

일부 진동작업 종사 근로자의 진동노출 수준 평가

Assessment on the Actual Vibration Exposure of Workers Engaging in Vibration Induced Works

김 갑 배* · 정 은 교* · 유 기 호* · 장 재 길†
Kab Bae Kim, Eun-Kyo Chung, Ki Ho You and Jae-Kil Jang

(Received April 13, 2012 ; Accepted September 11, 2012)

Key Words : Machines Inducing Vibration(진동발생 기계·기구), Hand-transmitted Vibration(국소진동), Daily Vibration Exposure Level(일일진동노출량)

ABSTRACT

In Korea, researches on the exposure assessment of the hand-transmitted vibration started from the mid-90, however, they were performed in the limited industries such as auto-assembly plants and the evaluation of the vibration was mostly conducted by ISO 5349(1986). Therefore, it was necessary to assess hand-transmitted vibration levels of workplace such as ship building/repairing industry or mining industry where occupational injuries are largely occurred and to evaluate the vibration levels using revised ISO 5349(2001). The SVAN 948 Four Channels Sound & Vibration Analyser was used for the measurement. The workers using a chain saw were exposed to 1.7~2.8 m/s² of daily vibration level. Workers using a rock drill in a coal mining were exposed to the highest vibration acceleration among workers and the levels were 7.1~10.8 m/s². Vibration levels of grinders were different according to the types of grinders. The hand-transmitted vibration of 3 types of grinders were measured and the levels were 3.3~11.1 m/s². Workers using a impact wrench were exposed to 1.5~1.6 m/s² of vibration. Out of 20 kinds of machines, only 4 tools provided the information of vibration acceleration on the instructions. In addition, the current condition of workplace to control vibration was not much different from the past because there are no vibration exposure limit.

1. 서 론

인체와 기계 진동요소가 접촉하는 발, 엉덩이 등 부위에 전달되는 진동을 전신진동(whole-body vibration)이라 하고, 사람이 진동하는 물체를 잡고 있을 때 손과 팔에 전달되는 진동을 수전달 진동(hand-

transmitted vibration) 혹은 수지진동, 수완계 진동 및 국소진동(hand-arm vibration) 이라고 한다⁽¹⁾.

진동 발생 공구를 사용하는 작업자들이 극심한 진동 및 충격에 장시간 노출되면 혈관계, 신경계 및 근골격계질환이 나타날 수 있으며 이 중에서도 혈관계 장애가 빈번하게 나타나는 증상인데 혈액 순환이 제대로 되지 않아서 일부 손가락이 하얀색이 된다. 이

† Corresponding Author; Member, Korea Occupational Safety and Health Agency, Occupational Safety and Health Research Institute
E-mail : cihjj@kosha.net

Tel : +82-32-510-0801, Fax : +82-32-518-0864

* Korea Occupational Safety and Health Agency, Occupational Safety and Health Research Institute

A part of this paper was presented at the KSNVE 2012 Annual Spring Conference

‡ Recommended by Editor Don Chool Lee

© The Korean Society for Noise and Vibration Engineering

와 같은 현상을 수지창백증 혹은 백지증(vibration-induced white finger)이라고 하는데 신체 조직에 혈액이 공급되지 않으면 조직이 괴사하는 단계에까지 이를 수 있다. 이러한 증상 외에도 공구에서 발생하는 저주파수 진동이나 충격에 의해 손목의 뼈 사이를 지나는 신경다발이 눌림으로서 나타나는 손목 터널 증후군(carpal tunnel syndrome)이 있으며 저주파수 진동과 과도한 부하로 인해 근육과 근골격계의 손상이 나타날 수 있다.

이처럼 동력공구에서 발생하는 진동이 작업자의 건강에 심각한 영향을 미칠 수 있기 때문에 선진국에서는 이미 오래전부터 작업현장에서의 진동 노출을 제한하는 강제적인 규정을 시행해 오고 있는데, 최초의 규제는 1955년 구소련 보건규정(U.S.S.R Hygiene Regulation 191-55)이다. 이후 일본, 유럽, 미주지역의 많은 나라에서 단체별 혹은 국가별로 법규나 시행령들이 제정되고 사용되어 왔다⁽²⁾.

특히, 유럽공동체(EC)에서는 Machinery Directive (2006/42/EC)에 의해서 2010년부터 기계류로부터 전달되는 국소진동의 경우는 $2.5 \text{ m/s}^2 \text{ r.m.s.}$, 전신진동의 경우는 $0.5 \text{ m/s}^2 \text{ r.m.s.}$ 를 초과 시 제품 사용설명서에 진동가속도를 명시하는 것을 의무화 하였다. 이러한 조치를 취하지 않으면 진동발생 기계류의 수출입에 제한을 두어⁽³⁾ 진동에 의한 근로자 건강장해 예방에 노력을 하고 있다.

국내에서는 1990년대 중반부터 국소진동 노출평가관련 연구가 시작되었으나 국내 국소진동 노출평가와 관련된 연구의 대부분은 자동차 조립공정의 임팩트 렌치를 중심으로 실시되었다. 최근 5년간(2006년~2010년) 진동관련 전체 산업재해자 56명의 분포를 살펴보면 채석업을 포함한 석탄광업에서 27명, 선박건조 및 수리업에서 14명, 기계기구제조업에서 4명, 건설업에서 3명, 수송용기계기구제조업에서 1명, 금속가공업에서 1명 그리고 기타 업종에서 6명의 재해자가 발생하는 등 석탄광업과 선박건조 및 수리업이 73%를 차지하고 있었다.

또한 대부분의 국내 연구에서 측정 및 평가 기준으로 사용한 ISO 5349(1986년)는 2001년에 개정되었으나 개정된 기준에 의해 측정 및 평가된 국소진동 자료는 거의 없는 실정이다.

따라서 이 연구에서는 진동관리에 있어 점점 강화되고 있는 국제적 추세를 고려하여 산업안전보건

기준에 관한 규칙에 명시된 진동작업에 해당하는 기계·기구를 대상으로 진동재해 발생률이 높은 석탄광업과 선박건조 및 수리업 등을 중심으로 근로자 진동노출 실태를 파악하고, 개정된 ISO기준에 따라 진동공구로부터 근로자에 전달되는 진동을 측정 및 평가하여 향후 진동에 관한 노출기준 마련을 위한 자료를 확보하고자 하였다.

2. 연구대상 및 방법

2.1 연구대상

연구대상은 선박건조 및 수리업과 채석업을 포함한 석탄광업 등 재해자가 많이 발생한 업종을 위주로 측정 대상 사업장을 선정하였다.

측정대상 국소진동 발생 기계·기구는 산업안전보건기준에 관한 규칙에 명시된 “진동작업”에 해당되는 기계·기구인 착암기, 동력을 이용한 해머, 체인톱, 동력을 이용한 연삭기, 임팩트 렌치로 선정하였다. 이 연구에서 국소진동 노출 평가를 실시한 사업장 일반현황은 Table 1과 같다.

2.2 연구방법

국소진동 측정 및 분석을 위하여 SVANTEK사의 측정장비(SVAN 948 Four Channels Sound & Vibration Analyser)를 사용하였다. 진동은 3축 가속도계(SV 3023M2[Triaxial accelerometer 10 mV/g, 4 pin side connector, M3 hole mounting])를 통해 측정장비로 전달되어 분석되었다.

진동발생 기계·기구로부터 근로자에게 전달되는 진동을 측정하기 위해서 2001년판 ISO 5349(Mechanical vibration-Measurement and evaluation of human exposure to hand-transmitted vibration)⁽⁴⁾에 근거한

Table 1 General information of measured companies

Company	Industry	No. of workers	Types of machines
A	Coal mining	2	Rock drill
B	Ship building	4	Grinder
C	Ship building	2	Grinder
D	Power electro machines and equipment	4	Grinder, Chipping hammer, Impact wrench
E	Forest management	5	Chain saw

KOSHA CODE(국소진동 측정 및 평가 지침)⁽⁵⁾에 의해 진동을 측정하였다.

대부분의 국내 연구에서 측정 및 평가 기준으로 사용한 ISO 5349(1986년)는 X, Y, Z축의 가속도 값 중 가장 큰 값을 나타내는 축(dominant axis)의 가속도 값을 4시간 기준 주파수가중 에너지 등가가속도로 변환하여 국소진동의 수준을 평가하였다. 그러나 ISO 5349의 2001년 개정판에는 3축방향의 가속도를 벡터합으로 합산한 8시간 기준 주파수가중 에너지 등가가속도를 사용하도록 하였다⁽⁶⁾.

국소진동의 인체에 대한 영향은 주파수에 따라 달라지기 때문에 X, Y, Z축에 대하여 측정된 각각의 진동가속도 실효값에 주파수가중값을 보정하고 식 (1)에 의해 3축 주파수가중 가속도(r.m.s. frequency-weighted acceleration[m/s²])를 구하였다.

$$a_{hw} = \sqrt{(a_{hwx})^2 + (a_{hwy})^2 + (a_{hwz})^2} \quad (1)$$

여기서, a_{hw} : 3축 가중 가속도 값(m/s²)

a_{hwx} : x축에 대한 가속도 실효값(m/s²)

a_{hwy} : y축에 대한 가속도 실효값(m/s²)

a_{hwz} : z축에 대한 가속도 실효값(m/s²)

그리고 식 (2)에 의하여 8시간 기준 주파수가중 에너지 등가가속도 즉, 일일 진동노출량(daily vibration exposure, A[8])을 구하였다.

$$A(8) = a_{hw} \sqrt{\frac{T}{T_0}} \quad (2)$$

여기서, A(8) : 1일 진동 노출량(m/s²)

a_{hw} : 가속도 실효값(m/s²)

T : 1일 진동 노출시간

T_0 : 8시간 해당 기준시간(28,800초)

작업자가 여러 개의 서로 다른 가속도의 진동에 노출되는 경우의 일일 진동노출량은 식 (3)에 따라 구하였다.

$$A(8) = \sqrt{\frac{1}{T} \sum_{i=1}^n (a_{hvi})^2 T_i} \quad (3)$$

여기서, a_{hvi} : i작업에 대한 가속도 실효값(m/s²)

n : 1일 총 진동 작업수

T_i : i작업의 지속시간

그리고, 진동가속도계는 손으로 잡을 수 있는 어댑터에 체결하여 검지와 중지 사이에 어댑터를 낀 상태에서 측정하였다. 그리고 장갑을 착용한 상태에서 어댑터를 잡고 작업을 하였을 때와 맨손에 어댑터를 잡고 그 위에 장갑을 착용하고 작업하였을 때 두 가지 경우로 측정하였다. 전자의 경우는 어댑터와 진동발생 기계·기구 사이에 이물질이 없이 직접 닿게 하여 측정하여 이를 장갑을 착용하지 않은 상태에서 측정한 것으로 보았다.

연구범위는 다음과 같다.

- 착암기, 체인톱, 엔진 커터, 동력을 이용한 연삭기, 임팩트 렌치 및 동력을 이용한 해머 등에 대한 진동가속도 측정

- 근로자별 진동가속도 노출 수준 평가

- 장갑 착용 전후의 진동가속도 수준 평가

- 방진장갑 등 진동보호구 착용 여부

- 진동가속도 정보 제공 실태 파악

3. 연구 결과

가. 진동가속도 수준

석탄 채광 광업소인 사업장 A에서 착암기에서 발생하는 진동을 측정하였다. 근로자들은 3교대 근무를 하였으며 갱도 당 2명의 착암기 사용자가 작업을 하였다. 일일 착암 작업 시간은 암석의 재질에 따라 1시간 반에서 2시간 정도였다. 작업 시 천공작업을 하고 옆의 벽면을 천공하기 위한 착암기 이동 시에도 전원을 끄지 않아 진동이 손에 전달되었다.

작업 중 날이 암석에 걸려 전원을 멈추는 상황 등이 발생하여 실제 착암기 사용 작업시간은 최대 1시간 30분으로 판단하였다.

Table 2 Daily vibration exposure in company A

Worker	Location of accelerometer	Vibration total value (m/s ²)	Exposure time (min)	Daily vibration exposure A(8), (m/s ²)
A-1	Outside of glove	30.2	90	13.1
	Inside of glove	25.0	90	10.8
A-2	Outside of glove	26.4	90	11.4
	Inside of glove	16.4	90	7.1

A사업장에서는 2명의 근로자에 대해 착암기로부터 전달되는 진동을 측정하였다. 근로자들은 목장갑을 착용하고 작업하였고, 각 측정방법에 대하여 5회씩 측정하여 평균한 값으로 평가하였다.

Table 2에서 보듯이 장갑밖에 어댑터를 잡고 측정할 경우 근로자에게 노출되는 일일 진동노출량은 11.4 및 13.1 m/s^2 이었고, 장갑안에 어댑터를 설치하여 측정할 경우 일일 진동노출량은 7.1 및 10.8 m/s^2 이었다.

일일 작업시간을 고려하지 않은 3축 가중 가속도 (vibration total value)값은 장갑밖에 어댑터를 잡고 측정할 경우 26.4 ~ 30.2 m/s^2 이었고, 장갑안에 어댑터를 설치하여 측정할 경우 16.4 ~ 25.0 m/s^2 이었다.

Fig. 1은 장갑밖에 어댑터를 설치하고 측정하였을 경우와 장갑안에 어댑터를 설치하고 측정하였을 경우 X, Y, Z 각 축의 주파수 특성을 나타내고 있다. 장갑을 착용한 상태에서 측정할 경우의 진동가속도 값이 그렇지 않은 경우보다 낮게 나타났다. 약 40 Hz, 630 Hz 및 1,600 Hz의 주파수 대역에서는 주변보다 높은 진동가속도 값을 보여 주었다.

사업장 B와 C는 선박건조 및 수리업체로서 사상 작업에서 그라인더 작업 시 발생하는 진동을 측정하였다. 사용하는 그라인더는 앵글식 그라인더(angle grinder)와 베이비 혹은 핸드 그라인더라고 불리는 다이 그라인더(die drinder) 두 가지를 사용하였다.

앵글식 그라인더는 7인치 연마석과 4인치 연마석을 교대로 탈부착하면서 사용하고 있어서 7인치, 4인치 및 다이 그라인더의 3가지 그라인더에서 발생하는 진동을 측정하였다. 진동을 측정하는 동안의 작업내용과 근로자 상담을 통하여 점심시간, 휴식시간 및 작업 중 슷돌 교체시간 등을 고려한 근로자들의 작업시간은 5시간으로 판단하였다. 각각 그라인더 사용시간은 일정하지 않고 작업면에 따라 근로자 판단 하에 7인치, 4인치 및 다이 그라인더를 교체하며 사용하였다. 한 종류의 그라인더만 사용한 근로자는 한 종류의 그라인더로 5시간 작업하는 것으로 일일 진동노출량을 산정하였고, 4인치와 다이 그라인더를 같이 사용한 근로자는 4인치 그라인더 4시간, 다이 그라인더 1시간 사용하는 것으로 일일 진동노출량을 산정하였다.

B사업장 4명, C사업장 2명의 근로자에 대하여 측정을 실시하였고 각각의 측정에 대해 2~5회 측정할

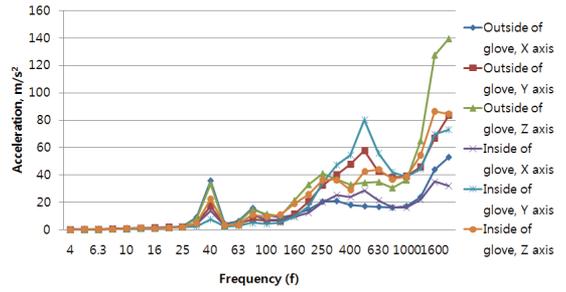


Fig. 1 Frequency properties of rock drill

Table 3 Daily vibration exposure in company B/C

Worker	Equipment	Location of accelerometer	Vibration total value (m/s^2)	Exposure time (hr)	Daily vibration exposure $A(8)_{2,3}$ (m/s^2)
B-1	4 inch grinder	Outside of glove	5.0	4	3.5
		Inside of glove	3.8	4	2.7
	Die grinder	Outside of glove	7.7	1	2.7
		Inside of glove	5.9	1	2.1
	Total	Outside of glove	6.2	5	4.4
		Inside of glove	4.8	5	3.4
B-2	Die grinder	Outside of glove	27.0	5	21.4
		Inside of glove	14.8	5	11.1
B-3	7 inch grinder	Outside of glove	7.51	5	5.9
		Inside of glove	7.41	5	5.9
B-4	7 inch grinder	Outside of glove	9.3	5	7.4
		Inside of glove	8.9	5	7.0
C-1	4 inch grinder	Outside of glove	5.7	4	4.0
		Inside of glove	4.7	4	3.3
	Hand grinder	Outside of glove	7.1	1	2.5
		Inside of glove	5.3	1	1.9
	Total	Outside of glove	6.4	5	4.7
		Inside of glove	5.0	5	3.8
C-2	7 inch grinder	Outside of glove	6.4	5	5.3
		Inside of glove	5.4	5	4.3

값을 평균하여 평가하였다. 근로자들은 목장갑 위에 용접장갑을 착용하고 작업하였다.

Table 3에서 보는 것과 같이 장갑 밖으로 어댑터를 부착하고 측정한 경우 4인치 그라인더와 다이 그라인더를 같이 사용한 근로자는 4.4 및 4.7 m/s²의 진동가속도에 노출되었다. 7인치 그라인더를 사용하는 근로자는 5.3~7.4 m/s²의 진동가속도에 그리고 다이 그라인더만 사용하는 근로자는 21.4 m/s²의 진동가속도에 노출되었다. 그리고 장갑 안에 어댑터를 잡고 측정한 경우 4인치 그라인더와 다이 그라인더를 함께 사용한 근로자는 3.4 및 3.8 m/s²의 진동가속도에 노출되었다. 7인치 그라인더를 사용한 근로자는 4.3~7.0 m/s²의 진동가속도에 그리고 다이 그라인더만 사용한 근로자는 11.1 m/s²의 진동가속도에 노출되었다.

D사업장은 한반도 남부 지역에 소재한 발전소 차단기 및 변압기 등을 생산하는 업체로 차단기 생산 공장의 주조 공정 중 모터케이싱 사상 작업에서 사용하는 그라인더로부터 인체에 전달되는 진동과 배전 변압기 조립공정에서 볼트 체결 시 사용하는 임팩트 렌치로부터 근로자에게 전달되는 진동을 측정하였다. 그라인더 사용 근로자들은 작업 하는 동안 그라인더 및 치핑해머를 이용하여 주조된 모터 케이싱의 돌출부분을 매끄럽게 하는 작업을 수행하였다. 남성 근로자는 7인치 그라인더와 4인치 그라인더를 사용하여 모터케이싱 표면의 돌출된 부분을 매끄럽게 하는 작업을 하였으며, 여성 근로자는 남성 근로자가 표면 작업을 한 모터케이싱을 다이 그라인더와 치핑해머를 이용하여 틈 부분이나 내부 모서리를 매끄럽게 하는 작업을 하였다. 남성 근로자의 경우 7인치 그라인더와 4인치 그라인더 작업시간은 각각 3시간 30분 이었으며, 여성 근로자의 다이 그라인더와 치핑해머 작업시간은 각각 4시간 12분과 2시간 48분이었다. 배전 변압기 조립공정에서도 두 명의 임팩트 렌치 작업자에게 전달되는 진동을 측정하였다. 일일 평균 근로자 일인당 임팩트 렌치 작업시간은 1시간이었다. 측정 방법 당 2~4회 측정한 값을 평균하여 평가 하였다. 남성 그라인더 작업자는 목장갑을 착용하고 그 위에 용접장갑을 추가로 착용하였고, 여성 근로자는 목장갑 2장을 그리고 임팩트 렌치 작업자는 목장갑 1장을 착용하였다.

장갑 밖에 어댑터를 부착하고 측정한 경우 Table 4

와 같이 4인치 그라인더와 7인치 그라인더를 같이 사용한 근로자는 4.0 m/s²의 진동가속도, 다이 그라인더와 치핑 해머를 사용한 근로자는 11.1 m/s²의 진동가속도, 그리고 임팩트 렌치 사용 근로자는 1.5 및 1.7 m/s²의 진동가속도에 노출되었다. 그리고 장갑 안에 어댑터를 잡고 측정한 경우 4인치 그라인더와 7인치 그라인더를 같이 사용한 근로자는 3.3 m/s²의 진동가속도, 다이 그라인더와 치핑 해머를 사용한 근로자는 9.9 m/s²의 진동가속도에 노출되었으며, 임팩트 렌치 사용 근로자는 1.5 및 1.6 m/s²의 진동가속도에 노출되었다.

E사업장에서는 5종의 체인톱으로 원목을 절단할 때 손으로 전달되는 진동을 측정하였다. 근로자들의 실 작업시간은 최대 작업시간을 기준으로 약 4시간으로 판단되었다. 각각의 측정방법에 대하여 3~4회

Table 4 Daily vibration exposure in company D

Worker	Equipment	Location of accelerometer	Vibration total value (m/s ²)	Exposure time (min)	Daily vibration exposure A(8), (m/s ²)
D-1	4 inch grinder	Outside of glove	3.4	210	2.3
		Inside of glove	3.0	210	2.0
	7 inch grinder	Outside of glove	4.9	210	3.2
		Inside of glove	3.9	210	2.6
	Total	Outside of glove	4.1	420	4.0
		Inside of glove	3.4	420	3.3
D-2	Die grinder	Outside of glove	9.4	252	6.8
		Inside of glove	7.5	252	5.5
	Chipping hammer	Outside of glove	14.9	168	8.8
		Inside of glove	13.9	168	8.2
	Total	Outside of glove	11.1	420	11.1
		Inside of glove	9.8	420	9.9
D-3	Impact wrench	Outside of glove	4.3	60	1.5
		Inside of glove	4.2	60	1.5
D-4	Impact wrench	Outside of glove	4.8	60	1.7
		Inside of glove	4.5	60	1.6

측정하여 그 결과를 평균하여 측정결과를 분석하였다. E사업장 근로자의 장갑 착용 시 전달되는 국소 진동에 대해서는 목장갑을 착용한 경우와 보호장갑을 착용한 경우 두 가지에 대해 측정하였다. 보호장갑은 사업장에서 안전장갑이라 불리는 체인톱 제조사에서 제공되는 장갑으로서 진동저감을 위한 목적보다는 벌목작업 시 나뭇가지 등에 의한 부상을 예방하기 위한 장갑이다.

Table 5에서 보듯이 장갑 밖에 어댑터를 부착하고 측정된 경우에는 2.4~5.2 m/s²의 진동가속도, 목장갑을 착용한 경우에는 1.8~2.8 m/s²의 진동가속도, 보호장갑을 착용한 경우에는 1.7~2.8 m/s²의 진동가속도가 발생하였다.

나. 사업장 진동관리 실태

진동발생 기계·기구로부터 전달되는 진동가속도의 측정 및 평가 외에 사업장에서 사용하고 있는 진동발생 기계·기구에 대해 제조 국가, 사용설명서 보유 여부 및 진동가속도 정보제공 실태도 파악하였다.

총 20개의 기계·기구 중 국내 생산품은 11개 이었고, 9개는 수입품이었다. 그 중 4개는 유럽제품이고 3개는 일본제품 그리고 2개는 미국제품이었다. 그리고 20개의 기계·기구 중 5개 기계·기구만이 제품 사용설명서를 사업장에 비치하고 있었다.

사업장에서 보유하고 있는 제품 사용설명서와 제조사 홈페이지를 통해 제공되고 있는 제품 사용설명서를 통틀어서 20개의 기계·기구 중 20%에 해당하는 4개의 기계·기구만 진동가속도 정보가 제공되고 있었다. 국내에서 생산되는 제품 중 진동가속도 정보가 제공되는 기계·기구는 없었다. 진동가속도 정보가 제공되는 4개의 제품 중 3개는 유럽에서 생산되었으며, 1개는 일본에서 생산되었다.

진동발생 기계·기구 사용 시 장갑착용 여부를 조사한 결과 모든 근로자가 장갑을 착용하고 작업을 하였으나 진동보호장갑을 착용하고 작업한 근로자는 없었다. 17명의 근로자 중 목장갑 혹은 보호장갑 1개를 착용하고 작업하는 근로자는 9명, 목장갑 2개 혹은 목장갑과 용접장갑을 동시에 착용하는 근로자가 8명으로 조사되었다.

Table 5 Daily vibration exposure in company E

Company	Location of accelerometer	Vibration total value (m/s ²)	Exposure time (hr)	Daily vibration exposure A(8), (m/s ²)
E-1	Outside of glove	3.9	4	2.8
	Inside of protective glove	3.9	4	2.8
	Inside of cotton glove	4.0	4	2.8
E-2	Outside of glove	4.6	4	3.3
	Inside of protective glove	3.2	4	2.2
	Inside of cotton glove	3.5	4	2.5
E-3	Outside of glove	7.4	4	5.2
	Inside of protective glove	3.2	4	2.3
	Inside of cotton glove	3.3	4	2.3
E-4	Outside of glove	3.6	4	2.6
	Inside of protective glove	2.5	4	1.8
	Inside of cotton glove	2.7	4	1.9
E-5	Outside of glove	3.4	4	2.4
	Inside of protective glove	2.4	4	1.7
	Inside of cotton glove	2.5	4	1.8

4. 고 찰

이 연구에서는 5개 사업장 17명의 근로자들에게 전달되는 국소진동을 측정하였다. 문헌을 검토한 결과 기존 연구들은 대부분 개정 전 ISO 기준에 의하여 측정 및 평가되어 이 연구결과와 기존 연구결과를 직접적으로 비교하는 것은 어렵지만 사상 작업 중 사용하는 기계·기구에 있어서 앵글 그라인더 보다는 다이 그라인더나 치핑 해머에서 전달되는 진동가속도가 더 큰 값을 보이는 부분 등에 있어서는 동일한 경향을 보여주고 있었다.

선행 연구에 의하면 자동차 의장조립 사업장의 임팩트렌치 주파수 가중 가속도는 11.7 m/s²이었고 이를 4시간 기준 주파수가중 가속도로 변환하면 2.39 m/s²였다⁽⁷⁾.

자동차 조립라인의 이중-햄머형(double-hammer type) 임팩트 렌치 및 오일-펄스형(oil-pulse type) 임팩트 렌치로 부터 전달되는 국소진동 가속도 수준을 측정된 연구에서, 오른손에 대해 이중-햄머형 임팩트 렌치에서는 Zh축이 8.24 m/s², 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Xh축이 2.59 m/s²로 가장 높은 국

소진동 가속도수준을 나타내었다. 왼손에서는 이중-햄머형 임팩트 렌치 Xh축이 9.60 m/s², 오일-펄스형 임팩트 렌치에서는 Yh축이 3.23 m/s²으로 가장 높은 국소진동가속도 수준을 나타내었다⁽⁸⁾.

금속가공 사업장의 에어 앵글 그라인더로부터 전달되는 진동가속도 수준은 9.9 m/s², 에어 베이비 그라인더는 24.4 m/s², 임팩트 렌치는 39.0 m/s², 치핑 해머는 32.1 m/s², 스크류 드라이버는 4.4 m/s²이었다⁽⁹⁾.

총 4공정, 6종류의 스웨징 작업에 대하여 국소진동을 측정된 결과 스웨징 1#-1차 공정에서 56.52 m/s², 스웨징 1#-2차 공정에서 46.23 m/s², 스웨징 2#-1차 공정에서 17.89 m/s², 스웨징 2#-2차 공정에서 12.79 m/s², 스웨징 3# 공정에서 16.4 m/s², 스웨징 4# 공정에서 7.56 m/s²의 진동가속도를 나타냈다. 이를 실제노출시간을 적용하여 계산한 에너지 등가 가속도 값으로 나타내면 각각 10.75 m/s², 7.21 m/s², 3.42 m/s², 2.0 m/s², 2.14 m/s², 0.99 m/s²로 나타났다⁽¹⁰⁾.

조선소 근로자를 대상으로 한 연구에서는 그라인더 38.15 m/s², 임팩트 렌치 16.95 m/s², 치핑 해머 26.65 m/s², 코킹 해머 12.17 m/s²의 진동이 발생하였고, 작업 공정별로 보면 취부작업에서 31.77 ±12.48 m/s², 용접작업에서 26.99 ±9.32 m/s², 도장작업에서 50.97 ±19.03 m/s²의 진동가속도가 발생되었다⁽¹¹⁾.

광산 근로자를 대상으로 한 연구에서 공기식 착암기는 21.9 m/s²의 진동가속도를, 유압식 착암기는 31.0 m/s²의 진동가속도를 그리고 전기식 착암기는 9.2 m/s²의 진동가속도를 나타내었다⁽¹²⁾.

이 연구에서 실제 근로자들이 작업 시 장갑을 착용하고 작업하는 점을 감안하면 체인톱을 사용하여 작업한 근로자에게 전달되는 일일 진동노출량은 1.7~2.8 m/s²이었고 착암기 사용 근로자에게 전달되는 일일 진동노출량은 7.1~10.8 m/s²이었다.

그라인더를 사용하는 사상작업 근로자의 경우에는 사용하는 그라인더의 종류에 따라 진동 노출량에 차이가 있었다. 다이 그라인더 한 종류만 사용하거나 다이 그라인더와 치핑 해머를 함께 사용한 근로자에게 전달되는 일일진동노출량은 3.9~11.1 m/s²이었다. 4인치나 7인치 그라인더 하나만 사용하거나 4인치, 7인치 및 다이 그라인더 중 2가지를 함께 사용한 경우 근로자에게 노출되는 일일 진동노출량은

3.3~7.0 m/s²이었다. 그리고 임팩트 렌치를 사용하여 작업하는 근로자들이 1.5~1.6 m/s²로 가장 낮은 진동가속도에 노출되었다.

국내에는 노출기준이 없는 관계로 유럽연합의 노출기준인 5 m/s²로 노출기준 초과 여부를 판단해 보면, 측정대상 17명의 근로자 중 6명의 근로자가 노출기준을 초과하였다. 노출기준 초과 공정에서 작업하는 근로자는 착암작업 근로자, 일부 그라인더 작업자 및 치핑 해머 작업자였다.

산업안전보건법 제 43조(건강진단)에 의해 진동작업 종사 근로자에 대한 진동관련 특수건강진단은 매년 실시되고 있으나 산업안전보건법 제42조(작업환경 측정 등)에 따른 작업환경측정은 의무화 되어 있지 않다. 한국산업안전보건공단이 보유하고 있는 최근 진동에 관한 작업환경측정결과를 분석하여 보면 2008년에서 2011년은 진동에 대한 작업환경을 측정 한 사업장이 없었다. 2007년에는 1개 사업장에서 6개 단위 작업장소에 대해서만 진동에 관한 작업환경 측정이 실시 된 것으로 나타났다.

실제 근로자 작업시간을 고려하지 않고 단순히 기계·기구로부터 전달되는 진동수준을 비교했을 때는 Fig. 2에서 보는 것과 같이 착암기에서 26.4 및 30.2 m/s²로 가장 높은 진동가속도가 전달되었다. 치핑 해머에서는 14.9 m/s², 다이 그라인더에서는 7.1~27.0 m/s², 7인치 그라인더에서는 4.9~9.3 m/s², 4인치 그라인더에서는 3.4~5.7 m/s², 임팩트 렌치에서는 4.3 및 4.8 m/s², 그리고 체인톱에서는 3.4~7.4 m/s²의 진동가속도가 전달되었다.

총 20종의 진동발생 기계·기구 중 4개의 제품에 대해서만 진동가속도 정보가 제공되고 있었는데, 이 중 3개는 유럽에서 생산되었으며 하나는 일본 제품

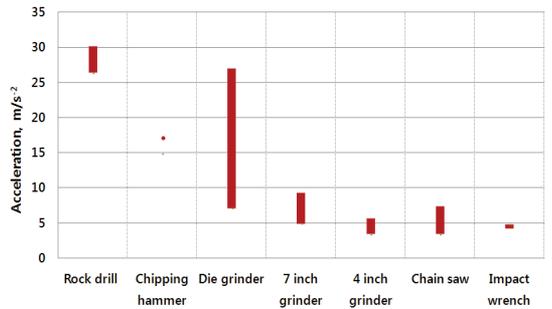


Fig. 2 Acceleration of machines generating vibration

이었고 국내에서 생산된 제품은 진동가속도 정보가 제공되고 있지 않았다. 이는 유럽의 경우 기계류로부터 전달되는 진동이 2.5 m/s^2 를 초과할 경우 제품 사용설명서에 진동가속도를 명시하는 것을 의무화하여 근로자 건강장해 예방에 노력을 하고 있기 때문이라고 판단된다. 따라서 유럽으로의 제품 수출의 문제를 떠나서 진동으로부터 근로자 건강을 보호하기 위해서는 국내에서도 이와 같은 제도의 검토가 필요할 것으로 사료된다.

진동발생 기계·기구 사용 시 장갑착용 여부를 조사한 결과, 목장갑 혹은 보호장갑 1개를 착용하고 작업하는 근로자는 52.9%, 목장갑 2개 혹은 목장갑과 용접장갑을 동시에 착용하는 근로자는 47.1%이었다. 2004년 박희석이 자동차 조립공정의 임팩트 렌치를 주로 사용하는 작업자 20명을 대상으로 장갑착용 여부에 대한 면담조사를 실시한 결과 목장갑 1개 착용이 16.7%, 목장갑2개 혹은 목장갑 1개와 코팅장갑을 동시에 사용하는 근로자가 83.3%로 조사되었으며, 방진장갑 착용 근로자는 없었다⁽⁷⁾. 2004년에 발표된 연구결과는 단일 사업장에서 임팩트 렌치를 사용하는 근로자에 대해서만 조사를 한 자료여서 본 연구결과와 직접적인 비교는 어렵지만 단순한 경향 파악을 위해 비교해보면 위에서 보듯이 산업안전보건기준에 관한 규칙에 진동작업 관리 조항이 신설되기 전과 후의 진동보호용 장갑 착용에는 큰 차이가 없었다.

다만, 장갑착용 전후 근로자에게 전달되는 일일 진동노출량을 비교하기 위하여 PASW 18.0(IBM사, 미국) 통계프로그램을 활용하여 자료의 정규성을 검정해본 결과 대수 변환한 자료 값들의 분포가 정규성을 가지는 것으로 나타났다($p>0.05$). 장갑착용 전 일일 진동노출량의 기하평균은 4.89, 기하표준편차는 2.09이었고, 장갑착용 후 일일 진동노출량의 기하평균은 3.78, 기하표준편차는 1.99로서 대수 변환된 자료를 이용하여 대응표본 T 검정을 실시해본 결과 장갑착용 후의 값이 착용 전에 비해 통계적으로 유의하게 낮은 값을 나타내어 장갑착용의 효율성이 입증되었다($p<0.01$).

5. 결 론

국소진동 노출평가와 관련된 국내 연구의 대부분

은 자동차 조립공정의 임팩트 렌치를 중심으로 개정된 ISO 기준에 근거하여 실시되었다. 본 연구에서는 진동재해자가 실제로 많이 발생하는 선박건조 및 수리업과 석탄광업에 종사는 근로자에게 노출되는 진동수준을 조사하였으며, 개정된 ISO 기준에 의하여 국소진동 노출평가를 실시하였다는데 의의가 있다.

근로자에게 전달되는 일일진동노출량을 기준으로 하는 그라인더를 사용하는 사상작업 근로자, 착암작업 근로자, 체인톱 작업 근로자, 임팩트 렌치 작업 근로자 순으로 높은 일일진동노출량에 노출되었다.

실제 근로자 작업시간을 고려하지 않고 단순히 기계·기구로부터 근로자에게 전달되는 진동수준을 비교했을 때는 착암기, 치핑 해머, 다이 그라인더, 7인치 그라인더, 4인치 그라인더, 임팩트 렌치, 체인톱 순으로 높은 진동가속도가 전달되었다.

측정대상 근로자에게 노출된 일일진동노출량을 유럽공동체의 진동노출 기준과 비교하였을 때 총 17명의 근로자중 6명의 근로자가 노출기준을 초과하는 것으로 나타났으나, 실제 사업장에서는 진동에 관한 작업환경측정을 실시하고 있지 않았다.

산업안전보건기준에 관한 규칙에 진동관련 조항이 신설된 이후에도 사업장의 진동관리가 제대로 이루어지지 않는 이유는 현재 국내 진동발생 기계·기구에 대한 노출기준이 설정되어 있지 않고 작업환경 측정 대상도 아니기 때문이라고 판단되었다. 따라서 진동재해를 예방하기 위해서는 진동발생작업의 주기적인 모니터링을 통해 진동발생 기계·기구의 점검 및 보수 등의 적절한 관리와 국소진동관련 노출기준이 조속히 설정되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- (1) Choi, S. H., Jang, H. K. and Park, T. W., 2005, Simultaneous Measurement of Vibration and Applied Forces at a Power Tool Handle for the Reduction of Random Error When Evaluating Hand-transmitted Vibration, Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 15, No 4, pp. 404-411.
- (2) Griffin, M. J., 1990, Handbook of Human Vibration, Academic Press, London.
- (3) Directive 2006/42 EC of the European Parliament and of the Council on Machinery, 2006, Official Journal

of the European Union, pp. 24~86.

(4) ISO 5349., 2001, Mechanical Vibration -Measurement and Evaluation of Human Exposure to Hand-transmitted Vibration, ISO, Switzerland.

(5) Jang, J. K., 2004, Guidance for Measurement and Evaluation of Hand-transmitted Vibration, Korea Occupational Safety and Health Agency.

(6) Jang, J. K., Oh, S. Y., Choi, E. J., Kim, S. J., Kim, B. N., Kim, C. H., Kim, J. Y., Lee, C. J., Byun, H. J., Won, J. S. and Park, H. M., 2003, Assessment and Control of Noise and Vibration Generated from Hand-held Power Tools, Korea Occupational Safety and Health Agency.

(7) Park, H. S. and Huh, S. M., 2004, A Study on Measurement and Analysis of Local Vibration Induced by the Powered Hand Tools Used in Automobile Assembly Lines, IE Interface, Vol. 17, No. 3, pp. 375~383.

(8) Jeung, J. Y. and Kim, J. M., 1995, Hand-arm Vibration and Noise Levels of Double-hammer Type and Oil-pulse Type Impact Wrenches in Automobile Assembly Lines, J Korean Soc Occup Environ Hyg, Vol. 5, No. 2, pp. 147~159.

(9) Youn, J. T., Park, S. K., Kim, S. Y., Lee, T. Y. and Jang, J. Y., 1999, Evaluation of Hand-arm Vibration of Steel Processing Factory Workers, J Korean Soc Occup Environ Hyg, Vol. 9, No. 2, pp. 52~65.

(10) Park, I. S., Park, W. H., Park, S. K. and Kim, K. S., 2001, Evaluation of Hand-arm Vibration in Swaging Process, Proceedings of the KSNVE Annual Spring Conference, pp. 275~286.

(11) Ju, Y. S., Choi, H. R., Kim, M. K., Sohn, H.,

Jeon, S. J., Cho, S. I. and Kim, H. S., 1998, Evaluation of Health Exams on Local Vibration Illness among Shipyard Workers, Korean J Occup Environ Med, Vol. 10, No. 4, pp. 413~427.

(12) Philips, J. I. and Heyns, P. S., 2007, Rock Drills used in South African Mines: a Comparative Study of Noise and Vibration Levels, Ann. Occup. Hyg., Vol. 51, No. 3, pp. 305~310.



KAB BAE KIM

Education : BS, Environmental Science, Keimyung University, Daegu, Korea, 1999. MSc, Sound and Vibration Studies, ISVR, Southampton, U.K., 2008.

Job Experience : Korea Occupational Safety and Health Agency(2000~Current). Certification : Engineering in occupational hygiene of Korea.



Jae-Kil Jang, PhD, CIH

Education : M.Ph., Environmental Health, Seoul National University, Seoul, Korea, 1987. M.S., Safety and Health Science, University of Southern California, California, USA, 1994. Ph.D., Public Health/Environmental and Occupational Health, University of Illinois at Chicago, Chicago, IL, USA, 2001.

Job Experience : Korea Occupational Safety and Health Agency (1984~Current). Certification : Certified Industrial Hygienist (CIH) of USA, Professional engineering in occupational hygiene of Korea.