

커플러이득(Coupler Gain)과 실이삽입이득(REIG)의 비교연구

유 경* · 이정 학**

(*남북보청기, **한림대학교 의과대학 한강성심병원 이비인후과)

유 경·이정학. 커플러이득(Coupler Gain)과 실이삽입이득(REIG)의 비교연구. 『언어청각장애연구』, 2002, 제7권, 제3호, 179-189. 보청기는 청력손실을 보상하기 위해 소리를 증폭하는 장치이다. 이런 보청기의 이득을 평가하는 방법으로 객관적인 검사와 주관적인 검사가 있다. 주관적인 방법으로는 음장측정을 통한 기능이득이 있고, 객관적인 검사방법으로는 보청기 분석기를 통한 커플러이득과 실이측정에서 탐침관을 이용한 실이삽입이득이 있다. 이러한 보청기이득 평가방법 중 객관적 검사인 커플러이득과 실이삽입이득의 차이를 CORFIG라고 한다. CORFIG에 영향을 주는 요소는 귀본과 귓속형 보청기 외형의 음향적 특징, 기하학적 특징, 밴트효과, 중이의 임피던스, 외이도의 자연공명, 보청기와 고막 사이의 잔존체적이다.

본 연구에서는 22명(성인: 12, 아동: 10)의 22귀를 대상으로 귀걸이형 보청기의 CORFIG를 구하고 성인과 아동의 CORFIG 차이를 살펴보았다. 귀걸이형 보청기의 커플러이득과 실이삽입이득 차가 거의 없었지만 고주파수로 갈수록 커플러이득이 실이삽입이득보다 크게 나타났다. 커플러이득이 보청기를 착용했을 때 발생하는 회절효과를 피하기 위해 프리필드 조건을 가진 소형방음실에서 측정되는 반면, 실이착용이득은 이개에서 발생하는 배플효과에 영향을 받은 음장에서 측정되기 때문에 고주파수에서 커플러이득이 크게 나타났다. 그래서 CORFIG 값이 저주파수보다 고주파수에서 크게 나타났다. 또한 보청기를 착용한 외이도의 잔존체적이 성인보다 아동이 작게 나타남으로써 아동의 실이삽입이득이 성인보다 크게 나타났다. 그래서 아동의 CORFIG가 성인보다 작게 나타났다. 본 연구에서 나타난 성인과 아동의 CORFIG를 주파수별로 이용한다면 보청기 분석기에서 측정되는 커플러이득만으로 실제 귀 안에서 측정되는 실이삽입이득을 예측할 수 있을 것이다. 또한 환자들의 청력손실을 보상하기 위한 보청기 이득을 미리 예측하여 환자에게 적합할 때 보청기가 부적절하게 적합되는 실수를 감소시킬 수 있고 특히 아동에게 보청기를 적합할 때 너무 적은 증폭이나 과증폭을 예측할 수 있어 더 알맞은 적합을 할 수 있을 것이다.

핵심어: CORFIG, 실이삽입이득, 커플러이득

I. 서 론

보청기는 일반적으로 개인의 청력손실을 보상하기 위해 소리를 증폭하는 장치이다. 보청기에서 증폭된 신호가 너무 크면 불쾌함을 발생시키고 신호가 너무 적으면 보청기를 착용

하는 효과가 없을 것이다. 청력 손실이 있는 사람들에게 보청기를 적절하게 피팅(fitting)한다면 그들의 삶의 질을 향상시킬 수 있을 것이다. 보청기에 대한 연구는 거의 100여년 동안 진행되어왔다. 이러한 연구를 바탕으로 보청기가 새로운 기술과 결합함으로써 사람들에게 더 적합한 보청기로 거듭나고 있다. 많은 연구와 새로운 기술이 결합되면서 기존의 선형 보청기(linear hearing aid)와 비선형 보청기(nonlinear hearing aid)로부터 현재 디지털 보청기까지 개발되었다. 이 결과로 보청기는 더욱 세밀하고 복잡하게 되었다. 보청기가 더 복잡하게 됨으로써 보청기를 환자에게 적합하는 방법들도 다양하게 변화하고 있다.

청력손실이 있는 환자에게 보청기가 적합한가를 평가하기 위해 보청기 증폭정도, 즉 이득(gain)을 측정한다. 이런 보청기의 이득을 임상적으로 평가하기 위한 방법으로는 객관적 검사방법과 주관적 검사방법으로 구분할 수 있다. 주관적 검사방법으로는 음장측정(sound field measurements)을 통한 기능이득(functional gain)이 있고 객관적 검사방법으로 보청기 분석기(hearing-aid analyzer)를 통한 커플러이득(coupler gain), 실이측정(real-ear measurements, REM)에서 탐침관(probe-tube)을 이용한 실이삽입이득(real ear insertion gain, REIG)이 일반적으로 이용된다.

커플러이득은 보청기를 착용한 상태의 외이도 용적을 2cc로 추정하여 보청기의 주파수 이득을 측정하는 검사이다. 이 검사방법은 전통적으로 국제전자기술위원회(International Electrotechnical Commission, IEC)와 미국표준연구소(American National Standards Institute, ANSI)의 규정에 따라 보청기의 주파수 반응과 최대출력(saturation sound pressure level, SSPL)을 검사해왔다. 이러한 커플러이득은 실제로 보청기를 착용한 상태와 매우 다른 방법으로 기능을 평가한다고 한다. 즉 정상적으로 보청기를 착용했을 때 발생하는 회절효과(diffraction effect)를 피하기 위해 프리필드(free field) 조건을 가진 소형 방음실(sound chamber) 안에서 보청기의 이득을 평가한다(Valente, 1995).

실이삽입이득은 보청기를 착용한 귀에 작은 탐침관을 귀분(ear-mold) 끝보다 길게(약 5 mm) 설치하고 약 30 cm 부근의 스피커에서 신호를 발생시켜 외이도 내부에서 보청기의 이득을 주파수 별로 측정하는 검사이다. Valente (1995)는 실이삽입이득에 영향을 미치는 요소를 내부적인 요인과 외부적인 요인으로 나누었다. 내부적인 요인은 보청기의 마이크로폰, 증폭회로, 리시버의 특징이다. 외부적인 요인은 먼저 배플 효과(baffle effect)로서 머리, 이개, 몸통의 영향으로 발생하는 음파의 흩어짐으로 이 음이 보청기의 마이크로폰에 전달되면 보청기의 출력에 변화가 생긴다. 다음으로 사람마다 다르게 나타나는 중이의 임피던스(impedance)의 특성이라고 했다.

커플러이득과 실이삽입이득이 차이를 나타내는 것은 이어몰드(ear-mold)와 귓속형 보

청기 외형의 음향적 특징, 기하학적 특징, 외이도의 체적, 중이의 임피던스라고 했다(Hawkins & Haskell, 1982; Killion & Monser, 1980). 또한 Sandline (2000)은 커플러이득과 실이삽입이득의 차이를 나타내는 주요한 요소를 벤트효과(vent effect), 외이도 자연공명, 보청기와 고막 사이의 잔존 체적이라고 했다.

이러한 커플러이득과 실이삽입이득의 차이(coupler gain-REIG)를 커플러-실이 이득차이(Coupler Response for Flat Insertion Gain, CORFIG)라고 명명했다(Killion & Monser, 1980). 이 연구에서는 객관적 검사인 커플러이득과 실이삽입이득을 비교함으로써 CORFIG를 구하고 성인과 아동의 CORFIG를 비교하고자 한다. 주파수별 CORFIG가 결정된다면 커플러이득에서 실이삽입이득을 예측할 수 있어 환자에게 더욱 알맞게 보청기를 적합하는데 도움이 될 것이다.

II. 연구방법

1. 연구대상

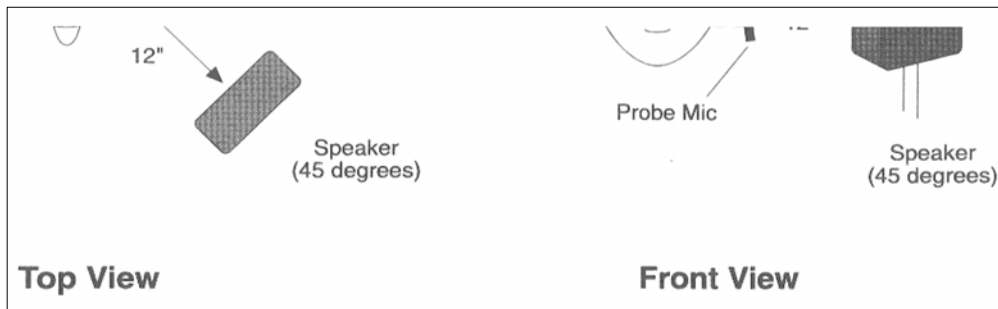
이 연구는 청력손실이 있고 현재 보청기를 착용하고 있는 22명의 22귀를 대상으로 하였다. 대상자들은 중이에 문제가 없는 감각 신경성 난청으로 경도부터 심도 범위의 청력손실을 가지고 있었다(Northern & Downs, 1991). 대상자들은 아동(남: 7, 여: 3) 10명, 성인(남: 7, 여: 5) 12명이었고 귀걸이형(behind the ear) 보청기를 사용하고 있었다. <표 - 1>은 대상자들의 청력손실 정도(500, 1000, 2000 Hz의 평균)와 연령을 나타냈다.

<표 - 1> 대상자들의 청력 역치와 연령

		아 동	성 인
연 령(세)	mean	5.6	51.8
	max	7.0	80.0
	min	4.0	22.0
청력역치 (dBHL)	mean	76.7	56.6
	max	86.7	70.0
	min	68.3	36.6

2. 도구 및 절차

검사 대상자 모두 보청기의 형태를 귀걸이형 보청기를 착용했고 이어몰드는 풀콘차(full-concha silicone ear-mold) 형태를 착용하고 있었다. 대상자 모두 커플러이득과 실이삽입이득을 구하기 위하여 조용한 방에서 보청기 분석기(FRYE ELECTRONICS, FONIX 6500)를 사용했다. 커플러이득의 측정은 음량 조절기를 고정한 상태에서 2cc 커플러(귀걸이형: HA-2)에 보청기를 연결하여 소형 방음실 안에서 보청기의 이득을 측정했다. 일정한 위치를 유지하기 위해 소형 방음실 안의 표시된 장소에서 검사를 실시하고 검사음은 60 dB SPL의 sweep tone을 사용했다.



<그림 - 1> 귀와 스피커의 거리와 각도

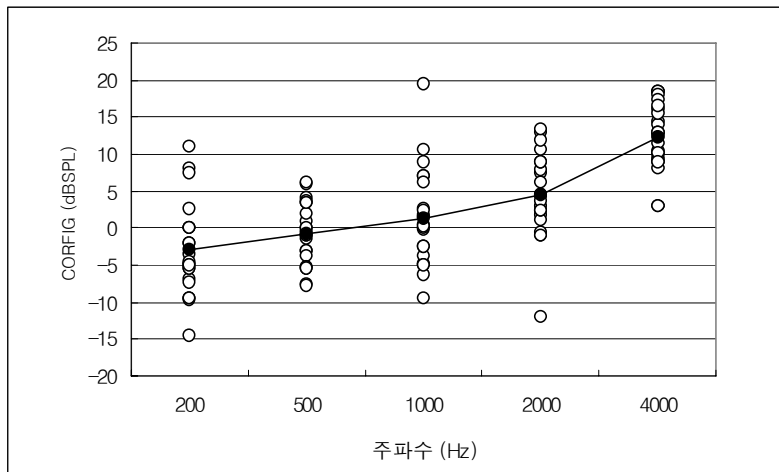
실이삽입이득은 <그림 - 1>과 같이 스피커는 귀와 수평으로 45°를 유지하고 스피커와 검사 귀의 거리는 일정하게 30 cm를 유지하도록 하였다. 기준송화기(reference microphone)는 귀 위에 설치하고 탐침송화기(probe microphone)의 연결관의 끝 부분이 고막으로부터 약 5-7 mm에 위치하도록 하였다. 검사음은 60 dB SPL의 sweep tone을 일정한 강도로 스피커에서 발생시켜 측정하였다. 우선 외이도의 자연 증폭을 측정한 실이공명이득(real ear unaided gain, REUG)을 측정한 후 움직이지 않는 상태에서 보청기의 이어몰드를 귀에 삽입하여 실이착용이득(real ear aided gain, REAG)을 측정한다. 이 때 연결관의 끝 부분이 움직이지 않게 주의하고 대상자들이 검사 시 움직이지 않도록 의자를 고정한 상태에서 스피커와 일정한 간격을 유지하도록 하였다.

실이삽입이득은 보청기를 착용한 이득을 측정한 실이착용이득과 외이도 자연증폭을 측정한 실이공명이득의 차이($REAG - REUG = REIG$)값이다(Hawkins, Muller & Northern 1992). 앞서 측정된 커플러이득과 실이삽입이득의 차이($coupler\ gain - REIG = CORFIG$)를 분석했다.

III. 결 과

1. 커플러-실이 이득차이(CORFIG)

실험대상자 22명 22귀의 커플라이득과 실이삽입이득의 차이를 나타내는 CORFIG를 구했다. 주파수별 CORFIG는 200 Hz -2.99 dB, 500 Hz -0.69 dB, 1000 Hz 1.33 dB, 2000 Hz 4.51 dB, 4000 Hz 12.34 dB로 나타났다(<그림 - 2> 참조).



<그림 - 2> CORFIG의 평균과 분포

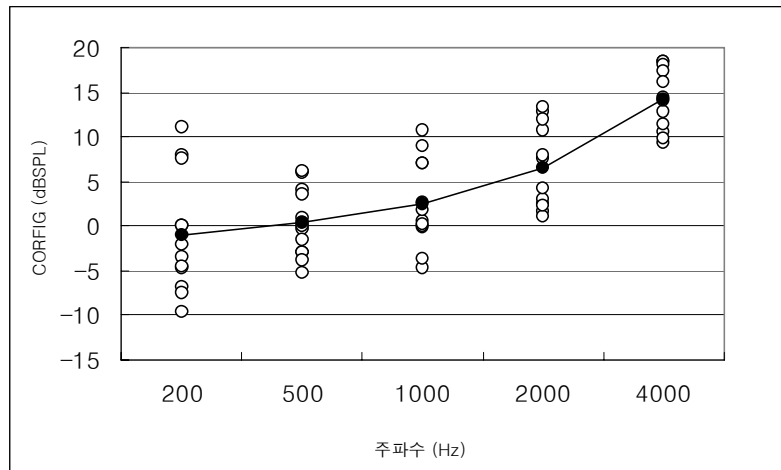
주파수별 표준편차는 200 Hz 6.20 dB, 500 Hz 4.15 dB, 1000 Hz 6.63 dB, 2000 Hz 5.77 dB, 4000 Hz 4.49 dB로 나타났다. 저주파수 영역에서는 실이삽입이득이 커플라이득보다 크고 고주파수로 갈수록 커플라이득이 크게 나타났다.

2. 성인의 CORFIG

실험 대상자는 모두 12명의 12귀를 이용하여 실이삽입이득과 커플라이득을 주파수별로 나누어 분석했다. 실이삽입이득 값에서 2cc 커플라이득을 뺀 값의 평균 즉 주파수별 CORFIG의 평균은 다음과 같다. 200 Hz -1 dB, 500 Hz 0.33 dB, 1000 Hz 2.53 dB, 2000 Hz 6.6 dB, 4000 Hz 14.27 dB로 나타났다(<그림 - 3> 참조).

저주파수에서는 실이삽입이득과 커플라이득의 차이가 거의 나타나지 않았지만 고주파

수 쪽으로 갈수록 차이가 크게 나타나는 것을 볼 수 있다. 성인의 CORFIG는 500 Hz 이상부터 양의 관계를 나타냈다. CORFIG의 주파수별 표준편차는 200 Hz 6.61 dB, 500 Hz 3.86 dB, 1000 Hz 4.90 dB, 2000 Hz 4.68 dB, 4000 Hz 3.44 dB로 나타났다.



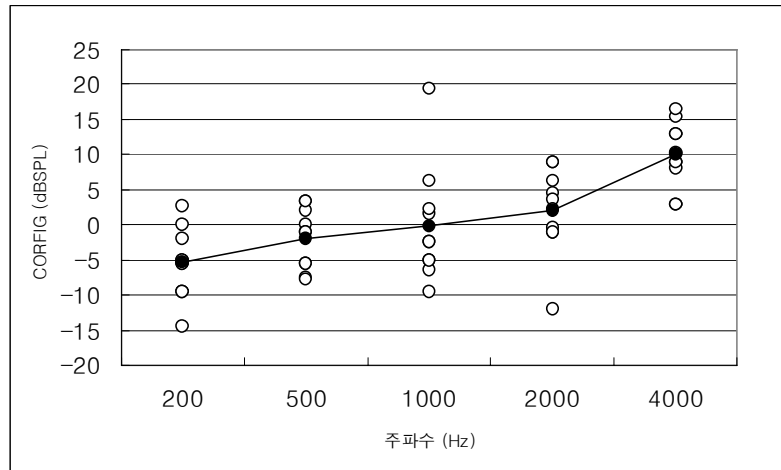
<그림 - 3> 성인의 CORFIG의 평균과 분포

3. 아동의 CORFIG

실험 대상자 모두 7세 미만의 아동으로 10명의 10귀에서 실이삽입이득과 커플러이득을 주파수별로 비교했다. 주파수별 평균 CORFIG는 200 Hz -5.38 dB, 500 Hz -1.93 dB, 1000 Hz -1.2 dB, 2000 Hz 2.01 dB, 4000 Hz 10.03 dB으로 나타났다(<그림 - 4> 참조). 주파수별 표준편차는 200 Hz 4.98 dB, 500 Hz 4.36 dB, 1000 Hz 8.3 dB, 2000 Hz 6.19 dB, 4000 Hz 4.65 dB이었다. 아동의 CORFIG 평균은 250 Hz부터 1000 Hz까지 음의 관계를 나타내지만 2000 Hz와 4000 Hz까지는 양의 관계를 나타냈다. 즉, 1000 Hz 이하에서 커플러이득보다 실이삽입이득이 크게 나타나지만 2000 Hz 이상에서 커플러이득이 크게 나타난 것을 알 수 있었다.

IV. 고찰

일반적으로 보청기를 평가하는 객관적인 방법 중 커플러이득은 2cc 커플러를 이용하



<그림 - 4> 아동의 CORFIG의 평균과 분포

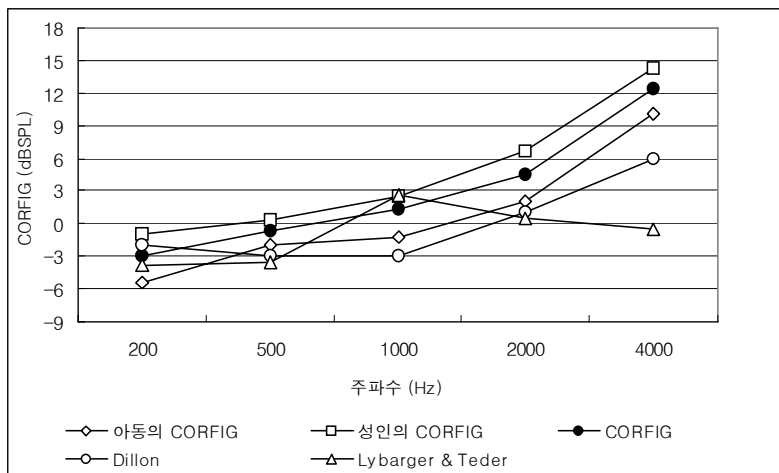
여 보청기의 자체의 이득을 평가하는 것이다. 커플러이득은 외이도 체적을 2cc로 고정된 상태에서 ANSI와 IEC규정에 따라 주파수별 이득을 측정한다. 또한 밴트효과(vent effect)와 외이도에서 자연 증폭되는 공명(resonance)을 제외한다. 반면 실이삼입이득은 외이도의 체적에 영향을 받고 보청기를 사용하는 소리의 크기에 따라 주파수별 이득이 다르게 측정되고 밴트 효과와 외이도 공명을 포함한다. 그래서 보청기를 착용한 실제 귀에서 측정되는 실이삼입이득이 커플러를 이용하는 방법보다 좀 더 실질적인 평가 방법이다.

Dillon (2001)은 CORFIG를 이용하여 커플러이득과 실이삼입이득의 계산공식을 제시했다. 이 식에서는 귀본관의 직경을 고려한 사운드 보어효과(sound bore effect)와 밴트효과를 고려하여 CORFIG를 제시했다. 이러한 영향을 고려하지 않은 본 연구가 500 Hz 2.3 dB, 1000 Hz 4.33 dB, 2000 Hz 3.51 dB, 4000 Hz 6.34 dB 더 높게 나타났다. 또한 Dillon이 제시한 다른 보청기 형태(이개형, 외이도형, 고막형)의 CORFIG와 비교하면 보청기의 형태가 작아질수록 본 실험에서 연구한 귀걸이형 보청기의 CORFIG보다 모든 주파수에서 작게 나타났다. 특히 고막형 보청기 경우 2000 Hz 이상에서 CORFIG가 10-30 dB 작게 나타났다. 이와 같은 차이는 마이크론의 위치효과(location effect)로 인해 발생하는 것으로 추정된다. 즉 음파가 귀에 전달되었을 때 이개 테두리의 가장자리에서 음파가 흩어지거나 상호 간섭 때문에 마이크로폰이 귀 뒤에 있는 귀걸이형 보청기가 고막형 보청기보다 음파의 영향을 많이 받기 때문이다.

3-7세 아동과 21-30세 성인의 실이측정과 커플러측정의 상관관계 연구(Feigin et al.,

1989)에서 외이도의 체적이 증가할수록 실제 외이도에서 나타나는 음압은 감소한다고 했다. 이것은 귀본을 착용한 성인의 잔존체적이 아동보다 크기 때문에 성인의 실이삽입이득이 아동보다 작게 나타난다. 즉 CORFIG는 실이삽입이득이 감소할수록 커진다. 그러므로 성인의 CORFIG가 아동보다 크게 나타나는 것이다. 본 연구에서도 성인의 CORFIG가 아동보다 200 Hz 4.83 dB, 500 Hz 2.26 dB, 1000 Hz 3.72 dB, 2000 Hz 4.59 dB, 4000 Hz 4.24 dB 더 높게 나타났다(<그림 - 5> 참조). 또한 본 연구에서 외이도 크기의 차이로 인해 성인의 CORFIG가 아동보다 크게 나타난 것을 알 수 있었다. 또 다른 이유는 귀본을 제작할 때 똑같은 귀본관을 사용했지만 귀본을 외이도에 착용했을 때 귀본관 직경의 감소로 인해 2000-4000 Hz에서 성인의 CORFIG가 500 Hz, 1000 Hz보다 크게 나타난 것으로 추정된다.

Lybarger & Teder (1986)는 KEMAR (knowles electronics mannequin for acoustic research)를 이용하여 2cc 커플러이득과 실이삽입이득을 비교 연구했다. 본 연구결과와 비교하면 귀걸이형 보청기의 CORFIG 값은 2000 Hz까지 유사한 결과이지만 4000 Hz에서는 본 연구가 약 10 dB 크게 나타났다(<그림 - 5> 참조).



<그림 - 5> CORFIG의 비교

또한 성인은 2000 Hz 이상에서 아동은 4000 Hz에서 크게 나타났다. 이러한 고주파수 부근의 차이는 KEMAR를 이용한 실험에서 CORFIG의 값에 영향을 주는 요소, 즉 헤드버플 효과(head baffle effect), 모조귀(ear-simulator)와 실제 귀의 체적 차이 때문에 본 실험과 차이가 나타난 것으로 추정된다. 그리고 Killion & Revit (1987)는 실이삽입이득의 측정 시 스

피커 각도에 대한 연구에서 귀걸이형 보청기의 0°가 45°보다 실이삽입이득이 크게 나타난다고 했다. 이것은 KEMAR를 이용한 연구에서 실이삽입이득을 측정할 때 스피커를 0°에 위치하여 45°에서 측정한 본 연구와 고주파수에서 차이가 많이 나타난 것으로 추정된다.

또한 성인이 아동보다 적은 표준편차를 나타냈는데 이것은 검사 시 성인에 비해 아동이 머리의 움직임이 많아 데이터의 차이가 많이 나타난 것으로 보인다. 그러므로 아동의 실이 측정 시 많은 주의가 필요하다고 본다.

본 연구에서 커플러이득을 이용하여 실이삽입이득을 추측할 수 있는 성인과 아동의 CORFIG를 연구했다. 또한 CORFIG에 영향을 주는 요소는 보청기 혹은 귀본으로 외이도를 차단함으로써 발생하는 실이공명이득의 손실, 마이크로폰의 위치(귀걸이형, 이개형, 외이도형, 고막형), 실제 귀와 2cc 커플러의 용적의 차이 때문이라고 밝혔다. 실제 보청기 제조 회사는 커플러나 모조귀를 사용하여 측정된 보청기 이득을 제공한다. 이렇게 제공된 커플러이득에서 CORFIG를 빼 준다면 실이삽입이득을 추측할 수 있을 것이다. 그래서 환자에게 보청기를 처방하기 전에 미리 예상된 이득을 알고 처방한다면 더욱 알맞은 보청기를 선택할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- Dillon, H. (2001). Electroacoustic performance and measurement. In H. Dillon (Ed.), *Hearing aids*. New York: Thieme Stratton.
- Feigin, J. A., Kopun, J. G., Stelmachowicz, P. G. & Gorga. M. P. (1989). Probe-tube microphone measurements of ear-canal sound pressure levels in infants and children. *Ear & Hearing*, 10(4), 254-258.
- Hawkins, D. B. & Haskell, G. E. (1982). A comparison of function gain 2 cm³ coupler gain. *Journal of Speech and Hearing Disorders*, 47, 71-76.
- Hawkins, D. B., Mueller, G. & Northern, J. L. (1992). Probe microphone measurements, San Diego: Singular Publishing.
- Killion, M. C. & Monser, E. L. (1980). Coupler: Coupler response for flat insertion gain. In G. A. Studebaker & I. Hochberg (Eds.), *Acoustical factors affecting hearing aid performance*. Baltimore: University Park Press.
- Killion, M. C. & Revit, L. J. (1987). Insertion gain repeatability versus loudspeaker location: You want me to put my loudspeaker where? *Ear and Hearing*, 8, 68-73.
- Lybarger, S. F. & Teder, H. (1986). 2cc coupler curves to insertion gain curves: Calculated and experimental results. *Hearing Instruments*, 37, 36-40.

- Northern, J. L. & Downs, M. P. (1991). Hearing and hearing loss in children. In J. Butler (Ed.), *Hearing in children*. Baltimore: Williams & Wilkins.
- Sandlin, R. E. (2000). *Textbook of hearing aid amplification*. San Diego: Singular Publishing.
- Valente, M. (1995). *Hearing aids: Standard, options, and limitations*. New York: Thieme-Stratton.
- Zemplenyi, J. (1980). An ear simulator for acoustic measurements. In G. A. Studebaker & I. Archberg (Eds.), *Rationales, principles and limitations in acoustic factor*. Baltimore: University Park Press.

ABSTRACT

Comparison of Coupler Gain with Real Ear Insertion Gain

Kyoung You (Nambuk Hearing Aid Corporation)
Junghak Lee (Dept. of Otolaryngology, Hallym University)

In this study, the real ear insertion gain (REIG) was compared with the coupler (HA-2 coupler) gain. The REIG is different from the coupler gain for several reasons. The coupler gain typically exceeds the REIG because it is affected by head, pinna, concha diffraction (i.e., the microphone location effect), and because the volume of the residual ear canal is smaller than 2 cc coupler (i.e., RECD effect). Subjects for the study were 12 adults and 10 children. The degree of hearing loss ranged from mild to severe. Ear canals of the subjects were free of cerumen and the middle ear functions were normal. They were all wearing behind-the-ear hearing aids. The abbreviation CORFIG stands for Coupler Response for Flat Insertion Gain. The value can be used to find a coupler gain that is equivalent to a certain REIG. To predict the amount of REIG, the CORFIG is subtracted from the 2 cc coupler gain. The mean CORFIGs for children were -5.38 dB at 200 Hz, -1.93 dB at 500 Hz, -1.2 dB at 1000 Hz, 2.01 dB at 2000 Hz, 10.03 dB at 4000 Hz. For adults the values were

-
- ▶ 게재 신청일: 2002년 9월 30일
 - ▶ 게재 확정일: 2002년 11월 13일

- ▶ 유 경 (제 1 저자): 남북보청기 청능치료사, e-mail: puretone@lycos.co.kr
- ▶ 이정학 (교신 저자): 한림대학교 의과대학 한강성심병원 이비인후과 교수, e-mail: leejh@sun.hallym.ac.kr

-1 dB at 200 Hz, 0.33 dB at 500 Hz, 2.53 dB at 1000 Hz, 6.6 dB at 2000 Hz, 14.27 dB at 4000 Hz. Once getting the individual CORFIG value across frequencies, it would be possible to predict the REIG from the 2 cc coupler gain. Thus, the use of the CORFIG may reduce the errors of inappropriate hearing aid fitting.

Key Words: CORFIG (Coupler Response for Flat Insertion Gain), REIG (Real Ear Insertion Gain), coupler gain