Journal of the Ergonomics Society of Korea
Vol. 25, No. 3 pp.1-5, August 2006

소음수준에 따른 신체자세동요의 변화*

박 성 하 · 이 승 원

한남대학교 산업경영공학과

Sound Levels and Postural Body Sway during Standing

Sung Ha Park, Seung Won Lee

Department of Industrial and Management Engineering, Hannam University, Daejeon, 306-791

ABSTRACT

Loss of postural balance can possibly lead to increased risk of slips and falls in work places. Present study was performed to investigate the effects of noisy environments on postural stability during standing. It is known that a sound is characterized by the frequency and pressure level of the sound. Therefore, effects of the frequency and pressure level on postural stability were of primary concern. Ten male subjects participated in the experiment. Subject's center of pressure(COP) position was collected on a force plate while they were exposed to different frequency and pressure levels of the sound. Measured COP was then converted into the length of postural sway path in both anterior-posterior(AP) and medio-lateral(ML) axis. Results showed that the length of sway path in AP axis was significantly affected by the frequency of sound. The length of sway path was lowest at frequency level of 2000Hz and increased below and above this frequency range. The sound pressure level, however, did not significantly affect the postural sway length in both AP and ML axis. The results imply that industrial workers in noisy environments should be aware that their abilities of postural balance can be disturbed significantly.

Keyword: Noise, Frequency, Intensity, Sway, Posture

1. 서 론

추락 및 전도(slips and falls)는 산업체에서 발생하는 중대재해의 주요 원인이 되고 있다. 노동부의 2004년 발생형태별 산업재해현황 통계자료에 의하면, 추락 및 전도에 의해 발생한 재해는 전체 산업재해 총 79,691건 중 약 34%를 차지하고 있다. 또한 사망에 까지 이르게 된 중대재해의 경우, 추락 및 전도에 의한 사망재해는 총 사망재해 1,537건의 약 47%에 이르고 있다(노동부, 2004). 미국의 경우, National Safety Council(2000)의 분석에 의하면 1998년 한 해 동안 16,600명이 추락 및 전도에 의해 사망에 이르는 중대재해를 당하였으며, 이 중 10,700 명(약 65%)이 산업현장에서 작업 중에 사망재해를 당한 것으로 보고하고 있다. 또한 전체 사망재해를 원인별로 분류하면 추락 및 전도가 두 번째로 높은 원인이라고 분석하고 있다.

건설, 도로공사, 제조업 등 많은 작업환경에서 작업자들은 상당한 수준의 소음에 노출되어 작업을 수행하고 있다. 인간의 자세균형능력은 근골격체계, 자기수용감각체계(proprio-ceptive system), 시각체계 및 전정감각체계(vestibular system)의 상호작용에 의해 유지되는 것으로 알려져 있다(Astrand and Rodall, 1986). 내이의 전정감각체계와 코티기관(organ of Corti)의 연관성을 고려해 볼 때 소리는 인간의 신체자세균형능력에 어떤 형태로든 영향을 미칠 것으로 판단된다. 예상하지 못한 상황에서 발생하는 갑작스러운 소리는 반사적인 행동을 유발하고 결과적으로 인간의 자세

*본 연구는 한남대학교 2005년 교비학술연구비 지원으로 수행되었음.
교신저자: 박성하
주 소: 306-791 대전광역시 대덕구 오정동 133, 전화: 042-629-7535, E-mail: shpark@hannam.ac.kr

균형능력을 더욱 악화시킬 수도 있다. 소리의 세기(loudness)는 감지된 소리의 양(magnitude)을 의미하며, 이는 음압수준으로 정량화되는 소리의 강도(intensity)와 소리의 주파수(frequency)의 상호작용에 의해 결정된다. 따라서 소리가 인체에 미치는 교란의 정도는 두 가지 변수, 즉 음압수준과 주파수에 의해 영향을 받는다고 말할 수 있다.

신체자세동요(postural sway)에 관한 분석은 신체균형능력을 조사하기 위해 가장 널리 사용되는 방법의 하나이며, 서 있는 자세에서의 특정 신체부위의 움직임, 자세를 유지하는데 관련된 근육의 동작, 신체 압력중심(COP: center of pressure)의 위치 이동 등에 의해 표현된다. 그러나 앞의 두 가지 방법은 신체 전체의 중심 변화를 측정하는데 어려움이 많기 때문에 신체의 압력중심을 측정하는 방법이 가장 일반적으로 이용되고 있다. 자세균형능력의 정량화를 위해서는 다양한 방법들이 시도되고 있으나, 힘판을 이용하여 신체자세의 동요(postural sway)를 측정하는 방법이 주로 사용되고 있다. COP는 신체가 지면을 누르는 압력의 중심을 의미하며, 일정시간 동안의 COP 위치좌표는 자세동요의 정도를 정량적으로 나타내는 동요길이(sway length), 동요속도(sway velocity), 동요면적(sway area) 등의 계산에 이용된다. 예를 들어, Pan, Chiou, Long, Zwiener, Skidmore (2000) 등은 건설현장에서 주로 수행되는 건판(drywall sheet)을 들고 유지하는 작업환경에서 작업자세에 따른 신체동요의 정도를 정량화하기 위해 동요길이를 이용하고 있다.

Fernie 등(1982)은 노인 계층을 대상으로 수행한 연구에서 전정감각체계의 생리학적인 기능 손상이 선 자세에서의 신체균형능력을 유의하게 저하시키는 것으로 보고하고 있다. 그러나 선 자세에서의 신체균형능력에 소리가 미치는 영향을 보고한 연구는 제한되어 있다. Juntunen 등(1987)은 충격파형의 소음이 신체자세균형에 미치는 영향을 연구하면서, 소음에 노출되어 청력이 심각하게 손상된 피실험자가 정상적인 청력을 갖고 있는 피실험자에 비해 자세동요가 많은 것으로 보고하고 있다. 그러나 소음의 주파수와 음압수준이 신체자세균형체계에 미치는 영향은 명확하지 않다.

본 연구는 COP 측정을 통한 신체의 자세동요 측정 방법을 이용하여 소리의 주파수와 음압수준(음의 강도)이 선 자세에서의 신체자세균형체계에 미치는 영향을 파악하고 정량화하기 위해 수행하였다.

2. 연구 방법

2.1 피실험자

실험은 지난 6 개월간 근골격 관련 질환 및 청력 손상을 경험한 일이 없는 건강한 성인 남성(나이: 23.2±1.8세, 키: 173±5.8cm, 휴식시 심박수: 72.3±5.2회/분) 10명을 대상으로 실시하였다. 피실험자들은 실험에 참여하기에 앞서 서면동의를 하였으며, 실험자는 실험대상 결정을 위한 기본정보를 마련하기 위해 설문지를 통하여 연령, 실험 당일의 몸 상태, 청력이상 유무 등을 조사하였다. 피실험자에게는 실험참여에 대한 수당이 지급되었으며, 실험 당일에는 신체균형능력에 영향을 줄 수 있는 흡연이나, 커피, 알코올 복용을 하지 않도록 하였다.

2.2 실험장비

신체 압력중심(COP)의 위치좌표를 측정하기 위해서 Bertec 사의 힘판(규격 60cm×40cm×8.8cm, Model # K90701, Type 4060-08)을 사용하였다. 자료수집을 위한 샘플링은 초당 60회(60Hz)로 하였으며, 수집된 COP위치좌표는 신체 전후(피실험자의 anterior-posterior 방향의 축으로 정의), 신체 좌우(피실험자의 medio-lateral 방향의 축으로 정의) 동요길이(sway length)를 계산하는데 이용되었다.

피실험자에게 부과할 다양한 수준의 음의 강도와 주파수를 생성하기 위해 사운드 제너레이터(음향프로그램)를 사용하였다. 각 수준의 음의 강도(dB)는 Hitchin 사의 정밀음향계측기(CEL-254)를 사용하여 측정하였다. 생성된 음의 강도와 주파수의 단일음파는 Jwin사의 우퍼헤드셋 JB-M66 (응답주파수 20~20,000Hz, 감도 102dB/mw)을 사용하여 피실험자의 양쪽 귀에 부과되었다. 그림 1은 실험에 사용한 장비 구성도를 보여주고 있다.

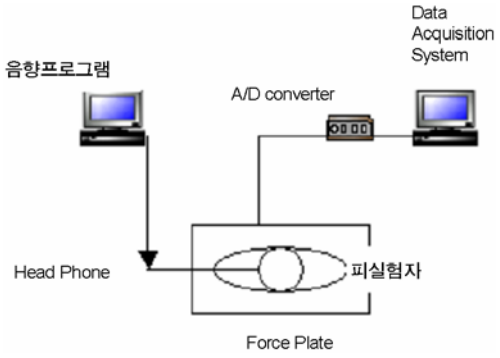

그림 1. 실험에 사용한 장비 구성도

2.3 실험계획

실험에 이용된 독립변수는 3 수준의 음의 강도(60dB, 90 dB, 120dB)와 4 수준의 주파수(1000Hz, 2,000Hz, 3000

Hz, 4,000Hz)로 하였다. 음의 강도는 사무실에서의 간단한 대화 또는 에어컨디셔너 작동환경(60dB), 제조업체의 기계작동 또는 복잡한 교통환경(90dB), 제트엔진 또는 착암기 작동환경(120dB)의 수준에서 결정하였다(Kroemer 등, 2001).

음의 주파수는 가청범위 영역(20~20,000Hz) 안에서 결정하였다. 독립변수들은 음의 물리량으로 주관적인 감각량과는 다른 의미이며, 각 수준조합에서 20초간 피실험자에게 부과되었다.

실험에 이용된 종속변수는 1초당 60회의 주기로 신체 압력중심(COP)의 위치좌표를 측정한 후, 이들 좌표를 이용하여 계산된 신체 좌우(Medio-Lateral: ML) 및 신체 전후(Anterior-Posterior: AP) 방향의 동요길이로 하였다. 여기서 COP는 힘판에 설치된 4개의 로드셀에 작용하는 힘을 계측하여 전후방향과 좌우방향을 중심으로 하는 힘과 모우멘트의 평형조건을 이용하여 위치좌표를 계산하였다. 실험결과는 각 수준조합에서 1회씩 반복측정에 따른 분산분석(repeated measure ANOVA)을 통해 이루어 졌으며 분산분석 후의 추정에는 Student-Newman-Keuls(SNK) comparison 방법을 사용하였다. 추정과 검정을 위한 유의수준은 5%로 하였다.

2.4 실험절차

실험에 앞서 독립변수의 수준에 따른 실험의 목적과 방법, 잠재적인 위험 정도에 대한 설명이 이루어 졌으며, 실험은 참여 동의서와 설문지 작성, 장비착용, 실험 실시의 3 단계로 수행하였다. 실험참여에 동의한 피실험자에 대해서는 설문지를 통하여 신체의 기본 정보와 신체 상태를 파악하였다. 설문조사 결과, 실험에 영향을 미칠 수 있는 근골격계 질환 및 청각 이상이 발견된 경우 실험대상에서 제외하였다. 실험 당일에는 각 수준의 소음을 부과하기 위한 헤드셋을 착용하도록 하였으며, 힘판 위에서 COP의 위치좌표를 측정하는 동안에는 선 자세에서 안정을 유지하고 개안 상태에서 전면을 주시하도록 하였다. 측정 시에 발을 두는 모양을 일정하게 하기 위해 뒤꿈치 중심의 간격은 15cm, 양발을 벌리는 각도는 30도가 되도록 힘판 위에 표시하고 그 위에 서도록 하였다. COP 자료획득을 위한 샘플링 주파수는 60Hz로 하였으며, 음의 강도와 주파수의 조합은 무작위의 순서로 하여 위 실험계획에서 언급한 각각의 수준조합에서 20초 동안 측정하였다. 실험 중 어지러움 등의 증세가 있거나 피실험자의 실험 포기 요구가 있는 경우에는 실험을 중지하도록 하였다.

3. 실험 결과

신체 전후방향 및 좌우방향의 동요길이(sway length)는 실험에서 획득한 COP 위치좌표에서 전후 프레임간의 길이를 계산한 후 이를 모두 합산하는 방법으로 계산하였다. 계산된 동요길이를 이용하여 각각 분산분석을 수행하였다.

신체 전후방향(AP axis)의 동요길이에 대한 분산분석 결과, 음의 주파수(frequency)에 대한 주효과가 유의수준 5%에서 유의한 것으로 나타났다(p=0.0375). 음의 강도에 대한 주효과(p=0.4440)와 음의 강도×주파수의 2 인자 교호작용 효과(p=0.6092)는 유의하지 않은 것으로 나타났다. 표 1은 신체 전후방향의 동요길이에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다. 주효과가 유의한 것으로 나타난 음의 주파수에 대한 수준간 평균 동요길이를 분산분석 후 추정으로 비교한 결과, 2000Hz 수준(평균 0.274m)과 3000Hz 수준(평균 0.294m), 2000Hz 수준과 4000Hz 수준(평균 0.295m) 간에 신체 전후방향의 동요길이의 차이가 유의한 것으로 나타났다. 1000Hz (평균 0.288m)에서의 동요길이에서는 다른 주파수 수준과의 유의한 차이가 발견되지 않았다(그림 2). 이러한 결과는 실험에서 적용한 음의 주파수 영역 중 피실험자들은 2000Hz 영역에서 가장 안정된 신체 전후방향의 자세균형능력을 보여주었으며, 상대적으로 저주파 영역인 1000Hz, 고주파 영역인 3000~4000Hz의 소리에 노출 될

표 1. 신체 전후방향의 동요길이에 대한 분산분석표

	DF	Sum of squares	Mean square	F-value	*P*-value	Lambda	Power
Subject	9	.026	.003				
SPL_dB	2	4.478E-4	2.239E-4	.850	.4440	1.699	.168
SPL_dB*Subject	18	.005	2.635E-4				
Frequency_Hz	3	.008	.003	3.242	.0375	9.726	.677
Frequency_Hz*Subject	27	.023	.001				
SPL_dB*Frequency_Hz	6	.002	3.164E-4	.754	.6092	4.522	.269
SPL_dB*Frequency_Hz*Subject	54	.023	4.197E-4				

수록 자세균형능력을 상실하고 있음을 말해주고 있다.

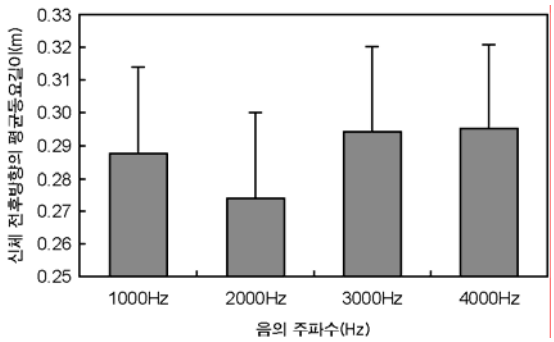

그림 2. 음의 주파수 각 수준에서의 신체 전후방향 평균 동요길이 (그래프상의 오차선은 표준편차를 나타냄)

음의 주파수가 신체 전후방향의 자세균형능력에 유의한 영향을 미치는 것과는 달리 음의 강도는 자세균형능력에 통계적으로 유의한 결과를 보여주지 않고 있다. 이러한 결과는 인간의 자세균형능력은 소리의 대표적 두 가지 특성 중 하나인 주파수에 의해 크게 의존함을 시사하고 있다.

신체 전후방향의 실험 결과와는 다르게 신체 좌우방향(ML axis)의 동요길이에 대한 분산분석 결과는 음의 주파수(frequency) 대한 주효과(p=0.8562), 음의 강도에 대한 주효과(p=0.1168), 음의 강도×주파수 2 인자 교호작용 효과(p=0.2305) 모두 유의하지 않은 것으로 나타났다. 표 2는 신체 좌우방향의 동요길이에 대한 분산분석 결과를 보여주고 있다. 이러한 결과는 신체 좌우방향으로의 자세균형능력은 음의 강도 및 주파수에 의해 유의한 영향을 받지 않음을 시시하고 있다.

4. 토의 및 결론

본 연구는 산업체에서 발생하는 소음이 인간의 자세균형능력에 주는 영향을 파악할 목적으로 수행하였다. 소리는 물리적인 특성상 음의 주파수와 음의 강도로 형성되므로 이러한 두 변수를 주요 분석 대상으로 하였다. 실험 결과 음의 주파수는 서 있는 자세에서 신체의 전후방향으로의 자세동요(postural sway)를 유의하게 변화시키는 것으로 나타났다. 실험에서 사용한 주파수 영역에서 분석하여 보면, 피실험자들은 2000Hz 부근에서 가장 안정된 자세균형을 유지하였으며, 이러한 균형능력은 상대적으로 저주파 영역인 1000Hz, 고주파 영역인 3000~4000Hz 영역에서 유의하게 저하되었다. 반면에 이러한 변화는 신체 좌우방향의 자세동요에서는 관측되지 않고 있다. 서론에서 언급한 바와 같이 소리의 주파수가 신체균형에 미치는 영향에 대한 기존의 연구는 극히 제한되어 있다. 따라서 본 실험 결과는 실험에서 사용된 주파수 영역에서만 국한하여 해석되어야 한다고 판단된다.

음의 강도는 실험에서 사용한 60~120dB 영역에서 신체의 자세동요에 유의한 영향을 주지 않는 것으로 나타났다. 일반적으로 소리에 노출되는 시간은 신체자세동요에 주요한 영향을 줄 것으로 판단된다. 본 연구에서는 노출시간을 20초로 제한하였고 또한 자세동요에 소음의 노출시간이 미치는 영향은 고려되지 않았다. 본 실험에서 음의 강도가 신체자세동요 변화에 유의하지 않은 것으로 나타난 결과는 비교적 짧은 노출시간에 기인한 것일 수도 있다. 또한 본 연구에서는 특정 주파수와 강도에서의 단일음(pure sound)을 실험에 사용하였다. 일반적으로 산업체에서 발생되는 소음은 보다 다양한 형태의 음파로 형성된 혼합음(complex sound)인 것이 보통이다. 향후 소음의 노출시간과 음의 형태를 고려한 실험에 의해 보다 향상된 자료가 확보될 수 있을 것으로 기대한다.

본 연구는 소음이 신체자세의 균형능력에 영향을 줄 수 있는 주요한 인자의 하나임을 보여주고 있다. 세부적으로는 선 자세에서의 신체균형체계는 특정 주파수 영역에서 교란을 받을 수 있다는 사실을 말해주고 있다. 일반적으로 산업체에서의 소음원은 전동공구, 건설장비 등 다양하다. 이러한 작업환경에서 신체의 균형을 유지하며 작업하는 작업자들에게는 그들의 자세균형능력이 소음에 의해 현저히 저하될 수 있

표 2. 신체 좌우방향의 동요길이에 대한 분산분석표

	DF	Sum of squares	Mean square	F-value	*P*-value	Lambda	Power
Subject	9	.013	.001				
SPL_dB	2	.002	.001	2.425	.1168	4.849	.415
SPL_dB*Subject	18	.006	3.599E-4				
Frequency_Hz	3	.001	1.882E-4	.256	.8562	.769	.092
Frequency_Hz*Subject	27	.020	.001				
SPL_dB*Frequency_Hz	6	.005	.001	1.403	.2305	8.417	.495
SPL_dB*Frequency_Hz*Subject	54	.035	.001				

으며 결과적으로 추락 및 전도에 의한 재해발생 위험성도 증가되어 있음을 상기해 주어야 한다.

참고 문헌

노동부, 2004년 산업재해현황, 2004.

Astrand, P. O. and Rodahl, K., *Textbook of Work Physiology: Physiological Bases of Exercise(3rd ed.)*, McGraw-Hill Book Company: New York. 1986.

Fernie, G., Gryfe, G., Holiday, P. and Llewellyn, A., The Relationship of Postural Sway in Standing to the Incidence of Falls in Geriatric Subjects. *Age Ageing*, 11, 11-16, 1982.

Juntunen, J., Matikainen, E., Ylikoski, J., Ylikoski, M., Ojala, M. and Vaheri, E., Postural Body Sway and Exposure to High-energy Impulse Noise. Lancet, 11, 261-264, 1987.

Kroemer, K., Kroemer, H. and Kreoemer-Elbert, K., *Eronomics (2nd ed.)*, Prentice Hall: NJ., 2001.

NSC,. *Injury Facts: Deaths due to unintentional injuries*, 1998, National Safety Council. 2000.

Pan, C. S., Chiou, S., Long D., Zwiener, J. and Skidmore, P., "Postural Stability During Simulated Drywall Lifting and Hanging Tasks", *Proceedings of the IEA 2000/HFES 2000 Congress*, 5 (pp. 679-682), 2000.

◐ 저자 소개 ◑

❖ 박 성 하 ❖ shpark@hannam.ac.kr

Texas Tech University 산업공학과 박사
현 재: 한남대학교 산업경영공학과 부교수
관심분야: 인체역학, 안전공학, Teleoperation

❖ 이 승 원 ❖ yanni7777@hanmail.net

한남대학교 산업경영공학과 학사
현 재: 한남대학교 산업경영공학과 석사과정
관심분야: HCI, Human Audition

논 문 접 수 일 (Date Received) : 2006년 04월 04일
논 문 수 정 일 (Date Revised) : 2006년 05월 04일
논문게재승인일 (Date Accepted) : 2006년 06월 05일