

# A Study on the Measurement of Whole-Body Vibration in Some Coal-fired Power Plant Workers

Seung-Moo Heo<sup>1</sup>, Yun Keun Lee<sup>1</sup>, Hee Sok Park<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health, Seoul, 131-831

<sup>2</sup>Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791

## ABSTRACT

**Objective:** This study measured and evaluated the characteristics of the whole body vibration experienced in some coal-fired power plant in Korea. **Background:** Few studies have been carried out in Korea about the effects of whole body vibration of power plants on humans. **Method:** The evaluation scheme suggested by the Law of Noise and Vibration Control was applied. **Results:** It was found that 28.9% of total measurement points were above the limit suggested by the law. **Conclusion:** Many workers are exposed to whole body vibration during their job completion, and more efforts should be applied to prevention and control of the plat vibration.

Keywords: Whole body vibration, Power plant, Law of noise and vibration control

## 1. Introduction

건물 내부에서 느껴지는 진동은 인체에 많은 영향을 미치고 거주자들에게 불쾌감과 스트레스를 유발하며, 거주자 간에 다툼의 원인이 되기도 한다. 또한 건설현장은 주변의 거주자들에게 많은 피해를 주어 법적 소송이 종종 발생하고 있다.

진동이 인체에 미치는 영향을 분석하기 위해서는 진동과의 측정과 평가방법에 관한 표준이 필요하다. 이에 관한 대표적인 표준으로는 국제표준화기구(International Organization for Standardization: ISO)에서 제정한 표준을 들 수 있다. ISO의 2631 표준에서는 전신진동의 평가를 위한 일반사항 및 각 조건에 맞는 평가방법을 4개의 파트로 구분하여 제시하고 있다. 이 중 진동원이 있는 건물 내부의 작업자에 대한 평가는 파트 2(ISO 2631-2)에서 다루고 있다.

우리나라의 규제로는 산업안전보건법 제24조(보건조치)에

진동에 의한 건강장해를 예방하기 위하여 필요한 조치를 하여야 하는 사업주의 의무를 명기하고 있다. 또한 공장, 생활환경, 다양한 교통수단에 의한 소음진동은 소음진동관리법(2011년 4월 개정)에서 다루고 있으며, 국민의 평온한 환경을 위해 소음과 진동의 관리를 목적으로 한다. 그러나 이는 건강영향평가와는 거리가 있다. 주로 소음진동이 원인이 되어 발생할 수 있는 민원사건에 초점을 맞춰 몇몇 상황에 대한 소음진동 배출규제에 대한 내용을 다루고 있다.

국내 진동 분쟁에 대한 조정 신청건수는 1991년부터 2010년까지 20년간 총 1,853건이었으며, 이 중 진동을 단독요인으로 분쟁조정신청을 한 경우는 총 50건이었고, 복잡해지고 민감해지는 사회구조와 함께 분쟁 또한 늘어가고 있는 추세이다(Ministry of Environment, 2012).

특히 발전소는 국내외적으로 환경과 관련한 논쟁의 대상이 되어 왔다. 1986년 체르노빌 원자력발전소 폭발사고 이후 환경적인 영향에 대한 심각성이 제기되었고, 그 이후 발전설비의 안전은 매우 중요한 설계요소이다. 발전소의 주요

Corresponding Author: Hee Sok Park, Department of Industrial Engineering, Hongik University, Seoul, 121-791.

Mobile: +82-10-2389-1473, E-mail: [hspark@hongik.ac.kr](mailto:hspark@hongik.ac.kr)

Copyright©2013 by Ergonomics Society of Korea(pISSN:1229-1684 eISSN:2093-8462). All right reserved.

©This is an open-access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License(<http://creativecommons.org/licenses/by-nc/3.0/>), which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited. <http://www.esk.or.kr>

설비는 터빈으로 대형 회전체의 진동은 안전에 상당한 영향을 미치고 있어, 국내에서도 이에 대한 많은 연구가 진행되었다. 발전기 주변압기 운전 중 진동기준치 설정에 대한 연구(Lee and Lee, 2005), 화력발전소 Coal Silo 구조물의 충격성 진동에 대한 사례 연구(Im et al., 2005) 등 발전소 내 다양한 설비들에 대한 기계적 진동에 대한 연구는 국내에서도 많이 진행되었다. 그러나 이는 발전설비의 자체 안전을 위한 연구가 대부분이고 발전소 내에서 8시간 이상 거주하며 작업을 수행하는 작업자들에 대한 진동노출에 대한 연구는 그 사례를 찾아보기 힘들다.

따라서 본 연구에서는 국내 대표적인 화력발전소 4곳을 대상으로 건물진동에 노출된 작업자들의 진동노출수준을 측정하여 그 위험수준을 평가하고자 하였다.

## 2. Method

본 연구에서는 측정장소는 공장에 준하는 지역적 특성이 있지만, 작업자의 영향여부에 대한 판단이 평가목적으로 생활진동 규제기준에 의한 평가를 수행하였다.

소음진동관리법에서 제시하는 생활진동 규제기준에 대한 진동수준계 사용 시 평가방법은 5초 간격으로 50회의 측정을 실시하고, 측정값의 오차가 5dB 이내일 때, 상위 10개의 산술평균값을 측정진동수준으로 평가한다. 배경진동은 진동원을 정지시킨 상태에서 측정된 값으로서, 순수한 진동원의 영향을 알아보기 위해 배경진동의 수준과 측정대상 진동의 수준을 비교하여 보정을 실시하게 된다. 단, 배경진동 측정이 여의치 않을 경우는 배경진동 보정을 생략하는 것이 가능하도록 되어 있으며 발전설비의 가동중지가 어려운 것을 감안하여, 본 연구에서는 배경진동 보정은 실시하지 않고 측정진동수준을 대상진동수준으로 사용하였다. 이렇게 산출된 대상진동수준은 Table 1에서 제시한 생활진동 규제기준과

**Table 1.** Exposure limit of daily life noise by Law of noise and vibration control(Noise and Vibration Control Act, Ministry of Environment, 2013)

Area	Time zone	
	Day (06:00~22:00)	Night (22:00~06:00)
Residence, green zone, tour zone, community zone, natural environment conservation area, school, hospital, library	≤65	≤60
Other areas	≤70	≤65

비교하여 그 영향여부를 판단하게 된다.

측정은 약 2,000~5,000MW를 생산하는 대형 화력발전소로 4곳을 선정하였다. 최근의 화력발전소는 무연탄을 이용한 순수한 화력발전 이외에 LNG, 태양광, 소수력을 사용하여 친환경적인 다양한 원료들이 이용되고 있다. 본 연구에서는 무연탄을 사용한 순수한 화력발전 설비와 관련된 작업자의 주요 활동지역을 대상으로 평가를 진행하였다.

소음진동관리법상의 평가는 RION사의 진동수준계 VM-51을 사용하였으며, 연직특성 및 수평특성 또한 측정이 가능한 이동용 장비이다. 작업자가 상주하거나 머무는 위치를 기준으로 굳은 면에 흔들림 없이 진동 픽업을 설치하였다. 이렇게 측정된 개소는 상시거주지역(Regular) 11개소, 임시활동지역(Tentative) 38개소, 총 49개소에 대한 측정이 이루어졌다(Table 2).

**Table 2.** Measurement point

Types		Number
Regular	Main control room	3
	Operator's room	8
Tentative	Work site	38
Total		49

## 3. Results

총 49개소 측정진동수준의 평가결과를 Table 3에 제시하였다. 상시거주지역과 임시활동지역의 평균은 17.53dB의 비교적 많은 차이를 나타내었으며 통계적으로 유의한 차이가 있는 것으로 분석되었으나(신뢰수준 95%에서  $p$ 값 = 0.000), 상시거주지역의 중앙제어실과 현장운전원실은 그

**Table 3.** Measurement results by Law of noise and vibration control

Types	Number	dB(V)			
		Mean	SD	Range	
Regular	Main control room	4	49.14	6.01	40.8~55.0
	Operator's room	7	48.43	10.04	37.6~68.6
	Sum	11	48.69	8.45	37.6~68.6
Tentative	Work site	38	66.35	7.77	44~81.4
Total	-	49	61.95	11.13	37.6~81.4

차이가 크지 않았다. 그러나 현장운전원실의 경우 표준편차가 10.04로 중앙제어실의 6.01에 비해 매우 크게 나타났다. 이는 현장운전원실의 위치에 따른 편차로 해석된다. 이를테면 발전소에 따라 현장운전원실을 주요 발전설비 중앙(거리상)에 위치시키는 경우도 있었으며, 발전설비 주변에 배치된 경우, 아예 별도로 독립된 공간에 배치한 경우 등 그 편차가 매우 심하게 나타나고 있었다.

Table 4는 생활진동 규제기준 초과개소로 11개소 모두 임시활동지역에서 발생하였다.

**Table 4.** The number of points over the limit by Law of noise and vibration control

Types		Number	Points over the limit	
			Number	%
Regular	Main control room Operator's room	11	0	0
Tentative	Work site	38	11	28.9
Total	-	49	11	22.4

이러한 진동에 만성적으로 노출된다면 건강상의 장애가 발생할 수 있다. 실제 현장운전원실의 작업자 인터뷰 결과 만성적인 두통과 소화기 계통에 장애(위장장애) 증상을 호소하는 작업자도 있었다. 이러한 두통과 소화기 장애는 전신 진동의 만성적 피해로 보고되고 있다(KOSHA, 2002). 추후 발전소 내 작업자에 대한 설문 또는 의학경험 등을 기초로 진동과 연관된 직업병의 추이에 대한 연구도 필요할 것으로 판단된다.

#### 4. Discussion

2011년 초에 개정된 소음진동관리법은 측정대상 진동원을 크게 공장진동, 생활진동, 교통진동 등으로 나누었다. 공장진동은 공장 내부의 진동원에 의해 공장 외부지역으로 배출되는 진동을 의미하며, 생활진동은 어떠한 진동원에 의해 주변의 생활환경에 영향을 주는 정도를 측정하기 위해 평가된다. 교통진동은 주로 철도와 같은 궤도차량에서 발생하는 진동이 주변 지역으로 전달되는 수준을 측정하기 위해 평가된다.

본 연구는 진동원이 있는 발전소 내에서 다양한 작업을 수행하는 작업자에 대한 진동노출에 의한 영향여부를 평가하

기 위해 소음진동관리법의 생활진동 규제기준에 의한 평가를 진행하였다. 그 결과, 발전소 내에서 장시간, 장기간 근무하는 작업자들에게 건강상 혹은 작업상 영향이 있는 수준을 확인하였다.

소음진동관리법상 생활진동 규제기준에 의한 평가는 주로 민원에 의한 분쟁을 조정하기 위해 시행되었고 내부 혹은 근접하여 작업을 수행하는 작업자의 평가에 적용된 사례는 찾아 볼 수 없었다. 환경부 자료에 따르면 1991년부터 2010년까지 총 1,853건의 진동 분쟁조정신청이 있었으며, 진동을 단독요인으로 신청한 경우는 50건이었다(Ministry of Environment, 2012).

초고층 빌딩의 헬스장 구조소음 및 진동 대책에 대한 연구(Park et al., 2005)에서는 헬스장의 런닝머신이 진동을 유발시키는 주요 원인으로 분석하였으며, 이를 ISO-2631-2(1989)의 사용 용도별 진동허용치를 사용하여 평가한 사례가 있다. 측정장소 특성상 주거지의 기준을 사용하여 평가를 진행하였으며, 런닝머신 4개 가동시의 정상조건에서 헬스장 바닥 0.094m/s<sup>2</sup>(rms), 하부층 바닥 0.0687m/s<sup>2</sup>(rms)를 나타내어 허용기준을 상당 초과하는 결과를 보고하였다. 또한 ISO 2631-2(1989)와 동적인 사용성을 고려하여 시뮬레이션 기법으로 건물 용도에 따른 구조물 안정성, 작업자들의 작업환경 등에 대한 관점에서 건물보행 진동 영향성 평가를 시행한 사례(Ryu et al., 2007)가 있다.

전술한 바와 같이 진동원이 있는 건물에서 거주하는 사람을 대상으로 직접 평가할 수 있는 국제 표준은 ISO 2631-2에서 제시되고 있다. 1989년 판에는 건물의 용도별 진동가속도 한계치를 제시하였지만, 최근판인 2003년 개정판에서는 주파수가중치의 변화로 인해 진동가속도 한계에 대한 기준을 제시하지 못하였다. 본 연구에서는 생활진동 규제기준 이외에 ISO 2631-2(1989)를 사용한 평가 또한 진행하였으나, 이미 개정판이 발표된 구표준을 사용하여 평가한 결과를 보고하기에 무리가 있어 평가결과만 참고용으로 보고하고자 한다. 상시거주지역인 중앙제어실과 현장운전원실을 대상으로 16개소에 대한 평가를 진행하였는데, x,y,z 3축 평균이 모두 기준치를 초과하였다. 구체적으로 살펴보면 x,y,z 축 중 어느 하나라도 한계기준 이상인 측정개소는 전체 16개 평가개소에서 14개(87.5%)에 달했다. x축의 경우 14개소, y축과 z축은 8개소에서 한계치를 초과하였다. z축은 진동에 영향을 미치는 정도가 가장 높은 수직진동으로 중요하게 취급되는데 z축의 진동가속도 평균이 다른 2축보다 다소 높게 측정되었다.

국의 연구 사례를 살펴보면, 뉴질랜드 ARTA/KiwiRail에서 작성한 보고서(Tonkin & Taylor, 2009)는 기차역과 철길에서 발생하는 진동에 대해 주변 상가에 미치는 영향을 평가하였는데, ISO 2631-2의 2003년 개정판을 사용하여

다. 그러나 그 결과 값만을 환산하여 제시하였을 뿐, 실질적인 평가는 진동의 건물피해 평가기준인 독일의 DIN4150 (1999)을 사용하였다. 해양 석유시추장비에서 발생하는 진동의 인체영향 평가 사례(Silva et al., 2011)에서도 ISO 2631-2의 2003년 개정판을 사용하지 못하고 ISO 2631-1을 사용한 불편도 평가만을 진행하였다. 이렇듯 국외의 사례에서도 측정된 진동수준에 대한 한계기준과의 비교가 힘들기 때문에 ISO 2631-2의 2003년 개정판을 적용하여 평가한 사례는 찾아보기 힘들다.

## 5. Conclusion

국내 4개 화력발전소의 작업공간을 상시거주지역과 임시활동지역으로 나누어 소음진동관리법의 생활진동 규제기준에 따른 진동수준을 측정된 결과, 49개 측정개소 중 임시활동지역에서 11개소(22.4%)가 규제기준을 초과한 것으로 나타났다. 이러한 환경에 장시간, 장기간 근무할 때 진동진동에 의한 건강영향을 배제할 수 없을 것으로 사료된다.

본 연구는 추후 진동원이 있는 다양한 사업장 내의 작업자들의 진동에 의한 영향평가에 대한 기술적 참고자료가 될 수 있을 것이다. 또한 추후 연구에서는 진동수준의 측정과 함께 작업자의 증상호소, 작업영향 평가여부에 대한 설문이나 더 나아가 임상적 진단을 실시하여 진동영향수준에 대한 병리학적 해석이 필요할 것으로 판단된다.

## References

- Silva, J.G.S., Sieira, A.C.C.F., Lima, L.R.O. and Rimola, B.D., Vibration analysis of an Oil Production Platform Submitted to Dynamic Actions Induced by Mechanical Equipment, Vibration Analysis and Control-new Trends and Development, INTECH, 2011.
- Im, J.B., Lee, H.K., Son, S.W. and Park, S.G., Case Studies on Shock Vibration at Coal Silo Structure of Power plants, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 103-106, 2005.
- ISO, ISO 2631-2: Vibration in building, Geneva, 1989.
- ISO, ISO 2631-2: Vibration in building, Geneva, 2003.
- Korea Occupational Safety & Health Agency(KOSHA), Encyclopedia of Occupational Health and Safety, 2002.
- Lee, W.R. and Lee, J.S., A study on vibration limits around power plant, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 587-594, 2005.
- Ministry of Environment, 20 Years of Environment Control, Seoul, Korea 2012.
- Ministry of Environment, Exposure limit of daily life noise by Law of noise and vibration control, Noise and Vibration Control Act, 2013.
- Park, H.D., Back, J.H., Lee, H.K. and Chun, C.K., A Study on the Noise and Vibration Reduction at Supports Center on a Tall Buiding Apartment, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 196-201, 2003.
- Ryu, K.H., Lee, H.K., Park, H.D. and Kim, K.H., A Study on Working Vibration of Structure Horizontal Mobility, The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, 2007.
- Tonkin & Taylor Ltd, Report: ARTA/kiwi Rail, T&T Ref 24892.202, 2009.

## Author listings

**Seung-Moo Heo:** ken98@naver.com

**Highest degree:** M.Eng, Department of Industrial Engineering, Hongik University

**Position title:** Manager, Department of Human Engineering, Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health

**Areas of interest:** Occupational ergonomics, Musculoskeletal disorders

**Yun Keun Lee:** lyk4140@hanmail.net

**Highest degree:** PhD, Department of Public Health, Graduate School, Catholic University

**Position title:** Associate Director, Wonjin Institute for Occupational and Environmental Health

**Areas of interest:** Musculoskeletal disorders, Risk assessment

**Hee Sok Park:** hspark@hongik.ac.kr

**Highest degree:** PhD, Department of Industrial and Operations Engineering, The University of Michigan

**Position title:** Professor, Department of Industrial Engineering, Hongik University

**Areas of interest:** Occupational ergonomics, Musculoskeletal disorders

Date Received : 2013-07-01

Date Revised : 2013-07-31

Date Accepted : 2013-07-31