

## 확대역 전화기의 전송특성 (Transmission Characteristics for Wideband Telephones)

김정환\* 강성훈\*\*  
(J. H. Kim, S. H. Kang)

본 고에서는 확대역 전화기의 개발에 있어서 전송특성 설계의 지침으로 활용하기 위해, 현재 전화대역으로 사용중인 300~3,400Hz의 협대역에서 150~7,000Hz의 확대역으로 확장되는 핸드셋 전화기의 통화품질에 대한 주관평가 실험결과들과 ITU-T의 확대역 전화기 전송특성에 관한 권고를 분석하였다.

### I. 서 론

현재의 전화대역인 300~3,400Hz에서 150~7,000Hz의 대역으로 확장될 확대역 핸드셋 및 핸드프리 전화기에 대한 연구는 사용자에게 상당히 향상된 음성품질을 제공함으로써, 보다 편안하고 만족스러운 통신환경을 만들어주게 될 새로운 기술영역으로 떠오르고 있으며, ITU-T(International Telecommunication Union-Telecommunications Standardization Sector)나 ETSI(European Telecommunications Standard Institute)와 같은 국제 표준화 기관에서는 확대역

전화기의 전송특성 기준 및 평가방법의 표준화 권고를 만들기 위해 현재 연구중에 있다.

그러나, 주파수대역의 확장이 개인의 주관적인 라우드니스 판단에 커다란 분산을 일으킨다는 점과 송화자의 기분과 대화의 주제에 따라 송화자의 장기 스펙트럼에서의 변화(특히, 4kHz 이상의 주파수 대역에서)가 더욱 크게 나타난다는 연구결과들은, 확대역 전화기의 통화품질 및 전송특성 연구에 대한 새로운 논점을 제시하고 있다[1,2]. 확대역 전화기는 협대역 전화기보다 더욱 풍부한 음성정보를 전달하므로, 사용자들은 현재의 전화기에서와는 다른 음성품질을 느끼게 될 것이다. 이렇게 확대역 전화기가 도입됨으로써, "확대역과 협대역간의 음성크기 차이는 어느 정도인가?", "확대역과 협대역간의 주관적인 음성품질 차이는

\* 음향정보처리연구실 연구원

\*\* 음향정보처리연구실 선임연구원

어느 정도인가?", "협대역 전화기와 같이, 확대역 전화기에서도 최적 음성레벨과 선호 음성레벨간에 차이가 있는가?", 그리고 "확대역 전화기에서 사용자들이 선호하는 주파수 특성은 어떠한 것인가?"와 같은 새로운 연구 주제가 제기되고 있다.

따라서, 본고에서는 이러한 물음들에 대한 해답을 제시하고, 국내의 확대역 전화기 개발과 전송특성 기준설계에 지침으로 활용하기 위해서, 확대역 전화기의 통화품질에 대한 주관평가 실험결과들과 ITU-T의 확대역 전화기 전송특성에 관한 권고를 분석하였다.

## II. 확대역 전화기의 전송특성

### 1. 확대역 음량정격 알고리즘

현재 음성통신의 통화품질은 송화자의 입과 수화자의 귀 사이에 형성되는 음성 전달경로상에서의 음량정격(loudness ratings ; LR)으로 규정되어 있으며, 그 계산은 다음 식과 같이 ITU-T P.79[3]에서 권고하고 있다.

$$LR = \frac{-10}{m} \times \log_{10} \left\{ \sum_{i=N_1}^{N_2} 10^{0.1 \times m(S_i - W_i)} \right\}$$

여기서,  $m$ 은 상수로서 송화음량정격(sending loudness ratings ; SLR)과 수화음량정격(receiving loudness ratings ; RLR) 계산시는 0.175, 측음 마스킹 정격(sidetone masking ratings ; STMR) 계산시 0.225 ;  $i$ 는 0.1~8kHz까지 ISO 1/3 옥타브 대역수;  $N_1, N_2$ 는 상하위 대역제한 ;  $S_i$

는 감도(dB);  $W_i$ 는 가중 계수이다.

협대역과 확대역의 대역폭에 따라, 가중계수를 변화시킨 새로운 확대역 LR 알고리즘 개발의 필요성이 제기되었으나[1], 확대역 전화기의 전송특성 기준치를 다루고 확대역 LR 알고리즘에 대한 요구를 추진하고 있는 Question 20/12에서는, 1993년 5월 모임에서 확대역 전화기의 통화품질 주관평가 실험 결과들간의 차이는 실험에 사용한 필터들의 세부적인 특성차이에 있다는 결론을 내렸고, 1994년 2월 모임에서는 P.79 알고리즘을 확대역 전화기에 그대로 적용하기로 합의가 이루어졌다[4]. 따라서, 확대역 LR 알고리즘 연구는 ITU-T Question의 활동계획에서 삭제될 것이고, 확대역 전화기에 대한 최종 권고에는 현재의 권고 초안인 P.WBHS(wideband handset)[5]에서와 같이, P.79의 LR 알고리즘이 사용될 것이다.

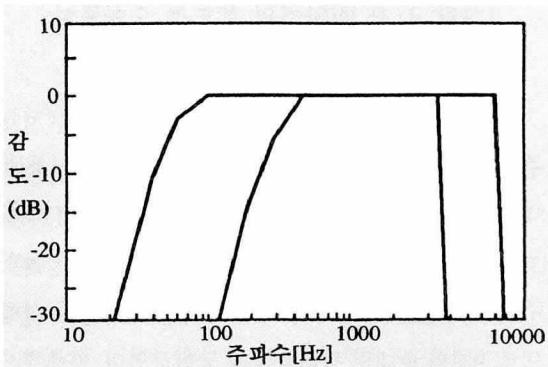
### 2. 송/수화 음량정격의 목표치

P.WBHS에서는 송화측에서의 전기음향 이득(electro-acoustic gain)은 P.79 알고리즘에 따라 계산된 협대역 LR로 조절될 수 있다고 보고, 임시적으로 송화음량 정격을 협대역 전화기에 대한 전송특성 권고 P.31[6]에서 규정한 +8dB와 같게 규정하고 있다. 그러나 수화 음량정격은 협대역 전화기에 대한 전송특성 권고 P.31에서 규정한 +2dB RLR에, 대역의 확장에 따른 라우드니스 이득을 보상하기 위한 6dB 손실과, 확대역 전화기에 사용하기 위해 권고 P.57[7]에서 규정한 type 3.2(simplified pinna simulator) 인공귀에서 생기는 라우드니스 손실을 보상하기 위한 부가적인 2dB 손실로부터 도출된 값인 +10dB로 규정하고 있다.

여기서 협대역과 확대역간의 라우드니스 차이에

의한 이득 보상치가 6dB라는 것은 "협대역과 확대역 핸드셋 전화기의 라우드니스와 음성품질 차이" 실험 [8]과 같은 라우드니스 주관평가 연구에서 그 근거를 찾을 수 있다. 이 실험에서는 기존의 협대역 전화기와 실험용으로 구현한 확대역 전화기에 대한 음성품질의 차이를 살펴보기 위해, 2개의 오피니언 척도(라우드니스 척도와 품질 척도), 2개의 청취양상(핸드셋과 헤드폰), 2개의 음성 통과대역(300~3,400Hz와 100~7,000Hz), 8단계의 음성레벨, 그리고 4명의 발화자로 구성된 실험조건에서 통화품질 평가를 실시하였다.

실험에 사용한 음성시료는 무향실에서 대역제한 없이 녹음된 지속시간 2.5초의 128개 단문장으로, 4명의 발화자가 32문장씩 발성하여 (그림 1)과 같은 주파수 특성이 되도록 ITU-T 권고 G.722에 따라 대역제한 하였다. 실험은 11점 척도의 라우드니스 평가와 11점 척도의 품질 평가를 위한 실험으로 나누어 실시하였고, 피험자는 핸드셋 또는 헤드폰으로 품질을 평가하였다.



(그림 1) 확대역과 협대역 주파수 특성

실험결과, 확대역과 협대역의 음성품질 차이는 95%의 평가수준에서 통계적으로 유의미하였고, 핸드셋과 헤드폰으로 제시된 확대역 음성의 절대 품질간

에는 유의미한 차이가 나타나지 않았다. 그리고 협대역과 확대역 음성간 라우드니스 차이는 핸드셋에서 약 5dB, 헤드폰에서 약 6dB로 나타났다. 이러한 결과는 통과대역을 달리한 음성신호의 라우드니스 주관평가 연구[9]에서 "확대역 회선(G.722)으로 전달된 음성 신호는 현재의 협대역 회선을 거쳐 전달된 음성신호 보다 6dB 더 크다"라는 결론과 상당히 일치하고 있다. 물론, 다른 주관평가 연구[10]에서는 이 값이 10~14dB 정도로 크게 나온 경우도 있지만, 앞에서도 언급한 바와 같이, 이러한 차이는 실험에 사용한 필터들의 세부적인 특성차이라고 보고, 여러 실험에서 확인된 일반적인 값인 6dB를 P.WBHS에 적용한 것이다.

### 3. 확대역 전화기의 감도/주파수 특성

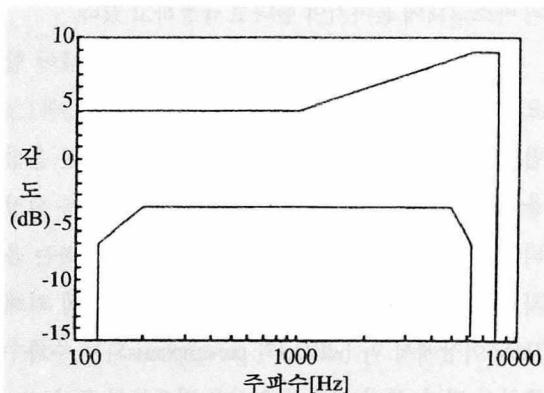
P.WBHS에서는, MRP(mouth reference point)에서 디지털 인터페이스까지의 송화 감도/주파수 특성이 <표 1>과 (그림 2)에 주어진 점들 사이에서의 마스크(mask) 내에 들어가야 한다고 규정하고 있고, 디지털 인터페이스에서 ERP(ear reference point)까지의 수화 감도/주파수 특성은 <표 2>와 (그림 3)에 주어진 점들 사이에서의 마스크내에 들어가야 한다고 규정하고 있다.

확대역 전화기에 대한 전송특성에서 고려해야 할 요인중 하나는 전송 주파수의 특성으로, (그림 2)와 (그림 3)에서 보는 바와 같이, 송.수화 주파수 특성은 음성을 단순히 전대역에 걸쳐 평탄하게 재생하도록 설정되어 있지 않다. 일반적으로 인간의 귀에 입사하는 음의 주파수 특성은, 머리회절과 외이의 공명에 의해 1kHz 이상에서 약 5dB/oct의 pre-emphasis되는 주파수 특성이 되며, 통상 이러한 특성을 정조통화 특성(orthotelephonic response)이라고 부른다[11,12]. 따라서, 핸드

셋을 통해 음성을 청취하는 사용자들은 평탄특성보다는 정조통화 특성을 더 선호할 것이라고 쉽게 예상할 수 있다. Gabrielsson 등[13]도 헤드폰을 통해 음성을 듣는 피험자들이 평탄특성보다 1kHz 이상에서 pre-emphasis된 특성을 선호하며, 가장 선호하는 특성은 0.15~1kHz까지는 평탄하고 1~4kHz까지는 6dB/oct 증가하는 특성이라고 주장하였다. 또한, 다른 많은 연구자들도 헤드폰과 핸드셋 청취에 있어서 정조통화 특성이 가장 선호된다고 보고하고 있다.

〈표 1〉 P. WBHS의 송화감도 상/하한계 특성

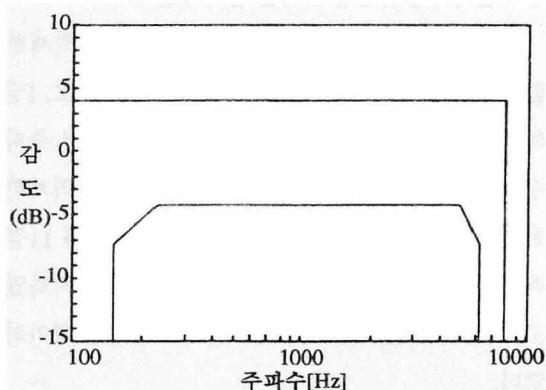
주파수 (Hz)	상한계 (dB)	하한계 (dB)
100	4	-∞
125	4	-7
200	4	-4
1000	4	-4
5000		-4
6300	9	-7
8000	9	-∞



(그림 2) P. WBHS의 핸드셋 송화특성

〈표 2〉 P. WBHS의 수화감도 상/하한계 특성

주파수 (Hz)	상한계 (dB)	하한계 (dB)
100	4	-∞
160	4	-7
200	4	-4
1000	4	-4
5000	4	-4
6300	4	-7
8000	4	-∞



(그림 3) P. WBHS의 핸드셋 수화특성

여기서는 P.WBHS에서 약 2dB/oct pre-emphasis 되는 주파수 특성의 설정에 실질적인 기본 자료로 이용된, "확대역 오디오에 대한 선호주파수 특성" 연구[14]를 고찰한다. 이 연구는 150~7,200Hz 대역에 대한 최적 주파수 특성을 결정하기 위해 실시한 주관평가 실험으로, 9개의 확대역 필터특성을 구현하였다. 이중에서 2개의 주파수 특성은 각각 다른 통과대역을 가지고 있는 평탄특성이다: (1) 150~7,200Hz, (2) 100~7,200Hz. 나머지 7개의 확대역 특성들은 150~7,200Hz 통과대역에 걸쳐 에너지 양을 변화시켰는데, 3개의 특성은 200, 500, 또는 1,000Hz에서 시작하여 약 25dB의 pre-

emphasis를 하였다. 다른 2개의 특성은 1,000Hz에서 시작하여 약 9dB와 13dB의 pre-emphasis를 하였다(또는 2dB와 5dB/oct의 pre-emphasis). 마지막 2개의 확대역 특성은 200 또는 1,000Hz에서 시작하는 13dB의 de-emphasis를 하였다. 그리고 통과대역이 500~3,200Hz인 1개의 협대역 특성을 포함시켰다. 실험용 음성시료는 10개의 문장을 사용하였다. 품질판단은 5점 척도로 구성하였고, 실험은 35dBA의 Hoth 잡음이 있는 방음실에서 헤드폰과 라우드스피커를 통해 실시하였다.

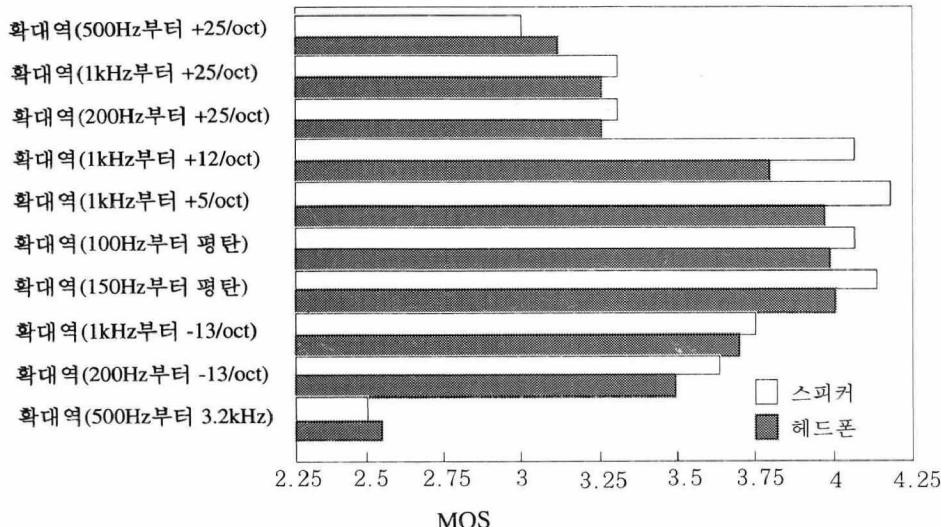
실험결과, 다양한 필터형상을 통과한 음성품질의 MOS(mean opinion score)는(그림 4)와 같다.

헤드폰과 스피커 재생조건에서, 4개의 필터 특성의 MOS가 다른 특성들보다 유의미하게 좋은데, 그 4개 특성 사이에는 유의미한 차이가 없었다(Student-Newman-Keuls,  $p < .05$ ). 이 4개 특성은 : (i) 평탄 150~7,200Hz, (ii) 평탄 100~7,200Hz, (iii) 1kHz에서 시작하는 2dB/oct pre-emphasis(또는 +5dB@1kHz), 그리고 (iv) 1kHz에서 시작하는 5dB/oct pre-emphasis(또는

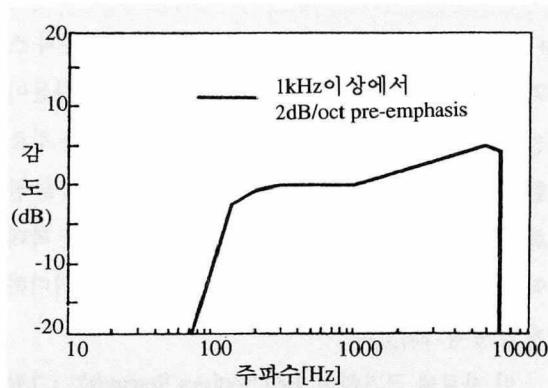
+12dB@1kHz). 물론, 이 특성들의 순위는 헤드폰과 스피커 제시에서 약간 다르다. 결과적으로, 사용자들이 선호하는 주파수 특성은 평탄특성보다는 고역을 강조한 특성이지만, 고역을 너무 강조한 특성은 품질을 열화시킨다. 그리고 협대역 음성과 비교하여, 모든 확대역특성은 헤드폰과 라우드스피커 모두에서 유의미하게 높게 평가되었다.

이 자료에 근거하여, Bell-Northern Research는(그림 5)와 같은 확대역 단말간 주파수 특성을 권고하고 있다. 이것은 150~1,000Hz는 평탄하고, 1,000 ~7,200Hz는 2dB/oct pre-emphasis된 것이다. 이 특성은(그림 4)에서 보여준 4개의 가장 선호된 특성들 가운데 하나로, 평탄특성과 정조통화 특성 사이의 특성이다.

이 실험결과는, 기존의 연구와 마찬가지로, 전송 주파수 특성에 대해 피험자들은 평탄특성보다는 1kHz 이상에서 약간 pre-emphasis된 주파수 특성을 더욱 선호하는 것으로 나타났다. 선호하는 특성은 정확히 정조통화 특성과 똑같은 특성은 아니지만, 평탄특성과



(그림 4) 여러가지 주파수 특성과 청취양상에 따른 MOS의 차이



(그림 5) 바람직한 확대역 단말간 주파수 특성

정조통화 특성 사이에 위치함을 보여주었고, 이러한 결과는, 확대역 전화기의 전송특성에 대한 ITU-T 권고 초안인 P.WBHS에 실질적으로 반영되고 있다.

### III. 협대역 및 확대역 전화기의 주파수 대역 품질평가

"확대역과 협대역 전화기의 품질 비교평가"[15] 연구에서는 실험용 확대역 전화기와 현재의 협대역 전화기간의 주관적인 품질차이를 직접 평가하기 위해 쌍비교 평가(paired-comparison test)를 실시하였다. 실험에는 20개의 다른 음성 소스파일을 사용하였으며, 4명의 발화자가 5개의 다른 문장쌍을 발음하였다. 협대역 음성은 ITU-T 권고 P.48[16] IRS(intermediate reference system; 중간기준계)의 송·수화 특성과 일치하도록 원래 음성을 필터링하였다. 또한 사람 머리주변의 회절 효과를 보정하기 위해, 원래의 확대역 음성도 FIR 필터(finite impulse response filter)로 필터링하였다. 음성을 필터링한 후, 협대역 음성은 -22dB로, 확대역 음성은 협대역과 확대역 간의 주관적 레벨차이를 보정하기 위

해, 앞에서 제시한 "협대역과 확대역 핸드셋 전화기의 라우드니스와 음성 품질 차이" 연구결과를 근거로 5dB 낮은 -27dB로 설정하였는데, 디지털 신호레벨 -22dB는 -15dBPa(79dB SPL)의 음향레벨과 대응된다.

실험에는 주파수 범위를 현재 전화대역을 상하로 한 옥타브씩 확장한, 실험용 확대역 핸드셋을 사용하였다. 음성은 일반 오디오의 앰프 좌우 채널에 공급하였고, 핸드셋은 헤드폰 출력단의 좌우채널에 연결하였다. 20개의 확대역 음성 시료파일을 각각 협대역 음성 시료파일과 결합하여 fragment라 부르는 40개의 결합된 음성 파일을 산출하였고, 각 fragment는 쌍A와 쌍B로 구성하였다. 피험자는 하나의 음성 fragment를 듣고, 첫번째 문장쌍과 두번째 문장쌍 중 어느 것이 더 좋은지, 그리고 얼마나 좋은지를 11점 척도로 판단하였다. 실험의 결과분석에서는 얻어진 두 점수간의 차이인 Xdiff를 산출하고 평균, 분산 및 신뢰구간(confidence intervals)을 계산하였다. 쌍비교 평가결과는 다음의 3가지 다른 자료선정 기준을 적용하여 계산하였다.

- 모든 타당한 점수를 고려한다.
- Xdiff의 95% 신뢰구간 밖의 점수가 배제한다.
- Xdiff의 95% 신뢰구간 밖의 점수가 있는 피험자의 모든 점수를 배제한다.

3가지 선정기준에 따른 실험결과를 <표 4>에 제시하였다. 여기서, 의심스런 점수를 배제하지 않는다면, 확대역 음성이 보다 높은 선호도를 보이지만( $X=3.17$ ), 분산이 크기 때문에 95% 수준에서는 유의미하지 않았다. 기준 2를 적용하면, 평균은 약간 증가하고 ( $X=3.42$ ), 분산은 반감하여 95% 수준에서 유의미하였다. 기준 3을 적용하면, 타당한 점수의 수가 전체 점수의 절반 이하로 급격히 감소하지만, 평균 선호도는 다

시 증가하고( $X=3.73$ ) 분산은 원래보다 1/5로 감소하여, 95% 수준에서 매우 유의미하게 되었다.

〈표 4〉 선호도 평정

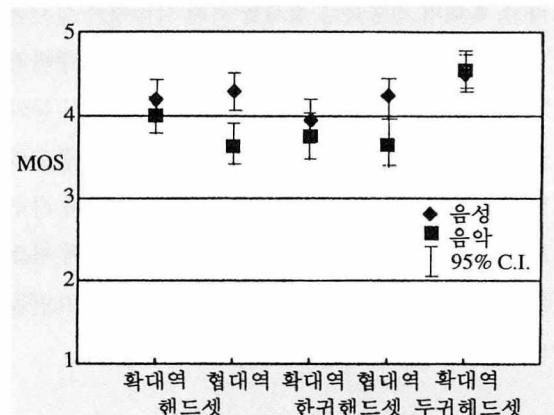
선택기준	피험자수	$\bar{X}$	$var(\bar{X})$	95% 신뢰구간
1	28	3.17	3.41	-0.45...6.79
2	28	3.42	1.89	0.73...6.11
3	13	3.73	0.74	2.04...5.42

결과분석을 위한 3가지 선정기준과 관계없이 커다란 피험자간 분산이 나타났는데, 이것은 피험자마다 서술용어에 대한 해석이 다를 수 있고, 어떤 피험자들은 평소 사용하던 협대역 전화기의 품질을 기준으로 판단하였기 때문으로 생각한다. 따라서, 이러한 다른 변수들을 고려하여 자료선정 규칙을 적용한 결과를 보면, 확대역 전화기의 음성품질 우위성이 명확히 나타났다.

음성 뿐아니라 음악에 대해서도 협대역과 확대역 핸드셋 전화기의 라우드니스와 음성품질 차이에 관해 주관평가를 실시한 "3kHz와 7kHz 대역제한된 음성/음악 신호에 대한 통화품질 주관평가"[17] 연구는 두가지 평가로 구성되어 있는데, 첫번째 절대범주 평가법(ACR; absolute categorical rating method)은 피험자들의 MOS를 얻기 위해 5점 척도로, 두번째 쌍비교 평가법에서는 선호도를 얻기 위해 9점 척도로 구성하였다. 실험에서는 약 10초 정도의 지속시간을 갖는 28개 음성시료와 30초의 지속시간을 갖는 4개 음악시료를 사용하였다. 또한, 대역에 따른 잡음과 양자화 왜곡의 영향을 알아보기 위해, 음성열화 조건을 첨가하였다. 청취양상은 기존의 핸드셋 전화기와 한쪽 귀에만 들리도록 한 고성능 한귀 핸드셋, 그리고 두귀에 모두 들리도록 한 고성능 두귀 헤드셋(headset) 조건으로 구성하였다.

절대범주 평가결과, (그림 6)에 나타난 바와 같이, 두귀 헤드셋 청취양상에서는 다른 청취양상에 비해 음성과 음악, 특히, 음악에 대해 더 높은 MOS가 얻어졌다. 그리고, 음성신호에 잡음이나 양자화 왜곡을 부가한 경우, 협대역보다는 확대역에서 더 큰 품질열화가 일어났다.

한귀 핸드셋만을 사용한 쌍비교 평가결과, 음성에 대해서는 2/3, 음악에 대해서는 3/4 정도 협대역보다 확대역을 선호하였다. 그러나, 음성에 대한 확대역 선호성은 평균적으로 "겨우 느낄만큼 좋다"와 "약간 좋다" 사이에 해당하는 결과를 보여, 매우 강력하지는 않았다. 음악에 대한 확대역 선호성은 평균적으로 "약간 좋다"라는 결과를 보였다. 또한, 음성신호에 잡음이나 양자화 왜곡을 부가한 경우, 비록 크지는 않았지만, 확대역보다 협대역을 더 선호하는 경향을 나타내었다.



(그림 6) 확대역과 협대역 음성 및 음악에 대한 MOS 결과

#### IV. 결 론

본고에서는 국내의 확대역 전화기 개발과 전송특성 기준설계에 지침으로 활용하기 위해서, 협대역

전화기와 확대역 전화기의 통화품질에 대한 각국의 주관평가 실험결과들과 그것이 현재 ITU-T의 PWBHS 전송특성 기준치에 적용된 연구동향을 분석하였다. 확대역 전화기 개발, 전송특성 기준설계 및 전송특성 측정방법에 관한 연구는 아직도 미해결된 분야가 상당히 있기는 하지만, 기존의 협대역 ISDN 전화기에 대한 전송특성 기준치 및 측정방법에서 그렇게 크게 벗어나지는 않을 것으로 생각한다. 그러나, 사용자들이 느끼는 통화품질의 분산이 협대역에서 보다는 상당히 크고, 그것이 전송특성 기준 설정에 영향을 미칠 수 있다는 사실은 반드시 염두에 두어야 할 것이다.

한편, LR의 선형성 법칙에 따라, 하나의 경로에 주어진 평탄특성은 동일한 크기로 LR을 증가시키지만, 주파수 의존적인 손실의 영향을 평가할 때는, 인간의 뇌가 라우드니스를 어떻게 평가하는지에 대한 적절한 심리-음향 모형(psycho-acoustic model)이 필요하다. 따라서, 확대역 전송특성 설계를 위해 각국에서 실시한 협대역과 확대역간의 라우드니스 판단에 대한 주관평가 실험들은 대역, pre-emphasis 및 단말결합 손실 등의 효과가 라우드니스 차이 규정과 LR의 확립에 중요한 역할을 한다는 것을 보여주고는 있지만, 확대역 라우드니스 레벨에 대한 최종 권고가 명시되기 전에 명료도와 망 또는 실내잡음과 같은 다른 부가적인 요인들의 중요한 역할도 고려해야만 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] ITU-T COM XII TD.45-E, "Discussion of LR Algorithm for Wideband Handsets," Geneva, Oct. 24-26, 1990.
- [2] J. Pittam, C. Gallois, and V. Callan, "The Long-term Spectrum and Perceived Emotion," *Speech Communication*, vol. 9, pp. 177-187, 1990.
- [3] ITU-T Rec. P.79, "Calculation of Loudness Ratings," Blue Book, vol. V, Geneva, 1989.
- [4] ITU-T COM XII-R 7-E, Report of Working Party 1/12 Meeting, Geneva, Feb. 17-18, 1994.
- [5] ITU-T COM XII TD.27-E, Status of Question, Geneva, May 10-19, 1993.
- [6] ITU-T. Rec. P.31, "Transmission Characteristics for Digital Telephones," Blue Book, vol. V, Geneva, 1989.
- [7] ITU-T. Rec. P.57, "Artificial Ears," Geneva, March 3-6, 1992.
- [8] ITU-T COM XII-11-E, "Difference in Loudness and Speech Quality for 3.1kHz and 7kHz Handset Telephony," Geneva, Mar. 1993.
- [9] ITU-T COM XII D.46, "Experimental Determination of Loudness Difference Between 3- and 7-kHz Bandlimited Speech Signals," Geneva, Feb. 12-14, 1990.
- [10] ITU-T COM XII D.58, "Wideband Loudness Balances," Geneva, Oct. 24-31, 1990.
- [11] ITU-T COM XII-224, "On the Measurement of the Insertion Gain of Telephone Systems Using Head and Torso Simulators(HATS): Separation into Transmit and Receive Characteristics and Comparison with Classical Coupler Measurements," Geneva, Oct. 1987.
- [12] E. A. G. Shaw and M. M. Vaillancourt, "Transmission of Sound-Pressure Level from the Free Field to the Eardrum Presented in Numerical Form", *Journal of Acoustical Society of America*, vol. 78, no.3, pp. 1120-1123, 1985.
- [13] A. Gabrielsson, B. Schenckman and B. Hagerman, "The Effects of Different Frequency Responses on Sound Quality Judgments and Speech Intelligibility," *Journal of Speech and Hearing Research*, vol. 31, pp. 166-177, 1988.
- [14] ITU-T COM XII D.59, "Preferred Frequency Responses for Wideband Audio," Geneva, Oct. 29-31, 1990.
- [15] ITU-T COM XII 12-9-E, "Paired Comparison Test of Wide-band and Narrow-band Telephony," Geneva, March, 1993.
- [16] ITU-T Rec. P.48, "Specification for an Intermediate Reference System," Blue Book, vol. V, Geneva, 1989.
- [17] ITU-T COM XII-63, "Two subjective Tests of Transmission Quality of 3- and 7kHz Bandlimited Speech and Music Signals," Geneva, Aug. 1990.