

## 1. 서론

19세기 중반이후 광산 및 건설 현장에서 처음으로 공기압을 이용한 공구가 소개된 이후 금속산업 등에서 전기모터에 의한 공구가 사용되기 시작하였다. 2차 세계대전 직후에는 많은 산업 현장에서 광범위하게 전기모터나 공기압을 이용한 경량의 진동공구들이 사용되었다(Yamada et al., 1998). 또한 1950년대 신기술의 혁신으로 휴대용 진동공구들이 전세계적으로 보급되기 시작하여 현재 거의 모든 산업현장에서 사용되고 있으며 인간의 힘에 의존하는 수공구의 흔적은 가정이나 아주 소규모의 작업장에만 남게 되었다.

그러나 이러한 모터나 공기압에 의한 진동공구의 발달과 보급은 생산적, 경제적 측면에 상당한 기여를 하였지만 반대로 인간 건강 측면에서는 상당한 해를 초래하게 되었다. Letz et al. (1992)의 연구에 의하면 국소진동공구를 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)은 반복적인 충격(진동과 반복적 타격)은 만성적인 장애(chronic disorders)의 원인이 될 수 있다고 보고하고 있는데 이러한 것들을 레이노드씨 현상(Raynaud's phenomenon)이라고 한다.

국소진동 장애는 혈관과 신경의 이상에 의해 야기되며 임상적으로 가장 빈번하게 발현되는 것은 혈관경련에 의해 손이 차가워지는 현상으로서 그 결과 손과 손가락이 하얗게 변한다. 이러한 혈관계 경련으로 인한 질병을 2차 레이노드씨 현상이라고 하는데 일반적으로 진동백지현상(vibration white finger : VWF)이라고 부른다. 또한 신경학적 요소는 말초신경장애나 병소(病巢)의 압박(focal compression)으로 나타나는 감각 이상 또는 통증, 피부 감각 능력의 저하, 팔의 능력저하 등을 야기하게 된다.(Letz et al., 1992)

이러한 진동공구와 레이노드씨 현상과의 관계는 1911년 이탈리아 광부들 사이에서 처음으로 보고되었으며 미국에서는 1918년에 Hamilton(1918)의 감독 하에 첫 연구가 시작되었고 현재 여러 나라에서 연구가 진행되고 있다(Robert, 1984). 또한 국소 진동에 의해 발생된 혈관 관련 질병과 뼈와 근육 관련 질병은 여러 나라에서 보상 가능한 직업병으로 판정받고 있고 이

러한 질병은 직업병으로 인정받아 유럽의 직업병 리스트에 포함되어있는 실정이다. 그러나 국내에서는 아직 소수의 연구 사례만이 발표되었으며, 독자적인 측정방법이나 평가, 규제기준 등이 없는 상황이다. 특히 금속재료를 절단, 용접, 그라인딩, 드릴링 하여 가공하는 대단위 금속가공 사업체에서는 여러 가지의 진동공구들이 많이 사용됨에도 불구하고 국내에서는 진동현황 조사나 평가가 부족한 실정이다.

## 2. 국소진동과 건강장애

진동이 발생하는 공구를 오랜 기간 사용할 경우 진동증후군이 발생할 가능성이 높다. 진동으로 인하여 발생하는 증상 중 가장 널리 알려진 것은 혈관계 증상인 레이노씨 현상(Raynaud's phenomenon)으로 수지진동 공구를 오랜 기간 사용 후 추운 곳에 손가락이 노출될 경우 따끔거리거나 저리고 감각이 무뎌지며 손가락 끝이 하얗게 변하는 증상을 말한다. 또한 신경계 증상으로 진동에 대한 감각 및 온도에 대한 감각이 떨어지고 촉각이 둔해지는 증상이 나타나며 손목의 신경이 지나가는 경로가 눌려 발생하는 수근관 증후군(Carpal tunnel syndrome) 및 다른 신경장애들도 진동에 폭로된 근로자에게서 빈번히 발생하는 것으로 조사되었다. 또한 기타장애로 근골격계 장애를 들 수 있는데 손가락이나 손목, 팔꿈치의 기형 및 어깨통증, 근육에의 영향, 골관절증도 유발하는 것으로 나타났다. 이러한 다양한 건강장애는 1986년 스톡홀름 워크숍을 통해서 공식화 되었는데 이 회의에서는 혈관계 및 신경계 증상을 단계별로 분류하여 제시하였다.

### ① 혈관 관련 질병

국소 진동에 노출된 작업자는 추위에 노출되어 손이 하얗게 되는 'white finger' 증상이 생긴다. 이러한 손가락 끝에 피의 순환이 일시적으로 중단되는 질병을 Raynaud 현상<sup>1)</sup>이라고 한다. (1812년 프랑스 의사 Maurice Raynaud가 발견) 그것은 진동이 추울때 더 민감해져서 혈액 순환을 방해한

---

1) Raynaud's phenomenon : 보통 손가락의 혈관 수축의 결과, 피의 불충분한 순환때문에 손가락이 하얗게 되는 백지증의 장애는 추위 등에 의해 유발된다. 주요한 레이노드씨 병은 백지증의 증상은 다른 특정 원인의 탓으로 생각할 수 없다. 두번째로 레이노드씨 증상은 무엇인가의 원인들이 확인될 수 있다. 레이노드씨 증상의 형태인 진동에 의해 유발된 white finger는 국소진동에 노출이 원인이다.

다고 알려져 있고, 또한 진동이 손가락의 혈관 변화에 영향을 준다고 말하고 있다. 진동으로 인해 발생한 혈관의 질병들을 설명하는 여러 가지 용어가 있다. 예를 들어, dead or white finger, Raynaud 증후군, 혈관경련질환 등이 있다. 최근에는 vibration-induced white finger (VWF)라 칭하고 있다. VWF는 많은 나라에서 규정한 직업병으로 진동에 계속적으로 노출이 되면 한 개나 두 개 이상의 손가락 끝이 창백해지는 현상이다.

손가락이 창백해지는 'finger blanching' 현상은 손가락의 말초에 혈액 순환이 잘 되지 않은 현상으로 때로는 cyanosis<sup>2)</sup> 증상이 나타나기도 한다. 회복하기 위해서는 손에 혈액 순환이 잘 되도록 따뜻한 곳에 있거나 전체적으로 마사지를 해주는 방법이 있다. 이 창백해지는 현상은 여름보다 겨울이 심하고, 지속기간은 몇 분에서 1시간 이상 증상이 나타나기도 한다. 지속기간도 혈관 경련의 정도와 자극의 강도에 따라 다양하다. 보통 몸 전체의 온도가 올라가면 현상이 멈추기도 하는데 진동에 계속 노출되면 창백해짐은 자주 나타나고, 일년 내내 그 증상이 나타날 수도 있다. 가장 심한 경우 손이 창백해지는 현상이 반복적으로 격렬해지면 손가락 끝 피부에 영양 성분이 제대로 전달되지 않아서 궤양 및 괴사를 일으킬 수도 있다. 작업자가 이 현상을 겪는 기간동안 일을 하는데 있어서 감각과 조작의 기밀성을 잃게 되고 결국 사고로 이어지기도 한다.

VWF 증상은 진동에 노출된 근로자에게 넓게 퍼져 있다. white-finger syndrome은 여러 가지 요소들에게 영향을 받는다. 예컨대 진동 노출 (주파수의 크기, 방향, 충격성, 노출기간)의 특성, 공구와 일의 타입, 환경 조건 (온도, 기류, 습도, 소음), 기계를 다루는데 있어서 잡는 힘, 팔의 자세 등에 의해 영향을 받고 여러 가지 개인차 (니코틴, 특정 약, 다른 질병)에도 영향을 받는다. 즉 진동 노출과 white finger symptoms 사이는 매우 복잡한 관계로 이루어 졌다고 할 수 있다. 역학적 조사에 따르면 진동 노출 기간이 늘어나면 VWF의 발생 확률도 증가한다고 보고 있다. 'finger blanching' 증상은 발생하기 전의 누적되는 진동 노출의 크기와 거의 반비례 관계에 있다. 즉, 진동 크기가 두배가 되면, 그 만큼 'white blanching' 현상도 빨리 나타나는 것이다.

1970년대 후반 까지 VWF의 발생은 유럽과 일본의 임업 노동자들에게

---

2) Cyanosis : 산소의 공급이 적거나 중단되어 혈액이 푸른색으로 변하면서 피부나 다른 조직의 괴사 현상

anti-vibration chain saws가 소개되고 사용기간을 단축하며 위험 인자 (추위, 육체적 피로)에 노출되는 것을 줄임으로서 줄어들었다.

## ② 신경학상의 질환

국소 진동에 노출된 작업자들은 그들의 손가락이나 손에 따끔거리는 현상이나 저리는 현상을 경험했을 것이다. 진동에 계속적으로 노출되면 이 증상은 더 악화되고 일을 하거나 일상 생활을 하는데 방해를 줄 수 있다. 국소 진동의 또 다른 영향은 손가락 끝의 피부에서 진동에 대한 민감성의 감소 증상을 발견 할 수 있다. 진동에 노출된 작업자들에 대한 역학 조사에서 진동에 노출된 작업자들의 그룹에서 아주 소수에서 80% 이상의 개인들까지 말초 신경 질환이 다양하게 나타나고 있음을 발견했다.

신경학적인 장애가 다른 진동이 유발한 질환과는 별개로 생길 수 있다. 아마도 다른 병리학적인 메카니즘을 반영할 수도 있기 때문이다. HAVS의 신경학상의 구성 요소를 위한 분류는 1986년 스톡홀름 워크샵에서 제안되었으며, 표-1에 제시하였다. 증상에 따른 각각의 단계의 존재는 촉각의 지각능력, 정밀도 조작 등과 같은 신경학적인 임상 실험과 정신 물리학적 시험의 결과들을 통해 만들어졌다.

진동에 노출된 작업자들은 CTS<sup>3)</sup>(carpal tunnel syndrome)같은 신경장애 증상을 보일 수 있다. CTS는 종종 도금공, 임업 노동자들처럼 진동 공구를 사용하는 직업들에게서 나타난다. 이러한 신경장애는 진동 공구를 다루는 노동자들에게서 진동이 원인이 될 수 있는 CTS 증상과 함께 손과 손목에 인간공학적인 스트레스(반복적인 작업, 공구를 다룰 때 잘못된 잡거나 서투른 자세)로 인해서 발생된다고 보고 있다.

---

3) Carpal tunnel syndrome : 엄지손가락, 집게 손가락, 가운데 손가락, 네 번째 손가락의 손바닥에서 통증이나 따가움, 타는듯한 증상으로 대부분 밤에 나타나는데 손목 뼈를 지나는 정맥의 신경의 염증이나 압축에 의한 원인이다.

표-1 Stockholm Workshop Scale (1986)

| Vascular component      |                                                    |                                      |
|-------------------------|----------------------------------------------------|--------------------------------------|
| Stage                   | Grade                                              | Description                          |
| 0                       | -                                                  | 아무런 자극 없음                            |
| 1 <sub>v</sub>          | Mild                                               | 한개 또는 그 이상의 손가락의 끝에 가끔 영향을 주는 통증을 보임 |
| 2 <sub>v</sub>          | Moderate                                           | 하나 이상의 손가락들의 말단이나 중심 지골에 가끔 통증을 보임   |
| 3 <sub>v</sub>          | Severe                                             | 거의 모든 손가락 지골에 자주 통증을 보임              |
| 4 <sub>v</sub>          | Very severe                                        | 3가지 단계와 함께 손가락 끝의 피부의 변화를 보임         |
| Sensorineural component |                                                    |                                      |
| Stage                   | Description                                        |                                      |
| 0 <sub>SN</sub>         | 진동에 노출 되었으나 아무런 증상이 없는 단계                          |                                      |
| 1 <sub>SN</sub>         | 따금거리거나 현상을 수반하거나 그렇지 않으면서 간헐적인 저림 현상이 나타남          |                                      |
| 2 <sub>SN</sub>         | 감각의 지각 능력이 감소하면서 간헐적이거나 계속적으로 저림 현상이 나타남           |                                      |
| 3 <sub>SN</sub>         | 촉각의 판별력과 손가락 끝의 기민성이 감소하면서 간헐적이거나 계속적으로 저림 현상이 나타남 |                                      |

### ③ 근골격계 관련 질환

#### ㉠ 골격

일찍이 방사능 물질에 대한 연구에서 진동에 노출되면 뼈의 액포와 손과 관절에 낭종의 발생률이 높다고 조사되었다. 그러나 최근의 조사에서는 진동에 노출되지 않는 근로자의 경우 높은 증가율을 보이지 않는다고 보고되고 있다. 힘줄이 무감각화 되는 것처럼 과도하게 발생하는 손목과 팔꿈치의 변형성 관절증은 광부와 도로를 건설하는 근로자, 금속 가공업자 등에서 나타나는데 이것은 압축공기의 충격으로 작동되는 공구로부터 발생하는 높

은 크기의 저주파 진동(50Hz 이하)에 노출된 것을 원인으로 보고 있다.

Kienbock's disease<sup>4)</sup> 역시 몇몇 조사자로부터 과도하게 발병하고 있음이 보고 되었다. 작업자의 팔다리 윗부분의 뼈와 관절의 질병 발생률이 증가하는 원인은 체인톱이나 그라인더를 조작하면서 발생하는 중간 또는 고주파 진동에 노출되었기 때문이다. 힘든 육체적 노동, 손아귀 힘, 그 외 다양한 인자는 작업자가 충돌하는 공구를 작업할 때 골격 상해의 발생 위험률을 높인다. 프랑스, 독일, 이태리 등의 국가는 작업자가 손진동공구를 사용하여 뼈와 관절과 관련된 질병을 얻게 되면 직업병으로 간주하고 보상 조치를 취하고 있는 실정이다.

### ㉠ 근육

진동에 노출된 근로자는 손과 팔에 통증이 있고 근육이 약해졌다고 말하고 있다. 진동 노출은 손아귀의 힘을 감소시키는 원인으로 추정된다. 개개인의 근육의 피로가 근력을 무능력하게 하는 것이다. 기계의 상해와 주위 신경 손상이 이러한 근육 질병의 원인으로 보고 있다.

진동에 노출된 근로자들에게 나타나는 또 다른 관련 직업병으로는 팔다리의 윗 부분의 힘줄에 염증이 생기는 건염 증상이나 Dupuytren's contracture<sup>5)</sup>, 손바닥의 근막과 관련 된 질환 등이 있다. 이러한 질환은 무거운 수동적 작업이나, 아직 확증할 순 없지만 국소진동으로부터 비롯되는 인간공학적인 스트레스 요소와 관련이 있다고 본다.

## 3. 진동 측정 방법

진동공구에서 발생하는 진동의 크기를 측정하기 위하여 그림-1에 나타낸 바와 같이 3개의 가속도계(Accelerometer), 증폭기(Charge amplifier), 진동 기록장치(Tape recorder), 주파수 분석기(FFT analyzer), 가속도계 고정용 어댑터(Handle adaptor set), 보정기(Vibration calibrator)를 사용한다. 측정 장치 set은 그림-2에 나타내었다.

---

4) Kienbock's disease : 관절의 초승달 모양의 뼈를 무기화(광화) 시키는 질병

5) Dupuytren's contracture : 네 번째 손가락이나 새끼 손가락이 꺾 펴지는 것을 막는 손바닥의 섬유질 내층을 두껍게 하는 현상

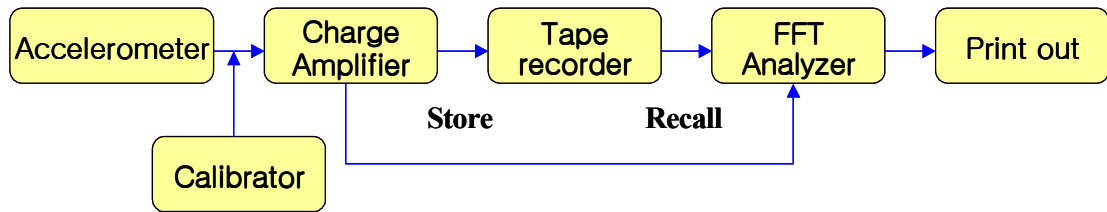


그림-1 진동측정장치의 개요



가속도계



증폭기



진동교정계

그림-2 진동 측정 set

공구진동에 의해 가속도계에서 발생하는 전기적 신호를 증폭하기 위해 각각의 가속도계의 감도를 고려하여 증폭기의 스위치를 설정해야 하며 손에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 가속도계를 어댑터에 설치하여 진동 공구에서 작업자가 작업시에 접촉하는 부위에 흔들리거나 틈이 없게 밀착한다(그림-3 참조). 또한 3축방향의 설정은 ISO 5349-2001과 NIOSH의 기본중심 좌표계(basicentric coordinate system)를 이용하며(그림-4) 이를 근거로 대표적인 수진동공구에 대한 각각의 축의 방향을 (그림-5)에 나타내었다. 각 공구에서 발생하는 진동은 즉시 분석하거나 테이프 레코더에 저장하여 실험실에서 주파수 분석기의 1/3 옥타브를 이용하여 1 Hz ~ 2000 Hz의 주파수 범위에 대하여 분석한다.

국소진동의 평가는 진동장비에서 발생하는 가속도값 뿐만 아니라 작업 근로자들이 실제로 작업하여 진동에 노출되는 시간을 고려해야 하는데 이때는 업무별/사용공구별로 현장에서 스톱워치를 사용하여 시간당 실노출시간을 측정하거나 기타 실제 작업시간을 파악할 수 있는 방법을 동원한다.



그림-3 가속도계 고정용 어댑터의 부착모습

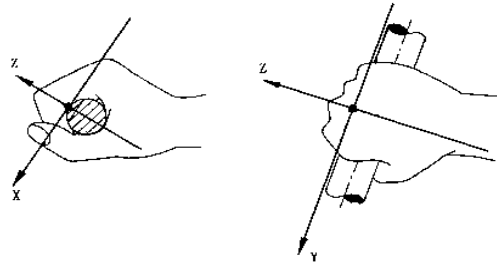


그림-4 기본중심좌표체계

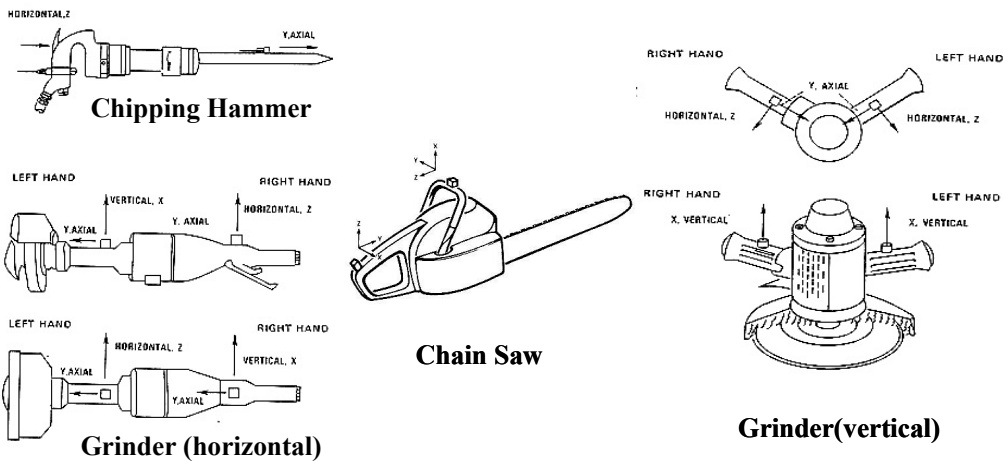


그림-5 대표적인 수지진동공구의 좌표계

#### 4. 분석 및 평가방법

현재 수지진동에 대한 폭로정도를 평가하는 방법으로는 ACGIH(미국정부 산업위생전문가협회)에서 정하고 있는 기준(TLV)과, ISO(국제표준화기구)에서 제시하고 있는 권고값, 그리고 수지진동 제어를 위한 유럽연합회의 기준들이 사용되고 있다. 각각의 기준은 ISO 5349에서 제시한 측정방법에 따라 측정하여 폭로수준을 평가하고 있으며, 아직 국가별로 수지진동 제어를 위한 통일된 기준은 설정되지 않은 실정이다.

① ISO 5349-1986(E)

진동의 인체 노출량에 대한 분석은 일반적으로 1일 8 시간 작업할 경우, 진동이 손에 전달되는 총시간은 4 시간을 넘지 않는다고 가정하여, 일일 노출량을 4 시간 동안의 에너지 등가 주파수 가중 가속도(energy-equivalent frequency-weighted acceleration)로 표현한다. 만약 일일 총 노출량이 4 시간과 다를 때는 아래의 식으로 구하게 된다.

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

여기서

$(a_{h,w})_{eq(4)}$  is the energy equivalent acceleration for a period of 4 hour ;

$a_{h,w}(t)$  is the instantaneous value of the weighted acceleration ;

$\tau$  is the total duration of the working day, in hours ;

$T_4 = 4$  hour

를 의미한다. 또한 에너지 등가 가속도값(energy equivalent acceleration)이 4 시간과 다를 때에는 식(2)로 환산하여 4 시간 동안의 환산된 가속도값을 얻게 된다.

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

여기서

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

이며, 만약 총 일일노출량이 여러 다른 주파수 가중 가속도값을 갖고 있을 경우(여러 진동공구를 사용할 경우)에는 식(3)으로 가속도값을 결정한다.

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

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  $t_i$ , in hours를 나타낸다.

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

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

여기서

$K_j$  is the weighting factor for the  $j$ th one-third octave band or octave band given respectively in ISO 5349 ;

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

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

진동노출량-영향에 대한 평가는 ISO-5349-1986(E) 부록 A의 식(5)를 통해서 구했으며 그림-6에 나타내었다.

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

여기서

$(a_{h,w})_{eq(4)}$  is frequency-weighted energy equivalent acceleration for the period of 4 hours

$C$  is percentile of exposed persons expected to show vascular disorders(inside the range(10 to 50 %)

$T_F$  is exposure time before finger blanching, in years(inside the range 1 to 25 years)

를 나타낸다. 이것은 임의의 다른 진동 가속도값에 노출되었을 경우 노출집단의 일부에서 레이노드씨 질병 같은 혈관계 질병이 나타날 가능성이 있는 노출년수를 제시한 것으로 4 시간 동안의 주파수 가중 등가 가속도값  $((a_{h,w})_{eq(4)})$ 이  $2 \text{ m/s}^2$ 인 진동가속도값에 15년동안 노출되었을 때 이값에 노출된 작업자의 약 10%가 레이노드씨 현상을 나타낼 수 있으며, 같은 가

속도에서 노출작업자의 50%이상이 레이노드씨 현상을 나타내는데 걸리는 노출년수는 대략 25년 정도임을 나타낸다.

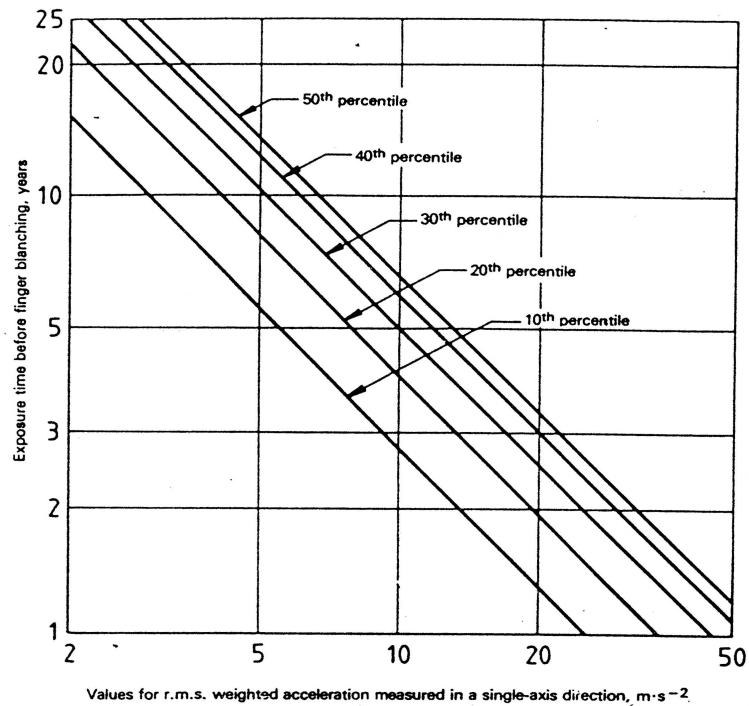


그림-6 진동노출에 따른 폭로-반응 곡선

## ② ISO 5349-2001

ISO-5349(1986)에서는 가장 큰 진동가속도값을 나타내는 축의 값을 기준으로 하여 폭로량을 평가하는 dominant axis method를 이용하므로 이값을 'dom'으로 표시한다. 그러나 2001년도에 개정된 ISO-5349(2001)과 유럽연합 기준에서는 3축의 모든 값을 이용하며 sum method로 지칭한다. 이 값의 계산식은 식(6)과 (7)에 나타내었다.

$$a_{hws} = (a_{hwx}^2 + a_{hwy}^2 + a_{hwz}^2)^{1/2} \quad \dots (6)$$

$$A(8) = (T/8)^{1/2} (a_{h,w}eq(T)) \quad \dots (7)$$

A(8): 8시간 주파수 가중 에너지 등가 가속도값

위의 값에서 구한 A(8)의 값을 아래의 식에 대입하여 노출시간에 따른 노출인구의 비율을 구한다.

$$C = \left( \frac{A(8) \times T_F}{95} \right)^2 \times 100 \quad \dots (8)$$

A(8) : 8시간동안 폭로된 진동 값  $a_{hv(eq,8h)}$

C : 혈관 장애를 보이는 것으로 기대되는 사람의 백분위수

범위 : 10 ~ 50%

T<sub>F</sub> : 백지증이 발생되기 전의 노출기간 (년)

범위 : 1 ~ 25 년

근로자에게 진동을 유발하는 공구나 공정에 참가시킴으로서 백지증을 유발하기 위해 요구되는 진동노출의 추정을 시도했다. 그림-7은 A(8) 값으로 노출된 근로자 중의 10%가 백지증을 일으킨다고 추정되는 노출 년수를 말한다. 값은 1년부터 10년까지 전체적인 생애 노출값을 보여준다.

그에 상응하는 값은 표-2에서 보여준다. 표-2에서 주어진 값과 노출 시간에 대한 식으로는 다음과 같다.

$$\frac{D_y}{year} = 31.8 \left( \frac{A(8)}{m/s^2} \right)^{-1.06} \quad \dots (9)$$

A(8) : 일일 진동 노출 (손과 접하는 표면이 받는 8시간 에너지 등가 진동 토탈 값), 1m/s<sup>2</sup> 이상인 값만 가능

D<sub>y</sub> : 일년동안 총 노출 지속 기간을 의미

ISO 5349의 부분에서 주어진 혈관의 영향에 대한 지침은 주로 30 ~ 50 Hz 범위의 진동을 발생하는 도구 (chain saws, grinder, rock-drills)들과 관련된 유행질환의 연구를 기초로 한다. 그래서 특히 20 Hz 이하의 낮은 주파수들의 주파수 가중 가속도를 다루는 측정치는 주의해서 다루어야 한다.

식 9와의 관계는 그림 안에서 특별한 개인에게 보이는 진동에 의한 백지

중의 위험을 예측하지 않고 한 집단 of 근로자 중 10%가 백지증을 보이는 노출 연수와 A(8) 값에 대해 나타내었다.

식 9와 그림 7은 직업적으로 국소진동의 위험에 노출된 건강을 위하여 노출 기준을 정의 한 것이다. 식 9와 그림 7의 값은 2년동안 진동 크기  $30\text{m/s}^2$ 인 공구에 노출된 근로자들에게 대한 연구 결과에서 비롯되었다.

표-2 진동 노출값 A(8)으로 인해 한 집단에서 백지증을 일으키는 근로자가 10% 나올 수 있는 그 노출 연수  $D_y$

| $D_y$ , years        | 1  | 2  | 4 | 8   |
|----------------------|----|----|---|-----|
| A(8), $\text{m/s}^2$ | 26 | 14 | 7 | 3.7 |

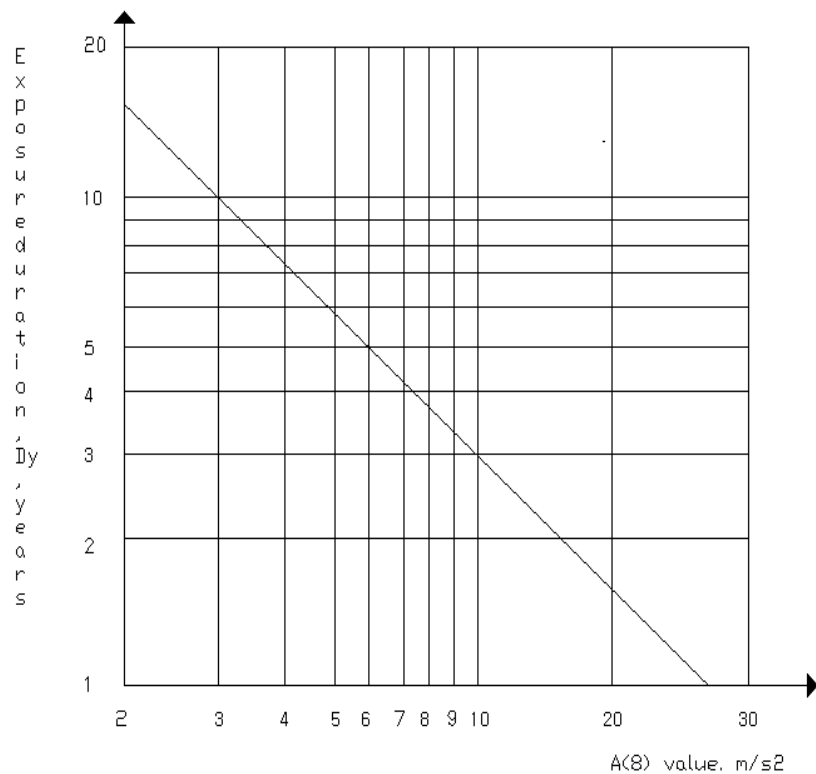


그림-7 진동 노출 값A(8)으로 인해 한 집단에서 백지증을 일으키는 근로자가 10% 나올 수 있는 진동 노출 연수  $D_y$ 의 관계

### ③ ACGIH의 기준

ACGIH의 경우는 하루 평균 진동폭로시간을 기준으로 초과할 수 없는 진동가속도의 수준을 제시하고 있으며 아래 식(10)을 통해 진동가속도를 구한다.

$$a_k = \left[ \frac{1}{4} \sum_{i=1}^n (a_{k_i})^2 T_i \right]^{\frac{1}{2}} \quad \dots \quad (10)$$

$T$ : 일일 노출시간

$a_{ki}$ :  $T$ 의 기간을 갖는  $i$  번째 주파수가중 가속도값

예를 들어 하루 평균 진동공구에 대한 폭로시간이 4시간 이상 8시간 미만일 경우 폭로되는 진동의 크기가  $4\text{m/s}^2$ 을 초과하지 않도록 규정하고 있으며, 2시간 이상 4시간 미만일 경우는  $6\text{m/s}^2$ , 1시간 이상 2시간 미만은  $8\text{m/s}^2$ , 1시간 미만은  $12\text{m/s}^2$ 의 진동가속도에 폭로되지 않도록 규정하고 있다.

#### ④ 유럽연합회의 수지진동 제어를 위한 권고치

수지진동 제어를 위하여 유럽연합회의 기준을 보면 반복적으로 계속하여 폭로되어도 전혀 문제가 없는 진동 가속도 수준은 8시간을 기준으로  $1\text{m/s}^2$ 으로 규정하고 있으며, 8시간을 기준으로  $2.5\text{m/s}^2$ 이상의 진동 가속도에 대하여는 폭로정도에 대한 측정 및 의학적 감시가 지속적으로 필요한 수준으로 규정하고 있다. 8시간을 기준으로  $5\text{m/s}^2$ 이상의 가속도에 대하여는 절대로 폭로되어서는 안되는 수준으로 규정하고 있으며, 이 수준을 초과하지 못하도록 감독기관의 철저한 감독 및 보호가 요구되는 수준으로 규정하고 있다.(표-3)

표-3 유럽연합의 국소진동 제어를 위한 권고치

| 수 준     | A(8)<br>(m/s <sup>2</sup> ) | 정 의                                             |
|---------|-----------------------------|-------------------------------------------------|
| 기 초     | 1                           | 반복해서 폭로되어도 전혀 문제가 없는 수준                         |
| 감 시 활 동 | 2.5                         | 진동폭로에 대한 교육이나, 폭로정도에 대한 측정, 의학적인 감시가 필요한 수준     |
| 폭 로 한 계 | 5                           | 절대로 초과해서는 안되는 수준이며, 이 수준을 초과하지 않도록 철저한 감독이 필요함) |

A(8) : 8시간 주파수 가중 에너지등가 가속도 값

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

## 5. 영향인자와 대책

### ① 작업자에게 노출되는 국소진동에 영향을 주는 인자

ISO 5349에서 언급한 진동 크기, 주파수 크기, 하루동안 일하는 동안의 노출지속기간, 누적된 노출량으로 평가한다. 그러나 인간에게 노출시 다음과 같은 외적인 요인에서도 영향을 받으며, 이에 대한 연구가 이루어지고 있다.

- a. 국소진동이 통하는 방향
- b. 일의 방법과 작업자의 능력
- c. 개인의 나이 또는 체격, 건강상태
- d. 일시적인 노출 패턴과 일하는 방법, 즉, 작업시간, 일의 빈도, 교대 근무의 유무
- e. 공구를 사용하는데 필요한 힘들이 공구나 제조 공정 중에 있는 제품(workpiece)을 통해 근로자의 손에 전달 되는 경로, 공구와 접촉하는 피부에 가해지는 압력
- f. 노출되는 동안 손과 팔, 몸 전체의 자세 (손목, 팔꿈치, 어깨관절의 각도)
- g. 진동기계장치, 손공구의 타입과 상태가 작업 공정에 적당한지의 여부
- h. 진동에 노출되는 손의 범위와 위치
- i. 손과 몸의 체온에 영향을 주는 기후나 다른 기타 인자

- j. 순환에 영향을 주는 질병
- k. 말초의 순환에 영향을 주는 니코틴, 특정 약, 작업환경의 화학적인 인자 등의 요소
- l. 소음

## ② 진동노출에 대한 저감대책

### ㉠ 기술적인 방지 수단

- a. 서로 다른 제조 공정의 방법이 있으면 가장 적은 진동이 발생하는 공정을 채택
- b. 서로 다른 공구가 있을 때, 가장 적은 진동이 발생하는 공구를 사용
- c. 공구에서 나오는 차가운 바람으로부터 작업자를 보호하도록 노력
- d. 진동기계를 사용한 후 작업자의 손이 따뜻해지도록 조치를 취함
- e. 핸들을 강하게 쥐어야 하는 공구들은 피하도록 함
- f. 손아귀 힘 등 공구를 작업하는데 필요한 힘들이 적게 들어가는 진동 공구 채택
- g. 손공구는 진동 크기나 접촉하는 힘이 증가하지 않도록 적당한 무게가 나가는 것을 채택

### ㉡ 경영상의 방지 수단

- a. 진동 공구를 사용하는 근로자에게 충분한 교육 실시
- b. 오랫동안 진동 노출이 있을 작업자에서 일하는 근로자의 경우 진동에 노출되지 않는 작업과 교대 근무
- c. 작업자의 체온이 진동 공구의 바람에 의해 내려가지 않도록 실내의 온도를 유지

### ㉢ 진동공구를 사용하는 작업자들을 위한 지침

- a. 가능한 조금 일하고 자주 휴식을 취하며 진동 공구를 다루기 전에 충분히 연습한다.  
공구를 꼭 잡고 일하면 측정 가속도가 적게 나오긴 하지만 이것은 적당한 방법이 아니다.
- b. 만약 이상한 진동이 발생하면 작업 감독관에게 즉시 알린다.

- c. 진동 공구를 사용할 때 습도와 온도를 유지하기 위해 적당한 옷과 글러브(방진장갑)를 착용
- d. 진동 공구를 이용하여 작업을 하기 전에 담배를 피거나 냄새를 맡는 등의 행위는 피한다. 니코틴이 손과 손가락의 혈액 공급을 줄이기 때문이다.
- e. 만약 white or blue fingers 현상이나 오랫동안 저리거나 따끔거리는 현상을 경험하면 의학적인 조언을 구하도록 한다.

### ㉔ 공학적인 방지수단

- a. 저진동 장비를 개발한다.
- b. 인간공학적인 관점에서 장비를 설계한다
- c. 진동을 유발하는 장비와 손 사이에 방진랩을 장착하여 진동전달을 감소시킨다
- d. 공구의 중력중심과 공구를 잡는 손의 중심과 일치하게 설계한다.
- e. 공구의 회전력을 감소시킨다.
- f. 공력공구는 일정한 공력을 유지할 수 있게 한다.

## 6. 사례 분석 : 스웨징 작업에서의 국소진동 노출평가

### ① 스웨징 작업 측정

그림-8과 9는 스웨징 작업의 원리 및 작업모습을 보여준다.

작업에 대한 측의 방향은 ISO 5349-2001을 근거로 하여 측정하였다. 손에 전달되는 진동량을 측정하기 위해 가속도계를 어댑터에 삽입하고 근로자의 손과 가공물 사이에 밀착시켜 설치하였다. 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.

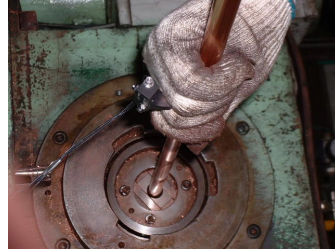
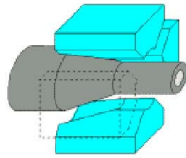


그림-8 Principle of swaging process    그림-9 A photograph of swaging process

## ② 결과 및 분석

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 실제노출시간은 하루 평균처리 roll수와 한 roll당 실노출시간을 곱하여 나타내었다.

표-4 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

측정 대상 사업장에서 작업별로 3회씩 측정하여 총 18회의 측정이 이루어졌다. 작업별 측정값에 대한 가중 가속도값 및 dom과 sum값은 각각 표-5, 6에 나타내었다. 표-5는 주파수별 가중 보정치를 적용한 에너지 등가 가속도값을 나타낸 것이며, 표-6는 표-4의 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 많아지고 결론적으로 높은 가속도 값을 발생시키게 된다.

표-5 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   |

표-6  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  and A(8) 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       | 2.79                | 27.78       | 3.75 |
| 스웨징 2# - 2차공정  | 12.79       | 2.44                | 16.38       | 1.81 |
| 스웨징 3#공정       | 16.40       | 2.14                | 25.16       | 2.32 |
| 스웨징 4#공정       | 7.56        | 0.93                | 10.88       | 1.00 |

주) when exposed to a single operation

작업자가 2가지 작업을 병행할시의 가중 가속도값은 표-7에 나타냈으며, 병행작업시에는 에너지 등가 가속도값이 단일 작업시보다 증가하는 것으로 나타났다.그리고, 덮개를 조인 경우와 조이지 않고 작업하는 경우로 나누어 측정을 실시했으며, 측정 결과치는 표-8에 나타내었다. 표에서 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.

표-7  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  and A(8) according to actual exposure time

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

주) when exposed to combined operation

표-8  $(a_{h,w})_{eq(4)}$  and A(8) according to actual exposure time

| Operation Type       | dom         |                     | sum         |      |
|----------------------|-------------|---------------------|-------------|------|
|                      | $(a_{h,w})$ | $(a_{h,w})_{eq(4)}$ | $(a_{h,w})$ | A(8) |
| 스웨징 2# : covered     | 12.70       | 2.00                | 16.38       | 1.81 |
| 스웨징 2# : not covered | 16.66       | 2.60                | 22.03       | 2.43 |

작업별로 1/3 octave 주파수 분석을 실시하였다. 1/3 octave의 주파수 분석결과, 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 국소진동증후군 발생기간 예측

표-9는 단일 작업을 행하였을 경우 국소진동증후군이 발생할 기간을 나타낸 것으로서, 스웨징 1#-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.

표-10과 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 예상된다.

표-9 Exposure time & percentiles of population

| Operation Type | Weighted<br>acceleration<br>$\bar{a}_{h,w}^{(n)}$<br>$(\bar{a}_{h,w})_{eq(d)}$<br>m/s <sup>2</sup> | Percentile of population,<br><i>C</i> |       |       |       |       |  |
|----------------|----------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------|-------|-------|-------|-------|--|
|                |                                                                                                    | 10                                    | 20    | 30    | 40    | 50    |  |
|                |                                                                                                    | Exposure time, years                  |       |       |       |       |  |
| 스웨징<br>1#-1차공정 | 10.79                                                                                              | 2.78                                  | 3.94  | 4.82  | 5.57  | 6.22  |  |
| 스웨징<br>1#-2차공정 | 7.21                                                                                               | 4.17                                  | 5.89  | 7.22  | 8.34  | 9.32  |  |
| 스웨징<br>2#-1차공정 | 3.42                                                                                               | 8.79                                  | 12.43 | 15.23 | 17.58 | 19.66 |  |
| 스웨징<br>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

표-10 Exposure time & percentiles of population

| Operation Type  | Weighted<br>acceleratio<br>n<br>( $a_{h,w}/eq(4)$<br>m/s <sup>2</sup> ) | Percentile of<br>population, C |       |       |       |       |
|-----------------|-------------------------------------------------------------------------|--------------------------------|-------|-------|-------|-------|
|                 |                                                                         | 10                             | 20    | 30    | 40    | 50    |
|                 |                                                                         | Exposure time, years           |       |       |       |       |
| 스웨징 1# : 1차+ 2차 | 12.98                                                                   | 2.31                           | 3.27  | 4.01  | 4.63  | 5.18  |
| 스웨징 2# : 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 발생기간을 예측하였다. 발생진동량 측정한 값을 통해 폭로량을 계산함에 있어 dom 및 sum방법의 2가지 기준을 가지고 계산을 실시하였다. dom방법으로 계산시에는 우세축의 값이 다른값들보다 확연히 클 경우 sum방법보다 값이 컸으며, 세축의 값이 비슷할 경우는 sum방법의 값이 크게 나왔다. 이것은 진동공구 및 작업의 진동특성이 한 방향으로만 구성되어있지 않다는 것을 의미한다. 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, 측정 장비인 어댑터와 손이 완전히 밀착되도록 한 후 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 다

를 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 바뀌서 작업을 시행(순환보직)하여야 하며, 근로자에게 충분한 교육을 실시하여야 한다.

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

## 7. 참 고 문 헌

- (1) 박인선, 박원형, 박상규, 김규상, 2001, “스웨징 작업에서의 국소진동 노출평가”, 한국소음진동공학회 2001년도 추계학술대회논문집, 433-438.
- (2) 연정택, 박상규 등, 1999, “금속가공 작업자의 국소진동 평가”, 한국산업위생학회지 제9권 제2호.
- (3) 정재열, 김정만, 1995, “자동차 조립라인에서 이중-햄머형 임팩트 렌치와 오일-펄스형 임팩트 렌치 에어공구의 국소진동가속도 및 소음수준”, 한국산업위생학회지 제5권 제2호.
- (4) 김선술, 1995, “자동차 조립공정에서 공기압력식 진동공구의 국소진동평가”, 서울대학교 보건대학원 보건학석사학위논문.
- (5) 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
- (6) Griffin MJ : Handbook of Human Vibration. Academic Press, London, 1990: 553-577
- (7) Griffin MJ : Measurement, evaluation, and assessment of occupational exposures to hand - transmitted vibration. Occupational and Environmental Medicine, 1997; 54: 73-89
- (8) 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.
- (9) European Committee for Standardisation : Mechanical vibration -Guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand -transmitted vibration(ENV 25349), Brussels, 1992.
- (10) International Organization for Standardization (ISO): Mechanical vibration - guidelines for the measurement and the assessment of human exposure to hand-transmitted vibration(ISO 5349), Geneva, 2001.