

작업장 배경소음과 청력보호구 착용이 근로자 어음인지력에 미치는 영향

울산의대 울산대학교병원 산업의학과¹⁾, 울산의대 울산대학교병원 이비인후과²⁾,
한국산업안전보건공단 산업안전보건연구원³⁾, 울산대학교병원 산업환경보건센터⁴⁾

박형욱¹⁾ · 심창선¹⁾ · 권중근²⁾ · 김규상³⁾ · 권영주⁴⁾ · 김남정⁴⁾ · 서민숙⁴⁾ · 이지호¹⁾

— Abstract —

Effects of Workplace Noise and Hearing Protective Devices on Worker's Speech Intelligibility

Hyoung Ouk Park¹⁾, Chang Sun Sim¹⁾, Joong Keun Kwon²⁾, Kyoo Sang Kim³⁾,
Young Joo Kwon⁴⁾, Nam Jeong Kim⁴⁾, Min Suk Seo⁴⁾, Ji Ho Lee¹⁾

*Department of Occupational and Environmental Medicine, University of Ulsan,
College of Medicine, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea¹⁾*

*Department of Otorhinolaryngology, University of Ulsan,
College of Medicine, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea²⁾*

Occupational Safety and Health Research Institute, Korea Occupational Safety and Health Agency³⁾

Department of Occupational Health Center, Ulsan University Hospital, Ulsan, Korea⁴⁾

Objectives: The objective of this study was to evaluate the degree of intelligible speech in workers wearing hearing protective devices and the differences in background noise type.

Methods: A total 82 shipyard company employees and normal hearing volunteers were recruited as subjects from a company in Ulsan: subjects were classified to the hearing-impaired group or to the control group according to hearing status. They were tested pure tone and speech audiometry in varying test environments including signal-to-noise ratio and background noise type in a headphone and in a free field environment.

Results: For both groups, the attenuation of hearing protective devices was greater at high frequencies. For the hearing-impaired group, speech discrimination scores differences between the unprotected and the protected ear were not significant between background noise type, when speech was presented at 65 dBA. However speech intelligibility in white noise background was lower than in the other background noise types when speech was presented at 75 dBA.

Conclusions: Workers' speech intelligibility increased with an increasing signal-to-noise ratio. Speech intelligibility was also dependent on background noise type. Workers and their colleagues were trained to pronounce words more loudly and more clearly when they wearing hearing protective devices or other communication methods that do not use sound signal should be considered.

Key Words: Speech intelligibility, Noise, Hearing protective devices

〈접수일: 2010년 4월 9일, 1차 수정일: 2010년 5월 6일, 2차 수정일: 2010년 6월 14일, 채택일: 2010년 6월 15일〉

교신저자: 심 창 선 (Tel: 052-250-7288) E-mail: zzz0202@naver.com

* 이 논문은 울산대학교병원 생의과학연구소의 연구비 지원(2009-04)에 의해 연구되었음.

서 론

산업환경에서 소음은 가장 흔한 유해 요인이다. 소음 노출 근로자 보호를 위해 우리나라 산업보건기준에관한규칙에서는 사업주로 하여금 소음작업, 강렬한 소음작업 또는 충격소음작업에 종사하는 근로자에게 청력보호구를 지급, 착용하도록 규정하고 있다. 청력보호구를 적절히 착용한다면 이관으로 들어오는 소음 수준을 감소시켜 소음성 난청의 발생 가능성을 줄일 수 있다. 미국산업안전보건연구소(National Institute for Occupational Safety and Health, NIOSH)는 소음에 대해 목표한 차음효과 및 청력 보존 효과를 얻기 위해서는 8시간 가중 평균 85 dBA 이상의 소음 수준에 노출되는 근로자는 항상 일관되게 청력보호구를 착용해야 한다고 권고하고 있다¹⁾.

청력보호구 착용은 소음 강도를 감소시켜 소음현장 작업자들 청력보호에는 도움이 되지만 동료나 관리자 의사소통 등 작업에 필요한 회화영역까지 감소시킬 수 있다. 실제 근로자들은 청력보호구 착용 시 의사소통 저해 및 경고음이나 신호음 청취의 어려움 등으로 보호구를 착용하지 않거나 동료가 말할 동안 잠시 청력보호구를 빼는 경우가 흔하다. Morata 등²⁾이 124명의 인쇄공장 근로자들을 대상으로 한 설문 조사에서 청력보호구를 일관되게 착용하지 않는 이유로 의사소통 장애(70%)가 가장 흔한 이유였으며, 다음으로 작업 수행 방해(46%), 소양감 유발(43%), 두부 압박감(37%), 두통(24%) 등이었다. Helmkamp³⁾도 근로자들이 청력보호구 착용을 하지 않게 되는 주된 이유가 동료와의 의사소통 방해 및 착용 시 귀의 불편함이라고 하였다. 이는 단순히 청력보호구 지급 및 교육만으로는 청력보호구 착용의 좋은 순응도를 이끌어내어 청력보존 효과를 기대하는 데는 한계가 있으며, 이를 위해서는 보호구 착용 시의 의사소통 능력(어음인지력) 저하에 대한 고려가 필요함을 시사한다.

소음 환경에서 청력보호구 착용으로 인해 어음인지력 저하가 발생하는지에 관해 여러 선행 연구가 있었다. 정상 청력자를 대상으로 한 연구에서 일정 수준 이하의 배경소음에서는 청력보호구 착용으로 인한 어음인지력의 차이는 없었으며, 그 이상의 배경소음에서는 청력보호구 착용으로 인하여 어음인지력이 향상되는 결과를 보였다⁴⁻⁶⁾. 청력 저하자를 대상으로 한 연구들에서는 대조군에서 보이는 결과와는 달리 일정 수준 이상의 배경소음 환경일 경우 난청군에서는 오히려 어음인지력이 저하되었다⁹⁻¹²⁾.

이전 연구결과들을 바탕으로 청력저하 근로자들은 작업장 소음에서 작업 시 청력보호구를 착용함으로써 인해 의사소통의 장애를 겪을 것이라고 추정해 볼 수 있다. 그러나 기존 연구에서 사용한 배경소음은 주로 백색소음이었고

그 외의 소음을 사용한 연구도 있었으나^{11,12)}, 실제 작업장의 기계 작동음과 같은 복합적인 배경소음을 사용한 연구는 없었다. 배경소음 하에서 시행되는 어음청각검사는 기존 여러 검사법이 소개된 바 있으나¹³⁻¹⁵⁾, 이들은 다화자소음(multitalker babble noise)이나 문장을 장기간 평균 스펙트럼(long term average spectrum)으로 분석하여 만든 회화영역 소음(speech noise)을 사용하여 문장에 대한 어음인지력을 검사하는 방식으로 실제 작업환경과 같은 여러 기계 소음 하에서 어음인지력은 검사 결과와 상이할 수도 있다¹⁶⁾.

본 연구는 실제 작업장소음에서 청력보호구를 착용함으로써 야기될 수 있는 청력 저하자의 어음인지력 저하 정도 및 배경소음 종류에 따른 의사소통 방해 정도를 파악하고자 대조군과 난청군을 대상으로 첫째, 현재 사용되고 있는 청력보호구의 차음수준과 주파수별 차음 특성을 헤드폰 환경 및 자유 음장(free field) 환경에서 파악하고, 둘째, 배경소음 종류 및 신호 대 소음비(signal to noise ratio, S/N ratio)에 따른 청력보호구 착용 시 어음인지력 저하 차이를 비교 분석하여 다양한 소음 환경에서 어음인지력 저하 정도를 평가하였다. 궁극적으로는 작업장의 소음 환경에서 청력보호구 착용으로 인한 어음인지력 저하를 개선시킬 수 있는 방안 마련에 기초자료를 제공하고자 하였다.

대상 및 방법

1. 연구 대상

연구 대상은 2009년 9월 1일부터 2010년 1월 31일까지 울산지역 일개 병원의 직원 및 건강검진을 시행받기 위해 내원한 검진자 중 자원자를 대상으로 하였다. 대상자 선정 기준은 500, 1000, 2000, 3000, 4000 Hz 전 주파수 영역에서 기도와 골도 청력 역치 차이가 10 dB 미만이며, 500, 1000, 2000 Hz에서는 역치 평균이 20-25 dB 미만이면서 고막운동성 및 이경검사에서 정상 소견을 가진 자료 한정하였다. 이 중 3000, 4000, 6000 Hz 주파수의 역치 평균이 40 dB 이상인 고주파수 난청자를 난청군으로, 30 dB 미만인 경우를 대조군으로 구분하였다.

연구 기간 동안 모집된 총 121명의 남성 피검자들 중에서 편측만 난청군 기준을 만족하거나(30명), 전음성 난청(7명), 전주파수에 걸쳐 순음청력역치 40 dB 이상의 평행한 청력 저하 소견을 보이는 전주파수 난청(2명)을 제외한 82명을 최종 분석대상으로 선정하였다.

본 연구는 본원 임상시험윤리위원회의 심의를 거친 후 수행되었다.

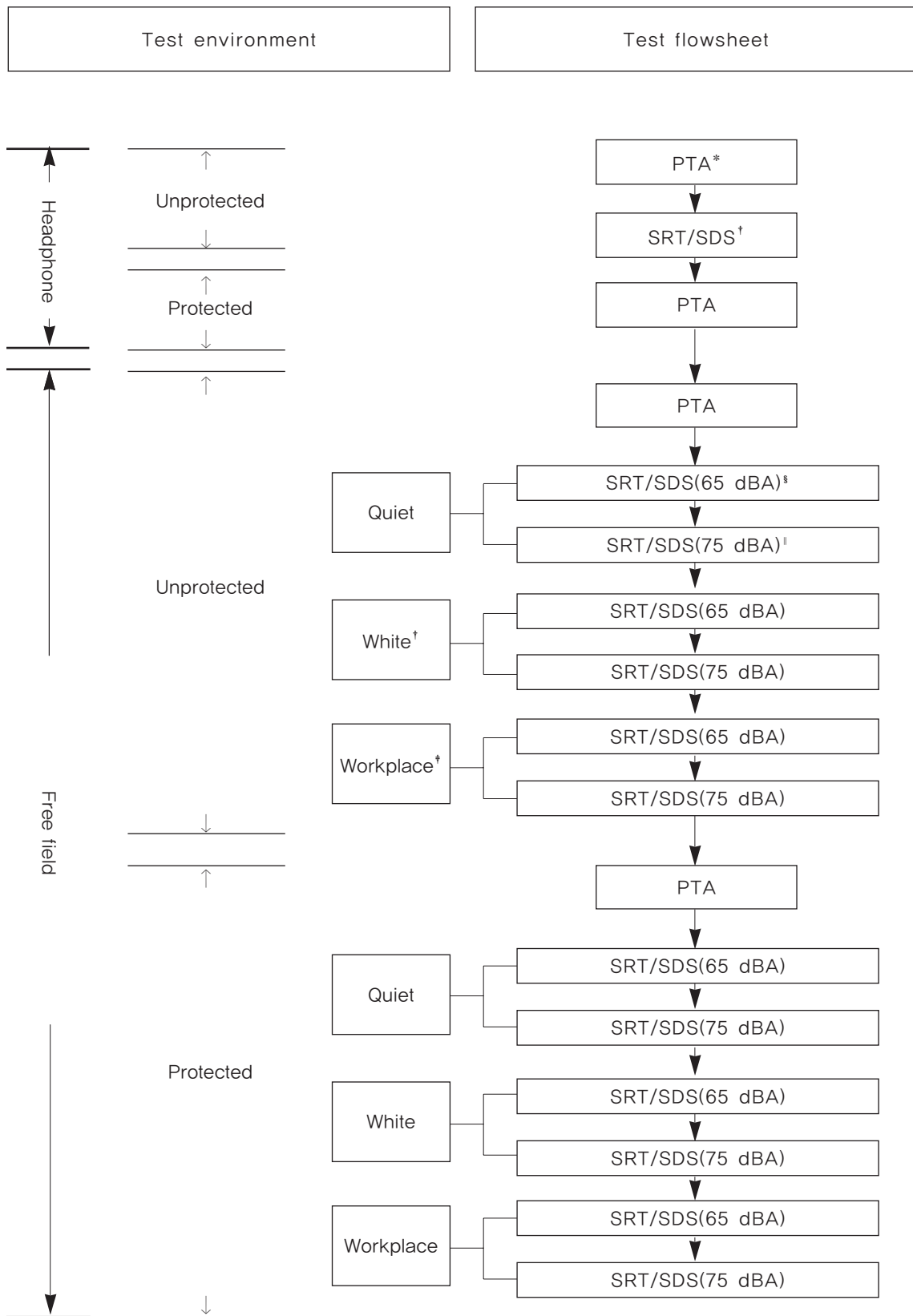


Fig. 1. Overview of test process.

*: PTA: pure tone audiometry, †: SRT/SDS: speech reception threshold/speech discrimination score, ‡: Each background noise was presented at 70 dBA, §: Speech materials were presented at 65 dBA, ¶: Speech materials were presented at 75 dBA.

2. 설문 조사

대상자는 인구학적 특성, 과거병력, 현병력, 흡연 및 음주력, 근경력, 소음에 노출될 수 있는 취미 유무, 가족력, 직업력, 청력보호구 착용, 핸드폰 사용 등에 관한 질문이 포함된 설문지를 작성하였다. 설문내용 중 청력보호구 착용에 관한 질문은 착용 유무, 근무시간 동안 지속적으로 착용하는 정도, 지속적으로 착용하지 않는 이유, 착용으로 겪는 불편 사항 등이 포함되었다.

3. 배경 소음

소음 환경에서 어음인지력을 검사하기 위해 어음 청력 검사 시 배경소음을 검사어음과 동시에 제시하였다. 배경소음은 백색소음과 작업장소음 두 가지를 사용하였다. 울산의 한 조선산업장에서 작업장 내 대표적 사용 기계음(가우징, 스프레이건, 용접토치, 그라인더, 절단토치, 헤머)을 각각 15분 간 녹음한 후 이 중 가장 충격음 발생이 적고 연속적인 소음 특성을 보인 도장 스프레이건의 소음을 작업장소음으로 선정하여 검사에 사용하였다.

4. 청력검사

청력검사는 검사음을 제시하는 방법에 따라 헤드폰으로 검사음을 제시하는 경우와 스피커로 검사음을 제시하는 자유 음장, 두 가지 환경으로 실시하였다(Fig. 1.).

1) 헤드폰 환경

먼저 대상자의 일반적 청력 상태를 파악하기 위하여 청력보호구를 착용하지 않은 상태에서 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 Hz 주파수별 기도 순음 청력 검사 및 500, 1000, 2000, 3000, 4000 Hz에서 골도 청력검사, 어음청취역치(speech reception threshold, SRT), 어음명료도(speech discrimination score, SDS)검사를 양측 귀에 대해 시행하였다. 이후 청력보호구를 착용한 후 동일 주파수로 양측 기도 및 골도 순음청력검사를 실시하였다.

어음청취역치검사를 위한 2음절어 표는 함태영¹⁷⁾이 제안한 어음청취역치측정을 위한 한국어 2음절어 표를 사용하였다. 순음청력검사에서 파악된 대상자 청력역치 수준의 어음 강도로 시작하여 검사자가 제시한 단어를 두 번 연속으로 성공적으로 반복한다면 5 dB 강도를 낮추어서 들려주는 방식으로 단어를 인식하지 못할 때까지 시행하여 최소 50%를 정확하게 대답하는 음의 강도를 해당 대상자의 어음청취역치로 결정하였다. 검사 단어는 무작위

로 제시되었다. 어음명료도검사는 최적안정역치(maximum comfortable level, MCL)에서 검사어음을 정확히 이해하는 백분율을 측정하는 검사로 본 연구에서는 함태영 등^{18,19)}이 제시한 한국어 단음절어 표를 사용하였다. 이 목록은 각각 50개의 단어가 포함된 4개의 표로 구성되어 있으며, 본 연구에서는 50개의 단어 중 25개의 단어를 무작위 선정하여 제시한 후 정확히 반복하는 개수를 백분율로 구해 어음명료도 점수로 결정하였다.

2) 자유 음장 환경

자유 음장 환경에서도 헤드폰 환경과 마찬가지로 먼저 청력보호구를 착용하지 않은 상태에서 순음청력검사 및 어음청력검사를 실시한 후 청력보호구를 착용한 상태에서 순음청력검사 및 어음청력검사를 시행하였다. 250, 500, 1000, 2000, 3000, 4000, 6000, 8000 Hz에서 순음청력역치를 구한 뒤 어음청취역치, 어음명료도를 구하였다. 이후 배경소음 환경에서 어음청력을 측정하기 위해 피검자 머리부위 높이에서 방위각 0°, 거리 1 m의 위치에 설치된 두 스피커에서 검사어음과 배경소음(조용한 환경, 백색소음 및 작업장소음을 각각 70 dBA로 제시)을 제시하여 어음청취역치와 어음명료도를 구하였다. 매 검사 전 피검자의 머리부위 위치에서 소음계(Cel-328, Cel instrument Ltd. England, 2003)로 배경소음을 확인하여 70 dBA로 보정하였다. 배경소음은 장시간 검사 소요 시간을 고려하여 피검자 청력보호를 위해 70 dBA로 유지한 상태에서 검사어음을 각각 65 및 75 dB로 제시하여 신호 대 소음비를 ±5로 맞추었다. 청력보호구는 사업장에서 일반적으로 널리 사용되는 폼 귀마개(Howard Leight MAX®, Sperian Hearing Protection)를 최선의 착용 적합성 및 차음 효과 보장을 위해 숙련된 청력검사가 직접 착용시켰다. 설문지 작성 시간을 제외한 총 검사 시간은 약 40~60분이 소요되었다.

청력검사는 높이 1.95 m, 너비 2 m, 길이 2 m의 무반향성 청력부스에서 시행되었다. 부스의 주위 소음은 ANSI S3.1-1999²⁰⁾ 기준에 적합하였으며 청력검사 기기는 한국산업안전보건공단의 순음청력검사에 관한 지침²¹⁾ 기준을 따라 보정하였다. 어음자극은 청력검사기(Diagnostic Audiometer AD229B, Interacoustics) 마이크로폰으로 검사자가 발음한 내용이 부스내 스피커(Control 1 Xtreme, JBL)로 전달되었다. 배경소음은 컴퓨터에 저장되어 있는 음향 파일을 Microsoft사의 Windows media player version 11.0으로 재생하여 컨버터를 통해 부스 내 스피커로 전달되었다. 모든 검사는 숙련된 청력검사가 각 대상자에게 주의 사항을 사전 충분히 숙지시킨 후 시행하였다.

5. 분석

대상자들의 일반적 특성은 대조군과 난청군으로 분류하여 Chi-square test 및 Student t-test를 이용하여 비교하였다. 청력보호구 착용 효과는 헤드폰 환경 및 자유음장 환경에서 각 주파수별로 청력보호구 착용 시 순음청력역치에서 미착용 시 순음청력역치를 차감한 값을 변수로 하여 Student t-test를 시행하여 비교분석하였다. 소음 환경에서의 어음인지력은 각각의 검사환경(배경소음의 종류, 신호 대 소음비)에 따른 어음청취역치 및 어음명료도를 청력보호구 착용 전후 값의 차이를 계산하여 이를 변수로 군 간 Student t-test를 시행하여 비교하였다. 마지막으로 난청군만을 대상으로 일반선형모형을 이용하여 연령 및 이명유무에 대해 보정한 후 각 배경소음 간의 청력보호구 착용 전후 어음명료도 차이를 비교분석하였다. 자료분석은 Microsoft Excel과 SPSS 17.0(SPSS Inc., Chicago, IL)을 이용하였다.

결 과

1. 연구대상자들의 일반적 특성

대상자들의 청력에 영향을 미칠 수 있는 일반적 특성을 비교한 결과(Table 1), 연령은 난청군이 51.8±7.5세로 대조군 40.0±10.0세 보다 유의하게 많았다(p<0.001). 그 외 과거력, 과거 이질환력, 두부외상력, 군경력, 흡연 및 음주력 등에서는 유의한 차이가 없었다. 난청 가족력은 대조군에서 유의하게 많았는데(p=0.005) 대부분은 조부모, 부모의 노인성 난청이었다. 청력 저하를 일으킬 수 있는 취미는 이어폰을 사용한 어학공부, 음악감상 및 노래방 이용이 대조군에서 난청군보다 유의하게 더 많은 빈도를 보였다(p<0.001). 이명은 난청군에서 유의하게 더 많았다(p=0.001). 하루 핸드폰 사용시간은 대조군이 40.5±36.5분으로 난청군 21.4±24.6분보다 유의하게 길었다(p=0.012).

난청군 중 56.0%가 근무 중 항상 청력보호구를 착용

Table 1. Basic characteristics and hearing loss-related factors of study subjects

| Variables | Normal hearing group (N=32) N*(%) | Impaired hearing group(N=50) N(%) | p-value [†] |
|--|--------------------------------------|--------------------------------------|----------------------|
| Age (years) [§] | 40.0±10.0 | 51.8±7.5 | <0.001 |
| Past history | | | |
| No | 23 (71.9) | 34 (68.0) | 0.710 |
| Yes | 9 (28.1) | 16 (32.0) | |
| Hearing loss family history | | | |
| No | 25 (78.1) | 49 (98.0) | 0.005 |
| Yes | 7 (21.9) | 1 (2.0) | |
| Military service | | | |
| No | 0 (0.0) | 6 (12.0) | 0.077 |
| Yes | 32 (100) | 44(88.0) | |
| Cigarette smoking | | | |
| No | 11 (34.4) | 11 (22.0) | 0.307 |
| Yes | 21 (65.6) | 39 (78.0) | |
| Drinking | | | |
| No | 2 (6.3) | 4 (8.0) | 1.000 |
| Yes | 30 (93.8) | 46 (92.0) | |
| Noise related hobby | | | |
| No | 10 (31.3) | 41 (82.0) | <0.001 |
| Yes | 22 (68.8) | 9 (18.0) | |
| Tinnitus | | | |
| No | 28 (87.5) | 25 (50.0) | 0.001 |
| Yes | 4 (12.5) | 25 (50.0) | |
| Daily mobile phone using time (min) [§] | 40.5±36.5 | 21.4±24.6 | 0.012 |

*: number of subjects, [†]: by chi-square test and Fisher's exact test (hearing loss family history, military service, drinking), [§]: by Student t-test (mean±SD).

한다고 하였고 나머지 44.0%는 항상 착용하지는 않는다고 하였다. 근무 중 청력보호구를 일관되게 착용하지 않는 이유로 동료와의 의사소통 방해가 30.8%로 가장 많은 비율을 차지하였고, 다음이 착용 시 불편감 및 통증 26.9%, 주변 소음이 심하지 않다는 생각 19.2%, 경고

음 청취 방해 15.4% 순이었다. 청력보호구 착용 시 느끼는 불편감에 대한 설문 결과에서도 동료와의 의사소통 방해 34.1%, 착용 시 불편감 및 통증 34.1%로 높은 비율을 차지하였고 그 외 경고음 청취 방해 13.7% 등이 있었다(Table 2).

Table 2 Reasons for not wearing HPDs* consistently and feeling uncomfortable due to wearing HPDs

| Reason for not wearing hearing protective devices consistently | N [†] | % |
|--|----------------|-------|
| Interferes with verbal communication | 8 | 30.8 |
| Causes pain/discomfort | 7 | 26.9 |
| Because the workplace seems no loud background noise | 5 | 19.2 |
| Interferes with alarm signal | 4 | 15.4 |
| Interferes with hearing normal machine sound | 1 | 3.9 |
| Seems no protective effects | 1 | 3.8 |
| Total | 26 | 100.0 |

| Reason for feeling uncomfortable due to wearing hearing protective devices | N | % |
|--|----|-------|
| Interferes with verbal communication | 15 | 34.1 |
| Causes pain/discomfort | 15 | 34.1 |
| Interferes with alarm signal | 6 | 13.7 |
| Interferes with hearing normal machine sound | 4 | 9.1 |
| Others | 2 | 4.5 |
| Seems no protective effects | 2 | 4.5 |
| Total | 44 | 100.0 |

* HPDs: hearing protective devices, [†]: number of answers that included multiple choice question.

Table 3. Both ear average PTA* thresholds and differences between before and after wearing HPDs[†] of each group

unit: dBHL, Mean (SD)

| Test environment | Frequency (Hz) | Normal hearing group | | | Impaired hearing group | | | p-value [‡] |
|------------------|----------------|----------------------|------------|-------------|------------------------|------------|-------------|----------------------|
| | | Unprotected | Protected | Differences | Unprotected | Protected | Differences | |
| Headphone | 250 | 10.3(6.6) | 28.9(10.7) | 18.6(7.1) | 14.4(5.7) | 36.2(12.5) | 21.8(11.3) | 0.124 |
| | 500 | 8.1(4.8) | 30.4(9.3) | 22.3(7.3) | 15.0(5.3) | 38.5(12.5) | 23.5(10.8) | 0.571 |
| | 1000 | 7.5(4.5) | 31.4(7.4) | 23.9(5.8) | 21.2(11.3) | 45.1(14.2) | 23.9(10.0) | 0.997 |
| | 2000 | 8.4(6.4) | 39.8(8.4) | 31.4(5.2) | 31.9(16.2) | 64.5(18.4) | 32.6(8.6) | 0.445 |
| | 3000 | 7.7(7.3) | 45.5(9.8) | 37.8(5.6) | 48.2(17.7) | 80.4(15.2) | 32.2(9.4) | 0.001 |
| | 4000 | 12.6(7.7) | 51.3(9.7) | 38.7(5.7) | 57.0(12.7) | 89.3(10.7) | 32.3(10.0) | <0.001 |
| | 6000 | 18.0(9.3) | 63.8(11.4) | 45.9(7.4) | 59.2(17.1) | 93.1(8.5) | 33.9(12.5) | <0.001 |
| | 8000 | 13.0(11.2) | 57.5(11.8) | 44.5(7.3) | 55.4(20.2) | 87.1(11.4) | 31.7(14.4) | <0.001 |
| Free field | 250 | 8.0(6.5) | 28.3(9.6) | 20.3(7.1) | 14.9(7.9) | 34.6(12.8) | 19.7(10.1) | 0.748 |
| | 500 | 13.3(5.3) | 35.2(8.2) | 21.9(7.7) | 21.4(8.5) | 42.4(12.9) | 21.0(11.0) | 0.671 |
| | 1000 | 4.7(5.5) | 28.9(7.3) | 24.2(5.4) | 19.2(13.0) | 40.5(14.6) | 21.3(9.0) | 0.070 |
| | 2000 | 7.5(6.1) | 39.2(7.3) | 31.7(6.0) | 31.3(19.2) | 60.9(19.0) | 29.6(10.4) | 0.247 |
| | 3000 | 14.1(7.6) | 51.7(9.8) | 37.7(7.0) | 49.1(19.3) | 83.7(15.6) | 34.6(11.6) | 0.182 |
| | 4000 | 18.1(8.1) | 58.3(10.7) | 40.2(7.3) | 61.4(14.1) | 93.1(8.8) | 31.7(11.7) | <0.001 |
| | 6000 | 25.9(10.8) | 66.3(11.6) | 40.3(7.8) | 61.0(15.7) | 90.7(8.2) | 29.7(11.4) | <0.001 |
| | 8000 | 18.3(10.6) | 56.4(12.4) | 38.1(8.7) | 54.8(19.5) | 83.6(10.5) | 28.8(13.8) | <0.001 |

* PTA: pure tone audiometry, [†] HPDs: hearing protective devices, [‡]: p-value means comparison of differences between each study group and calculated by Student t-test.

2. 청력 보호구의 차음 정도

헤드폰 환경에서 청력보호구 착용 전후의 양측 청력역치 평균 변화를 보았을 때 순음청력역치 차이는 저주파수 음역에서는 양 군의 차이가 통계적으로 유의하지 않았으나 고주파수 음역(3000, 4000, 6000, 8000 Hz)에서는 난청군보다 대조군에서 통계적으로 유의하게 더 큰 결과를 보였다(3000 Hz에서 $p=0.001$, 4000, 6000, 8000 Hz에서 $p<0.001$)(Table 3).

자유 음장 환경에서 착용 전후 순음청력역치 저하 정도 역시 고주파수 음역(4000, 6000, 8000 Hz)에서 대조군과 난청군 간의 차이가 통계적으로 유의하였으며 ($p<0.001$), 난청군보다 대조군의 순음청력역치 저하 정도가 더 컸다.

전체 대상자에서 헤드폰 환경과 자유 음장 환경에서 각 주파수별 청력역치를 paired t-test로 비교하여 보았을 때(Table 4), 500($p=0.042$), 1000($p=0.033$), 6000($p<0.001$), 8000($p<0.001$) Hz에서 청력역치의 차이를 보였으며 차이를 보인 주파수에서는 모두 헤드폰 환경에서 더 큰 역치가 관찰되었다.

3. 소음 환경 하 어음인지력

1) 어음청취역치

배경소음이 없고 청력보호구를 착용하지 않은 경우 난청군의 어음청취역치는 29.8 ± 9.3 dBHL로 대조군 17.1 ± 4.0 dBHL 보다 유의하게 높았다($p<0.001$)(Table 5). 청력보호구를 착용하였을 때 난청군의 어음청취역치는 49.3 ± 10.1 dBHL로 대조군 43.4 ± 6.2 dBHL과 유의한 차이가 있었으나($p=0.002$) 착용 전에 비해 양 군간 차이가 크지 않았다. 착용 전후차이는 대조군이 26.3 ± 4.9 dBHL로 난청군 19.5 ± 9.5 dBHL 보다 유의하게 더 높았다($p<0.001$). 백색소음 환경에서 착용 전 난청군의 어음청취역치는 49.3 ± 4.6 dBHL, 대조군 47.4 ± 6.8 dBHL로 유의한 차이가 없었으나

($p=0.148$), 착용 후에는 난청군 56.7 ± 7.8 dBHL, 대조군 52.3 ± 4.8 dBHL로 난청군이 유의하게 높았다($p=0.002$). 작업장소음 환경에서 착용 전 어음청취역치는 난청군 47.6 ± 5.3 dBHL, 대조군 45.6 ± 5.1 dBHL로 유의한 차이가 없었고($p=0.096$) 착용 후에는 난청군 55.0 ± 7.2 dBHL, 대조군 55.0 ± 5.1 dBHL로 난청군에서 유의하게 높았다($p<0.001$). 착용 전후 차이는 백색소음 환경에서 난청군 7.4 ± 7.0 dBHL, 대조군 4.9 ± 4.2 dBHL($p=0.041$) 작업장소음 환경에서 난청군 7.4 ± 6.7 dBHL, 대조군 4.4 ± 3.2 dBHL($p=0.008$)로 유의한 차이가 있었다.

2) 어음명료도

청력보호구 착용 전후의 어음명료도 변화 정도는 조용한 환경, 백색소음 환경, 작업장소음 환경 모두 대조군보다 난청군에서 착용 후 어음명료도 감소폭이 유의하게 더 컸다(Table 6). 대조군과 난청군 모두 검사어음을 75 dBA로 제시하였을 경우가 65 dBA로 제시하였을 경우보다 어음명료도 감소폭이 적었다.

난청군에서 일반선형모형을 이용하여 연령 및 이명유무를 보정한 후 착용 전후 어음명료도 차이를 배경소음별로 비교한 결과(Table 7), 검사 어음을 65 dBA로 제시하였을 경우 착용 전후의 어음명료도 차이는 백색소음이 가장 높았고 다음으로 조용한 환경, 작업장소음 순이었으나 각 배경소음 간 유의한 차이는 없었다. 그러나 검사 어음을 75 dBA로 제시하였을 경우에는 조용한 환경과 작업장소음 간에는 차이가 없었으나 백색소음과 조용한 환경 간($p=0.029$), 백색소음과 작업장소음 간($p=0.015$)에는 유의한 차이를 보였고 백색소음에서 다른 소음보다 더 큰 어음명료도 감소를 보였다.

고 찰

소음노출작업 근로자에서 소음성 난청의 예방책에는 공학적 관리, 행정적 관리 및 개인 보호구 착용 등이 있다¹⁾.

Table 4. Comparisons of PTA* thresholds between each test environment

| Frequency (Hz) | Headphone | Free field | Differences | p-value* |
|----------------|------------|------------|-------------|----------|
| 250 | 20.5(9.9) | 20.0(9.0) | 0.5 | 0.465 |
| 500 | 23.0(9.6) | 21.3(9.7) | 1.7 | 0.042 |
| 1000 | 23.9(8.6) | 22.4(7.9) | 1.5 | 0.033 |
| 2000 | 32.1(7.5) | 30.4(9.0) | 1.7 | 0.100 |
| 3000 | 34.4(8.6) | 35.8(10.1) | -1.4 | 0.109 |
| 4000 | 34.8(9.2) | 35.0(11.0) | -0.2 | 0.792 |
| 6000 | 38.5(12.3) | 33.8(11.4) | 4.7 | <0.001 |
| 8000 | 36.7(13.6) | 32.4(12.8) | 4.3 | <0.001 |

* PTA: pure tone audiometry, †: calculated by paired t-test.

Table 5. SRT* and differences between before and after wearing hearing protective devices of each group

| Background noise | unit: dBHL, Mean (SD) | | | | | |
|------------------|-----------------------|------------------------|----------|----------------------|------------------------|----------|
| | Unprotected | | | Protected | | |
| | Normal hearing group | Impaired hearing group | p-value† | Normal hearing group | Impaired hearing group | p-value† |
| Quiet | 17.1(4.0) | 29.8(9.3) | <0.001 | 43.4(6.2) | 49.3(10.1) | 0.002 |
| White | 47.4(6.8) | 49.3(4.6) | 0.148 | 52.3(4.8) | 56.7(7.8) | 0.002 |
| Workplace | 45.6(5.1) | 47.6(5.3) | 0.096 | 50.0(5.1) | 55.0(7.2) | <0.001 |
| | | | | Differences | | |
| | | | | Normal hearing group | Impaired hearing group | p-value† |
| | | | | 26.3(4.9) | 19.5(9.5) | <0.001 |
| | | | | 4.9(4.2) | 7.4(7.0) | 0.041 |
| | | | | 4.4(3.2) | 7.4(6.7) | 0.008 |

* SRT: speech reception threshold, †: calculated by Student t-test.

그러나 경제적, 현실적 문제들로 인해 청력 보호구 지급 및 착용만을 근로자 청력 보호를 위한 대책으로 시행하는 사업장이 대다수인 것으로 생각되며, 현실적으로 이의 올바른 착용은 소음 노출 근로자의 청력 악화를 방지하기 위한 유일한 대안이라 할 수 있다. 하지만 단순히 청력 보호구를 지급하고 착용을 지시한다고 해서 근로자가 이를 올바르게 사용하는 데는 한계가 있다. 근무 시간 중 항상 착용하는 것이 아니라 간헐적으로 착용한다면 청력 보호구 효과를 급감시킬 수 있으며²²⁾ 8시간 동안 지속적으로 착용한다면 이론상 30 dB의 차음효과를 가지는 청력보호구를 8시간 작업 중에 누적 30분 동안 착용하지 않는다면 단지 15 dB의 차음효과 밖에 가지지 못한다¹⁾. 본 연구에서 동료와의 의사소통 장애가 근무시간 동안 청력보호구를 지속적으로 착용하지 않게 되는 이유 중 가장 중요한 원인이었으며 이는 국외 근로자를 대상으로 한 연구^{2,3)}와 부합되는 결과이다. 따라서 국내 근로자에 대해서도 청력보호구 착용 시 어음인지력이 올바른 착용 순응도를 이끌어 내는데 중요한 요인임을 다시금 확인할 수 있었다.

일반적으로 청력보호구의 차음도는 2000 Hz 이하 주파수에서는 20~40 dB, 그 이상의 주파수에서는 30~45 dB의 범위를 보이며, 대부분의 청력보호구는 저주파수 음역보다 고주파수 음역에서 더 큰 차음도를 보인다²³⁾. 본 연구 결과에서 청력보호구 착용 전후의 주파수별 역치 차이 역시 헤드폰 환경 및 자유 음장 환경 모두 저주파수 음역보다 고주파수 음역에서 차음 정도가 크게 나타났으며, 대조군에서 고주파수 음역 차음 정도가 더 큰 것으로 나타났다. 이러한 차이는 청력보호구의 차음 효과가 고주파수 음역에서 더 크며, 이는 주파수에 따른 청력보호구의 차음 특성 상 이미 고주파수 음역에서 청력저하가 상당히 있었던 난청군 보다는 상대적으로 고주파수 음역 청력역치가 높지 않은 대조군에서 상대적인 차음 정도가 더 크기 때문일 것으로 생각된다.

Abel 등^{11,12)}은 청력저하의 정도를 정상, 고주파수 난청, 전주파수 난청의 세 군으로 구분하여 소음 환경의 각 군에서 연령 및 신호 대 소음비, 배경소음 스펙트럼, 언어 유창성 등의 조건에 따른 어음인지력 차이를 조사하였다. 그 결과 청력보호구 착용 시 어음인지에 영향을 주는 요인으로 청력상태, 배경소음 존재 유무 및 종류, 언어 유창성 등이 유의하였고, 연령은 유의한 영향을 미치지 않았다. 특히 백색소음 및 균중소음 환경에서 청력보호구 착용은 정상군에서는 아무런 영향이 없으나 청력 저하에서는 상당한 어음인지력의 저하를 야기한다고 하였다. 또한 백색소음보다 균중소음 환경에서 어음인지력의 저하가 더 두드러져 배경소음의 종류에 따라서도 어음인지력 저하 정도의 차이가 있음을 밝혔다.

본 연구의 목적은 배경소음이 존재하는 환경에서 청력 보호구 착용으로 인한 어음인식력의 저하가 실제 작업장 소음에서도 대조군과 난청군 간에 차이가 있는지와 백색 소음과 작업장소음의 결과를 비교함으로써 소음 특성에 따른 어음인지 차이를 파악하는 것이었다. 이를 위해 한 조선사업장 내의 실제 기계 소음을 녹음한 작업장소음과 백색소음 및 조용한 환경에서 어음인식력검사를 시행하였다. 그 결과 어음을 50% 인지할 수 있는 최소 역치인 어음청취역치는 주변 소음이 없을 경우 대조군에서 더 증가 되는 폭이 컸지만, 배경소음에서는 모두 난청군이 더 크게 증가되었다(Table 5). 조용한 환경에서 대조군의 어음청취역치 변화 폭이 더 컸지만 이는 청력보호구의 차음 효과가 난청군보다 더 크게 나타났기보다는 기저 청력역치가 더 낮기 때문으로 생각된다. 차폐음을 제시한 환경에서는 보호구를 착용하지 않은 경우, 대조군의 기저 어음청취역치가 난청군과 통계적으로 유의한 차이가 없었으나 청력보호구 착용 후 어음청취역치는 난청군에서 대조군보다 모두 유의하게 높았으며(p<0.005), 착용 전 후의 어음청취역치 차이도 유의하게 난청군에서 높았다(백색소음, 작업장소음 각각 p=0.041, 0.008). 즉 청력보호구

착용 시 배경소음의 차폐효과로 인해 대조군에서보다 난청군에서 인지할 수 있는 어음의 최소 역치가 더 크게 증가하였다. 이는 백색소음 및 작업장소음 모두 관찰되었으며 배경소음 간에 역치 변화 차이는 없어 어음청취역치의 증가에는 배경소음의 종류가 영향을 미치지 않는 것으로 생각된다.

어음을 청취하기 위해 필요한 음 크기를 어음청취역치라 하면 어음명료도는 청취한 어음을 정확히 인식할 수 있는 비율이라 할 수 있다. Kuzniarz¹⁰⁾는 30명의 소음성 난청자(25~40세)와 동일한 수의 정상 청력자(20~30세)를 비교한 연구에서 정상 청력자에서는 어음인지에 방해가 되지 않는 상황(신호 대 소음비 +10 및 +5 dB)에서 소음성 난청자는 어음을 정확히 이해할 수 있는 능력에 명확한 장애를 보인다고 하였다. 본 연구에서도 어음명료도는 모든 검사 환경(배경소음종류, 어음제시 크기)에서 대조군과 난청군 간 결과의 확연한 차이를 관찰할 수 있었으며, 난청군에서는 모든 검사환경에서 어음을 65 dBA로 제시하였을 때보다 75 dBA로 제시하였을 때 더 큰 어음명료도를 보였다(Table 6).

Kryter⁴⁾는 정상청력자를 대상으로 소음 환경에서 청력

Table 6. SDS* and its differences between before and after wearing hearing protective devices of each group

unit: %, Mean (SD)

| Background noise | Presented sound level 65 dB (S/N [‡] =-5) | | | | | | | | |
|------------------|--|------------|----------------------|-----------|------------|----------------------|-----------|------------|----------------------|
| | Quiet | | p-value [†] | White | | p-value [†] | Workplace | | p-value [†] |
| | Normal | Impaired | | Normal | Impaired | | Normal | Impaired | |
| Unprotected | 99.9(0.7) | 92.1(10.7) | <0.001 | 98.5(2.6) | 87.2(13.2) | <0.001 | 98.6(2.6) | 88.6(11.9) | <0.001 |
| Protected | 96.1(4.2) | 68.4(28.6) | <0.001 | 93.4(6.1) | 62.4(30.5) | <0.001 | 94.1(6.3) | 66.5(28.7) | <0.001 |
| Differences | 3.8(4.3) | 23.7(23.0) | <0.001 | 5.1(6.4) | 24.8(23.8) | <0.001 | 4.5(5.9) | 22.1(22.0) | <0.001 |
| Background noise | Presented sound level 75 dB (S/N [‡] =+5) | | | | | | | | |
| | Quiet | | p-value [†] | White | | p-value [†] | Workplace | | p-value [†] |
| | Normal | Impaired | | Normal | Impaired | | Normal | Impaired | |
| Unprotected | 100.0(0.0) | 95.1(8.0) | <0.001 | 99.9(0.7) | 93.4(9.7) | <0.001 | 99.6(1.2) | 93.6(8.9) | <0.001 |
| Protected | 99.6(1.6) | 81.7(19.4) | <0.001 | 99.1(2.0) | 77.4(23.4) | <0.001 | 99.0(2.5) | 79.9(22.1) | <0.001 |
| Differences | 0.4(1.6) | 13.4(15.4) | <0.001 | 0.8(1.9) | 16.0(16.9) | <0.001 | 0.6(2.8) | 13.7(17.7) | 0.014 |

* SDS: speech discrimination score, †: calculated by Student t-test, ‡ S/N: signal to noise ratio.

Table 7. Pair-wise comparisons of the estimated marginal means for SDS* between each background noise of impaired hearing group

| Background noise | Mean differences (95% CI) | | |
|------------------|------------------------------------|-----------------------------------|----------------------------------|
| | Quiet vs. White | Quiet vs. Workplace | White vs. Workplace |
| 65 dBA | -1.080 (-4.506, 2.346) p=1.000 | 1.640 (-0.799, 4.079) p=0.305 | 2.720 (-0.602, 6.042) p=0.143 |
| 75 dBA | -2.600 (-4.995, -0.205) p=0.029 | -0.280 (-2.607, 2.047) p=1.000 | 2.320 (0.359, 4.281) p=0.015 |

* SDS: speech discrimination score.

보호구 착용유무에 따른 단음절어인지에 관해 연구한 결과 주변소음이 80 dB 이하인 경우 청력보호구 착용으로 인해 단음절어인지가 저하되지만, 그 이상의 배경소음 환경일 경우 청력보호구 미착용 시보다 착용 시 단음절어인지 점수가 더 높았다고 보고하였다. 이와 유사한 연구로 Pollack⁷⁾은 대조군을 대상으로 소음 환경에서 두 종류의 청력보호구 착용 및 미착용 시 어음인지력을 비교하였다. 연구 결과 두 종류의 청력보호구 모두 100~110 dB 이하의 소음 수준에서는 청력보호구 착용으로 인한 어음인지력의 차이는 없었으며 이보다 높은 소음 수준에서는 청력보호구 착용이 오히려 어음인지력에 이득이 있음을 관찰하였다. 본 연구의 대조군 어음청력검사 결과에서 청력보호구 착용으로 인한 어음인지력 향상은 보이지 않았다. 이는 기존 연구에서는 80 dB 이상의 배경 소음을 사용하였으나 본 연구에서는 70 dB의 배경소음을 사용하였기 때문으로 생각된다.

Webster⁹⁾에 따르면 젊은 정상 청력자와는 달리 고주파수 감각신경성난청 비행사에서는 청력보호구를 착용하였을 때 100 dB을 초과하는 소음에서는 발음된 숫자를 구별하지 못함이 관찰되었으며 이는 미착용 시에는 소음에 의해서 차폐되지 않았던 어음 주파수가 착용 시 차폐되기 때문일 것이라 추정하였고 청력 저하자가 보호구를 착용한다면 고도 소음에서 대조군에서와 같은 어음인지의 증가 현상은 없을 것이라 결론 내렸다.

본 연구에서 난청군만을 대상으로 어음제시 강도 및 배경소음별 착용 전후 어음명료도 차이를 연령과 이명 유무를 보정한 후 비교하였을 때 어음을 65 dBA로 제시한 경우 어음명료도 차이가 배경소음별로 다르지 않았으나, 75 dBA로 제시하였을 때는 백색소음에서 착용 전후 어음명료도 감소폭이 가장 크게 나타났고, 조용한 환경과 작업장소음 간에는 어음명료도 감소폭의 유의한 차이가 없었다. 즉 백색소음에서 청력보호구를 착용함으로써 인해 저하되는 어음인지력이 다른 두 소음 환경보다 더 컸으며 특이할만한 점은 조용한 환경에서 저하되는 어음인지력과 작업장 환경에서 저하되는 어음인지력 정도가 유사하였다.

Lindeman²⁴⁾ 등은 배경소음 환경에서 난청자의 청력보호구 착용으로 어음인지력 저하가 야기되는 요인을 두 가지로 제시하였다. 첫째, 청력보호구 착용으로 이관으로 들어오는 신호음 강도가 낮아지면 특히 고주파수 영역인 자음을 구별하는데 어려움을 겪게 되어 고주파수 난청을 가진 소음성 난청자에서 청력보호구 착용이 어음인지력을 더 감소시키게 된다. 둘째, 청력보호구를 착용한 근로자는 이관으로 들어오는 소음이 감소되므로, 주변 소음이 크면 말소리 크기를 올리게 되는 소위 Lombard 이론²⁵⁾이 적용되지 않아 소음 환경에서도 근로자들이 자신의 발음을 더 크고 명확하게 하지 않는 것이 어음인지력에 영

향을 미치는 한 요인이라고 하였다. 이러한 요인들은 본 연구 결과에도 동일하게 적용될 수 있다. 청력보호구 착용 전후의 순음청력역치 차이, 즉 차음도는 대조군과 난청군 모두 고주파수에서 더 크게 나타났으며 따라서 고주파수 청력역치가 상대적으로 더 크게 저하되어 있는 난청군에서는 청력보호구와 배경소음의 차폐효과가 더 해져 고주파수 영역의 어음인지에 더 어려움을 겪었을 것이라 추정할 수 있다. 어음을 65 dBA로 제시하였을 때보다 75 dBA로 제시하였을 때 어음명료도가 더 향상된 결과는 소음에 비해 어음의 강도(신호 대 소음비)가 높을수록 어음인지력이 좋아지는 것을 의미한다. 특히 작업장소음에서는 75 dBA로 검사어음을 제시하였을 때 조용한 환경에서 어음인지력 정도와 유사한 결과를 보여 신호 대 소음비가 커진다면 작업장소음 환경에서 청력보호구를 착용하더라도 소음이 없는 환경과 유사한 어음인지력을 보 이게 될 것이라고 추정할 수 있다. 따라서 작업장에서 청력보호구 착용 시 어음인지에 장애를 보이는 근로자는 신호 대 소음비가 어음인지력에 미치는 영향을 인식시키고, 현장에서 대화시 발음을 자신이 인지하는 것보다 더 크고 명확하게 해야 할 필요성을 주지시키는 것이 도움이 될 것으로 생각된다.

본 연구는 몇 가지 제한점이 있다. 첫째, 일련의 검사 과정에서 청력보호구 착용 유무 및 배경소음 순서 등을 무작위로 제시하는 것이 실험 오차 및 치우침을 더 감소시킬 수 있는 방법이나 실제 검사 시 검사 시간 및 피검자의 피로도를 고려해 가능한 검사시간을 단축시킬 수 있는 방향으로 검사를 시행하였다. 두번째, 현행 법규 상 청력보호구는 8시간 가중치 85 dBA 이상 소음에 노출되는 근로자에게 지급되도록 되어 있으며 그 이하 소음에 노출되는 경우에는 청력보호구를 착용하지 않는 경우가 대부분이다. 하지만 본 연구는 피검자의 청력보호를 위해 배경소음을 실제 청력보호구를 착용하게 되는 상황보다 낮은 70 dBA로 제시하였으며 이는 검사 결과를 해석하는데 주의를 요한다. 하지만 본 연구 결과와 85 dBA 이상 배경소음을 사용하였던 기존 연구결과 간에는 난청군의 어음인지력 저하에 관한 결론적 차이는 없었다. 세 번째로 본 연구에서 실제 작업장 상황을 재현하기 위해 사용한 소음은 조선업종의 도장 업무 중 스프레이 소음과 주변소음이 혼합된 실제 현장 소음을 이용하였으므로 본 연구의 결과를 모든 작업장을 대상으로 일반화하기는 어렵다. 마지막으로 본 연구에서 백색소음과 작업장소음 간의 어음인지 저하 정도의 차이가 있는 점은 관찰할 수 있었으나 이러한 차이를 일으키는 구체적인 이유를 제시할 수는 없었다. 결과에서 제시하지는 않았으나 본 연구에서 사용하였던 배경소음에 대한 주파수 분석(octave analysis)결과 백색소음보다 작업장소음이 저주파수 음역에서

의 음압수준은 낮았으나 고주파수 음역에서의 음압수준은 더 높은 특성을 보였다. 이러한 소음의 주파수 특성이 실제 어음인지 저하에 미치는 영향과 그 기전은 고려하지 못하였으며 이는 향후 추가적인 연구 필요성이 있는 부분으로 생각된다.

요 약

목적: 근로자 청력 보호를 위해 소음에 노출되는 환경에서 청력보호구를 항상 일관되게 착용하는 것이 중요하나 청력보호구 착용 시 어음인지 저하로 인해 착용 순응도가 저하될 수 있다. 본 연구는 작업장소음에서 청력보호구 착용 시 어음인지력 저하 정도와 배경소음 종류별 어음인지력 저하 정도의 차이를 파악하고 근로자 청력보호와 의사소통의 대책 마련을 위한 기초자료 제시를 위해 시행되었다.

방법: 울산 소재 모 조선업체 근로자와 정상 청력자원자 중 82명을 대조군과 난청군으로 구분하여 헤드폰 환경 및 자유 음장 환경에서 순음청력검사와 검사환경(배경소음의 종류, 신호 대 소음비)을 달리한 상태에서의 어음청력검사를 실시하여 검사 결과를 비교 분석하였다.

결과: 청력보호구 차음도는 대조군, 난청군 모두 고주파수 음역에서 크고 이러한 청력보호구 차음 특성이 고주파수 청력저하가 있는 난청군에서 어음인지력 저하가 더 크게 나타나는 요인 중 하나이다. 난청군에서 청력보호구 착용 전후 어음명료도 차이는 어음 자극을 65 dBA(신호 대 소음비 -5 dBA)로 제시하였을 때 배경소음 간 차이가 없었으나, 75 dBA(신호 대 소음비 +5 dBA)로 제시하였을 때는 백색소음에서 가장 어음인지력 저하가 크게 나타났으며, 작업장소음과 조용한 환경 간에는 어음인지력 저하의 차이가 유의하지 않았다.

결론: 소음 작업환경에서 청력보호구를 착용하였을 때 어음인지력은 배경소음 종류에 따라서 차이가 있으며 청력이상인 경우 어음인지력은 더욱 저하되는 것으로 판단된다. 따라서 근로자 청력보호와 원활한 의사소통을 위해서는 현장소음의 특성파악, 청력보호구 착용 시 적절한 신호 대 소음비 파악, 위험신호에 대한 시각적 경고 등을 고려할 필요가 있다.

참 고 문 헌

- 1) National Institute for Occupational Safety and Health (NIOSH). Criteria for a recommended standard: Occupational noise exposure revised criteria. Available: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/98-126> [cited 18 February 2010].
- 2) Morata TC, Fiorini AC, Fischer FM, Krieg EF, Gozzoli

- L, Colacioppo S. Factors affecting the use of hearing protectors in a population of printing workers. *Noise Health* 2001;4:25-32.
- 3) Helmkamp JS. Why workers do not use hearing protection? *Occ Health Saf* 1986;55:52.
- 4) Kryter KD. Effects of ear protective devices on the intelligibility of speech in noise. *J Acoust Soc Am* 1946;18:413-7.
- 5) Chung DY, Gannon RT. The effect of ear protectors on word discrimination in subject with normal hearing and subjects with noise-induced hearing loss. *J Am Aud Soc* 1979;5(1):11-6.
- 6) Howell K, Martin AM. An investigation of the effects of hearing protectors on vocal communication in noise. *J Sound Vib* 1975;41(2):181-96.
- 7) Pollack I. Speech communications at high noise levels: The roles of a noise-operated automatic gain control system and hearing protection. *J Acoust Soc Am* 1957;29:1324-7.
- 8) Abel SM, Spencer DL. Active noise reduction versus conventional hearing protection. Relative benefits for normal-hearing and impaired listeners. *Scand Audiol* 1997;26(3):155-67.
- 9) Webster JC. The effects of noise on the hearing of speech. *Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem, Yugoslavia, Environmental Protection Agency (EPA) 550/9-73-008* 1973; 25-42.
- 10) Kuzniarz JJ. Hearing loss and speech intelligibility in noise. *Proceedings of the International Congress on Noise as a Public Health Problem, Yugoslavia, EPA 550/9-73-008* 1973;57-71.
- 11) Abel SM, Alberti PW, Haythornthwaite C, Riko K. Speech intelligibility in noise: Effects of fluency and hearing protector type. *J Acoust Soc Am* 1982;71:708-15.
- 12) Abel SM, Alberti PW, Riko K. Speech intelligibility in noise with ear protectors. *J Otolaryngol* 1980;9:256-65.
- 13) Moon SK, Kim SH, Mun HA, Jung HK, Lee JH, Choung YH, Park K. The Korean hearing in noise test. *Int J Audiol* 2008;47:375-6.
- 14) Lyregaard PE. Frequency selectivity and speech intelligibility in noise. *Scand Audiol Suppl* 1982;15:113-22.
- 15) Nilsson M, Soli SD, Sullivan JA. Development of the hearing in noise test for the measurement of speech reception thresholds in quiet and in noise. *J Acoust Soc Am* 1994;95:1085-99.
- 16) Lee SH, Shim HJ, Yoon SW, Lee KW. Effects of various background noise on speech intelligibility of normal hearing subjects. *Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg* 2009;52(4):307-11. (Korean)
- 17) Hahm TY. Korean word list for speech audiometry and results of articulation test. *Journal of Catholic Medical College* 1962;6:31-6. (Korean)
- 18) Hahm TY. Complementary study on construction of Korean word lists for speech audiometry. *Journal of Inje Medical College* 1986;7:1-19. (Korean)

- 19) Korean Audiological Society. Practical manual of hearing tests. Hakjisa. Seoul. 2008. pp 107-8. (Korean)
- 20) American National Standards Institute (ANSI). Maximum permissible ambient noise levels for audiometric test rooms. ANSI S3.1-1999. New York. 1999.
- 21) Korea Occupational Safety and Health Agency (KOSHA). Standards for Pure Tone Audiometric Testing KOSHA Code h-13-2006(translated by Park HO). KOSHA. Incheon. 2006. (Korean)
- 22) Franks JR, Stephenson MR, Merry CJ. Preventing occupational hearing loss-a practical guide. Available: <http://www.cdc.gov/niosh/docs/96-110> [cited 18 February 2010].
- 23) Berger EH. Hearing Protection Devices. In: Berger EH (eds) The noise manual. 5th ed. American Industrial Hygiene Association United States of America. Indianapolis. 2000. pp 419-20.
- 24) Lindeman HE. Speech intelligibility and the use of hearing protectors. *Audiology* 1976;15:348-56.
- 25) Junqua JC. The Lombard reflex and its role on human listeners and automatic speech recognizers. *J Acoust Soc Am* 1993;93(1):510-24.