

Comparison of Occlusion Effect between Ear-Tip Type of Receiver-In-Canal Hearing Aids and Completely-In-the-Canal

Jihye Park¹, Kyoungwon Lee^{1,2}

¹Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, Seoul, Korea

²HUGS Center for Hearing and Speech Research, Seoul, Korea

외이도수화기보청기의 이어팁 형태와 고막보청기의 폐쇄효과 비교

박 지 혜¹ · 이 경 원^{1,2}

한림국제대학원대학교 청각언어치료학과¹, 한림청각언어연구소²

Purpose: To compare the occlusion effect (OE) of a completely-in-the-canal (CIC) hearing aid and receiver-in-canal (RIC) hearing aid with open ear tip (OET), closed ear tip (CET), and double ear tip (DET), the present study measured the real-ear insertion gain (REIG) and psychoacoustic differences. **Methods:** While seventeen adults with normal hearing wearing the dummy CIC hearing aid and three types of ear-tips for the RIC hearing aid, they vocalized the /ee [i]/ sound. The REIG and psychoacoustic differences were measured at each condition and compared in terms of decibel and degree of occlusion. **Results:** First, OET and CET types for the RIC hearing aids were more effective to reduce the OE than both DET type of RIC hearing aid and CIC hearing aid. Second, there was no difference between DET type of the RIC hearing aid and CIC hearing aid in terms of REIG and psychoacoustics. Third, the REIG of the DET with RIC hearing aid and CIC hearing aids was lower in the frequency band of around 3,000 Hz than the other types such as OET and CET. **Conclusion:** The current results support that the OET and CET types for RIC hearing aids effectively help reducing the OE. Regardless, the CIC hearing aid which has reduced gain in the high frequencies also can provide better speech perception and sound quality. In conclusion, when selecting an open fit or custom hearing aid, the hearing-impaired listeners are recommended while considering both degree, type, and configuration of hearing loss and technical aspects of hearing aid.

Key Words: Occlusion effects, Open fit hearing aid, Receiver-in-canal, Custom hearing aid, Hearing aid selection.

Received: March 29, 2019 / **Revised:** April 9, 2019 / **Accepted:** April 9, 2019

Correspondence: Kyoungwon Lee, Department of Audiology and Speech-Language Pathology, Hallym University of Graduate Studies, 427 Yeoksam-ro, Gangnam-gu, Seoul 06197, Korea

Tel: +82-2-2051-4951 / **Fax:** +82-2-3453-6618 / **E-mail:** leekw@hallym.ac.kr

INTRODUCTION

최근에 출시하는 디지털보청기는 채널 수의 증가, 잡음 및 음향피드백의 효과적인 제어, 가청주파수대역(audible frequency range)의 확장, 스마트폰을 포함한 음향기기와의 연결 등을 통해 난청인의 의사소통 능력과 삶의 질 개선에 도움을 주고 있다. 그러나 보청기의 기술적인 발전에도 불구하고 보청기 착용

자가 말을 할 때 본인의 목소리가 ‘울려서 들린다’ 또는 “동굴에서 말하는 것 같다” 등으로 표현하는 폐쇄효과(occlusion effect, OE)는 여전히 보청기 착용자의 불만족 요소 중 하나로 보고하였다(Dillon, 2012; Kochkin, 2010).

OE의 발생 원인은 말을 할 때 성대의 울림이 턱뼈를 포함한 두개골을 울리고, 이 진동이 외이도 부근에서 재생성된 음압이 착용한 보청기 또는 귀꽂이로 인해 인체의 외부로 배출되지 못하여 발생한다(Dillon, 2012). OE는 저주파수에서 정도 이하의 난청이 있는 경우 더 많이 발생하며(Carle et al., 2002; Kiessling et al., 2005), 제1포먼트 주파수가 300 Hz 부근인 /이[i]/, /우[u]/

© This is an Open Access article distributed under the terms of the Creative Commons Attribution Non-Commercial License (<https://creativecommons.org/licenses/by-nc/4.0>) which permits unrestricted non-commercial use, distribution, and reproduction in any medium, provided the original work is properly cited.

등의 폐쇄모음에서 주로 발생한다(Dillon, 2012; Mueller, 2003).

OE를 해결하기 위한 전통적인 방법으로는 1,000 Hz 이하 저주파수 대역의 이득을 낮추는 전기음향적인 방법 그리고 보청기몸체(hearing aid shell) 또는 귀꽃이(earmold)에 환기구(vent)를 설치하거나 보청기를 외이도의 골부(bony part) 부근에 깊숙이 삽입하여(deep insert) 꼭 맞게 착용하는 물리적인 방법이 있다. 이 중에서 OE의 물리적인 해결 방법을 살펴보면, 첫째, 환기구(vent)의 직경을 크게 하거나 길이를 짧게 하여 고막 근처에서 생성된 저주파수의 음압을 외부로 원활하게 배출하는 방법이다(Jespersen et al., 2006; Kiessling et al., 2005). Kuk & Keenan(2006)의 보고에 의하면 환기구의 직경이 1 mm 증가할 때마다 고막 부근의 저주파수 음압이 4 dB 정도 감소한다고 하였다. 또한 Jespersen et al.(2006)은 직경이 크고, 길이가 짧은 환기구를 설치하는 것이 OE를 해결하는 데 효과적이라고 하였다. 환기구의 직경을 극대화하는 방법으로 개방적합(open fitting) 보청기를 생각할 수 있다. 그러나 개방적합보청기는 환기구의 직경이 크기 때문에 외이도 밖으로 배출된 음압의 일부가 송화기로 다시 유입되고 재증폭되는 음향피드백이 발생할 우려가 있어 음향피드백제어시스템(anti-feedback system)을 활성화시켜야 하는 문제점이 있다. 하지만 음향피드백제어시스템의 활성화는 고주파수 대역의 이득을 감소시키는 결과를 초래하여 어음인지도 및 음질에 나쁜 영향을 줄 수 있다(Winkler et al., 2016). 또한 청력역치레벨이 높은 경우에는 음향피드백제어시스템을 활성화하더라도 음향피드백이 발생할 수 있어서 폐쇄형 이어팁 또는 맞춤형 이어몰드를 사용해야 하기 때문에 결과적으로 고막 부근에서 발생한 음향의 배출을 방해하여 OE가 발생할 우려가 있다. OE의 물리적인 해결 방법 중 다른 하나는 보청기몸체를 외이도의 골부에 꼭 차게 그리고 깊숙이 삽입하는 방법이다. 이는 발생 시 보청기몸체로 인해 연골부(cartilage part) 및 경골부(bony part)의 진동을 억제하여 OE를 해결할 수 있다(Carle et al., 2002). Lee & Lee (2013)의 보고에 의하면 보청기몸체에서 골부의 길이를 2 mm에서 8 mm로 2 mm씩 증가시켰을 때 골부 길이가 길수록 저주파수의 실이삽입 이득(real-ear insertion gain, REIG) 및 심리음향적인 OE가 감소한다고 하였다. 또한 Stone et al.(2014)의 보고에서도 보청기몸체를 외이도 깊숙이 삽입함으로써 OE를 줄일 수 있다고 하였다.

2000년대 중반 이후 판매율이 급격하게 증가하고 있는 외이도내수화기(receiver-in-canal, RIC) 보청기는 효과적인 음향

피드백제어시스템의 구현으로 인해 환기구의 직경을 극대화할 수 있어서 OE의 해결에 효과적이다(Kirwood, 2007; Kochkin, 2011). 그러나 Winkler et al.(2016)은 음향피드백제어시스템의 과다한 작동으로 인해 RIC 보청기 사용 시 방향성 및 잡음감소 등에 문제가 있다고 하였으며, 이는 보청기 착용자의 청취 능력을 저하시킬 수 있다고 하였다.

이에 본 연구에서는 고막보청기(completely-in-the-canal, CIC) 그리고 RIC 보청기의 수화기에 연결하는 이어팁을 개방형 이어팁(open ear tip, OET), 폐쇄형 이어팁(closed ear tip, CET), 완전폐쇄형 이어팁(double ear tip, DET)으로 구분하여 착용한 후 /이[i]/를 발성했을 때 REIG 및 심리음향적인 OE의 변화를 살펴보고자 하였다. 이를 통하여 난청인에게 귓속보청기와 개방적합보청기를 선택하는 데 도움을 주고자 하였다.

MATERIALS AND METHODS

연구 대상

본 연구에 참여한 피검자는 만 29세 미만의 성인 17명(17귀: 남 6, 여 11)으로 이경을 통한 육안 관찰 시 외이 및 고막에 이상이 없었으며, 고막운동성검사(tympanometry)에서 A형을 나타내었다. 그리고 순음청력검사 결과 250~8,000 Hz의 청력역치레벨이 양 귀 모두 20 dB HL 이하이며, 단어인지도(word recognition score, WRS)는 90% 이상이었다(Table 1).

연구 장비

외이도에 대한 육안검사는 이경검사기 Heine mini 3000 (Heine, Herrsching, Germany), 순음 및 어음청각검사는 AudioStar pro (Grason-Statler Inc., Eden Prairie, MN, USA) 와 TDH-49 헤드폰(Telephonics, Farmingdale, NY, USA), WRS는 한국표준 Korean Standard-monosyllabic word lists for adults (KS-MWL-A)를 사용하여 측정하였다. 고막운동성은 중이검사기 AT235h (Interacoustics Co., Middelfart, Denmark), 보청기는 피검자의 귓본을 채취하여 제작한 모조 CIC 그리고 OET, CET 그리고 DET의 이어팁(Figure 1)을 장착할 수 있는 RIC 보청기를 사용하였다. OE를 확인하기 위한 REIG는 FONIX 7000 (Frye Electronics, Inc., Beaverton, OR, USA) 과 프로브마이크로폰(probe microphone)을 사용하여 측정하였다. 피검자가 발성하는 어음의 강도는 음레벨측정기(sound

Table 1. Hearing threshold level (dB HL) of subjects at octave frequencies

	250	500	1,000	2,000	4,000	8,000	WRS (%)
Mean	8.89	8.33	8.61	7.22	9.72	10.00	99.20
SD	2.74	3.43	3.76	3.08	4.69	3.83	1.40

WRS: word recognition score, SD: standard deviation



Figure 1. Actual shape of ear tips by size used in this study. A: open ear tip. B: closed ear tip. C: double ear tip.

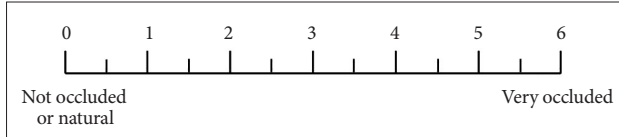


Figure 2. Rating scales for sound quality (0 = not occluded or natural, 6 = very occluded).

level meter) 2250-light (Brüel & Kjær Co., Nærum, Denmark)를 사용하여 측정하였다. OE의 심리음향적 평가는 0에서 6까지 0.5씩 증가하는 13단계의 설문지를 사용하였다. 13단계에서 '0'은 '자연스럽다' 그리고 '6'은 '울림이 심하다'로 피검자가 설문지에 울림의 정도를 직접 표시하게 하였다(Figure 2).

모조 CIC의 제작

모조 CIC의 제작을 위해 귓본은 외이도의 제2굴곡부(2nd bend)에서 고막 쪽으로 10 mm 정도로 깊게 채취하였으며, 모조 CIC의 제작 시 수화기 음구의 주위 부분을 가능하면 가공하지 않도록 하여 골부와 밀착될 수 있도록 하였다. CIC의 몸체에는 직경 0.8 mm의 환기구를 설치하였고, 착용과 제거를 용이하게 하기 위해서 손잡이(removal handle)를 설치하였다(Figure 3).

연구 절차

CIC 그리고 OET, CET, DET를 장착한 RIC 보청기를 착용하고 건청인이 /이|니|를 발생했을 때 OE의 변화를 REIG 그리고 설문지를 통한 심리음향적인 울림의 정도를 측정하였고 절차는 다음과 같다.

첫째, 외이도 및 고막의 이상 유무를 확인하기 위해 이경검사를 실시하였으며, 건청임을 확인하기 위하여 방음실에서 순음 청각검사, 어음청각검사, 그리고 고막운동성검사를 실시하였다.

둘째, 건청임을 확인한 후에 모조 CIC를 제작하기 위해 피검자의 한쪽 귀를 무작위로 선정하여 귓본을 채취하였다.

셋째, REIG를 측정하기 위해 프로브튜브가 CIC의 수화기 음구 그리고 OET, CET, DET보다 5 mm 이상 깊게 외이도에 삽입될 수 있도록 한 상태에서 이주(tragus)와 대이주(antitragus)가 만나는 지점을 프로브튜브에 표시하였다.

넷째, 프로브튜브에 표시한 부분이 이주와 대이주가 만나는 지점에 위치하도록 외이도에 삽입한 후 제어마이크로폰 및 프로브마이크로폰의 보정(leveling)을 실시한 후, 보청기를 착용



Figure 3. Actual appearance of dummy completely-in-the-canal hearing aid used in this study.

하지 않은 상태에서 실이공명이득(real-ear unaided gain)을 측정하였다.

다섯째, CIC 그리고 피검자의 외이도 크기에 알맞은 OET, CET, DET를 장착한 RIC 보청기를 무작위로 피검자에게 착용시킨 상태에서 폐쇄모음 /이|니|를 발생하게 한 후 REIG를 측정하였다. 이때 안정된 REIG 측정을 위하여 실이측정 장비의 잡음감쇄(noise reduction) 수준은 '8X'로 설정하였고, 소음측정기는 피검자의 입에서 50 cm 떨어진 거리에 설치하였다. 그리고 성대의 울림이 외이도 내에 충분히 전달되며 REIG 측정값이 안정될 수 있도록 하기 위해 /이|니|를 80 ± 3 dB SPL로 3초 이상 발생하게 하였다.

여섯째, CIC 그리고 OET, CET, DET를 장착한 RIC 보청기를 착용하고 /이|니|를 발생했을 때 측정된 각각의 REIG를 1/2 옥타브밴드 근처 주파수인 200, 500, 800, 1,000, 1,500, 2,000, 3,000, 4,000, 6,000 Hz에서 구하였다. 그리고 착용한 보청기의 REIG 측정이 끝날 때마다 폐쇄모음 /이|니|에 대한 울림의 정도를 피검자가 설문지에 직접 표시하도록 하였다.

통계 분석

CIC 및 OET, CET, DET에 따른 REIG의 차이를 알아보기 위해 각각의 1/2 옥타브 주파수에서 반복측정 일원분산분석(one-way ANOVA with repeated measures)을 시행하였다. 그리고 REIG의 차이가 나타나는 주파수에서 CIC 및 이어팁의 형태에 따른 유의미한 차이를 확인하기 위하여 Bonferroni 사후분석을 실시하였다. 심리음향적인 OE의 유의미한 차이는 비모수 검정을 통하여 확인하였다. 통계 분석에 사용한 소프트웨어는 SPSS, Version 25.0 (IBM Corp., Armonk, NY, USA)이었다.

RESULTS

CIC 그리고 이어팁의 착용에 따른 REIG

각각의 1/2 옥타브 주파수에서 CIC 그리고 OET, CET, DET 를 장착한 RIC 보청기를 착용하고 /이[i]/를 발생했을 때의 REIG는 Figure 4와 같이 나타났다. CIC 그리고 OET, CET, DET 착용에 따른 REIG의 평균(표준편차)은 200 Hz에서 3.16(4.44), 1.26(2.30), -0.12(3.64), 2.95(4.72)로 나타났다. 500 Hz에서는 2.57(4.81), 0.86(2.50), 0.31(4.96), 3.75(4.55)로 나타났다. 1,000 Hz에서는 10.31(6.32), 4.68(4.60), 9.72(7.50), 11.75(6.35)로 나타났다. 1,500 Hz에서는 4.05(5.14), 6.11(5.06), 8.82(6.60), 8.60(4.87)으로 나타났다. 2,000 Hz에서는 -3.69(6.09), 4.51(4.72), 3.13(7.87), -2.34(6.60)로 나타났다. 3,000 Hz에서는 -19.48(10.21), -6.63(7.61), -13.14(7.12), -16.83(7.53)으로 나타났다. 4,000 Hz에서는 -15.89(10.74), -7.49(5.98), -11.20(6.12), -14.74(6.93)로 나타났다. 6,000 Hz에서는 -3.10(11.70), -4.24(7.36), -4.23(5.07), -5.09(6.88)로 나타났다.

그리고 1/2 옥타브 주파수에서 CIC와 이어팁의 종류에 따른

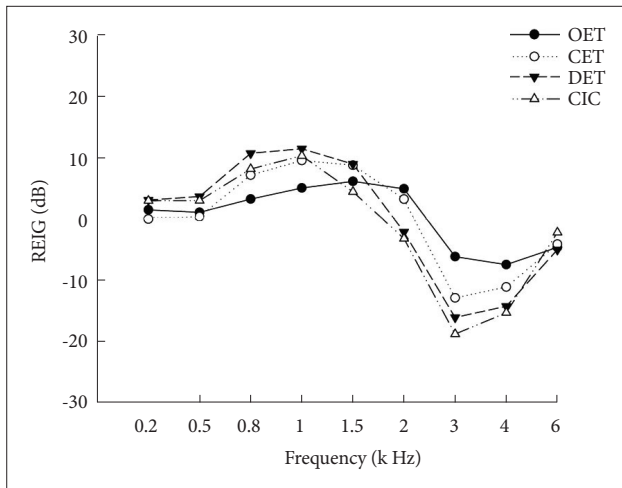


Figure 4. REIG of the CIC and ear tips (OET, CET, and DET) at 1/2 each octave frequency. REIG: real-ear insertion gain, CIC: completely-in-the-canal, OET: open ear tip, CET: closed ear tip, DET: double ear tip.

반복측정 일원분산분석의 결과는 Table 2에 나타내었다. Table 2에서 CIC 그리고 이어팁의 종류에 따른 REIG는 800 Hz [F(3, 48) = 10.87, $p < 0.05$], 1,000 Hz [F(3, 48) = 9.96, $p < 0.05$], 1,500 Hz [F(3, 48) = 5.44, $p < 0.05$], 2,000 Hz [F(3, 48) = 12.84, $p < 0.05$], 3,000 Hz [F(1.93, 30.87) = 12.12, $p < 0.05$], 4,000 Hz [F(1.64, 26.19) = 4.90, $p < 0.05$]에서 의미 있는 차이가 나타났다. 그러나 200 Hz [F(3, 48) = 2.73, $p > 0.05$]와 500 Hz [F(3, 48) = 2.88, $p > 0.05$]에서는 차이가 나타나지 않았다.

CIC 그리고 이어팁 간의 차이를 알아보기 위해 Bonferroni 사후분석을 실시한 결과는 Table 2에 나타내었다. OE가 주로 발생하는 1,000 Hz 이하의 주파수에서 OET의 REIG는 800 Hz, 1,000 Hz에서 CIC 및 다른 이어팁에 비해 낮게 나타났다. 그리고 CIC의 REIG는 OET를 제외한 나머지 이어팁과 차이를 나타내지 않았으며($p > 0.05$), 200 Hz와 500 Hz에서는 CIC 및 모든 이어팁 간에 REIG의 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

CIC 그리고 이어팁의 형태에 따른 심리음향적 OE

CIC 그리고 이어팁의 형태에 따른 심리음향적인 OE의 평균(표준편차)은 CIC가 2.32(1.38), OET는 1.21(1.25), CET는 1.56

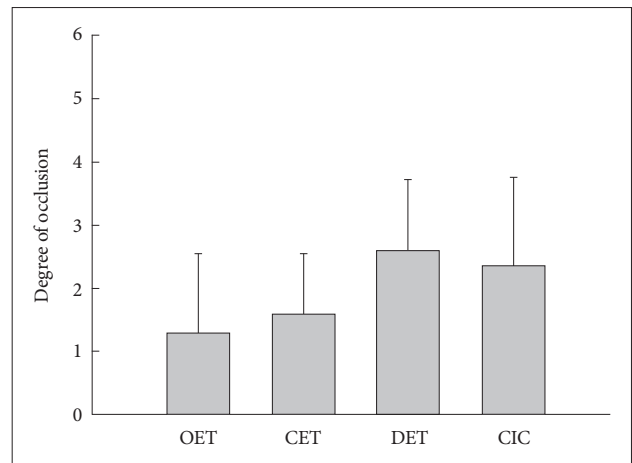


Figure 5. Degree of subjective occlusion between the CIC and ear tips (OET, CET, and DET). CIC: completely-in-the-canal, OET: open ear tip, CET: closed ear tip, DET: double ear tip.

Table 2. Differences of real-ear insertion gain between the CIC and ear tips (OET, CET, and DET) at each 1/2 octave frequencies

Type	Frequency in Hz									
	200	500	800	1,000	1,500	2,000	3,000	4,000	6,000	
OET-CET			†	†			*			
OET-DET			‡	‡		‡	‡	‡		
OET-CIC			*	†		‡	†			
CET-DET						*				
CET-CIC					†	†				
DET-CIC					†					

* $p < 0.05$, † $p < 0.01$, ‡ $p < 0.001$. CIC: completely-in-the-canal, OET: open ear tip, CET: closed ear tip, DET: double ear tip

Table 3. Results of Wilcoxon nonparametric test of the psychoacoustic score according to the CIC and ear tips (OET, CET, and DET)

Type	OET	CET	DET	CIC
OET	-			
CET		-		
DET	†	‡	-	
CIC	†	*		-

* $p < 0.05$, † $p < 0.01$, ‡ $p < 0.001$. CIC: completely-in-the-canal, OET: open ear tip, CET: closed ear tip, DET: double ear tip

(0.95), 그리고 DET는 2.56(1.10)으로 나타났다(Figure 5).

Table 3에서 심리음향적인 OE의 차이를 Wilcoxon의 비모수 검정으로 확인하였는데, OET는 DET ($p < 0.01$), CIC ($p < 0.01$)와 차이가 나타났으며, CET 또한 DET ($p < 0.001$), CIC ($p < 0.05$)와의 차이가 나타나서 OET와 CET가 DET와 CIC에 비해서 울림을 덜 느끼는 것으로 나타났다. 그러나 DET와 CIC 간에는 차이가 나타나지 않았다($p > 0.05$).

DISCUSSIONS

난청으로 인해 보청기를 착용하면 외이도의 폐쇄로 인하여 대부분의 사용자는 OE를 경험한다(Jespersen et al., 2006). OE는 난청의 정도 및 유형과 보청기의 형태 등에 따라 차이가 나며, OE의 정도에 따라 보청기에 대한 만족도가 달라진다(Dillon, 2012). 근래 들어 OE를 효과적으로 해결할 수 있는 RIC 보청기의 판매량이 증가하고 있다(Kochkin, 2011). 그리고 RIC 보청기는 청력역치레벨의 정도 또는 음향피드백 등의 이유로 대부분 OET, CET, DET 등 세 가지 이어팁을 사용하고 있다. 이에 본 연구에서는 CIC 그리고 RIC 보청기에 장착하는 이어팁 착용 시 /이[i]/를 발생하였을 때의 OE의 변화를 객관적 측정인 REIG와 주관적 평가인 설문문을 통하여 알아보고자 하였다.

본 연구에서 OET의 REIG는 800 Hz와 1,000 Hz에서 CET, DET 및 CIC에 비해 낮게 나타났다. 그리고 심리음향적인 울림의 정도 또한 OET가 다른 이어팁 그리고 CIC에 비해 덜 울리는 것으로 나타났다. Lee et al.(2005)은 환기구가 있는 CIC 및 외이도보청기(in-the-canal hearing aid)가 환기구가 없을 때에 비해서 고막 부근의 저주파수의 음압을 배출하는 데 효과적이며, Kuk & Keenan(2006) 또한 환기구의 직경이 1 mm 증가할 때마다 저주파수의 음압이 4 dB 감소한다고 보고하였다. 그리고 Jespersen et al.(2006)과 Kiessling et al.(2005)의 연구에서도 환기구의 설치 또는 환기구 직경의 확장을 통해 고막 근처에서 생성된 저주파수의 음압을 외부로 배출할 수 있다고 보고하였다. 본 연구에서 사용한 OET는 이어팁에 직경이 큰 환기구를 설치한 효과가 있어 상기의 연구와 같이 다른 이어팁 및 CIC에 비해서 OE의 해결에 효과적임을 확인할 수 있었다.

그리고 CET의 REIG는 800 Hz와 1,000 Hz에서 OET에 비해 높게 나타났으며, 1,000 Hz 이하의 저주파수에서 DET 및 CIC와의 차이를 나타내지 않았다. 그러나 심리음향적인 울림의 정도는 DET 및 CIC에 비해서 덜한 것으로 나타났다. Dillon (2012), Lee & Lee(2013), Park & Lee(2016)의 보고에 의하면 보청기를 외이도 부분에 꼭 차게 착용했을 경우 고막과 수화기 팁(이어팁) 사이의 공간이 적을수록 OE의 해결에 효과적이라고 하였다. CET의 경우 CIC에 비해서 고막 부근의 용적이 넓은 것으로 볼 수 있어 CIC에 비해 울림 현상이 심할 것으로 보였지만 반대로 나타나 상기의 연구와는 차이를 나타냈다. 그 이유는 CET를 착용했을 때 이어팁의 모양이 일그러지면서 외이도와 이어팁 간에 공간을 생성하여 저주파수 대역의 음압을 외이도 외부로 배출했기 때문이다. 결과적으로 CET 또한 OE의 해결에 도움을 줄 수 있을 것으로 생각한다.

본 연구의 결과에서 200 Hz와 500 Hz의 REIG는 각각의 이어팁과 CIC 보청기 간의 차이가 나타나지 않았다. Dillon(2012)은 환기구의 직경이 클수록 저주파수 대역의 음압이 줄어든다고 하여 본 연구와 차이를 나타냈다. 그러나 Lee & Lee(2013)의 연구에서는 보청기의 외이도 부분의 길이를 길게 했을 때 OE가 줄어든다고 하였으나, 200 Hz와 500 Hz의 REIG에서는 길이에 따른 차이가 나타나지 않아 본 연구와 일치성을 나타냈다. 이는 발성을 할 때 저주파수가 외이도 내로 전달되어 재생성되기도 하지만 발성음의 일부, 특히 회절 현상이 잘 일어나는 저주파수 대역의 음압이 외부에서 고막 쪽으로 유입될 수 있다. 따라서 200 Hz와 500 Hz의 REIG에서 각각의 이어팁과 CIC 보청기에 따른 차이가 나타나지 않은 것은 OET와 CET의 경우 발성음 중 저주파수 대역의 외부 음압이 외이도 내로 유입되어 음압이 증가한 것으로 생각할 수 있다.

그리고 다른 주파수에 비해 3,000 Hz 내외의 주파수 대역에서는 DET와 CIC의 REIG가 낮게 나타났다. 이는 DET와 CIC 보청기의 착용 시 외이도를 잘 밀폐하여 저주파수 대역의 음압은 충분히 배출하지 못하므로 OE가 증가할 수 있으나, 고주파수 대역의 음향 누출을 최소화하여 음향피드백의 방지에는 효과가 있음을 의미한다(Stone et al., 2014).

결과적으로 OE를 해결하기 위해서는 OET와 CET를 착용하는 것이 효과적일 것으로 보인다. 하지만 RIC 보청기에 장착하는 이어팁은 사용자의 귓바퀴를 채워야 제작하는 CIC 보청기와는 달리 기성제품이며, 그 크기도 형태별로 적게는 2가지 많게는 4가지로 구성되어 있다. 따라서 RIC 보청기에 장착하는 이어팁은 사용자의 외이도 크기 및 형태와는 차이가 있으므로 음향피드백제어시스템을 활성화해야 하는 경우가 자주 발생한다. 이에 비해 CIC 보청기의 경우 고심도 난청을 제외한 대부분의 경우에는 음향피드백이 발생할 확률이 낮아서(Stone et al.,

2014), 고주파수의 이득이 감소되지 않기 때문에 결과적으로 어음인지도 및 음질에 효과적일 수 있다. 따라서 보청기의 형태를 결정할 때에는 청각손실의 정도, 유형, 형태, 그리고 보청기의 기술적인 특징을 고려하여 결정하는 것이 효과적이다.

본 연구에서는 CIC 보청기 그리고 이어팁의 착용 시 발생하는 OE의 변화를 건청인을 대상으로 실제 증폭이 이루어지지 않는 보청기를 착용한 상태에서 발성음 /이[i]/를 통해 확인하였다. 그러나 실제 OE를 측정하기 위해서는 난청인을 대상으로 실제 증폭이 이루어지는 보청기를 착용한 상태에서 문장을 사용하여 OE를 측정하는 방법이 필요할 것으로 보인다.

중심 단어 : 폐쇄효과 · 개방적합보청기 · 외이도내수화기보청기 · 맞춤형보청기 · 보청기 선택.

Ethical Statement

This study was approved by the Institutional Review Board of Hallym University of Graduate Studies (IRB # HUGSAUD 142830).

Acknowledgments

The authors thank to Starkey Korea and the participants. Dummy hearing aid of CIC type was provided by Starkey Korea.

Declaration of Conflicting Interests

There are no conflict interests.

Funding

N/A

Author Contributions

K.L. designed experimental procedures. J.P. collected and analyzed data. While discussing the results and possible implications, J.P. and K.L. wrote and revised the manuscript.

ORCID iDs

Jihye Park <https://orcid.org/0000-0001-8896-5402>
Kyoungwon Lee <https://orcid.org/0000-0002-1297-6436>

REFERENCES

- Carle, R., Laugesen, S., & Nielsen, C. (2002). Observations on the relations among occlusion effect, compliance, and vent size. *Journal of the American Academy of Audiology, 13*(1), 25-37.
- Dillon, H. (2012). *Hearing Aids*. (2nd ed.). Sydney: Boomerang Press.
- Jespersen, C. T., Groth, J., Kiessling, J., Brenner, B., & Jensen, O. D. (2006). The occlusion effect in unilateral versus bilateral hearing aids. *Journal of the American Academy of Audiology, 17*(10), 763-773.
- Kiessling, J., Brenner, B., Jespersen, C. T., Groth, J., & Jensen, O. D. (2005). Occlusion effect of earmolds with different venting systems. *Journal of the American Academy of Audiology, 16*(4), 237-249.
- Kirwood, D. H. (2007). Bucking bad economic news, hearing aid sales rise by 5.4% on way to record year. *The Hearing Journal, 60*(12), 11-16.
- Kochkin, S. (2010). MarkeTrak VIII: Consumer satisfaction with hearing aids is slowly increasing. *The Hearing Journal, 63*(1), 19-20, 22, 24, 26, 28, 30-32.
- Kochkin, S. (2011). MarkeTrak VIII Mini-BTEs tap new market, users more satisfied. *The Hearing Journal, 64*(3), 17-18, 20, 22, 24.
- Kuk, F. & Keenan, D. (2006). How do vents affect hearing aid performance? *Hearing Review, 13*(2), 34, 36, 38, 40, 42.
- Lee, S. H. & Lee, K. W. (2013). The acoustic and psychoacoustic changes of occlusion effect as a function of bony part length in CIC hearing aid. *Audiology and Speech Research, 9*(2), 157-164.
- Lee, S. Y., Lee, K. W., & Lee, J. (2005). A study of the occlusion effect for completely-in-the-canal hearing aids as a function of the vent length and residual volume. *Korean Journal of Audiology, 9*(2), 175-179.
- Mueller, H. G. (2003). There's less talking in barrels, but the occlusion effect is still with us. *The Hearing Journal, 56*(8), 10-16.
- Park, J. H. & Lee, K. W. (2016). Comparison with occlusion effects in CIC and IIC hearing aid (p. 83-84): *19th Symposium of Korean Academy of Audiology*. Seoul: Seoul University College of Nursing.
- Stone, M. A., Paul, A. M., Axon, P., & Moore, B. C. (2014). A technique for estimating the occlusion effect for frequencies below 125 Hz. *Ear and Hearing, 35*(1), 49-55.
- Winkler, A., Latzel, M., & Holube, I. (2016). Open versus closed hearing-aid fittings: A literature review of both fitting approaches. *Trends in Hearing, 20*. pii: 2331216516631741.