

국소진동 특성과 평가방법

박 상 규* · 박 인 선 · 연 정 택

(연세대학교 환경공학부)

1. 머리말

산업화와 활발한 생산 활동은 진동공구 사용의 급격한 증가를 가져왔다. 그러나 모터나 공기압에 의한 진동공구의 발달과 보급은 생산적, 경제적 측면에 상당한 기여를 하였지만 반면 작업자의 건강 측면에서는 상당한 해를 초래하게 되었다.

직업적으로 폭로되는 인체진동은 국소 진동, 전신진동, 두 가지로 나눌 수 있는데, 국소진동은 수지진동(hand-arm vibration)이라고도 하며, 진동공구(vibrating hand-held tools) 사용 시 잡고 있는 손과 팔로 전달되는 진동을 의미한다. 1987년 미국의 한 보고서에 의하면 1차 산업과 관련한 직업적 질병의 약 40 %가 반복적 외상에 의한 것으로 조사되었고(Johanning, 1991) 그 중 가장 대표적인 것이 국소 및 전신진동 장애이다(박상규 등, 1998). 탄광의 급격한 감소로 인하여 우리나라에서 국소진동에 대한 관심이 적어지고 있으나 아직도 국소진동으로 인한 장애가 국내에서도 보고되고 있으며 미국에서는 현재도 200만 명이 넘는

근로자가 국소진동에 노출되고 있다.

본 원고에서는 국소진동의 현황, 측정 및 평가 방법과 예방 대책에 대해서 간략히 소개하고자 한다.

2. 건강장애

1983년 런던국제회의에서는 국소진동으로 인한 질환들을 수지진동증후군(hand-arm vibration syndrome, HAVS)이란 용어로 통일시켰으며, 1986년 스톡홀름 워크숍에서는 국소진동에 대한 혈관 및 신경학적 분류 표가 제정되었다.

진동으로 인하여 발생하는 증상 중 가장 널리 알려진 것은 혈관계 증상인 레이노드 현상(Raynaud's phenomenon)으로 추운 장소에서 진동 공구를 오랜 기간 사용하게 되면 손가락 끝이 따끔거리거나 저리고 감각이 무뎠으며 하얗게 변하는 증상을 말한다. 또한 신경계 증상으로서 진동에 대한 감각 및 온도에 대한 감각이 떨어지고 촉각이 둔해지는 증상이 나타나며 손목의 신경이 지나가는 경로가 눌러 발생하는 수근관 증후군(carpal tunnel syndrome) 및 다른 신경장애들도 빈번히 발생하는 것으로 조사되었다.

* E-mail : skpark@dragon.yonsei.ac.kr

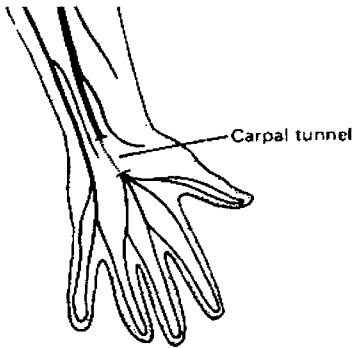


그림 1 수근관

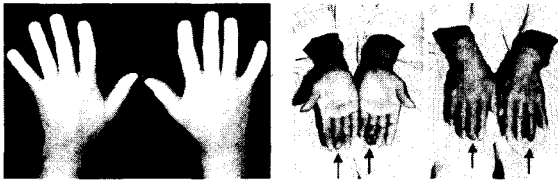


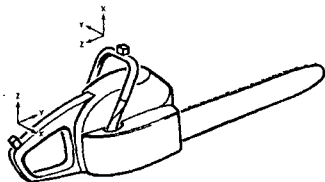
그림 2 진동에 의한 백지증 및 손끝의 괴사와 변형

3. 진동유발장비

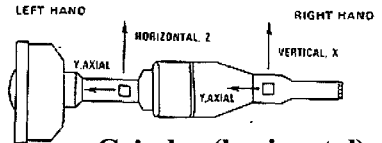
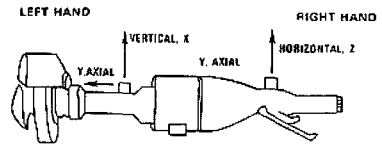
진동을 유발하는 주요 장비는 착암기, 치핑 햄머, 그라인더, 전기톱, 임팩트 렌치, 햄머 드릴 등이 있으며(그림 3) 발생하는 진동 가속도 값은 그림 4와 같다.



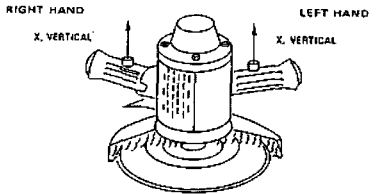
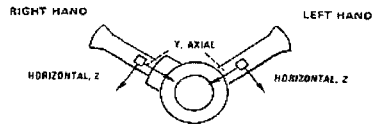
Chipping Hammer



Chain Saw

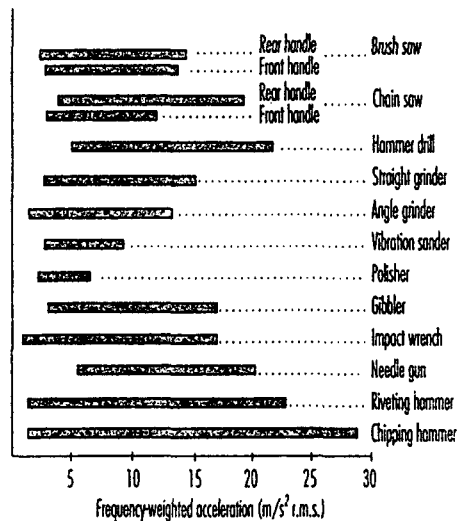


Grinder (horizontal)



Grinder(vertical)

그림 3 진동 공구⁽⁸⁾



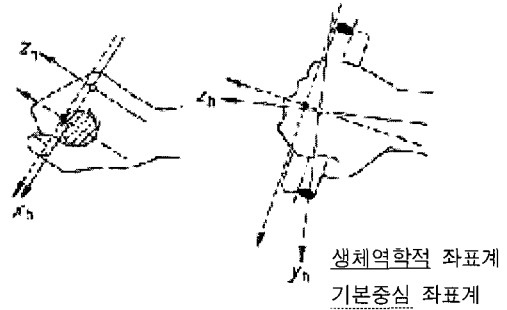
Source: ISSA International Section for Research 1989.

그림 4 진동 공구에서 발생하는 진동가속도 값

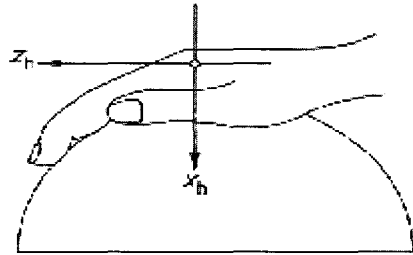
4. 국소진동 측정

일반적으로 진동측정장비는 가속도계, 증폭기, 지시계, 기록기로 구성되어있으며, 모든 진동측정 장비는 기술지침이나 사용설명서에 따라 올바르게 교정하고 작동하여야 한다. 또한 측정장비의 기본사양, 장비의 특성, 동적 성질, 정밀도 등은 측정결과와 함께 기록되어야 하며, 장비의 전체 시스템의 동적 범위는 측정대상 주파수 범위보다 커야한다.

가속도계는 진동원에서 발생한 진동에너지가 몸으로 전달되는 손 바닥면이나 또는 손바닥과 접촉되는 지점의 진동원에 부착하여야 하며(그림 5), 진동원을 직접 손으로 잡고 작업하는 경우에는 진동하는 구조물에 단단히 부착하며, 손과 진동원 사이에 탄성재가 있는 경우에는 적당한 보조기구(adapter handle)를 이용하여 가속도계를 고정된 후 손과 탄성재 표면 사이에 부착하여야 한다. 또한 가속도계 부착시에는 변환기



(a) 핸드그립 위치



(b) 손바닥 위치

그림 6 국소 진동의 좌표시스템

나, 보조기구 등의 공진으로 인하여 그 진동이 손으로 전달되지 않도록 주의하여야 한다. 그림 6은 손으로 진동 공구의 손잡이를 잡았을 때의 좌표를 나타낸다.

5. 평가방법 및 기준

5.1 평가방법

진동의 인체 노출량에 대한 평가는 ISO 5349-1:2001(E)를 이용하거나 유럽연합의 A(8), NIOSH(1989)평가방법을 이용하고 있다. 또한 우리나라의 경우 KOSHA Code H-23-2000(국소진동측정 및 평가지침)이 공표되어 있다.

이러한 평가방법의 내용은 진동의 노출평가는 1일 노출량을 기준으로 하고 있으며, 1



그림 5 가속도계 및 어댑터 핸들의 부착위치

특 집

저주파 및 신체진동

일 8시간 작업중 진동이 손에 전달되는 전체시간은 4시간을 넘지 않으므로, 일일 노출량을 4시간 동안의 에너지 등가 주파수 가중 가속도로 표현한다. 유럽연합의 A(8)의 경우는 우세 축 적용법(dominant axis method)을 이용하지 않고 모든 축 적용법(vector sum method)을 이용하여 평가하고 있다.

위에서 언급된 가중 가속도값은 가속도값에 주파수별 가중치를 곱하여 아래의 식에 대입하여 얻을 수 있다.

$$a_{h,w} = \left(\sum_{j=0}^n (K_j a_{h,i})^2 \right)^{1/2}$$

$a_{h,w}$: 주파수 가중 가속도 값

$a_{h,i}$: 1/3 및 1/1옥타브밴드의 j 번째 가속도값(진동공구에서 발생하는 가속도)

K_j : 1/3 및 1/1옥타브밴드의 j 번째 주파수 가중 값

가속도별 가중치는 ISO 5349-1:2001(E)에 상세하게 설명되어 있다.

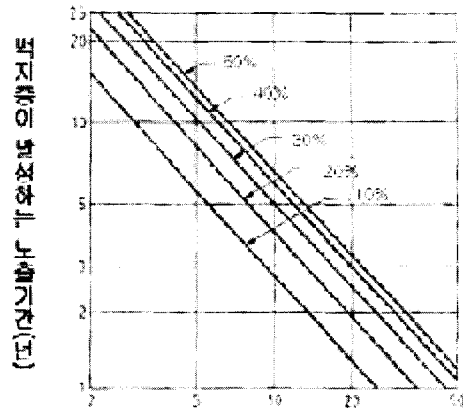
5.2 기준

(1) ISO기준 및 KOSHA기준

진동 노출량-영향에 대한 평가는 ISO 5349-1:2001(E)에 식을 통하여 혈관 장애를 보이는 것으로 추정되는 등가가중 가속도에 대한 노출기간별 발생 백분위수를 구한다. 그림 7은 등가 가중 진동가속도값에 따른 백지증이 발생하는 기간을 나타낸다.

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

$(a_{h,w})_{eq(4)}$: 4시간에 대한 등가가중 가속



나일축에서 측정된 등가가중 가속도 실험치(m/s²)

그림 7 진동에 노출된 집단의 백분위별 노출기간

도(m/s²)

C : 혈관 장애를 보이는 것으로 예측되는 사람의 백분위수

T_F : 백지증(白脂症)이 발생되기 전의 노출 기간(년)

(2) ACGIH의 기준

ACGIH의 경우는 하루 평균 진동노출 시간을 기준으로 초과할 수 없는 진동가속도의 수준을 제시하고 있으며 아래 식을 통해 진동가속도를 구한다.

$$a_k = \left[\frac{1}{4} \sum_{i=1}^n (a_{h,i})^2 T_i \right]^2$$

T_i : 일일 노출시간

a_{hi} : T_i 의 기간을 갖는 i 번째 주파수가중 가속도값

하루평균 진동공구에 대한 폭로시간이 4시간 이상 8시간 미만일 경우 폭로되는 진동의 크기가 4 %s를 초과하지 않도록 규정하고 있으며, 2시간 이상 4시간 미만일 경우

표 1 유럽연합의 권고치

수준	A(8)(%)	정 의
기초	1	반복해서 폭로되어도 전혀 문제가 없는 수준
감시 활동	2.5	진동폭로에 대한 교육이나 폭로정도에 대한 측정, 의학적인 감시가 필요한 수준
폭로 한계	5	절대로 초과해서는 안되는 수준이며, 이 수준을 초과하지 않도록 철저한 감독이 필요함

A(8): 8시간 주파수 가중 에너지 등가 가속도 값
 $A(8) : (T/8) 1/2 (a_{h, w})_{eq}(T)$

는 6 %, 1시간이상 2시간미만은 8 %, 1시간미만은 12 %의 진동가속도에 폭로되지 않도록 규정하고 있다.

이밖에도 ANSI, ACTU-VTHC, USSR, BSI, JAIH 등의 기준이 있다.

6. 예방 및 저감대책

가능하면 진동공구의 사용을 최소화하기 위해 작업과정을 바꾸거나 공구의 진동을 감소시키는 방법을 찾아야할 것이다. 또한 진동공구를 가지고 하는 작업을 자동화하거나, 높은 진동을 발생시키는 진동공구는 보다 낮은 공구로 대체하고, 낮은 진동의 공구는 손잡이에 도달하기 전에 방진할 수 있게 디자인하여야겠다. 하루 최대 실제 사용시간은 2시간 이하로 하며, 한번 사용 최대 10분 이하로 작업을 수행해야한다.

작업자의 고용시에는 사전 검사와 더불어 1년마다 전문의의 진단을 받아야한다. 작업자는 작업시에 여러겹의 보온장갑이나 가능하다면 방진장갑을 착용해야한다. 또한 작업전

에 손을 따뜻하게 유지하고 장비가 젖거나 차가울시에는 장비를 건조시킨 후 사용하며, 몸의 온도가 항상 따뜻하게 유지한다.

진동공구는 작업자가 가능하면 적은 힘으로 안전을 유지하며 잡을 수 있는 것이 좋다. 잡는 힘이 클수록 손가락이나 손에 전달되는 진동의 양이 크기 때문이며 되도록 가

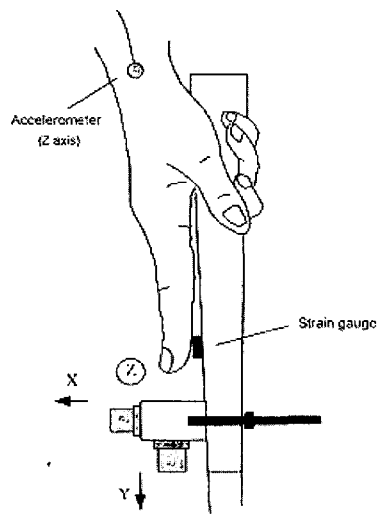
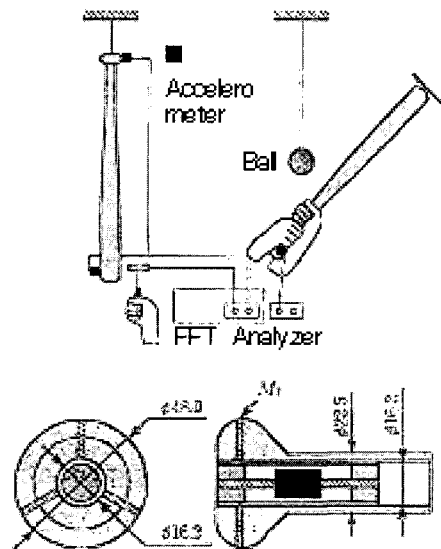


그림 8 국소진동저감 연구 예제

벼운 재질로 무게를 줄이고, 장비를 받침대나 제품에 지지하고 작업하는 것이 좋다. 또한 필요시에만 작동되어지고, 작은 스피드를 갖는 장비가 필요하다.

작업자들은 진동공구의 위험에 대한 훈련과 진동의 영향을 최소화할 수 있는 방법을 교육받아야한다. 흡연자는 비흡연자에 비해 진동에 보다 더 민감하므로 진동공구를 사용하는 작업자는 흡연을 삼가야한다. 또한 그림 8과 같이 스포츠 용구나 맹인들이 사용하는 지팡이 등에서도 충격성 진동이나 과도한 진동이 손에 전달되므로 진동이 차단될 수 있도록 연구를 통하여 진동 완충장치를 설치하여야 한다.

참고문헌

(1) 박인선, 박원형, 박상규, 김규상, 2001, “스웨징 작업에서의 국소진동 노출평가,” 한국소음진동공학회 추계학술대회논문집, pp. 433~438.
 (2) 연정택, 박상규, 김소연, 이태영, 장재연, 1999, “금속가공 작업자의 국소진동 평가,” 한국산업위생학회지, 제 9권 제 2호, pp. 52~65.
 (3) 주영수, 최홍렬, 김미경, 손 흥, 전순자, 조성일, 김형식, 1999, “조선소 근로자에서의 국소진동장해 진단방법에 대한 평가,” 대한산

업의학회지, 제 10권 제 4호, pp. 413~427.

(4) KOSHA Code:H-23-2000, 국소 진동 측정 및 평가지침, 한국산업안전공단.

(5) ISO 5349-1 : 2001(E), Mechanical Vibration-guidelines for the Measurement and the Assessment of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration-Part 1 : General Requirements.

(6) ACGIH, Threshold Limit Values for Chemical Substances and Physical Agents and Biological Exposure Indices, Hand-arm(segmental) Vibration(82-6), Ohio, 1990-91.

(7) ANSI, 1986, Guide for the Measurement and Evaluation of Human Exposure to Vibration Transmitted to the Hand(S3-34), New York.

(8) NIOSH, 1989, Criteria for a Recommended Standard-occupational Exposure to Hand-arm Vibration, Public Health Service Centers for Disease Control, Division of Standards Development and Technology Transfer, Cincinnati, Ohio.

(9) Pelmear, P. L. and Wasserman, D. E., 1998, Hand-arm Vibration : A Comprehensive Guide for Occupational Health Professionals, 2nd ed. OEM Press.