

# 스웨징 작업에서의 국소진동 노출평가

## Evaluation of Hand-Arm Vibration in Swaging Process

°박인선\* · 박원형\* · 박상규\*\* · 김규상\*\*\*

In Sun Park, Won Hyung Park, Sang Kyu Park, and Kyoo Sang Kim

**Key Words** : Swaging, Hand-arm vibration, Finger blanching, Exposure time

### ABSTRACT

This study is performed to evaluate hand-arm vibration syndrome(HAVS) of the workers in swaging process. Vibration measurement and assessment of human exposure are based on the international standard(ISO 5349). Triaxial acceleration of each operation and exposure time are measured to predict the periods before finger blanching. As results, it is found that acceleration is concerned with the diameter of pipes in swaging process, and also found that combined work is more harmful than a single operation.

### 1. 서론

근래 산업화에 따라 각 사업장은 기계화되어가고 진동이 수반되는 직종이 다양하게 생겨 이러한 직종에 근무하는 근로자의 산업보건문제가 점차 간과될 수 없는 것으로 인식되어 가고 있다.<sup>(1)~(3)</sup> 특히 많은 산업현장에서 사용되는 기계 대부분이 모터를 이용한 것으로 작업자의 손에 전달되는 진동에 의해 건강장해를 일으키게 되었다. Letz et al.(1992)<sup>(4)</sup>의 연구에 의하면 진동공구를 사용하는 근로자 중 71%가 손가락이 하얗게 변하는 백지현상(white finger syndrom)을 보였으며 이들 중 84%가 손과 손가락이 마비(numbness)되거나 욱신거림(tingling)을 호소하고 있는 것으로 보고되었고 Griffin(1990, 1997)<sup>(5)~(6)</sup>은 반복적인 충격(진동과 반복적 타격)은 만성적인 장애(chronic disorders)의 원인이 될 수 있다고 보고하고 있는데 이러한 것들을 레이노이드씨 현상(Raynaud's phenomenon)이라고 한다.

따라서 본 연구에서는 이러한 진동공구 중, 대표적인 것의 하나인 스웨징 작업시의 진동노출량을 측정하고 국소진동 증후군(Hand-arm vibration syndrome)이 발생할 가능성이 있는 기간을 예측하여 산업장에서 진동노출로 인한 피해를 최소화하는데 그 목적이 있다.

### 2. 연구대상 및 방법

#### 2.1 연구대상

OO전기(주)는 동모세관을 생산하는 비철금속가공업체로서 근로자는 28명으로 2교대 8시간을 근무한다. 그 중 스웨징 공정에서 기계를 사용하는 근로자에게서 국소진동증후군이 의심되어 정확한 원인규명과 재발방지 대책을 적극적으로 마련하기 위해 작업자의 국소진동 폭로량과 피해정도를 측정평가하였다.

#### 2.2 측정방법

##### (1) 측정장비

스웨징 기계에서 발생하는 진동이 근로자의 손과 팔 부위에 얼마나 전달되는가를 평가하기 위해 국소진동 측정장비를 사용하였다. 3개의 가속도계(type : 4374, piezoelectric accelerometer, Brüel & Kjør), 4-채널 amplifier(NEXUS 2635, Brüel & Kjør), tape

\* 정회원, 연세대학교 대학원 환경공학과

\*\* 정회원, 연세대학교 환경공학과

\*\*\* 한국산업안전공단 산업안전보건연구원

recorder(R-71, TEAC), FFT Analyzer(SA-74A, RION), 가속도계 고정용 어댑터(UA-0891, Brüel & Kjaer)가 사용되었으며 이들 장비의 보정을 위해 Vibration Calibrator(VE-10, RION)가 사용되었다.(Fig.1)

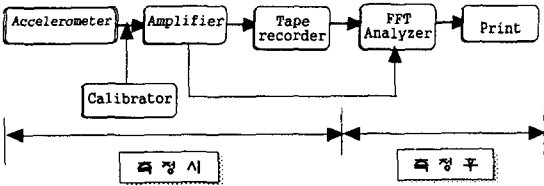


Figure 1 - Schematic Diagram for Vibration measurement

**(2) 측정방법**

손에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 가속도계를 어댑터에 삽입하고 근로자의 손과 가공물 사이에 밀착시켜 설치하였다. Fig 2와 3은 스웨징 작업의 원리 및 작업모습을 보여준다.

작업에 대한 축의 방향은 ISO 5349-1986(E)<sup>(7)</sup>를 근거로 하여 측정하였다. 자료의 경우 측정시 tape recorder에 연결하여 모든 자료를 저장하였으며 자료의 분석은 tape recorder와 FFT를 이용하여 1/3 octave로 분석하였다. 이들 장비에 대해 진동측정의 경우 측정전후에 보정기를 통해 159.2Hz에서 10m/sec<sup>2</sup>로 보정하였다.

또한 작업자들이 실제로 진동에 노출되는 시간을 파악하기 위하여 작업별로 현장에서 스톱워치를 사용하여 실노출시간을 측정하였다.

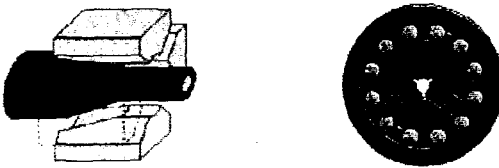


Figure 2 - Principle of swaging process



Figure 3 - A photograph of swaging process

**2.3 국소진동 평가**

진동노출에 대한 평가는 ISO 5349-1986(E)를 근거로 하여 주로 일일폭로량에 기초하여 평가하였으며 그 내용은 다음과 같다.

임의의 시간 T동안 에너지 등가 가속도값(energy equivalent acceleration)을 측정하고 식(1)을 이용하여 4시간동안의 등가가속도값으로 환산하였다.

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

여기서,  $(a_{h,w})_{eq(T)}$  is the frequency-weighted energy equivalent acceleration for a period of T h.

만약 총 일일폭로량이 여러 다른 주파수 가중 가속도값을 갖고 있을 경우에는 식(2)로 가속도값을 결정한다.

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

$$\text{여기서, } T = \sum_{i=1}^n t_i$$

$(a_{h,w})_{eq(t_i)}$  is the frequency-weighted energy equivalent acceleration for the *i*th exposure component of duration *t<sub>i</sub>*, in hours

또한, 주파수 가중 가속도( $a_{h,w}$ )는 식(3)으로 구할 수 있다.

$$a_{h,w} = \left( \sum_{j=1}^n (K_j a_{h,j})^2 \right)^{1/2} \dots (3)$$

여기서,  $K_j$  is the weighted factor for the  $j$ th one-third octave band or octave band given respectively in ISO 5349

$a_{h,i}$  is the acceleration measured in the  $i$ th one-third octave band or octave band

$n$  is the number of one-third octave or octave bands being used

진동에서의 노출평가는 ISO-5349-1986(E)의 Annex A를 이용하여 구했는데 여기에서 제공하는 dose-effect relationship은 위의 공식 (1), (2), (3)을 이용하여 평가한 4시간동안의 frequency-weighted energy equivalent acceleration으로 주어졌다. 이 값을 이용하여 폭로시간에 따른 노출인구의 비율은 식(4)를 통해서 구할 수 있으며 table 1에 나타내었다.

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

여기서,  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  : the frequency-weighted energy equivalent acceleration for the period of 4h  
 $C$  : the percentile of exposed persons  
 $T_F$  : the exposure time

Table 1 - Exposure time in years for different percentiles of population for various weighted acceleration

Weighted acceleration ( $a_{h,w})_{eq(4)}$ m/s <sup>2</sup>	Percentile of population, C				
	10	20	30	40	50
	Exposure time, years				
2	15	23	> 25	> 25	> 25
5	6	9	11	12	14
10	3	4	5	6	7
20	1	2	2	3	3
50	< 1	< 1	< 1	1	1

이것은 임의의 진동 가속도값에 노출되었을 경우 노출집단의 일부에서 레이노이드씨 질병같은 혈관계 질병이 나타날 가능성이 있는 노출년수를 제시한 것이다. 예를들면, 4시간동안의 주파수가중 등가가속도값  $((a_{h,w})_{eq(4)})$ 이 2m/s<sup>2</sup>인 진동가속도값에 15년동안 노출되었을 때 이값에 노출된 작업자의 약 10%가 레이노이드씨 현상을 나타낼 수 있다는 것을 의미한다. 또한, 같은

가속도에서 노출작업자의 50%이상이 레이노이드씨 현상을 나타내는데 걸리는 노출년수는 대략 25년정도임을 알 수 있다.

### 3. 결과 및 분석

#### 3.1 실노출시간

현장에서 스톱워치를 사용하여 실제 진동에 노출되는 시간을 측정하였다. 스웨징 작업별로 한 roll당 실제 작업하는 시간을 측정하였으며, 하루동안 처리하는 평균 roll수를 파악하였다. 이 결과를 토대로 진동에 대한 실제 노출시간은 하루 평균처리 roll수와 한 roll당 실노출시간을 곱하여 나타내었다.

Table 2 - Actual vibration exposure time per day

Operation Type	Exposure time per roll	roll	Actual exposure time
스웨징 1# - 1차공정	15"	35	8' 45"
스웨징 1# - 2차공정	10"	35	5' 50"
스웨징 2# - 1차공정	15"	35	8' 45"
스웨징 2# - 2차공정	10"	35	5' 50"
스웨징 3# 공정	7"	35	4' 5"
스웨징 4# 공정	7"	35	4' 5"

주) 스웨징 1# - 1차공정 : 관직경 15.8 → 11mm로 가공  
 스웨징 1# - 2차공정 : 관직경 11 → 8mm로 가공  
 스웨징 2# - 1차공정 : 관직경 11 → 8.5mm로 가공  
 스웨징 2# - 2차공정 : 관직경 8.5 → 6.35mm로 가공  
 스웨징 3# 공정 : 관직경 6.35 → 3.5mm로 가공  
 스웨징 4# 공정 : 관직경 3.5 → 2.5mm로 가공

#### 3.2 발생 진동량

총 4공정, 6종류의 스웨징 작업에서 발생하는 국소 진동을 측정하였다. ISO-5349(기준)에서는 일반적으로 가장 큰 진동가속도값을 나타내는 축의 값을 기준으로 하여 폭로량을 평가하는 dominant axis method를 이용하므로 이값을 'dom'으로 표시하였다. 또한 유럽연합에서는 3축의 모든 값을 이용하는 frequency - weighted acceleration sum method<sup>(8)</sup>를 이용하므로 이 방법의 한 값은 'sum'으로 표시하였다. 이 값의 계산식은 식(5)와 (6)에 나타내었다.

$$a_{hws} = (a_{hw_x}^2 + a_{hw_y}^2 + a_{hw_z}^2)^{1/2} \quad \dots (5)$$

$$A(8) = (T/8)^{1/2} (a_{h,w})_{eq(8)} \quad \dots (6)$$

A(8) : 8시간 주파수 가중 에너지 등가 가속도값

측정 대상 사업장에서 작업별로 3회씩 측정하여 총 18회의 측정이 이루어졌다. 작업별 측정값에 대한 가중 가속도값 및 dom과 sum값은 각각 table 3, 4에 나타내었다. Table 3은 주파수별 가중 보정치를 적용한 에너지 등가 가속도값을 나타낸 것이며, table 4는 table 2의 실제노출시간을 적용하여 계산한 에너지 등가 가속도값을 나타낸 것이다. 분석결과 국소진동의 크기는 스웨징 1#-1차(56.52m/s<sup>2</sup>), 스웨징 1#-2차(46.23m/s<sup>2</sup>), 스웨징 2#-1차(17.89m/s<sup>2</sup>)의 순으로 나타났으며 스웨징 1#작업시에 가장 큰 진동이 발생함을 알 수 있다. 이는 가속도값의 크기가 스웨징작업의 종류와 파이프의 지름에 영향을 많이 받기 때문이다. 지름이 가장 큰 pipe를 사용하여 작업하는 1차작업에서 가장 높은 값이 나타나 진동유발이 가장 큼을 알 수 있다. 작업면적이 큰 경우 기계의 회전에 상당한 장애를 초래하며 이로 인하여 작업시 떨림이 상당히 많아지고 결론적으로 높은 가속도값을 발생시키게 된다.

Table 3 - Frequency weighted acceleration :  $(a_{h,w})_{eq}$

Operation Type	Ave. Accel.(m/s <sup>2</sup> )		
	X axis	Y axis	Z axis
스웨징 1# - 1차공정	21.46	15.17	56.52
스웨징 1# - 2차공정	19.69	18.28	46.23
스웨징 2# - 1차공정	14.99	15.07	17.89
스웨징 2# - 2차공정	6.67	12.79	7.76
스웨징 3#공정	12.28	14.59	16.40
스웨징 4#공정	4.64	7.56	6.31

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

Operation Type	dom		sum	
	$(a_{h,w})$	$(a_{h,w})_{eq(4)}$	$(a_{h,w})$	A(8)
스웨징 1# - 1차공정	56.52	10.79	62.33	8.42
스웨징 1# - 2차공정	46.23	7.21	53.47	5.90
스웨징 2# - 1차공정	17.89	3.42	27.78	3.75
스웨징 2# - 2차공정	12.79	2.00	16.38	1.81
스웨징 3#공정	16.40	2.14	25.16	2.32
스웨징 4#공정	7.56	0.99	10.88	1.00

주) when exposed to a single operation

작업자가 2가지 작업을 병행할시의 가중 가속도값은 table 5에 나타냈으며, 병행작업시에는 에너지 등가 가속도값이 단일 작업시보다 증가하는 것으로 나타났다. 그리고, 덮개를 조인 경우와 조이지 않고 작업하는 경우

로 나누어 측정을 실시했으며, 측정 결과치는 table 6에 나타내었다. table에서 알 수 있듯이 덮개를 조인 상태에서 작업을 시행했을 때의 값이 적게 나타나는 것을 알 수 있다. 이는 덮개를 조이지 않은 상태에서 작업을 시행했을 경우 더 많은 진동에 노출됨을 알 수가 있다.

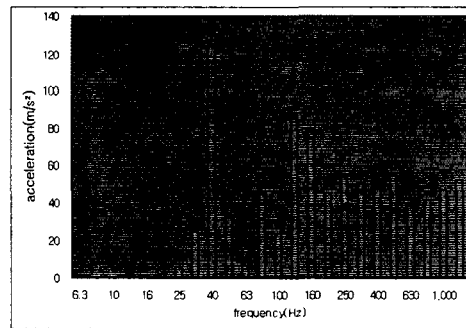
Table 5 -  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  according to actual exposure time

Operation Type	dom		sum	
	$(a_{h,w})$	$(a_{h,w})_{eq(4)}$	$(a_{h,w})$	A(8)
스웨징1# : 1차+2차공정	52.65	12.98	58.95	10.28
스웨징2# : 1차+2차공정	14.70	3.63	23.88	4.16

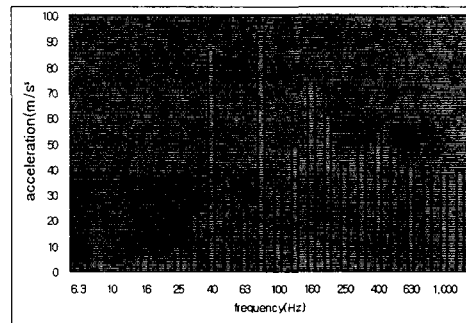
주) when exposed to combined operation

Table 6 -  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  according to actual exposure time

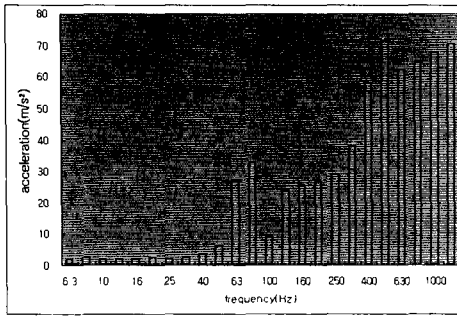
Operation Type	dom		sum	
	$(a_{h,w})$	$(a_{h,w})_{eq(4)}$	$(a_{h,w})$	A(8)
스웨징2# : covered	12.70	2.00	16.38	1.81
스웨징2# : not covered	16.66	2.60	22.03	2.43



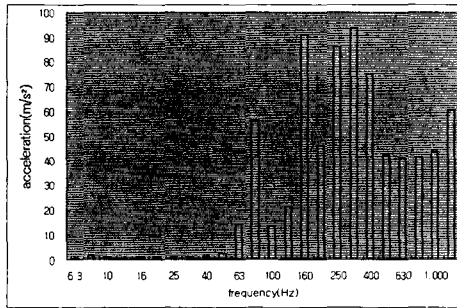
(a) 스웨징 1# - 1차공정(Z축)



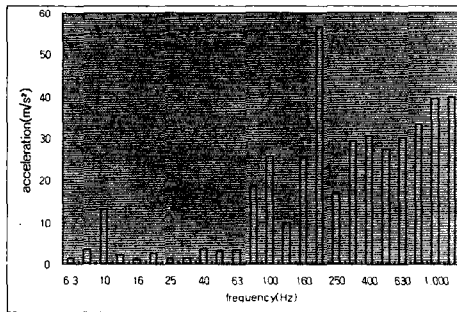
(b) 스웨징 1# - 2차공정(Z축)



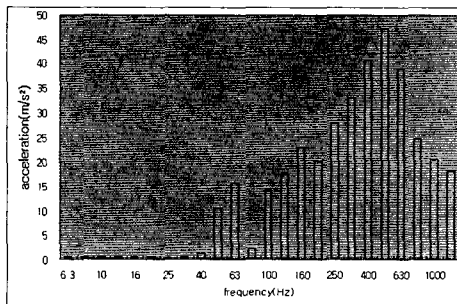
(c) 스웨징 2# - 1차공정(Z축)



(d) 스웨징 2# - 2차공정(Y축)



(e) 스웨징 3# 공정(Z축)



(f) 스웨징 4# 공정(Y축)

Figure 4 - One-third octave band histogram

작업별로 1/3 octave 주파수 분석을 실시하였으며, 결과는 figure 4에 나타내었다. 1/3 octave의 주파수 분

석결과, 스웨징 1# 작업시에는 40~200Hz에서 큰 값을 나타내며, 다른 작업에 비해 저주파에서 높게 측정되었다. 이는 지름이 큰 pipe를 기계에 삽입하였을 때 다른 공정에 비해 타격수에 해당하는 주파수가 그대로 손에 전달되었기 때문이다.

ISO-5349에서는 6.3Hz~1,250Hz의 범위를 설정하여 1/3 octave 밴드의 중심주파수에 따라 보정한 주파수 가중 가속도값으로 사용하고 있다. 이 기준에서는 저주파 영역의 주파수 보정값이 다른 범위에 비해 상당히 높은 값을 책정하였는데 이는 주로 인체에 피해를 주는 주파수 범위가 8Hz~15Hz 사이이기 때문이다. 측정결과 주파수 보정 가속도값이 높은 공정의 경우 저주파 영역에서 다른 공구들보다 진동값이 큰 것을 알 수 있다.

### 3.3 국소진동증후군 발생기간 예측

Table 7은 단일 작업을 행하였을 경우 국소진동증후군이 발생할 기간을 나타낸 것으로서, 스웨징1#-1차공정 작업시 진동에 노출된 작업자의 50% 이상이 수지진동증후군을 나타낼 수 있는 기간은 대략 6년 정도로 나타났고 2차공정의 경우 대략 9년 정도 걸릴 것으로 예측되었다. 즉, 이 사업장의 작업자들이 평균 6년 이상을 근무하였다면 1차공정을 행하는 작업자는 절반 이상이 수지진동증후군을 나타낼 수 있으며 2차공정 작업자는 약 20%가 이 현상을 나타낼 수 있는 것으로 판단된다.

Table 8과 같이 한 가지 이상의 공정을 행하는 작업자의 경우 50% 이상이 수지진동증후군을 나타낼 수 있는 노출년수는 대략 5년으로 나타났다. 이것은 한 가지 이상의 공정을 행하는 경우 진동에 대한 노출을 훨씬 더 가중시키고 있음을 알 수 있다.

ISO 기준과 비교해 볼 때 스웨징 2#-2차공정, 스웨징 3, 4#공정의 경우는 영향이 적을 것으로 판단되나, 스웨징 1#공정은 영향이 클 것으로 예상되므로 철저한 저감대책을 수립해야 할 것이다.

Table 7 - Exposure time & percentiles of population

Operation Type	Weighted acceleration ( $a_{h,w}$ ) <sub>eq(t)</sub> m/s <sup>2</sup>	Percentile of population, C				
		10	20	30	40	50
Exposure time, years						
스웨징 1#-1차공정	10.79	2.78	3.94	4.82	5.57	6.22
스웨징 1#-2차공정	7.21	4.17	5.89	7.22	8.34	9.32
스웨징 2#-1차공정	3.42	8.79	12.43	15.23	17.58	19.66
스웨징 2#-2차공정	2.00	15.06	21.30	26.08	30.12	33.67
스웨징 3#공정	2.14	14.04	19.86	24.33	28.09	31.40
스웨징 4#공정	0.99	30.47	43.09	52.77	60.94	68.13

주) when exposed to a single operation

Table 8 - Exposure time & percentiles of population

Operation Type	Weighted acceleration ( $a_{h,w}/g(4)$ ) $m/s^2$	Percentile of population, C				
		10	20	30	40	50
		Exposure time, years				
스웨징1# : 1차+2차	12.98	2.31	3.27	4.01	4.63	5.18
스웨징2# : 1차+2차	3.63	8.29	11.72	14.35	16.57	18.53

주) when exposed to combined operation

#### 4. 결론 및 고찰

이상에서 스웨징 기계에서 발생하는 진동이 근로자에게 얼마나 영향을 미치는지 조사하였다. 스웨징 작업시 작업자가 하루동안에 실제 진동에 노출될 시간을 측정하였으며, 그 실노출시간을 이용하여 총 진동발생량 및 발생시간을 예측하였다. 발생진동량 측정된 값을 통해 폭로량을 계산함에 있어 dom 및 sum방법의 2가지 기준을 가지고 계산을 실시하였다. 또한 작업자가 2가지 이상의 작업을 병행할 경우의 노출량을 계산하였으며, 스웨징 작업시 동모세관을 기계에 끼운후 덮개를 설치하여 고정된 경우와 그렇지 않은 경우를 비교하였다.

한편, 본 연구를 수행함에 있어 여러 제한사항을 발견할 수 있었다. 첫째, 측정장비인 어댑터와 손이 완전히 밀착되도록 한후 가공물과 밀착시킨 상태에서 측정을 실시해야만 측정치의 변동폭이 작아 손의 밀착도에 따라 측정치가 상이함을 알 수 있다. 둘째, 실노출시간을 측정함에 있어 근로자마다 일일 작업한 roll수가 달라 결과치에 약간의 차이가 발생하였으며, 이는 작업자의 숙련도, 작업공정 등이 상이함으로 인해 나타나는 결과이다.

상기 결과에서 본 것처럼 스웨징 작업의 종류와 파이프의 지름에 따라 가속도값의 크기에 영향을 미치며, 덮개의 여부에 따라 진동량의 크기가 다름을 알 수 있다. 따라서 스웨징 작업을 관 직경에 따른 공정을 세부적으로 나눠 진동에 노출되는 양을 조절하고, 덮개를 설치하여 나사를 조인 상태에서 작업을 수행하여야 한다. 스웨징 기계를 사용하는 작업을 진동노출을 포함하지 않는 다른 작업이나, 진동노출이 적은 작업과 주기적으로 바뀌어 작업을 시행(순환보직)하여야 한다.

따라서, 중장기적으로는 진동의 저감을 위해서는 스웨징 기계의 회전속도, 설계변경, 덮개설치 및 방진장갑 착용후의 실험 연구가 더 필요할 것으로 판단된다.

#### 참고 문헌

- (1) 연정택, 박상규 등, 1999, "금속가공 작업자의 국소진동 평가", 한국산업위생학회지 제9권 제2호.
- (2) 정재열, 김정만, 1995, "자동차 조립라인에서 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치 에어공구의 국소진동가속도 및 소음수준", 한국산업위생학회지 제5권 제2호.
- (3) 김선술, 1995, "자동차 조립공정에서 공기압력식 진동공구의 국소진동 평가", 서울대학교 보건대학원 보건학석사학위논문.
- (4) Letz R, Cherniack MG, Gerr F, Hershman D, Pace P: A cross sectional epidemiological survey of shipyard workers exposed to hand-arm vibration. Bri J of Industrial Medicine, 1992; 49: 53-62
- (5) Griffin MJ : Handbook of Human Vibration. Academic Press, London, 1990: 553-577
- (6) Griffin MJ : Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposures to hand-transmitted vibration. Occupational and Environmental Medicine, 1997; 54: 73-89
- (7) International Organization for Standardization (ISO): Mechanical vibration - guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration(ISO 5349), Geneva, 1986.
- (8) European Committee for Standardisation : Mechanical vibration-Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration(ENV 25349), Brussels, 1992.