 기준으로 사용되고 있으며,

대부분의 국가가 이 지침을 준용하여 각 국가별 기준을 정하고 있다. 그러나 ISO5349 양-반응 관계식은 크게 다음의 한계를 가지고 있다고 알려져 있다.

ISO 양-반응 관계식은 주로 역학조사 연구결과를 통해 얻어진 관계식으로 생체역학적 모델이 완성되어 있지 않으며, 북유럽 등 산림지대에 필요한 작업인 줄톱(chain saw)을 주요 대상으로 한 연구이어서 다른 공구를 사용할 경우에 발생하는 수진진동증후군과의 관계를 명확히 설명하기에는 한계가 있다. Bovenzi 등(1994)은 ISO5349의 진동백지증 유병율의 평가 결과, 기대와 관찰된 잠복기간에서 좋은 상관성을 나타

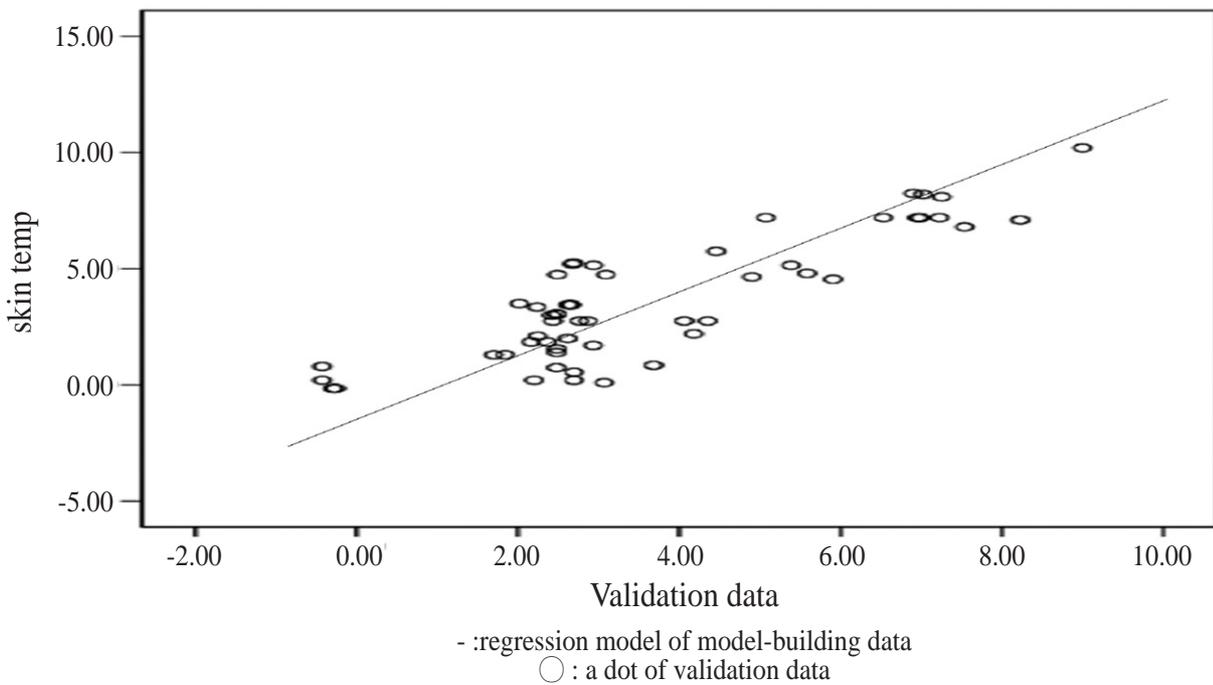


Fig. 5. Comparison of measure of dispersion between regression model of model-building data and regression results of validation data.

Table 11. Regression results based on model-building data and validation data

	model-building data (n=60)	Validation data (n=54)
Skin temp	3.14 ± 2.50*	3.62 ± 2.62*
Acceleration	3.78 ± 5.06*	4.92 ± 5.57*
Duration of using tools	3.31 ± 0.83*	3.42 ± 1.30*
SSE	267.085	265.116
MSE	133.533	132.558
R ²	0.725	0.730
P value	< 0.01	< 0.01

* : mean ± SD

낸다고 하였으나 단지 회전식 공구를 사용하는 작업자였고, 충격성 공구로부터 진동에 노출된 작업자에서의 진동백지증의 유병율은 과대평가되는 것으로 보고하였다.

그러나 보다 중요한 문제로는 ISO 구조식 결정에 이용된 많은 역학논문들의 상당수가 스톱홀름 분류에 따른 증상조사의 결과만으로 유병율을 추정하여 발표된 것이라는 점이다. McGeoch와 Gilmour(2000)는 단면연구를 통해 수지진동증후군의 스톱홀름 분류에 따른 증상조사와 객관적 진단 간에는 관련성이 적다고 주장하였다. 특히 말초혈관 증상과 냉각유발검사 간에 연관성은 없으며, 신경전달 속도검사는 말초신경 증상과 관련성은 있으나 설명력은 낮다고 보고하였다. 또한 ISO5349의 구조식에 대한 몇몇 연구자들에 의해서 보고된 결과, 진동에 노출된 여러 분류의 작업자들에서 진동백지증의 위험성은 과대평가되는 것으로 보고되고 있다 (Futatsuka 등, 1984; Pelmeur 등, 1985; Tasker, 1986). 한편 Nilsson과 Lundström(2001)은 온도감에 있어서 ISO 양-반응관계식에서 제시한 진동 가속도 수준보다 낮은 가속도에서 변화가 나타나 ISO 관계식이 과소평가되고 있다는 상반된 결과를 제시하였다.

Brammer 등(1986)은 연구에서 작업을 수행하는 동안 진동 노출에 영향을 미치는 요인들이 구체적으로 적용되지 않은 점, 소수의 작업자를 기초로 한 역학적인 제한점, 매일 노출 기간과 연관된 정보의 부족 등을 고려하지 않은 점 등으로 ISO5349의 구조식에 대한 오류는 더 커질 것으로 판단하였다. 또한 ISO5349에서 제시된 양반응관계의 구조식은 중심 주파수가 6.3Hz에서 1250Hz의 옥타브 밴드를 위한 진동 주파수, 가속도 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 ISO5349의 구조식의 편차는 더 커질 것으로 판단된다.

진동수공구 작업자들은 수지진동증후군에 높은 유병율을 가지고 있는 것으로 보고되고 있다. Jonulf(1986)는 트럭 조립 라인에서 가속도 수준이 3.9-18.1m/s²의 범위에 노출되는 904명의 진동백지증 유병율이 23%이었으며, 말초신경염의 유병율은 진동 노출 기간이 7년에서 9년 사이에서 33%로 보고하였다. Yu 등(1986)도 진동백지증의 유병율은 진동노출 기간과 연관이 있다고 보고하고 있으며, 작업 년 수가 증가할수록 진동백지증 또한 증가한다고 보고하였다. NIOSH는 미국의 두 주물공장과 조선소에서 진동에 노출된 385명에 대한 자료를 분석한 결과, 진동백지증의 유병율은 주물공장에서 47%이었고, 조선소에서 19%로 보고하였다. 이들에 대한

평균 잠복기간은 각각 1.4년과 16.5년으로서, 진동백지증은 주물 또는 선박 작업자들 사이에서 공구를 사용한 연수에 비례해서 유의하게 증가하였다고 하였다. 또한 본 연구의 연구 방법과 비슷한 연구가 Jang 등(2002)에 의해 시행되었다. 한국의 선박건조업을 대상으로 수행한 연구에서 진동에 의한 말초혈관 증상 유병율이 25.0%, 말초신경 증상 유병율이 78.2%로 조사되었다. 선박건조업을 대상으로 한 Bovenzi 등(1980), Behrens 등(1984), Starck 등(1990)의 연구에서도 앞선 연구의 증상 유병율과 비슷한 결과를 보였다. 그러나 위의 연구들 모두 수지진동증후군의 유병율 결과는 모두 의학적 진단이 없이 증상조사만으로 유병율을 나타낸 연구이다. 증상유병율과 임상외사의 진찰을 통한 진단결과와는 많은 차이가 나타나는데, 이는 증상조사에서 나타나는 주관적 기록에 의한 편견(bias)과 주관적 증상과 객관적 결과의 차이에 의해 기인된다.

수지진동증후군에서 말초혈관순환장애를 객관적으로 볼 수 있는 지표가 냉각유발검사이다. Gemne 등(1986)은 폐색 후에 혈관확장에서 손가락 혈류량이 수지진동증후군이 없는 대조군보다 수지진동증후군이 있는 집단에서 더 적다는 것을 발견했다. 말초혈관의 저항 역시 수지진동증후군 집단에서 더 높았다. 연구자들은 수지진동증후군 집단의 증가된 말초 저항은 혈류량과 혈관 내 압력의 감소가 있는 혈관의 국소적 결점 때문일 것이라고 생각하였다. Bovenzi(1988)는 냉각유발검사가 100% 민감도와 87%의 특이도를 가졌다고 보고하였다. Niioka 등(1986)은 냉각유발검사가 위양성(false positive) 6%, 위음성(false negative) 6%, 민감도(sensitivity) 80%, 특이도(specificity) 100%로서, 수지진동증후군의 진단에 매우 유용한 검사인 것을 발견했다.

본 연구에서는 ISO5349의 주요 대상작업인 벌목업의 줄톱 공구가 아닌 선박건조업에서 일반적으로 사용되고 있는 공기압식 진동공구(그라인더)에서 발생하는 진동수준을 평가하였고, 서양인 중심의 연구대상이 아닌 동양인을 연구대상으로 하였고, 그리고 수지진동증후군의 증상조사뿐만 아니라 의학적 평가를 통해 유병율을 조사하여 그 결과가 국제 기준에 어느 정도 수준인지 파악하였기 때문에 수지진동증후군의 유병율 예측에 부분적으로 적용할 수 있을 것으로 판단한다. 그러나 근골격계질환 유해요인으로부터 발생하거나, 다른 작업환경 유해요인으로부터 오는 질병을 배제하지 못한 채 수지진동증후군 증상호소율과 유병율을 조사하여 유병율이 과대평가된 부분이 있을 수 있고, 대상자의 진동공구를 사용한 평균 작업경력 3.18(±0.9)년으로 장기간 진동공구에 노출된 작업자들이 포함되지 못한 것 역시 연구의 제한점으로 남는다. 이러한 제한점은 향후 후속적으로 연구하여야 할 중요한 주제가 될 것이다.

수공구에 의한 수지진동증후군은 급속한 기계화 및 자동화로 반복작업이 증가되면서 앞으로 직업성 질환 중에서 차지하는 비중이 늘어날 것으로 여겨진다. 따라서 우리나라에서도 예방 및 대책을 위한 정책과 조기에 환자를 발견할 수 있는 선별 기준을 마련하여 작업자들의 건강 증진에 도움이 되어야 할 것으로 보인다. 이러한 점에서 본 연구는 기존의 연구가 증상 위주의 평가인데 반해서 다수의 작업자를 대상으로 실제 검진을 통해서 평가했다는데 그 의의가 있다고 할 수 있다. 본 결과는 진동으로 인한 건강장해에 관한 관리기준을 마련하는데 유용한 기초자료가 되리라 기대한다.

V. 결론

목적: 본 연구에서는 우리나라 선박건조업에서 사용되고 있는 주요 진동수공구의 진동 특성을 평가하고, 그 공구들을 사용하고 있는 작업자에서 나타나는 수지진동증후군의 유병율 예측 모델을 개발하고자 하였다.

방법: 선박건조업에서 가장 많이 사용되고 있는 6개 종류의 그라인더를 주로 사용하는 작업자들의 1일 노출시간과 ISO5349 체계를 이용하여 진동가속도 값과 주파수를 분석하였다. 114명의 작업자를 대상으로 의사의 검진과 냉각유발검사를 통한 피부온도와 말초 혈류량을 측정하였고, 대상자중 51명을 선별하여 신경생리 검사를 실시하였다. 나아가 ISO5349 양-반응 관계식을 이용하여 수지진동증후군의 유병율을 예측하였고, 의학적 검진의 결과로 나타난 유병율과 비교하여 ISO 양-반응 관계식의 본 사업장 적용가능성을 검토하였다. 그 결과, 기존의 ISO 관계식이 선박건조업에서의 수지진동증후군 유병율 예측에 상당한 한계가 있음을 발견하였고, 진동가속도와 공구사용 년 수를 설명변수로 채택하여 수지진동증후군의 유병율을 예측, 검정하였다.

결과: 본 연구의 결과는 아래와 같이 요약된다.

- ① 사상 및 소지작업자의 실제 진동노출시간은 1일 4.64시간(±2.35, ±2.27)이었다.
- ② 4시간 기준 주파수가중 가속도 값은 7인치 그라인더, 4인치 그라인더, 베이비 그라인더를 사용하는 사상작업의 경우 6.23m/s², 디스크페이퍼를 부착한 4인치 그라인더, 브러시를 부착한 4인치 그라인더, 브러시를 부착한 베이비 그라인더를 사용하는 소지작업의 경우 13.39m/s²로 나타났다.
- ③ 사상작업을 하는 작업자의 절반이상이 진동백지증을 나타낼 수 있는 노출 년 수는 약 10.79년 이상인 것으로 나타났고, 소지작업자의 절반이상이 진동백지증을 나타낼 수 있는 노출 년 수는 약 5.02년 이상인 것으로 나타났다.
- ④ 냉각유발검사를 통한 대상자 114명의 피부온도와 혈류

량은 냉수 침지를 마치고 5분 후 가장 많이 감소하였고, 20분 후 양측 수지 피부온도와 혈류량은 상당히 회복하였으나 침지전 온도와는 통계적으로 의미있는 차이가 있었다.

⑤ 혈류량의 회복율과 피부 온도의 회복율은 통계적으로 유의하게 상호 양의 값의 상관관계를 나타내었으나, 혈류량의 회복율, 피부 온도의 회복율과 감각신경 전위와는 통계적 유의성이 없었다. ISO 양-반응 관계식을 통해 구한 유병율은 감각신경 전위뿐만 아니라 피부 온도의 회복율, 혈류량의 회복율과도 통계적으로 유의한 상관관계를 보이지 않았다.

⑥ ISO 양-반응 관계식을 사용할 경우, 우리나라 선박건조업에서의 수지진동증후군 유병율이 과소평가됨을 발견하였고, 의학적 검진을 통한 유병율과 4시간 등가 가속도 값, 진동공구에 노출된 기간과의 회귀분석을 하여 다음의 모델을 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{말초혈관 순환장해 정도(진동백지증 정도)}(^{\circ}\text{C}) = \\ -0.668 + 0.337 \times 4\text{시간등가 가속도 값}(\text{m/sec}^2) + 0.767 \times \text{진동} \\ \text{노출기간(년)} \end{aligned}$$

⑦ 도출된 모델의 타당성을 검토하기 위하여 연구대상을 model-building data와 validation data로 나누어 각각에 대한 회귀분석을 실시한 결과, 양자간에 차이가 없음을 발견하였다.

⑧ 설명변수들에 대한 correlation transformation 후의 모델 적합을 실시하여 설명변수들의 단위들을 비교한 결과, 변수들에 대한 변환의 영향은 크지 않는 것으로 나타나 원래 모델의 적용가능성을 확인할 수 있었다.

결론: ISO 양-반응 관계식을 사용할 경우, 우리나라 선박건조업에서의 수지진동증후군 유병율이 과소평가됨을 발견하였고, 의학적 검진을 통한 유병율과 4시간 등가 가속도 값, 진동공구에 노출된 기간과의 회귀분석을 하여 다음의 모델을 구하였다.

$$\begin{aligned} \text{말초혈관 순환장해 정도(진동백지증 정도)}(^{\circ}\text{C}) = \\ -0.668 + 0.337 \times 4\text{시간등가 가속도 값}(\text{m/sec}^2) + 0.767 \times \text{진} \\ \text{동노출기간(년)} \end{aligned}$$

REFERENCES

근로복지공단. 산재보험자료. 2004.
 김선술, 백남원. 자동차 조립공정에서 공기압력식 진동공구의 국소진동평가. 한국산업위생학회지 1996;61;1-16
 노동부. 고시안 2003-24호. 2003.

- 박희석, 임상혁. 수지진동증후군 증상 호소율 조사. 대한인간 공학회지 2001;19(3);93-97.
- 연정택, 박상규, 김소연, 이태영, 장재연. 금속가공 작업자의 국소진동 평가. 한국산업위생학회지 1999;92;52-65.
- 유철인, 이지호, 이충렬, 이현, 최영희. 수지진동증후군의 진단시 냉각부하검사에 의한 수지피부온도의 평가. 2002;14(2);124-133.
- 임상혁, 박희석, 양정인. 선박건조산업 진동수공구의 진동평가와 진동증후군에 대한 연구. 대한인간공학회지 2002;21(4);25-45.
- 임상혁. 그라인더 사용에 의한 Hand-Arm Vibration Syndrome의 6예. 대한산업의학학회지 2000;12(3);421-429.
- 정재열, 김정만. 자동차 조립공정라인에서 이중-햄머형(Double-hammer type) 임팩트렌치와 오일-펄스형(Oil-pulse type) 임팩트렌치 에어공구의 국소진동 가속도 및 소음수준. 한국산업위생학회지 1995;52;147-159.
- 주영수, 최홍렬, 김미경, 손홍, 전순자, 조성일, 김형식. 조선소 근로자에서의 국소진동장해 진단방법에 대한 평가. 대한산업의학학회지 1998;10(4);4-13.
- 통계청. 통계연감. 2002.
- 통계청. 통계연감. 2003.
- 한국산업안전공단. <KOSHA CODE H-23-2000>. 2000.
- 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). ACGIH, Ohio, 1993.
- American National Standards Institute(ANSI). Guide for the measurement and evaluation of human exposure to vibration transmitted to the hand(S3 · S4). ANSI, New York, 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. 1988;14:575-584.
- Bovenzi M. Hand-arm vibration syndrome and dose response relation for vibration for vibration induced white finger among quarry drillers and stone carvers. Occupational and Environmental Medicine 1994;51;603-611.
- Bovenzi M, Lindsell CJ, Griffin MJ. Response of finger circulation to energy equivalent combinations of magnitude and duration of vibration. Occup Environ Med 2001;58:185-193.
- Brammer AJ, Taylor W, Piercy JE. Assessing the severity of neurological component of hand-arm vibration syndrome. Scand. J. Work. Environ. Health 1986;12;428-431.
- Broström L, Lundström R, Hagberg M, Nilsson T. Comparison of Different Measure for Hand-Arm Vibration Exposure. Safety Science 1998;28(1);4-12.
- Cederlund R, Iwarsson S, Lundborg G. Hand function tests and questions on hand symptoms as related to the Stockholm workshop scales for diagnosis of hand-arm vibration syndrome. J Hand Surg(British and European Volume) 2003;28B(2);165-171.
- Cherniack M, Clive J, Seidner A. Vibration exposure, smoking, and vascular dysfunction. Occup Environ Med 2000;57:341-347.
- Cherniack M, Morse TF, Brammer AJ, Lundstrom R, Meyer JD, Nilsson T, Peterson D, Toppila E, Warren N, Fu R. Vibration Exposure and Disease in a Shipyard: A 13-year Revisit. Am. J. Ind. Med. 2004;45:500-512.
- European Committee for Standardization. Mechanical vibration Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration (ENV 25349). Brussels: 1992.
- Frideân J. Vibration Damage to the Hand: Clinical Presentation, Prognosis, and Length and Severity of Vibration Required. J Hand Surg(British and European Volume) 2001;26B(5);471-474.
- 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.
- Gemme G, Pyykko I, Taylor W, Brammer AJ. The Stockholm Workshop scale for the classification of cold-induced Raynaud's phenomenon in the hand-arm vibration syndrome. Scand. J. Work. Environ. Health. 1987;13:275-278.
- Giannini F, Rossi S, Passero S, Bovenzi M, Cannava G. Multifocal neural conduction impairment in forestry workers exposed and not exposed to vibration. Clinical Neurophysiology, 1999;110;1276-1283.
- Griffin MJ. Handbook of Human Vibration. New York: Academic Press. 1990.
- Griffin MJ, Bovenzi M, Nelson CM. Dose-response patterns for vibration induced white finger. Occup Environ Med 2003;60:16-26.
- International Organization for Standardization(ISO). Mechanical vibration guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand transmitted vibration. ISO5349. Geneva: ISO. 1986.
- Jae-Yeon Jang, Soyeon Kim, Sang Kyu Park, Jaehoon Roh, Tae-Young Lee, Jeong Taek Youn. Quantitative Exposure

- Assessment for Shipyard Workers Exposed to Hand-Transmitted Vibration From a Variety of Vibration Tools. *AIHA Journal* 2002;63:305-310.
- Liveson, Ma. Laboratory reference for clinical neurophysiology. Philadelphia: F.A. Davis Company. 1992.
- McGeoch KL, Gilmour WH. Cross sectional study of a workforce exposed to hand-arm vibration: with objective tests and the Stockholm workshop scales. *Occup Environ Med* 2000;57:35-42.
- National Institute for Occupational Safety and Health(NIOSH), Criteria for a recommended standard-Occupational exposure to hand-arm vibration. Cincinnati. Ohio Public Health Service Centers for Disease Control. Division of Standards Development and Technology Transfer. 1989.
- Niioka 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.* 1986;12:251-253.
- Nilsson T, Lundström R. Quantitative thermal perception thresholds relative to exposure to vibration. *Occup Environ Med* 2001;58:472-478.
- Palmer KT, Griffin MJ, Bendall H, Pannett B, Cooper C, Coggon D. The Prevalence of Sensorineural Symptoms Attributed to Hand-Transmitted Vibration in Great Britain : A National Postal Survey. *A. J Ind Med* 2000;38:99-107.
- Robert A. Vibration syndrome in chipping and grinding workers. *J occup Med.* 1984;26(10);765-788.
- Wasserman DE, Hudock S, Steven J. Hand-Arm Vibration in a Group of Hand-Operated Grinding Tools. *Human Factors and Ergonomics in Manufacturing,* 2002;12(2);211-226.