

Effect of Active Noise Cancelling Earphones on Preferred Listening Level When Listening to Portable Music Players in Noisy Environments

Woo Sung Na, Kun Woo Kim, Sung Do Jung, Jae Wook Lee, Jae Yun Jung and Myung-Whan Suh

Department of Otorhinolaryngology-Head & Neck Surgery, Dankook University College of Medicine, Cheonan, Korea

Active Noise Cancelling 이어폰이 소음환경에서 선호청취음량에 미치는 영향

나우성 · 김건우 · 정성도 · 이재욱 · 정재윤 · 서명환

단국대학교 의과대학 이비인후-두경부외과학교실

Background and Objectives Active noise cancelling (ANC) is a technology that can reduce external noise by producing a signal that is similar to noise but different in that it has an opposite phase to noise. Nowadays ANC has become an important technology in the field of hearing aids, but many studies have not focused on the effect of ANC of earphones when listening to portable music players. In this study, we aimed to evaluate whether ANC earphones can effectively reduce external noise and lower the preferred listening level.

Subjects and Method Three different earphones (Ear-canal, On-the-ear, Covering-the-ear) were tested in three different noise environments. Nine participants were tested in 10 experiments. First, through the real ear measurement (REM) system, we evaluated the differences in sound pressure level when the ANC was either turned on or off. Second, we evaluated the effects of ANC on Preferred Listening Level (PLL) for participants listening to the same song with different earphones. Through the REM system, we evaluate the level of sound pressure level when participants controlled the volume and felt most comfortable with the volume level.

Results All three types of earphones showed statistically significant effects on noise reduction when ANC was turned on. The noise reduction effect was most prominent with the Ear-canal earphone. All three types of earphones also showed statistically significant effect on PLL reduction.

Conclusion ANC earphones may be helpful in noise reduction and preventing noise induced hearing loss when listening to music in noisy environments. Among the three types of earphones, Ear-canal earphone seems to be the most effective in noise reduction.

Korean J Otorhinolaryngol-Head Neck Surg 2012;55:415-21

Key Words Active noise cancelling (ANC) · Earphone · Preferred Listening Level (PLL) · Frequency.

Received April 9, 2012
Revised May 21, 2012
Accepted May 24, 2012
Address for correspondence
 Myung-Whan Suh, MD, PhD
 Department of Otorhinolaryngology-Head & Neck Surgery,
 Dankook University
 College of Medicine,
 201 Manghyang-ro, Dongnam-gu,
 Cheonan 330-715, Korea
Tel +82-41-550-6469
Fax +82-41-556-1090
E-mail drmung@naver.com

서론

최근 우리나라에서도 MP3 player를 비롯한 휴대용 음향기기의 사용량 및 판매량이 크게 증가하였다. 또한 현대인의 필수품 중 하나인 휴대폰의 보급으로 보행 중 및 지하철에서 이

어폰으로 음악 감상하는 모습을 흔히 관찰할 수 있다. 이러한 휴대용 음향 기기에 익숙한 젊은 연령층은 그 사용량이 타 연령층에 비하여 더 높다.^{1,2)} 이들은 휴대용 음향기기 사용시 큰 음량으로 음악을 듣거나, 기기를 장시간 사용하는 경우가 있어 휴대용 음향기기에 의한 소음성 난청의 위험이 더 높은 것으

로 추정되고 있다.¹⁾ 실제로 Kim 등³⁾의 연구에 의하면, 16~25 세 연령층의 약 40%에서 소음성 난청에 의한 이과적 증상을 경험한 적이 있다고 한다. 또 Chung 등¹⁾의 연구에 의하면, 휴대용 음향기기 사용으로 소음성 난청이 의심되는 십대 청소년들은 소리 왜곡, 이명, 청각 과민, 난청 등의 증상을 호소한다고 한다.

10대 청소년 및 젊은 연령층은 이러한 음향기기를 실내 뿐 아니라 보행 중 및 지하철 등 실외 소음환경에서도 많이 사용하고 있다. 2010년 서울특별시 환경 소음 현황을 보면, 서울 시민은 평균적으로 주거 지역에서 56.2 ± 8.5 dB A 정도의 소음과 상업 지역에서 62.2 ± 5.8 dB A 정도의 소음에 노출되고 있다.⁴⁾ 소음이 많은 실외 환경에서 음악을 듣는 경우, 실내의 조용한 환경에서보다 큰 음량으로 음악을 감상하게 되며, 이는 소음성 난청의 위험성을 더 증가시킬 우려가 있다.

소음환경에서 보다 좋은 음질의 음악 감상을 위해, 기존에 보청기에서 사용되던 active noise cancelling(ANC) 기술들이 최근에는 음악 감상용 이어폰에서도 적용되고 있다. ANC는 신호대 잡음비를 향상시키기 위해, 외부 소음과 위상이 반대인 음향 신호를 이어폰에서 능동적으로 생성하여 청취자의 귀에서 소음이 들리지 않도록 하는 기술이다. 소음이 있는 경우 이어폰 외부에 장착된 microphone에서 이를 입력 받아 noise cancellation circuitry로 보낸다. Noise cancellation circuitry에서는 소음과 동일한 음향을 생성하되 위상을 180° 반대로 만들어 음악과 함께 이어폰의 스피커로 송출하게 된다. 청취자의 외이도 내에서는 외부에서 들어온 소음과 ANC 이어폰에서 새로 생성된 음향이 서로 혼합되어 외부 소음이 상쇄되어 사라지게 된다. Lin 등⁵⁾의 연구에 의하면 산업현장에서 소음을 감소시키고 귀를 보호할 목적으로 제작된 Adaptive Feedback Active Noise Cancellation headphone은 소음을 30 dB SPL 감소시키고 신호 대 잡음비를 14 dB 증가시켰다고 한다. 하지만 위 연구는 극심한 소음환경에서 고가의

산업용 장비를 사용한 연구이다. 우리가 흔히 노출되는 소음 환경에서 현재 상품화되어 판매되고 있는 보급형 ANC 이어폰들이 실제 효과가 있는지, 휴대용 음향기기로 음악을 감상하는 경우 ANC가 선호청취음량을 낮출 수 있는지에 대해서는 연구된 바가 거의 없다. 이에 저자들은 다양한 형태의 ANC 이어폰에서 ANC의 효과를 알아보고, 소음차단 효과가 가장 우수한 형태의 ANC 이어폰을 찾고자 하였다. 궁극적으로 휴대용 음향기기를 많이 사용하는 청소년들에게, 청각보호를 위해 ANC 이어폰을 권장할 수 있는 의학적 근거가 있는지 알아보고자 하였다.

대상 및 방법

대 상

9명의 건강한 성인을 대상으로 10회의 실험을 진행하였다. 평균 연령은 27.7 ± 1.8 세였고, 남녀비는 5 : 4였다. 피험자들은 모두 이과적 질환의 병력이 없었으며, 순음 청력 검사에서 6분 법(500 Hz 청력+1 kHz 청력 $\times 2$ +2 kHz 청력 $\times 2$ +4 kHz 청력)/6으로 20 dB HL 이하의 정상 청력을 가지고 있었다. 피험자들은 모두 휴대용 음향기기를 사용한 경험이 있었고, 비교적 능숙하게 음향기기와 이어폰을 사용할 수 있는 젊은 성인이었다.

이어폰 종류

현재 상품화된 ANC 이어폰 중 Ear-canal 이어폰, On-the-ear 이어폰, Covering-the-ear 이어폰 3가지 형태의 이어폰을 사용하였다. 3가지 이어폰 모두 스위치 방식으로 ANC 기능을 켜고 끌 수 있었다. Ear-canal 이어폰(MDR-NC22, Sony, Tokyo, Japan)은 이어폰의 고무 마개가 외이도 안으로 삽입되는 형태로, 외이도가 고무 마개로 완전히 막혀 외부 소음이 내이로 전달되는 것을 차단하는 효과가 있다(Fig. 1). On-the-ear 이어폰(MDR-NC40, Sony, Tokyo, Japan)은 귀마개 형태로



Fig. 1. Outward appearances of each earphone and its characteristics. The Ear-canal earphone is an insert type earphone which can be plugged in the external auditory canal. The On-the-ear earphone is headphone type earphone. The ear muff can be placed over the ear but cannot completely seal or occlude the ear from external noise. The Covering-the-ear earphone is also a headphone type earphone. The ear muff completely covers the ear.

된 헤드폰 형 이어폰으로 귀의 일부만을 덮고 있어 귀를 폐쇄하는 효과는 좋지 않았다(Fig. 1). Covering-the-ear 이어폰(Sennheiser, Wedemark, Germany)은 귀 전체를 덮는 귀마개 형태의 헤드폰 형 이어폰으로 귀를 완전히 덮어 폐쇄하고 두개부에 이어폰을 강하게 압착하는 효과가 있다(Fig. 1).

소음환경

방음실 내에서 우리가 흔히 노출되는 3가지 종류의 소음환경을 재현하였다. 3가지 소음환경은 1) 찾길 소음, 2) 대화 소음, 3) 고속주행소음이었다. 전자녹음기(ICD-SX68, Sony, Tokyo, Japan)를 이용하여 실제 소음환경에서 소음을 녹음하였으며, 동시에 음압 측정기(NL-05A, Rion, Tokyo, Japan)를 사용하여 당시 소음의 크기를 함께 측정하였다. 찾길 소음은 2009년 8월 주말 오후 1시에 서울 세종로, 세종문화회관 앞 찾길에서 녹음하였고, 이때 측정된 찾길 소음의 크기는 70 dB A였다. 대화 소음은 2009년 8월 주말 오후 2시에 서울 시청역 플랫폼에서 기차가 들어오지 않는 시점에 약 100여명의 사람들이 서로 대화하는 소음을 녹음하였고, 이때 측정된 대화 소음의 크기는 70 dB A였다. 고속주행소음은 2010년 12월 오후 2시 경 천안아산역에서 서울역으로 가는 KTX 객실안에서 열차가 고속으로 주행하는 소리를 녹음하였고, 이때 측정된 고속주행소음의 크기는 65 dB A였다. 3가지 서로 다른 소음 환경에서 측정된 결과 지표들은 대표값을 얻기 위하여 평균값이 산출되었다.

녹음된 소음은 음장 시험용 스피커를 이용하여 이중 벽 방음실 내에서 재생하였다. 재생 음량은 녹음 당시와 비슷한 크기가 되도록 음압 측정기를 이용하여 녹음시와 동일한 음량으로 재생하였다. 녹음된 소음은 MP3 player(EI00, Iriver, Seoul, Korea)와 외장형 스피커(SMS-A40, Samsung, Seoul, Korea)를 사용하여 재생하였다.

실험 1번: 이어폰에 따른 소음감쇄 능력 검증

보청기 피팅에 사용되는 실이측정[real ear measurement (REM, Aurical plus, GN Otometrics, Copenhagen, Denmark)]의 probe microphone을 피험자들에게 장착하고, 동시에 3가지 서로 다른 ANC 이어폰을 임의의 순서로 착용시켰다. 이후 방음실 내부에 장착된 스피커를 통해 3가지 외부 소음을 제시하며, 고막에 전달되는 음압의 크기(dB SPL)를 측정하였다. 실험 1번에서는 이어폰을 통해 음악이 재생되지 않았으며, ANC 기능을 끄는 경우(off)와 켜는 경우(on) 고막에 전달되는 소음의 크기에 유의한 차이가 있는지 확인하였다. 측정된 음압의 크기는 주파수 별로 분석하였으며 250 Hz, 500 Hz를 저주파수, 1 kHz, 2 kHz를 중간 주파수, 4 kHz, 8 kHz

를 고주파수 영역으로 분류하여 각 주파수 영역별 평균 음압 크기를 산출하였다.

실험 2번: 선호청취음량[Preferred Listening Levels (PLL)]

실험 2번은 기존 보고들에서 사용한, 선호청취음량을 결과 지표로 사용하였다.^{6,7)} 선호청취음량은 개인이 음악을 청취할 때에 가장 편안하다고 느끼고, 휴대용 음향기기 사용시 주로 음악을 청취하는 음압의 크기를 의미한다. 피험자들에게 실험용 음악을 들려주고, 다양한 소음환경에서 피험자가 원하는 대로 음향기기의 음량을 조절할 수 있도록 하였다. 피험자가 더 이상 음량 조절이 필요치 않고 쾌적하게 음악을 청취할 수 있다고 느낀 시점에, REM을 이용하여 고막에 전달되는 음압의 크기를 정량적으로 측정하였다. 주파수 별로 측정된 음압의 크기는 대표값을 얻기 위해 250 Hz, 500 Hz, 1 kHz, 2 kHz, 4 kHz, 8 kHz의 평균 음압 크기를 산출하였다.

휴대용 음향기기로는 CD player(SL-S130, Panasonic, Tokyo, Japan)를 사용하였다. 실험용 음악은 “소녀시대”의 “Gee”(The first mini album, 2009, SM Entertainment, Seoul, Korea)를 사용하였다. 이 음악을 선택한 이유는, 첫째 피험자 모두에게 익숙한 음악이었으며, 둘째 음향학적으로 곡의 리듬과 주파수 변화가 비교적 적었다. 셋째 곡 전반적으로 음량의 변화가 작아서 선호청취음량을 선택하기 용이한 장점이 있었다.

피험자는 REM의 probe microphone을 귀에 착용한 후 각각의 이어폰을 통하여 위의 음악을 청취하였다. 소음은 방에 설치된 별도의 스피커를 통해 들려주었다. 피험자는 3가지 서로 다른 소음환경에서 서로 다른 3가지 ANC 이어폰을 이용하여 동일한 음악을 청취하였다. 이때 피험자는 음악 재생 이후 첫 번째 “Gee”음이 반복되는 지점(노래 시작 후 약 20초)까지 원하는 대로 CD player의 음량을 조절할 수 있도록 하였다. 정해진 재생 구간이 지난 이후에는 음량을 조절하지 않고 청취하도록 하였으며, 이때 고막에 전달되는 소리 에너지의 양을 측정하였다. 피험자 별로 이어폰의 종류와 소음환경의 종류를 임의의 순서로 구성하여 총 9번의 측정을 시행하였다.

분석 방법

피험자들은 연구 이전에 연구 방법에 대하여 개략적인 설명을 들었다. 그러나 연구 결과에 영향을 줄 수 있는 구체적인 연구 방법과 예상 결과는 피험자들이 이해하지 못하도록 하였다. 또한 연구의 최종 목표에 대해서는 잘못된 정보를 제공하여 피험자의 예상에 따른 오류를 방지하였다.

각 이어폰에서 ANC off/on을 비교하는 경우는 Wilcoxon test를 사용하였고, 이어폰 사이의 성능을 비교하는 경우는

Mann-Whitney U test를 사용하였다. 3가지 종류의 이어폰을 사용하였기 때문에 Bonferroni correction을 고려하여 p -value ($0.05/3=0.017$)값이 0.017 이하인 경우 의미 있는 차이로 간주하였다.

결 과

실험 1번: 이어폰에 따른 소음감쇄 능력 검증

Ear-canal 이어폰

Ear-canal 이어폰의 경우 ANC를 off, on 하였을 때 고막에 전달된 음압의 크기가 저주파수 영역에서 각각 84.6 ± 5.8 dB SPL, 82.4 ± 5.9 dB SPL ($p < 0.001$); 중간 주파수 영역에서 각각 67.9 ± 9.8 dB SPL, 63.9 ± 9.5 dB SPL ($p < 0.001$); 고주파수 영역에서 각각 49.2 ± 9.9 dB SPL, 47.0 ± 8.9 dB SPL ($p = 0.001$)이었다. ANC를 on 하는 경우 모든 주파수 영역에서 고막에 전달되는 소음의 음압이 유의하게 작아짐을 알 수 있었다(Fig. 2).

On-the-ear 이어폰

On-the-ear 이어폰의 경우 ANC를 off, on 하였을 때 고막에 전달된 음압의 크기가 저주파수 영역에서 각각 89.3 ± 4.6 dB SPL, 87.3 ± 5.1 dB SPL ($p < 0.001$); 중간 주파수 영역에서 각

각 74.0 ± 9.9 dB SPL, 72.6 ± 9.3 dB SPL ($p < 0.001$); 고주파수 영역에서 각각 50.7 ± 8.5 dB SPL, 48.8 ± 9.8 dB SPL ($p = 0.002$)이었다. ANC를 on 하는 경우 모든 주파수 영역에서 고막에 전달되는 소음의 음압이 유의하게 작아짐을 알 수 있었다(Fig. 2).

Covering-the-ear 이어폰

Covering-the-ear 이어폰의 경우 ANC를 off, on 하였을 때 고막에 전달된 음압의 크기가 저주파수 영역에서 각각 93.4 ± 5.4 dB SPL, 88.3 ± 4.8 dB SPL ($p < 0.001$)로 ANC 작동 후 소음의 크기가 유의하게 작아졌다. 그러나 중간 주파수 영역에서는 ANC 기능을 off 하는 경우(76.6 ± 10.5 dB SPL)와 on 하는 경우(76.6 ± 11.6 dB SPL) 차이가 없었다($p = 0.915$). 고주파수 영역에서도 ANC 기능을 off 하는 경우(45.5 ± 12.2 dB SPL)와 on 하는 경우(46.5 ± 13.0 dB SPL) 차이가 없었다($p = 0.475$) (Fig. 2).

서로 다른 세 이어폰 간 소음감쇄 효과 비교

동일한 소음환경에서 서로 다른 세 이어폰의 ANC 기능을 사용한 결과 고막에 전달된 음압의 크기는 저주파수 영역에서 82.4 ± 5.9 dB SPL(Ear-canal), 87.3 ± 5.1 dB SPL(On-the-ear), 88.3 ± 4.8 dB SPL(Covering-the-ear)이었다. Ear-canal 이어폰이 On-the-ear 이어폰($p < 0.001$), Covering-the-ear

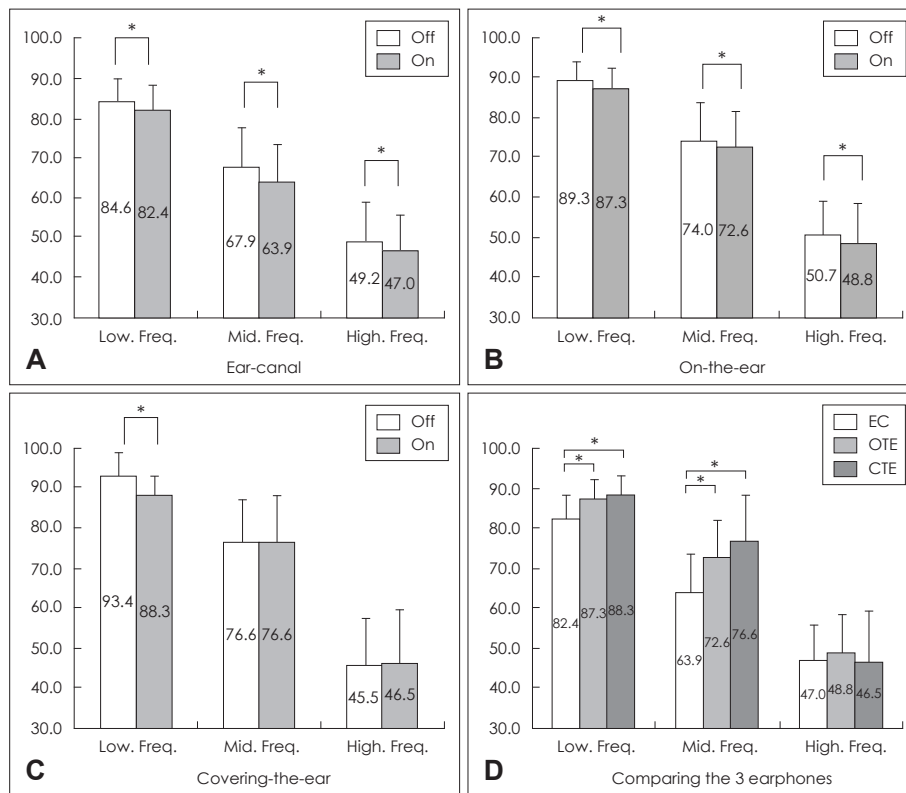


Fig. 2. Frequency characteristics analysis. All 3 noise cancelling earphones effectively blocked the external noise in the low frequency. But the noise cancelling was not as good in the mid and high frequencies in some device. When the 3 earphones were compared, ear-canal device most effectively reduced the noise in low and mid frequencies. ANC effect of Ear-canal earphone in 3 frequencies (A). ANC effect of On-the-ear earphone in 3 frequencies (B). ANC effect of Covering-the-ear earphone in 3 frequencies (C). Comparison of ANC effect in 3 earphones (D). Low. Freq. (low frequency): 250 and 500 Hz, Mid. Freq. (mid frequency): 1000 and 2000 Hz, High. Freq. (high frequency): 4000 and 8000 Hz, On: active noise canceling effect switch on, Off: active noise canceling effect switch off. * $p < 0.017$. EC: Ear-canal type, OTE: On-the-ear type, CTE: Covering-the-ear type, ANC: active noise cancelling.

이어폰($p<0.001$)에 비하여 ANC 효과가 우수하였다. 그러나 On-the-ear과 Covering-the-ear 이어폰 사이에는 유의한 차이가 없었다($p=0.398$)(Fig. 2).

중간 주파수 영역에서 고막에 전달된 음압의 크기는 63.9 ± 9.5 dB SPL(Ear-canal), 72.6 ± 9.3 dB SPL(On-the-ear), 76.6 ± 11.6 dB SPL(Covering-the-ear)이었다. 중간 주파수 영역에서도 Ear-canal 이어폰이 On-the-ear 이어폰($p<0.001$), Covering-the-ear 이어폰($p<0.001$)에 비하여 ANC 효과가 우수하였다. 그러나 On-the-ear과 Covering-the-ear 이어폰 사이에는 유의한 차이가 없었다($p=0.055$).

고주파수 영역에서 고막에 전달된 음압의 크기는 47.0 ± 8.9 dB SPL(Ear-canal), 48.8 ± 9.8 dB SPL(On-the-ear), 46.5 ± 13.0 dB SPL(Covering-the-ear)이었다. 세 이어폰 사이 유의한 차이는 없었다(Ear-canal과 On-the-ear, $p=0.237$; On-the-ear와 Covering-the-ear, $p=0.300$; Covering-the-ear와 Ear-canal, $p=0.880$)(Fig. 2).

실험 2번: 선호청취음량[Preferred Listening Levels (PLL)]

Ear-canal 이어폰

ANC off 조건과 on 조건에서 Ear-canal 이어폰의 PLL은 각각 80.7 ± 7.8 dB SPL, 78.2 ± 7.7 dB SPL이었다. ANC 기능을

사용하는 경우 PLL이 유의하게 낮아졌다($p<0.001$)(Fig. 3).

On-the-ear 이어폰

ANC off 조건과 on 조건에서 On-the-ear 이어폰의 PLL은 각각 86.5 ± 5.4 dB SPL, 83.5 ± 7.2 dB SPL이었다. ANC 기능을 사용하는 경우 PLL이 유의하게 낮아졌다($p=0.001$)(Fig. 3).

Covering-the-ear 이어폰

ANC off 조건과 on 조건에서 Covering-the-ear 이어폰의 PLL은 각각 82.3 ± 9.7 dB SPL, 79.7 ± 9.2 dB SPL이었다. ANC 기능을 사용하는 경우 PLL이 유의하게 낮아졌다($p<0.001$)(Fig. 3).

세가지 이어폰의 PLL 비교

동일한 소음환경에서 동일한 음악을 감상하면서, 서로 다른 3개의 이어폰의 ANC 기능을 사용한 결과 PLL은 78.2 ± 7.8 dB SPL(Ear-canal), 83.5 ± 7.2 dB SPL(On-the-ear), 79.7 ± 9.2 dB SPL(Covering-the-ear)이었다. Ear-canal과 Covering-the-ear 이어폰의 PLL이 On-the-ear 이어폰에 비하여 유의하게 낮았다(Ear-canal과 On-the-ear, $p<0.001$; Covering-the-ear와 On-the-ear, $p=0.015$). 하지만 Ear-canal 이어폰과 Covering-the-ear 이어폰의 PLL을 비교했을 때는 유의한 차이가 없었다($p=0.491$)(Fig. 3).

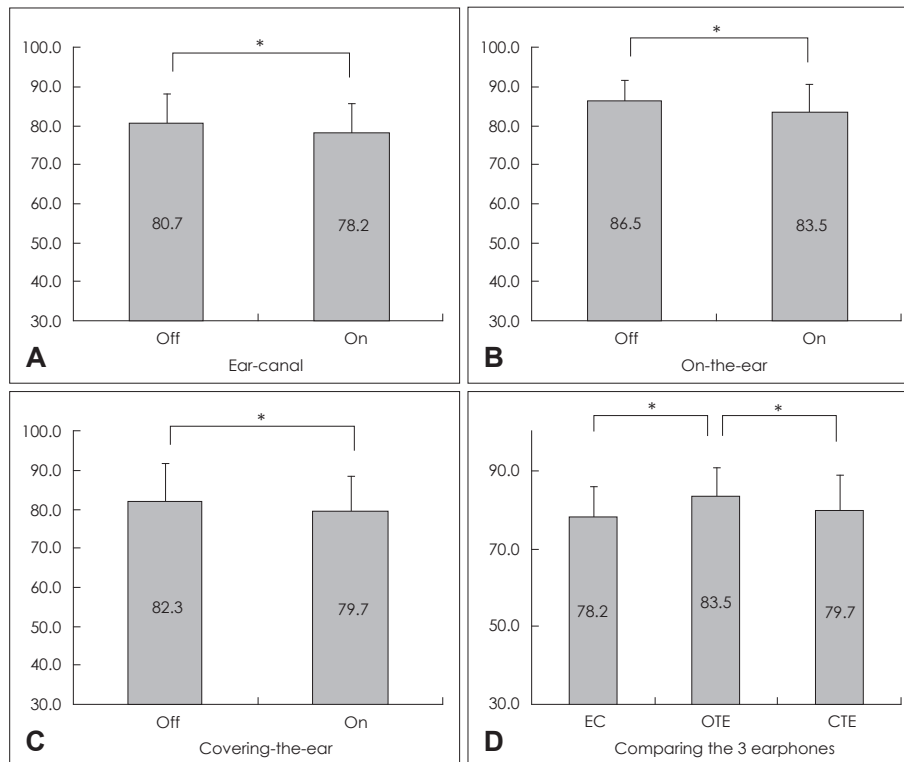


Fig. 3. Preferred Listening Level (PLL). All 3 noise cancelling earphone were effective in reducing the PLL when the active noise canceling switch was turned on. When the 3 earphones were compared, ear-canal device provided the lowest PLL. Comparison of PLL of Ear-canal earphone in ANC switch on and off (A). Comparison of PLL of On-the-ear earphone in ANC switch on and off (B). Comparison of PLL of Covering-the-ear earphone in ANC switch on and off (C). Comparison of PLL in 3 earphones (D). Low. Freq. (low frequency): 250 and 500 Hz, Mid. Freq. (mid frequency): 1000 and 2000 Hz, High Freq. (high frequency): 4000 and 8000 Hz, On: Active noise canceling effect switch on, Off: Active noise canceling effect switch off. * $p<0.017$. EC: Ear-canal type, OTE: On-the-ear type, CTE: Covering-the-ear type, PLL: Preferred Listening Level.

고 찰

연구 결과 실험에 사용된 3가지 ANC 이어폰 모두 우리가 일상적으로 접하는 소음들을 감쇄시키는 데 유의미한 효과가 있는 것으로 나타났다. 이어폰의 형태에 따라 조금씩 능력의 차이가 있기는 하였으나 크게는 5.1 dB까지 소음을 감쇄시킬 수 있었다. 또한 ANC는 청취자가 음악을 감상하는 PLL을 크게는 3.0 dB까지 감소시켰다. 일반적으로 음압이 3~4 dB 커질 때 음향 에너지의 크기가 2배로 커지고, 소음 허용한계 시간이 1/2로 줄어든다는 점을 감안하면⁸⁾ 3.0~5.1 dB의 소음감쇄 효과는 청각을 보호하는 데 있어 의미가 있다고 생각된다. 따라서 소음환경에서 휴대용 음향기기를 꼭 사용하고 싶어하는 청취자라면, 청각 보호를 위해 ANC 기능이 포함된 이어폰을 사용하는 것이 좋은 선택이 될 수 있겠다.

세 가지 이어폰의 능력을 비교한 결과 Ear-canal 이어폰의 소음 감쇄 효과가 가장 뛰어난 것으로 나타났다. 또한 PLL도 Ear-canal 이어폰을 사용하는 경우 가장 낮았다. 이러한 차이가 나타난 이유는 아마도 Ear-canal 이어폰에 외이도를 완전하게 폐쇄시키는 고무 마개가 있기 때문으로 생각된다. 즉 ANC에 의한 능동적 소음감쇄 효과와 더불어 외이도 완전 폐쇄에 의한 수동적 소음감쇄 효과가 더해져 소음을 차단하는 기능이 가장 우수하였던 것으로 추정된다. 두 번째 이유로, 위상이 서로 반대인 두 음향이 효과적으로 상쇄되기 위해서는 두 음향이 폐쇄된 공간 속에서 작용하는 것이 유리하다. 즉 외이도의 완전한 폐쇄가 수동적인 소음감쇄와 더불어 ANC의 효율을 높이는 데도 일조를 한 것으로 생각된다.

반면, On-the-ear 이어폰의 경우는 구조적으로 귀를 완전하게 폐쇄하기가 어렵다. 저자들이 이전에 발표한 연구 결과에 의하면, 이어폰의 구조적인 차이만으로도 외부 소음 유입과 PLL에 유의한 차이가 있을 수 있다.⁷⁾ 귀를 완전하게 폐쇄하지 않는 형태의 이어폰을 사용하여 소음환경에서 음악감상을 하는 경우 PLL이 높아질 수 있다. On-the-ear 이어폰의 성적이 좋지 못하였던 이유는 이상과 같은 불완전 폐쇄로 인한 소음 유입과 ANC 효율 감소 때문이 아닌지 의심되었다. Covering-the-ear 이어폰은 귀를 완전히 덮기 때문에 외부 소음으로부터의 폐쇄효과가 뛰어날 것으로 기대되었다. 그러나 실제 여러 피험자에게 착용시켜 본 결과, 미세하게 착용 위치를 조정하지 않으면 후이개 유양돌기 부분의 밀착 효과가 다소 낮아 완전한 폐쇄가 쉽지 않았다. 이러한 불완전 폐쇄는 특히 머리가 작거나 두정부 부위가 다른 피험자에게 더 문제가 될 것으로 생각된다. 그러나 이는 반대로 머리가 크거나 이어폰의 커프가 작다면 큰 문제가 없을 수도 있음을 의미한다. 즉 본 연구 결과는 수 명의 피험자와 1가지 종류의 Covering-the-ear 이어

폰을 대상으로 한 제한적인 결과에 불과하며, 청취자의 머리 구조와 이어폰의 커프 크기, 밀착도, 재질에 따라 결과가 달라질 수도 있을 것으로 생각된다. 보다 많은 종류의 이어폰과 피험자 수를 통해 이러한 변수들을 적절하게 통제하지 못한 점은 본 연구의 제한점이며, 결과 해석시 고려가 필요할 것이다.

또 다른 중요한 변수는, 이어폰 제작 회사에 따른 ANC algorithm의 차이이다. Ear-canal과 On-the-ear 이어폰은 동일 회사의 동일한 ANC algorithm을 사용하지만, Covering-the-ear 이어폰은 전혀 다른 회사의 다른 ANC algorithm을 사용하고 있다. 각 회사가 정확히 어떤 수학적 ANC algorithm을 사용하는지는 공개되지 않는다. 비록 ANC의 기본 원리는 모든 회사와 제품 사이 비슷하지만, 정교한 ANC algorithm 차이에 따라 소음 감쇄 효과는 유의한 차이가 있을 수 있다. 실제 실험 1번의 주파수 영역별 ANC의 효과를 보면, 특정 회사 제품은 고/중/저주파수 영역 모두에서 ANC가 작동하는 반면, 특정 회사 제품은 주로 저주파수 영역에서만 ANC가 작동함을 알 수 있다. 이러한 차이점의 정확한 이유를 밝힐 수는 없지만, 이는 아마도 회사별 ANC algorithm의 차이 때문으로 추정된다. 일반적으로 ANC는 저주파수 영역의 지속적인 신호를 소음으로 간주하는 algorithm을 사용하기 때문에, 저주파수 영역에서 효과가 더 좋은 것으로 알려져 있다.⁵⁾ Intensity-frequency spectrum을 분석하면 0.5 kHz 이하 저주파수 영역에서는 대체적으로 신호 대 잡음비가 양의 값을 갖는다. ANC에서 사용되는 필터는 이러한 음향학적인 특성을 수학적으로 분석하여 소음을 추출하는 기능을 가지고 있다.⁹⁾ 반면 0.5 kHz 이상의 중/고주파수 영역에서는 신호 대 잡음비가 음의 값을 갖기 때문에 소음과 신호를 구분하기가 보다 어렵다. 본 연구 결과 특정 이어폰이 저주파수 영역에서 ANC 기능이 더 뛰어난 것은 이러한 이유 때문으로 추정된다. 즉 동일한 회사 제품인 Ear-canal과 On-the-ear 이어폰의 성적 차이는 대체로 이어폰 형태에 따른 차이로 간주할 수 있다. 그러나 Covering-the-ear 이어폰의 성적 차이는 이어폰의 형태와 더불어 ANC algorithm의 차이가 모두 반영된 결과로 해석하여야 할 것이다.

결론적으로, 본 연구에서는 현재 시중에서 유통되고 있는 3가지 서로 다른 형태의 ANC 이어폰의 소음감쇄 효과를 검증하였으며, 이들 ANC 이어폰 모두 우리가 일상적으로 접하는 소음들을 감쇄시키는 데 유의미한 효과가 있음을 알 수 있었다. 이어폰의 종류에 따라 5.1 dB까지 소음을 감쇄시킬 수 있었으며 청취자가 음악을 감상하는 PLL을 3.0 dB까지 감소시켰다. 3가지 서로 다른 이어폰 중에서는 Ear-canal 이어폰의 소음 감쇄효과가 가장 우수하였다. 따라서 소음환경에서 휴대용 음향기기를 꼭 사용하고 싶어하는 청취자라면, 청각 보호

를 위해 ANC 기능이 포함된 이어폰 특히 Ear-canal 형태의 이어폰을 사용하는 것이 좋은 선택이 될 수 있을 것으로 생각된다.

REFERENCES

- 1) Chung JH, Des Roches CM, Meunier J, Eavey RD. Evaluation of noise-induced hearing loss in young people using a web-based survey technique. *Pediatrics* 2005;115(4):861-7.
- 2) Danhauer JL, Johnson CE, Byrd A, DeGood L, Meuel C, Pecile A, et al. Survey of college students on iPod use and hearing health. *J Am Acad Audiol* 2009;20(1):5-27; quiz 83-4.
- 3) Kim MG, Hong SM, Shim HJ, Kim YD, Cha CI, Yeo SG. Hearing threshold of Korean adolescents associated with the use of personal music players. *Yonsei Med J* 2009;50(6):771-6.
- 4) Regional environmental noise, Clean Environment Organization, 2010. Available from: URL: <http://env.seoul.go.kr>.
- 5) Lin JH, Li PC, Tang ST, Liu PT, Young ST. Industrial wideband noise reduction for hearing aids using a headset with adaptive-feedback active noise cancellation. *Med Biol Eng Comput* 2005;43(6):739-45.
- 6) Hodgetts WE, Rieger JM, Szarko RA. The effects of listening environment and earphone style on preferred listening levels of normal hearing adults using an MP3 player. *Ear Hear* 2007;28(3):290-7.
- 7) Kim KW, Jung JY, Suh MW. Effects of earphone style and noise environment on listening levels when using portable music players in the laboratory. *Korean J Commun Disord* 2011;16(3):408-15.
- 8) International Organization for Standardization. ISO 1999-1990. Acoustics-determination of occupational noise exposure and estimation of noise-induced hearing impairment. Geneva;1990.
- 9) Levitt H. Noise reduction in hearing aids: a review. *J Rehabil Res Dev* 2001;38(1):111-21.