한국소음진동공학회논문집 제 20 권 제 10 호, pp. 891~899, 2010.

DOI : 10.5050/KSNVE.2010.20.10.899

방음 보호구 종류별 소음저감 효과에 대한 주관적 반응

Subjective Responses to the Anti-noise Effect According to Different Types of Soundproof-protector

김 대 군*·김 재 수†

Dae-Goon Kim and Jae-Soo Kim

(2010년 6월 1일 접수 ; 2010년 10월 4일 심사완료)

Key Words : Loud Noise(고소음), Soundproof Protector(방음 보호구), Earplugs(귀마개), Psycho-acoustics Experiment (청감실험)

ABSTRACT

Since the working machine generates an excessive loud noise as much as its use-purpose and dimension, those damages are occurring to the exposed workers such as unpleasant sense, stress and occupational hearing-impaired. Accordingly, as one of the measures for prevention such loud noise, various soundproof protection tools were developed. However, such soundproof protection tools were presented the physical measured value only, it is real state that the psychological study result with regard to the soundproof effect which the workers are actually feeling, is not existing. On such point of view, with the object on the typical earplugs and earcaps among the soundproof protection tools, this study has ever tried a subjective evaluation about the degree of soundproof effect through Psycho-acoustics experiment. It is considering that such study result could be utilized as the useful material when establishing the soundproof measure for the workers in the future.

1. 서 론

산업이 발달함에 따라 작업장 내 다양한 작업 기계들이 사용되어 업무의 편의와 생산의 증대를 제공하였다. 근래에는 무인 작업 기계들이 상당수 도입되어 그 편리성이 증대되었지만 기계가 하지못하는 단순 가공, 조림, 점검 등 여전히 작업자들만이 할 수 있는 부분이 존재하고 있다. 이러한 작업장 내의 작업자들은 불쾌감과 스트레스, 직업성 난청 등의 심각한 위험을 안고 작업 기계를 작동시키며 작업 기계의 고소음에 대한 차음 및 방음 대책 없이 지속적으로 고소음에 노출되어 있어 그 피해가 발생[11,12]되고 있다. 그 예로 직업성 사고에 의한 상해나 업무상 질병에 대해 요양과 보상을 하고 있는 산업재해보상법에 따르면 소음성난청에 의한 직업병자는 매년 10~20 %에 이르는 것으로 나타났다. 따라서 고소음 작업 기계로 인한 피해를 방지하기 위한 대책 중 하나로 다양한 방음 보호구가 개발되고 있으나 이러한 방음 보호구는 물리적 측정치만 제시 되었을 뿐 작업자들이 실제로 느끼는 소음 저감 효과에 대한 주관적인 반응에 관한 연구는 이루어지지 않고 있는 실정이다. 이러한 관점에서 이 연구에서는 작업자들의 방음 보호구에 대한 주관적 반응을 파악하기 위해 방음 보호구 중 대표적인 귀마개와 귀덮개를 대상으로 31개의 고소음 작업 기계의 소음 특성을 파악해 보았으며, 방음 보호구의 주관적 반응을 평가하기 위한 평가 어휘를 설문조사를 통해 추출하였다. 이렇게 추출된 평가 어휘로 청감실험을

† 교신저자; 정회원, 원광대학교 건축공학과
E-mail : soundpro@wku.ac.kr
Tel : (063)857-6712, Fax : (063)843-0782
* 정회원, 원광대학교 건축공학과

실시하여 고소음 작업 기계의 소음에 대해 방음 보호구의 착용 형태별로 어느 정도 소음 저감 효과가 있는지 주관적인 반응을 평가해 보았다.

2. 고소음 작업 기계와 방음 보호구의 특성

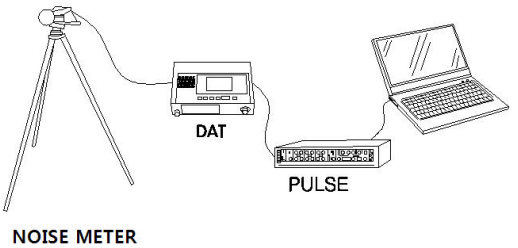
2.1 고소음 작업 기계의 측정 및 특성

(1) 고소음 작업 기계의 측정 방법

고소음 작업 기계로부터 발생되는 소음을 측정[9]하기 위하여 작업 기계를 정상적으로 가동한 상태에서 노동부 고시 제 2005-1-49(작업환경측정 및 정도관리규정, 전문개정 2005. 12. 30)에 제26조 측정방법에 의거하여 측정[1]하였으며, 측정시 소음계의 위치는 지면으로부터 1.2 m의 높이에 삼각대로 고정하여 설치하였고, 작업장 내에 설치되어있는 고소음 작업 기계로부터 소음계를 통해 들어오는 신호를 DAT(digital audio tape recorder)로 현장에서 녹음[2]하였다. 녹음시 calibrator를 사용하여 주파수 분석시 표준이 되는 1,000 Hz에서 94 dB을 먼저 DAT에 녹음한 후, 녹음된 신호를 실험실에서 B&K사의 pulse multi analyzer system을 이용하여 분석하였다. 고소음 작업 기계의 제원은 Table 1과 같으며, 측정기기 구성 및 측정 모습은 Fig. 1과 같다.

이 연구에서 각 기계소음의 특성을 분석하기 위하여 사용된 주파수범위는 20 Hz~8 kHz까지의 1/3 옥타브밴드로 10초간 3회 측정한 평균값을 이용하

(a) Measuring scene



(b) Composition of Measuring Apparatus

Fig. 1 Measuring scene and composition of measuring apparatus

Table 1 Specification of measuring object loud noise working machine

Number	Working machine	Dimension	dB(A)	Number	Working machine	Dimension	dB(A)
1	Small-type drill	0.11 kW	66.0	17	Circular electric router	0.3 kW	83.7
2	Disk sander	0.1 kW	67.5	18	Gloss grinder	0.2 kW	85.7
3	Common lathe	11 kW	71.5	19	Polishing duplex grinder	0.4 kW	88.2
4	Table middle-sized revolving saw	0.4 kW	71.9	20	Stone grinder	39 kW	91.5
5	Middle-sized revolving saw	0.2 kW	72.3	21	Table chain-saw	1.3 kW	91.7
6	CNC lathe	22 kW	72.5	22	Vertical cutting chain-saw	1.7 kW	92.0
7	Facet grinder	0.2 kW	74.4	23	Small-sized revolving saw	0.08 kW	94.4
8	Jewelry grinder	0.2 kW	74.4	24	Gypsum mill	0.5 kW	94.5
9	Table SCSI saw	1.0 kW	76.3	25	Talc material	60 kW	97.4
10	Table vertical band saw machine	0.2 kW	77.2	26	Automatic plane	1.3 kW	97.6
11	Gemstone shearing machine	0.75 kW	77.9	27	Machine electric plane	0.5 kW	98.6
12	Rock cutter	0.35 kW	79.2	28	Stone burner machine	1 kW	98.7
13	Vertical milling	3.7 kW	81.1	29	Chainsaw wood	1.5 kW	99.0
14	Steel processing saw	2.5 kW	81.2	30	Stone cutter	22 kW	104.8
15	Fine jewelry grinder	0.45 kW	82.3	31	Stone cross-cutter	85 kW	105.6
16	Air dust collector	1.0 kW	83.6				

였으며, 동시에 전 대역 음압레벨도 dB(A)값으로 측정·분석하였다.

(2) 고소음 작업 기계의 특성

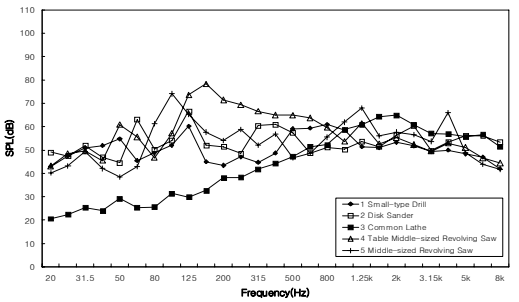
고소음 작업 기계의 소음특성은 사용 목적 및 제원에 따라 큰 영향[7,8,10]을 받는다. 31개 고소음 작업 기계의 주파수별 소음 특성을 20 Hz~8 kHz까지의 주파수별로 나누어 분석한 결과는 Fig. 2와 같다.

Fig. 2를 보면 주로 석재가공을 위해 쓰이는 석재 연마기, 석재 버너기, 석재 재단기 등은 1 kHz 이하에서 유사한 패턴을 보이고 있으며 2 kHz부터는 음압레벨이 서서히 증가하고 있음을 알 수 있다. 또한 주로 모형을 자를 때 쓰이는 철재 가공톱이나 테이블 전기톱, 수직 절단전기톱 등은 저주파수에서 고주파수로 갈수록 서서히 증가하고 있는 형태를 나타내고 있다.

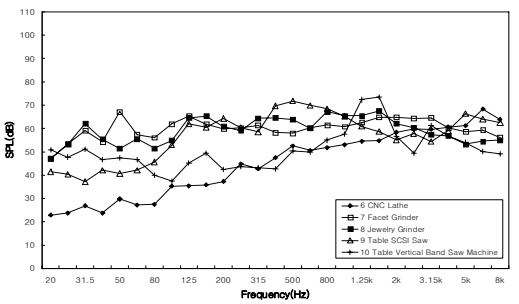
2.2 방음 보호구의 제원 및 특성

이 연구에 사용된 귀마개 및 귀덮개는 가장 많이 사용되고 있는 3M사의 1120, 1425 모델로 제원 및 착용 모습은 Table 2 및 Fig. 3과 같다.

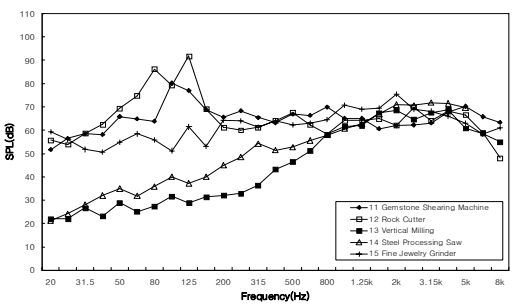
Table 2 및 Fig. 4의 소음감소율은 3M사 실험실의 표준 상태에서 측정된 값으로 실제 작업장에 비해 과대평가 되어 있으므로 현장에 적용하기에 앞서



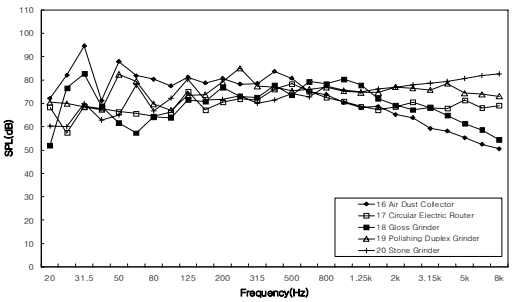
(a) Characteristics by frequencies(1~5)



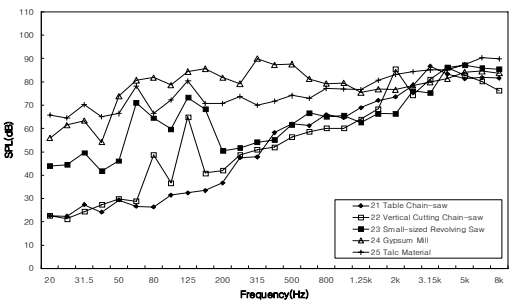
(b) Characteristics by frequencies(6~10)



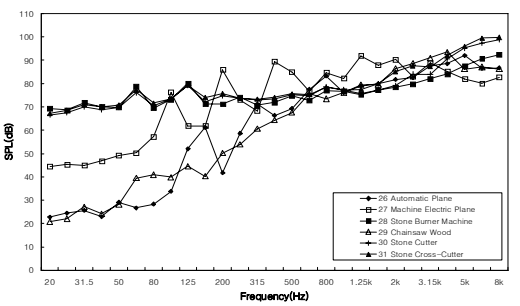
(c) Characteristics by frequencies(11~15)



(d) Characteristics by frequencies(16~20)

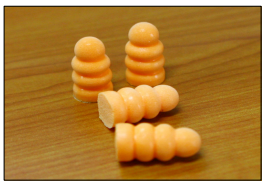


(e) Characteristics by frequencies(21~25)



(f) Characteristics by frequencies(26~31)

Fig. 2 Characteristics of loud noising working machine



(a) Earplugs(3M)

(b) Earcaps(3M)

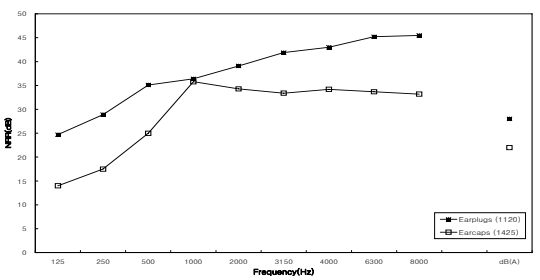
(c) Earplugs-wearing shape

(d) Earcaps-wearing shape

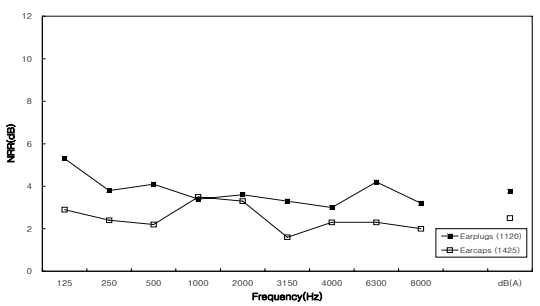
Fig. 3 Shape of Soundproof Protector

Table 2 Specification of the object soundproof protector

Classification	Dimension	
	Earplugs(1120)	Earcaps(1425)
Type	Soft foam type	Rotary cup type
Wearing method	Insert into EAC	When rotary cup pushes whole of ear
Noise reduction rate(NRR)	28 dB*	22 dB*



(a) Average of soundproof protector



(b) Standard deviation of soundproof protector

Fig. 4 Noise reduction rate of soundproof protector

제공되는 소음감소율을 제공된 차음치의 약 50 %만을 고려하여 현장에 적용시킬 것을 권고[3]하고 있다.

3. 청감 실험 방법

3.1 청감평가를 위한 평가 어휘 선정

이 연구에서는 작업 기계 소음에 대해 노출 시 피험자로 하여금 반응의 정도를 판단하기 위해 선행

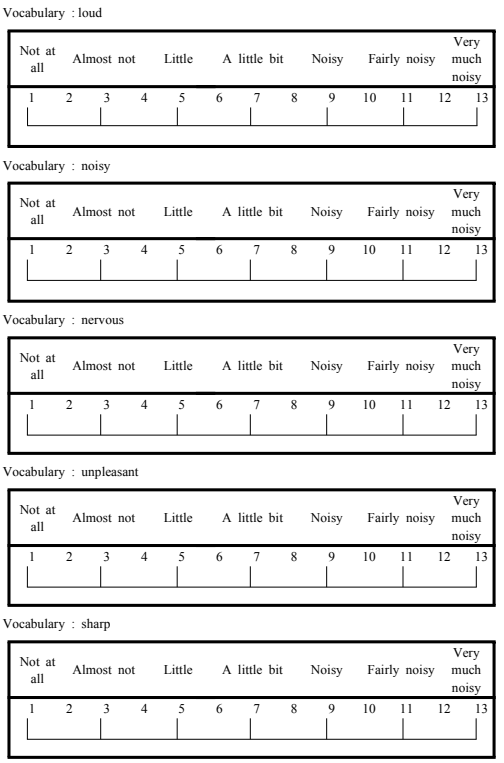


Fig. 5 Psycho-acoustic sheet

(a) Wearing earcaps

(b) Wearing earplugs

Fig. 6 Scene of psycho-acoustics experiment

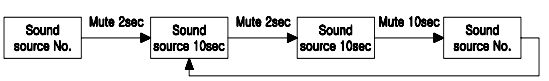


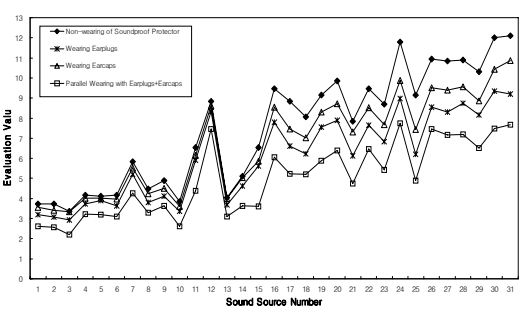
Fig. 7 Presentation process of sound source

연구 결과[4,6,8]의 어휘로 구성된 응답지(sheet)를 사용하였으며, 어휘척도에 따른 반응의 정도는 13단계 SD척도를 이용하였다. 일반적으로 평가 척도에서는 5점, 11점 척도가 많이 사용되지만 13점 척도 또한 많이 사용되고 있다[5]. 이 연구는 보다 세밀한 주관적 평가를 실시하기 위해 그 점의 수를 13점 척도로 사용하였다. 이 연구에서 사용한 응답지는 Fig. 5와 같다.

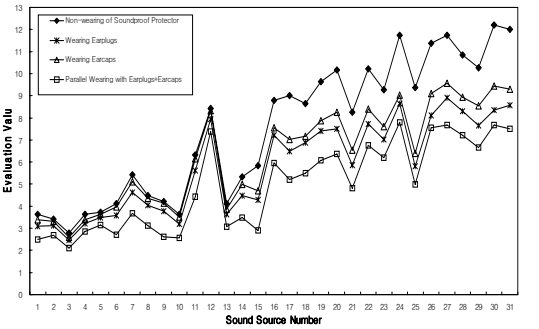
3.2 청감 평가방법 및 실험

고소음 작업 기계에 대한 방음 보호구의 주관적 반응 평가를 위한 청감 실험은 원광대학교 건축 환경 실험실 내 청감실험실에서 실시하였으며, 실험에 사용된 청감실험실은 4.3 m×3 m×3 m의 크기에 500 Hz에서 잔향시간(RT)이 0.09초, 음성명료도(D50)는 99.9 %, 음성전달지수(RASTI)는 93 %로써 무향실(anechoic chamber)과 같은 조건을 갖춘 실험실이다. 실험에 참여한 피험자는 21~34세의 정상 청력을 지닌 남자 42명(70 %)과 여자 18명(30 %)으로 대부분의 피험자가 소음에 대한 기초적인 지식이 있는 대학생 및 대학원생들을 대상으로 하였다. 또한 정확한 청감 평가를 위해 방음 보호구의 착용 요령을 숙지시키고 실험 전 평가시트를 나누어 주어 충분한 설명과 함께 반복적으로 음원을 들려준 뒤 실험에 참가 하도록 하였으며 Fig. 6은 청감 실험 모습이다.

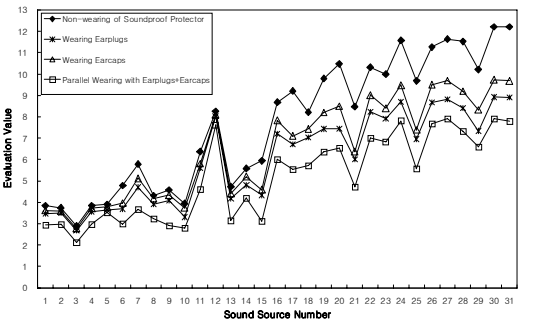
음원은 작업 기계가 위치한 작업장에서 DAT를 이용해 녹음하였으며, 음원의 제시과정은 무향실 안에 스피커를 통하여 일정한 간격을 두고 음원을 2번씩 들려주면서 평가를 진행하였다. 청감실험은 무향실에서 동시에 6명씩 진행하였으며 한 음원을 들을 때마다 귀마개, 귀덮개, 귀마개+귀덮개 순서대로 총



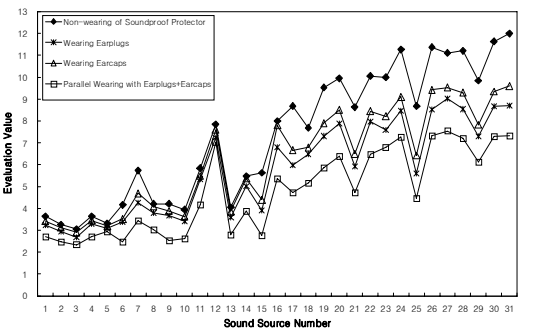
(a) Loud



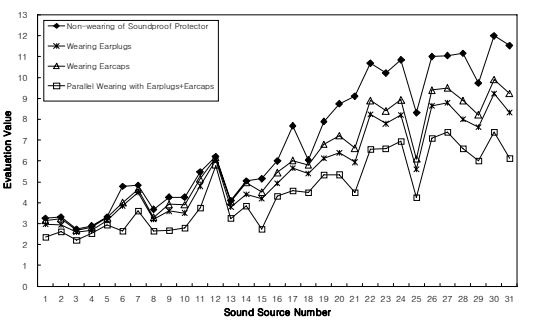
(b) Noisy



(c) Nervous



(d) Unpleasant



(e) Sharp

Fig. 8 Response by each items before - wearing·after-wearing soundproof protector of machinery noise

3번에 걸쳐 방음보호구의 방음효과를 평가하도록 하였다. 음원 제시과정은 Fig. 7과 같다.

4. 방음 보호구의 주관적 반응 평가를 위한 청감실험

4.1 방음 보호구의 착용 형태별 주관적 반응 평가

작업 기계 소음에 대한 방음 보호구의 착용 전후에 따른 각 항목별 응답 결과는 Fig. 8과 같다.

Fig. 8의 기계 소음의 방음 보호구 착용 전·후 각 항목별 응답 결과를 보면 착용 시보다 귀덮개<귀마개<귀덮개+귀마개 병행 착용의 순으로 청감상의 소음 저감 개선이 있는 것으로 평가되었으며, 상대적으로 소음레벨이 낮은 고소음 작업 기계에서 고소음의 작업기계로 갈수록 소음 저감 개선 정도가 뛰어나 높은 음압레벨을 가진 고소음 작업 기계일수록 효과적인 것으로 나타났다.

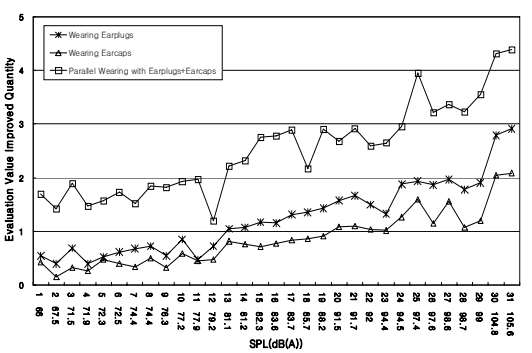
4.2 방음 보호구의 주관적 반응 평가치 개선량

방음 보호구의 착용에 따른 청감상의 개선 정도를 방음 보호구 미착용을 기준으로 파악해 보면 Fig. 9와 같다.

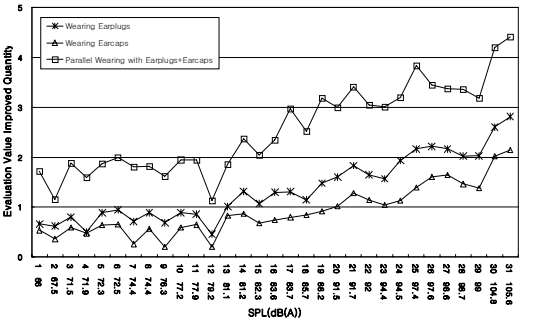
Fig. 9의 방음 보호구의 각 항목별 평가치 개선량을 보면 모든 항목에서 착용 형태와 소음레벨에 따라 1단계 미만부터 5단계 미만까지 개선되었음을 알 수 있으며, 1~5단계는 방음 보호구의 착용 전·후를 비교하였을 때 개선된 수치를 말한다.

4.3 고소음 작업 기계의 소음레벨에 따른 소음 저감 개선량

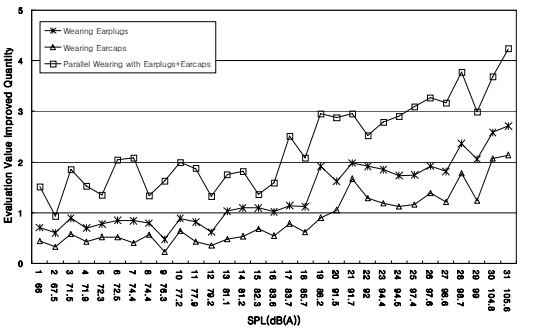
방음 보호구의 착용별 평가치 개선량을 소음레벨에



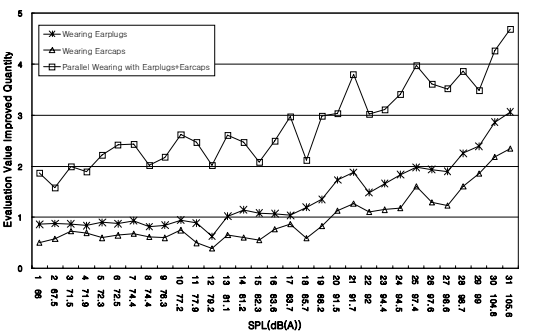
(a) Loud



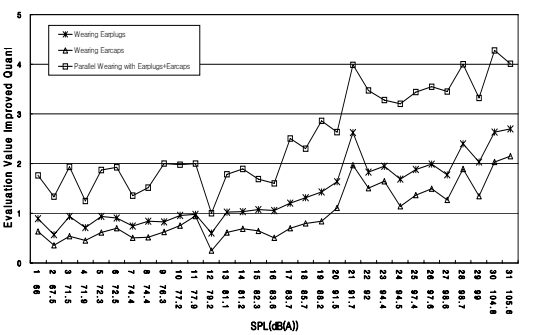
(b) Noisy



(c) Nervous



(d) Unpleasant



(e) Sharp

Fig. 9 Evaluation value improved quantity by each items of soundproof protector

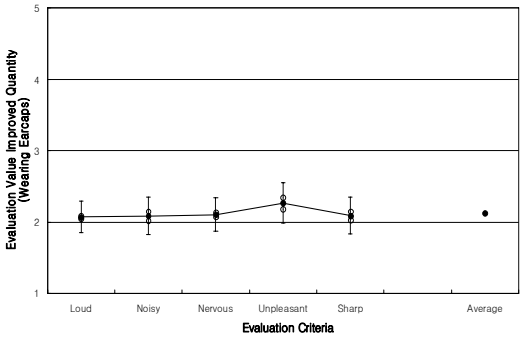
따라 분류해 보면 Table 3과 같다.

Table 3의 소음레벨에 따라 분류된 방음 보호구의 착용별 평가치 개선량을 보면 소음 저감 효과를 인지하여 어휘 변화를 느끼는 2단계 이상은 귀덮개 착용시 104.8 dB(A), 귀마개 착용시 97.4～104.8 dB(A), 귀덮개+귀마개 병행 착용시는 72.3～83.7 dB(A)부터로 나타났다. 특히 귀덮개+귀마개 병행 착용시 3단계 이상은 88.2 dB(A)부터, 4단계 이상은 104.8 dB(A) 부터로 가장 뛰어난 소음 저감 효과를 보이는 것으로 평가되었다. 이러한 결과를 바탕으로 소음 저감 효과를 보이는 2단계 이상부터 개선단계별 고소음 작업기계의 소음레벨 개선량을 방음 보호구 착용 형태에 따라 그 분포 정도를 나타내 보면 Fig. 10과 같다.

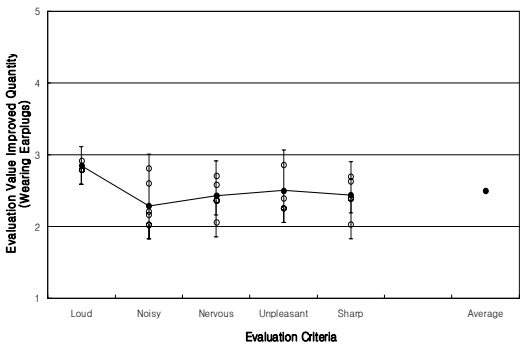
Fig. 10에서 평가치 개선량 2단계 이상부터 개선단계별 고소음 작업기계의 소음레벨 개선량을 방음 보호구 착용 형태에 따라 그 분포를 보면 2단계 이상 3단계 미만의 평가치 개선량 평균은 귀덮개 착용시 2.12, 귀마개 착용시 2.5, 귀덮개+귀마개 병행 착용시 2.58로 나타났으며, 3단계～4단계부터는

Table 3 Evaluation value improved quantity by each wearing of soundproof protectors classified according to noise level(dB(A))

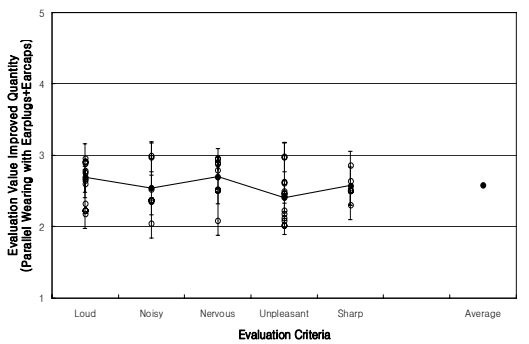
Rating vocabulary	Wearing classification	Less than first step	More than first step～less than second step	More than second step～less than third step	More than third step～less than fourth step	More than fourth step～less than fifth step
Loud	Wearing earplugs	79.2 and less	81.1～99	104.8～105.8	-	-
	Wearing earcaps	88.2 and less	91.5～99	104.8～105.8	-	-
	Parallel wearing with earplugs+earcaps	-	66～79.2	81.1～94.5	97.4～99	104.8～105.8
Noisy	Wearing earplugs	79.2 and less	81.1～94.5	97.4～105.8	-	-
	Wearing earcaps	88.2and less	91.5～99	104.8～105.8	-	-
	Parallel wearing with earplugs+earcaps	-	66～81.1	81.2～85.7	88.2～99	104.8～105.8
Nervous	Wearing earplugs	79.2and less	81.1～98.6	98.7～104.8	-	-
	Wearing earcaps	88.2 and less	91.5～99	104.8～105.8	-	-
	Parallel wearing with earplugs+earcaps	-	66～83.6	83.7～94.5	97.4～104.8	105.8
Unpleasant	Wearing earplugs	79.2 and less	81.1～98.6	98.7～104.8	105.8	-
	Wearing earcaps	88.2 and less	91.5～99	104.8～105.8	-	-
	Parallel wearing with earplugs+earcaps	-	66～71.9	72.3～88.2	88.2～99	104.8～105.8
Sharp	Wearing earplugs	79.2 and less	81.1～98.6	98.7～105.8	-	-
	Wearing earcaps	88.2 and less	91.5～99	104.8～105.8	-	-
	Parallel wearing with earplugs+earcaps	-	66～83.6	83.7～88.2	91.5～99	104.8～105.8



① Wearing earcaps

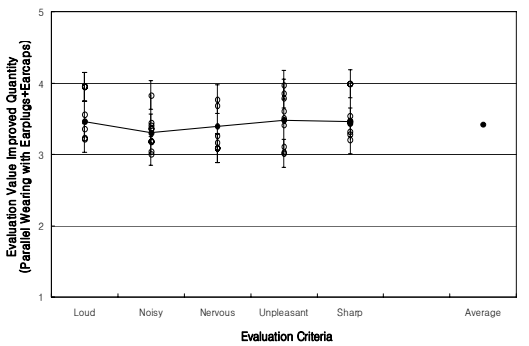


② Wearing earplugs

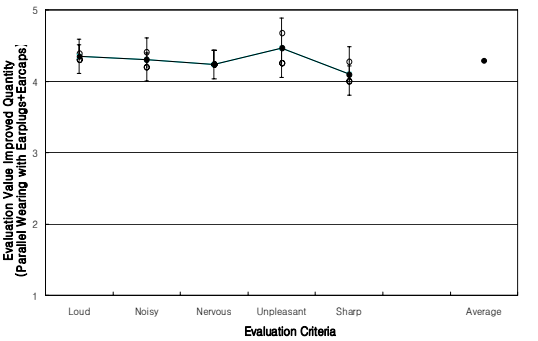


③ Parallel wearing with earplugs+earcaps

(a) More than second step～less than third step



(b) More than third step～less than fourth step (parallel wearing with earplugs+earcaps)



(c) More than fourth step～less than fifth step (parallel wearing with earplugs+earcaps)

Fig. 10 Improved quantity distribution of loud noise working machine in accordance with sound-proof protector wearing forms by improvement stages from more than second step of evaluation

귀덮개+귀마개 병행 착용시만 소음 저감 효과가 있어 그 평가치 개선량 평균을 보면 3단계 이상 4단계 미만은 3.42, 4단계 이상 5단계 미만은 4.29로 나타났다.

5. 결 론

고소음 작업장에서 방음보호구의 착용에 따른 방음 효과를 알아보기 위해 실시한 청감실험 결과는 다음과 같다.

(1) 고소음 작업 기계 소음에 대한 방음 보호구의 착용 형태별 주관적 반응 평가 결과는 방음 보호구 미착용 시보다 귀덮개＜귀마개＜귀덮개+귀마개 병행 착용의 순으로 청감상의 소음 저감 개선이 있는 것으로 평가되었으며, 상대적으로 소음레벨이 낮은 고소음 작업 기계에서 고소음의 작업기계로 갈수록 소음 저감 개선 정도가 뛰어나 높은 음압레벨을 가진 고소음 작업 기계 일수록 효과적인 것으로 나타났다.

(2) 소음 저감 효과를 인지하여 어휘 변화를 느끼는 평가치 개선량 2단계 이상은 귀덮개 착용시 104.8 dB(A), 귀마개 착용시 97.4～104.8 dB(A), 귀덮개+귀마개 병행 착용시는 72.3～83.7 dB(A)부터로 나타났다. 특히 귀덮개+귀마개 병행 착용시 3단계 이상은 88.2 dB(A)부터, 4단계 이상은 104.8

dB(A) 부터로 가장 뛰어난 소음 저감 효과를 보이는 것으로 평가되었다.

(3) 소음 저감 효과를 보이는 평가치 개선량 2단계 이상부터 개선 단계별로 고소음 작업기계의 개선량을 방음 보호구 착용 형태에 따른 그 분포 정도는 2단계 이상 3단계 미만의 평가치 개선량 평균은 귀덮개 착용시 2.12, 귀마개 착용시 2.5, 귀덮개+귀마개 병행 착용시 2.58로 나타났으며, 3단계~4단계부터는 귀덮개+귀마개 병행 착용시만 소음 저감 효과가 있어 그 평가치 개선량 평균을 보면 3단계 이상 4단계 미만은 3.42, 4단계 이상 5단계 미만은 4.29로 나타났다.

위와 같은 연구 결과는 작업 기계의 고소음으로 인한 작업자들의 방음 대책시 유용한 자료로 활용될 수 있을 것으로 사료되며 향후 추가적인 작업기계 소음의 특성을 파악해 평가해 본다면 보다 더 정확한 자료가 될 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

(1) Kim, J. S., 2008, “Noise and Vibration Study (Revision 2nd Edition),” Sejin Publishing Co.

(2) Kim, J. S., Yang, M. W., 2001, “Architectural Acoustic Design Methodology,” Seowoo Publishing Co.

(3) 3M Technical Data, 2002.

(4) Yoo, H. J., Han, K. Y., Seo, J. S., Park, J. H., Kim, J. S., 2004, “Vocabulary Research for Evaluation on Equipment Noise of Machine Room,” The Society of Air-conditioning and Refrigerating Engineers of Korea, Summer General Meeting for Academic Study.

(5) Song, M. J., Lee, J. Y., Kim, S. W., 2004, “A Study on the Proper Vocabularies for Evaluating Floor Impact Sound in Apartment Houses Considering Rating Methods”.

(6) Joo, D. H., Kook, J. H., Kim, J. S., 2007, “Typicalization of Vocabulary for Evaluation on Machinery Noise generates at Loud-noisy Workplace,” The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, General Meeting for Academic Study.

(7) Yoon, J. H., Choi, D., Kim, J. S., 2008, “A Study on Noise Characteristic Generates when Jewelry Processing,” The Korean Society for Noise and Vibration Engineering, General Meeting for Academic Study.

(8) Yoon, J. H., Kim, D. G., Kim, J. S., 2008, “A Study on Property of Machinery Noise Generates at Model Workshop,” Korean Society of Environmental Engineers, General Meeting for Academic Study.

(9) Lyon, R. H., Cann, R. G., Bowen, D. L., 1991, “Measurement and Analysis of Machinery Noise,” Ch.38 of Handbook of Acoustical Measurements and Noise Control.

(10) Leather, P., Beale, D., Sullivan, L., 2003, Noise, Psychosocial Stress and Their Interaction in the Workplace, Journal of Environmental Psychology

(11) Fernández, M. D., Quintana, S., Chavarría, N. J. A., 2008, “Noise Exposure of Workers of the Construction Sector,” Applied Acoustics.

(12) Tak, S. W., Davis, R. R., Calvert, G. M., 2009, “Exposure to Hazardous Workplace Noise and Use of Hearing Protection Devices Among US Workers,” American Journal of Industrial Medicine.