

전화 대역 확장에 따른 통화품질의 변화

○ 김 정 환, 강 성 훈
한국전자통신연구소 음성통신연구실

On the Transmission Quality of Wide-band Telephony

Jeong-Hwan Kim, Seong-Hoon Kang
Electronics and Telecommunications Research Institute

요 약

본 논문은 150 - 7,000Hz의 확대역 전화(wide-band telephony)를 위한 전화 전송특성 설계지점으로 활용하기 위해, 확대역과 300 - 3,400Hz의 협대역 전화(narrow-band telephony)에 대한 통화품질 평가결과를 비교/분석하였다. 통화품질 평가는, 조정법에 의한 신호 라우드니스 레벨과 동가 라우드니스 레벨 조정실험, 그리고 단음절 명료도평가로 구성되었다. 신호 라우드니스 레벨 조정실험의 결과, 협대역과 확대역 음성에 대한 피험자의 선호레벨이 각각 70.7dB(A) 및 68.6dB(A)로 약 2dB(A)의 차이를, 피험자간 분산은 2.12와 6.11로 의미있는 차이를 보였는데, 이것은 음성대역의 확장에 따라 사용자들의 분산이 크기 때문에 확대역 전화에서 수화음량 조절기능이 필요함을 증명한 결과이다. 그리고, 협/확대역 조건에서의 100개 단음절에 대한 명료도 실험 결과에서, 전체 명료도 점수간에는 통계적으로 의미있는 차이를 보이지 않았지만, 단음절중 3,400Hz 이상에서 많은 에너지를 갖는, 파열음 't', 파찰음 's', 'z', 'x', 그리고 마찰음 'x', 'm'으로 시작하는 20개 단음절에 대한 부분명료도에 있어서 협대역과 확대역 조건간에 20%의 명료도 차이를 나타내었다. 또한, 비교 라우드니스 레벨 조정실험의 결과, 협대역과 확대역 사이의 평균 라우드니스 레벨 차이가 약 3.4dB(A)로 나타났는데, 이 결과는 국내 확대역 전화의 수화음량정격 설정에 지침으로 활용 할 것이다.

1. 서론

현재 전화대역인 300 - 3,400Hz에서 150 - 7,000Hz의 대역으로 확장될 확대역 핸드셋 및 핸드프리 전화(wide-band handset and handfree telephony)에 대한 연구는 사용자에게 상당히 향상된 음성품질(speech quality)을 제공함으로써, 보다 편안하고 만족스러운 통신환경을 만들어 주게 될 새로운 기술영역으로 떠오르고 있으며, ITU-T(Telecommunication standardization sector of International Telecommunication Union)나 ETSI(European Telecommunications Standards Institute)와 같은 국제 표준화 기관에서는 확대역 전화의 전송특성(transmission characteristics) 기준 및 평가방법의 표준화 권고를 만들기 위해 현재 연구중에 있다.

그러나, 주파수대역의 확장이 개인의 주관적인 라우드니스(loudness) 판단에 커다란 분산(variance)을 일으킨다는 결과, 송화자의 기분(mood)과 대화의 주제에 따라 송화자 음성의 장기 스펙트럼(long-term spectrum)이 더욱 크게 변화한다(특히, 4kHz 이상의 주파수 대역에서는) 연구결과들은, 확대역 전화의 통화품질 및 전송특성 연구에 대한 새로운 논점을 제시하고 있다[1][2]. 확대역 전화는 협대역 전화보다 더욱 풍부한 음성정보를 전달하게 되므로, 사용자들은 현재의 전화에서와는 다른 음성품질을 느끼게 될 것이다. 이렇게 확대역 전화를 사용하면, '확대역과 협대역 간의 음성크기 차이는 어느 정도인가?', '확대역과 협대역 간의 주관적인 음성품질 차이는 어느 정도인가?', '협대역 전화와 같이, 확대역 전화에서도 최적 음성레벨(optimized speech level)과 선호 음성레벨(preferred speech level)간에 차이가 있는가?', 그리고 '확대역 전화에서 사용자들이 선호하는 주파수 특성은 어떠한 것인가?'와 같은 새로운 연구주제가 제기되고 있다.

본 연구에서는 이러한 물음들에 대한 해답을 제시하고, 국내의 확대역 전화 개발과 전송특성 기준설정에 지침으로 활용하기 위해서, 현재 전화대역으로 사용중인 300 - 3,400Hz 대역에서 150 - 7,000Hz 대역으로 확장되는 핸드셋 전화의 전송특성중, 특히, 수화음량정격(LR; receiving loudness ratings) 기준치 설정에 대해, 국내의 협대역 ISDN 전화에 대한 전송특성 기준의 감도/주파수 특성(sensitivity/frequency characteristics)과 ITU-T의 확대역 전화에 대한 권고 초안인 P.WBHS(wideband handset) [3]의 감도/주파수 특성을 이용한 실험결과를 기술하였다. 또한, "주파수대역의 확장이 개인의 주관적인 라우드니스 판단에 커다란 분산을 일으킨다"는 연구결과 [1]를 검증하기 위해, 신호 라우드니스 조정 실험을 실시하였다. 이러한 사실이 검증될 경우, 확대역 전화에서는 협대역에서는 필요없었던 수화음량 조절기능이 필요하다는 것을 시사하게 될 것이다.

그리고, 확대역과 협대역 전화의 음성품질에 대한 정량적인 평가를 위해, 100개의 국어 단음절(monosyllable)을 사용하여 명료도 평가(articulation test)를 실시하여, 100개 단음절에 대한 전체 명료도 점수의 차이와, 3,400Hz 이상의 주파수영역에서 커다란 에너지를 보유하고 있는, 파열음(frictive), 마찰음(plosive) 및 파찰음(affricate)에 대한 명료도점수의 차이를 살펴보았다.

한편, 식학에 사용한 협/확대역 주파수 특성에 대해, ITU-T 권고 P.79[4]의 LR 계산 알고리즘에 따라 객관적인 LRdiff(협대역 LR - 확대역 LR)를 도출하여, 주관 평가치와 비교/분석하였다.

11. 확대역 전화의 전송특성

현재 음성통신의 통화품질은 송화자의 입과 수화자의 귀 사이에 형성되는 음성 전달경로상에서의 음량정격(LR: loudness ratings)으로 규정되어 있으며, 일반적인 개질 알고리즘은 ITU-T 권고 P.79 [4]에서 식 (1)과 같이 제시하고 있다.

$$LR = -\frac{10}{m} \cdot \log_{10} \left\{ \sum_{N_1}^{N_2} 10^{(10m \cdot S_i)} \cdot W_i \right\} \quad (1)$$

여기서,

m은 상수이며 송/수화음량정격 계산시에는 0.175, 즉음비스킬 정격 계산시에는 0.225

N1, N2는 0.1 ~ 8kHz까지 ISO 1/3 octave의 대역 수

N1, N2 상하위 대역제한

S_i는 감도 (dB)

W_i는 가중 계수

협대역과 확대역의 대역폭에 따라, 가중계수(W_i)를 변화시킨 새로운 확대역 LR 알고리즘 개발의 필요성이 제기되었으나 [1], 확대역 전화의 전송특성 기준치 및 확대역 LR 알고리즘에 대한 요구를 추천하고 있는 ITU-T SG12의 Question 10/12에서는, 1993년 5월 모임에서 확대역 전화의 통화품질 주관적 평가 실험 결과들 간의 차이를 실험에 사용한 필드들의 세부적인 특성차이에 있다는 결론을 내렸고, 1994년 2월 모임에서는 P.79 알고리즘을 확대역 전화에 그대로 적용하기로 합의가 이루어졌다 [5].

한편, P.79BHS에서는 송화측에서의 전기-음향 이득(electro-acoustic gain)은 P.79 알고리즘에 따라 계산된 확대역 LR로 조절될 수 있다고 보고, 임시적인 송화음양정격(SLR: sending loudness ratings)을 확대역 전화에 대한 전송특성 권고 P.31 [6]에서 규정한 +8dB로 규정하고 있다. 그러나 RLR은 협대역 전화에 대한 전송특성 권고 P.31에서 규정한 +2dB RLR에, 확대역에서 확대역이 됨에 따른 효과적인 라우드니스 이득(loudness gain)을 보정하기 위해 더해지는 6dB 손실과, 확대역 전화에 사용하기 위해 권고 P.57 [7]에서 규정한 type 3.2 인공귀(simplified pinna simulator)에서 생기는 라우드니스 손실을 보정하기 위한 추가적인 2dB 손실로부터 도출된 값인 +10dB로 규정하고 있다.

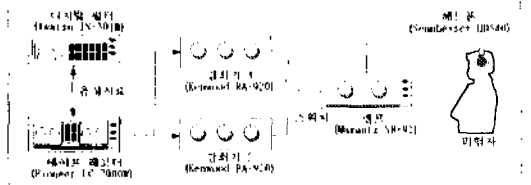
여기서 협대역과 확대역 간의 라우드니스 차이에 의한 이득 보상치인 6dB라는 것은 '협대역과 확대역 핸드셋 전화의 라우드니스와 음성품질 차이' 실험 [8]과 같은 라우드니스 주관평가 연구에서 그 근거를 찾을 수 있다. 또한, 동과대역폭이 다른 음성신호의 라우드니스 주관평가 연구 [9]에서도 "50 ~ 7,000Hz 확대역 회선(0.712)으로 전달된 음성신호는 원래의 협대역 회선을 거쳐 전달된 음성신호보다 6dB 더 크다"라고 보고하고 있다. 그러나 이러한 라우드니스 주관평가 결과는 실험환경 및 실험조건에 따라 상당히 가변적일 수 있기 때문에, 다른 주관평가 연구인 '확대역 라우드니스 균형' [10]에서는 이 값이 10 ~ 14dB 정도로 크게 나온 경우도 있다. 앞서서도 언급한 바와 같이, 이러한 차이는 실험에 사용한 필드들의 세부적인 특성차이로 보고있는데, 실제로 '협대역과 확대역 핸드셋 전화의 라우드니스와 음성품질 차이' 연구에서는 실험에 사용한 협대역과 확대역 주파수 특성이 모두 평탄특성이었고, '확대역 라우드니스 균형' 연구에서는 협대역 평탄특성과 확대역 평탄특성, 또는 협대역 평탄특성과 1,000Hz 이상의 고주파 대역을 2dB/oct나 5dB/oct pre-emphasis 가진 확대역 특성과의 비교결과이었다.

111. 실험

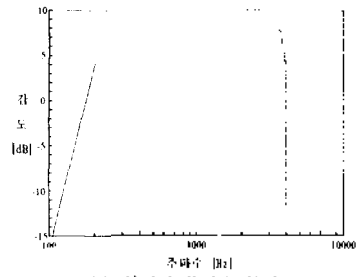
3.1 실험장치 및 주파수 특성

실험에 사용한 장치의 구성도는 (그림 1)과 같다. 협대역 및 확대역 주파수 특성은 (그림 2)와 같이, 각각 국내 협대역 ISDN 전화의 주파수 특성 기준치와 ITU-T P.79BHS의 주파수 특성으로 설정하였다.

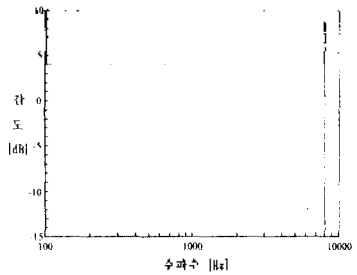
방법실



(그림 1) 실험장치 구성도



(a) 협대역 주파수 특성



(b) 확대역 주파수 특성

(그림 2) 실험에 사용한 협대역 및 확대역 주파수 특성

3.2 실험조건 및 절차

전체 실험을 3개의 개별 실험으로 나누어 실시하였는데, 첫 번째 실험에서는 협대역과 확대역 조건에서 음성에 대한 피험자의 선호 라우드니스레벨을 측정하였고, 두 번째 실험에서는 협대역과 확대역 조건에서 명료도 평가를 실시하였으며, 마지막 세 번째 실험에서는 협대역과 확대역 음성에 대해 피험자가 스스로 감쇠기(attenuator)를 조절하여, 주관적인 등가 라우드니스(equal loudness)를 구하는 비교 라우드니스 레벨 실험을 실시하였다. 실험은 방법실에서 피험자 11명의 개별적으로 실시하였고, 피험자로는 대학생 15명(남 6, 여 9)이 참가하였다. 먼저 실험자는 피험자에게 실험의 구성 및 일반적인 절차를 설명하고, 사전에 설계한 실험절계에 따라 실험을 실시하였다.

또한, 실험에 사용한 모든 음성자료(speech material)는 사전에 협대역 및 확대역 주파수 특성에 따라 15kHz로 샘플링하여 12bit linear PCM(pulse code modulation)으로 디지털화하였다. 이 때 레코딩 특성을 제거하고 원하는 주파수 특성을

언기 위해, 주파수 분석기(B & K type 2133)를 사용하여 레드본의 주파수 특성을 측정하고, 그것과 원하는 주파수 특성과의 차를 구해 디지털 워터로 등화(equalization)시켰다.

가. 신호 라우드니스 레벨 실험

신호 라우드니스레벨 조정실험에 사용한 음성자료는 방송국 스튜디오에서 전문 아나운서가 발성한 뉴스중 1분 45초 길이의 문장을 발췌하여 사용하였다. 이 조정실험에서, 피험자는 2번의 연습시행후에 협대역 또는 확대역으로 제시된 음성을 자신이 가장 선호하는 레벨이 되도록 감쇠기를 스스로 조정하였는데, 협대역과 확대역 조건을 각각 2번 반복하였다.

나. 명료도 실험

명료도 실험에서는 음성자료로서 [1]의 5개 단음절 명료도 목록에서 임의로 2개(100음절)를 선정하여 사용하였으며, 음성레벨은 sound level meter(Rion NA-20)로 측정하여, 65dB(A)가 되도록 고정하였다. 피험자에게는, 50개의 무의미 단음절로 구성된 명료도 평가용 목록 2개를 각각 협대역과 확대역 조건으로 들려주면서 반응응지에 받아쓰도록 하였다.

다. 비교 라우드니스 레벨 실험

중가 라우드니스 조정 실험에는 선회레벨 실험과 같이 아나운서가 발성한 7초 길이의 단문장을 음성자료로 사용하였다. 음성레벨은 협대역과 확대역 기준 레벨을 각각 60, 65, 70dB(A)로 설정하였으며, 신호 라우드니스 레벨 실험에서의 마찬가지로 2번의 연습시행후, 기준음성(reference speech)과 비교음성(compaired speech) - 협대역 기준음성에 대해서는 확대역 음성이 비교음성, 확대역 기준음성에 대해서는 협대역 음성이 비교음성 - 을 반복해서 청취하면서, 비교음성과 기준음성의 라우드니스가 같다고 판단할 때까지, 비교음성의 감쇠기를 조정하였다. 협대역 음성은 (1회)의 감쇠기 1을 통해, 확대역 음성은 감쇠기 2를 통해 제시하였다. 이것을 2회 반복하여, 전체 비교조정 횟수가 12회(3 기준레벨 × 2 음성통과대역 × 2회 반복조정)가 되도록 하였고, 각 피험자마다 기준음성의 제시순서를 무선회화(randomization)시켰다.

3.3 결과분석

가. 신호 라우드니스 레벨 실험결과

<표 1>과 <표 2>에 신호 라우드니스 조정 실험의 결과를 제시하였다. <표 1>에서 보는 바와 같이, 협대역과 확대역 음성에 대한 피험자의 선호레벨은 각각 70.7dB(A) 및 68.6dB(A)로 나타났고, 그 차이는 2.1dB(A)로, 단방향에서의 t-검정(one-tailed test) 결과, $\alpha=0.01$ 수준에서 의미있는 차이를 보이고 있다($t=-3.87, p<0.0003$). 또한, 협대역과 확대역 음성 각각에 대한 반복측정치의 차이값으로 계산한 피험자내 분산은 통계적으로 의미있는 차이를 보이지 않았으나, 피험자간 분산은 <표 2>에서 보는 바와 같이, 협대역과 확대역 음성 각각에 대해 2.12와 6.11로, F-검정 결과, $\alpha=0.05$ 수준에서 의미있는 차이를 보이고 있다($F=2.88, p<0.029$).

<표 1> 협대역과 확대역 음성에 대한 신호 라우드니스레벨(dB)

구분	협대역 음성	확대역 음성
평균	70.7	68.6
표준편차	4.85	3.08

$t=-3.87, p<0.0003$

<표 2> 협대역과 확대역 음성에 대한 피험자간 분산

구분	협대역 음성	확대역 음성
평균	1.87	2.60
분산	1.12	6.11

$F=2.88, p<0.029$

나. 명료도 실험결과

<표 3>과 <표 4>에는 협대역과 확대역 조건에서의 명료도 실험 결과를 나타내고 있다. <표 3>은 전체 명료도 점수에 대한 분석결과로, 협대역과 확대역 조건에서의 전체 명료도 점수 사이에는 의미있는 차이를 보이지 않았다. 그러나, <표 4>에서 보는 바와 같이, 명료도 목록의 답음집중 3,400Hz 이상에서 많은 에너지를 가지고 있는, 파형을 'u', 파찰음 'x', 'p', 'k', 그리고 마찰음 's', 'w'으로 시작하는 20개 음절들의 명료도에 대해 단방향에서의 t-검정 결과, 협대역과 확대역 조건간에 $\alpha=0.01$ 수준에서 의미있는 차이를 보이고 있다($t=3.21, p<0.003$).

<표 3> 협대역과 확대역 조건에서의 전체 명료도 결과

구분	협대역 조건	확대역 조건
평균	78.1	81.1
표준편차	6.44	6.96

$t=1.224, p<0.121$

<표 4> 협대역과 확대역 조건에서의 부분 명료도 결과

구분	협대역 조건	확대역 조건
평균	67.1	84.1
표준편차	15.0	10.8

$t=3.209, p<0.003$

다. 비교 라우드니스 레벨 실험결과

비교 라우드니스 조정 실험의 결과를 <표 5>와 (그림 3)에 제시하였다. 각 협/확대역 기준음성에 대한 피험자들의 평균 확/협대역 비교음성 레벨과 표준편차, 그리고 기준음성과의 차이값을 나타내고 있는데, (그림 3)의 반응곡선과 <표 5>의 표준편차를 보면 알 수 있듯이, 상당히 안정되고 일관된 반응경향을 보이고 있다. 그리고 차이값에 대한 전체 평균은 약 3.4dB(A)이었다.

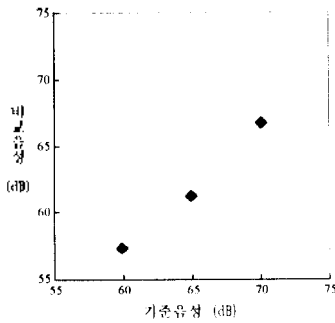
<표 5> 협대역과 확대역 기준음성에 대한 비교 라우드니스레벨

기준음성	협대역 60dB	협대역 65dB	협대역 70dB	확대역 60dB	확대역 65dB	확대역 70dB
평균	57.3	61.3	66.7	63.7	68.6	73.5
표준편차	1.98	1.17	1.25	1.77	1.62	1.84
대역차이	2.7	3.7	3.3	3.7	3.6	3.5
전체평균	1.4					

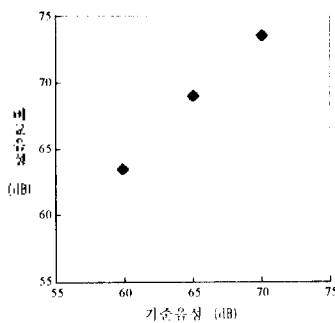
3.4 협대역 전화와 확대역 전화의 LR 계산치 비교

국내의 협대역 ISDX 전화에 대한 전송특성 기준의 감도/주파수 특성과 P.WBHS의 감도/주파수 특성에 대해, P.79의 LR 계산 알고리즘인 식 (1)에 따라 계산한 LRdiff(협대역 LR - 확대역 LR)를 <표 6>에 제시한다.

전화대역 확장에 따른 통화품질의 변화



(a) 기준음성이 협대역인 경우



(b) 기준음성이 협대역인 경우

(그림 3) 기준음성과 비교음성의 라우트리스 레벨치

<표 6> 협대역과 확대역 감도/주파수 특성을 고려한 LRAiff

구분	협/확대역 LR	확대역 LR
LR 계산치	- 1.5	- 7.0
LRAiff	5.5	

<표 6>에 나타난 바와 같이, 협대역 ISDN 전화와 P.WBHS의 확대역 전화 간의 LR은 5.5dB의 차이를 보이고 있다.

IV. 논의 및 결론

본 실험의 전호 라우트리스 조정 실험의 결과, 협대역과 확대역 음성에 대한 피험자의 선호레벨이 각각 70.7dB(A) 및 68.6dB(A)로 약 2dB(A)의 의미있는 차이를 나타냈다. 또한, 피험자간 분산이 의미있는 차이를 보인 것은 '주파수대역의 확장이 개인의 주관적인 라우트리스 판단에 커다란 분산을 일으킨다'는 가정의 주장과 잘 일치하며, 확대역 전화에서는 협대역에서는 필요없었던 수화음량 조절기능의 필요성을 검증한 것이라다. 현재 P.WBHS에서는 수화음량 조절기능 및 기타면역에 대해서 아직 권고자를 제시하고 있지는 않지만, 최종 권고에는 그 내용이 삽입될 것이다. 참고적으로 ETSI의 draft prETS 300 281 [12]에서는 수화음량 조절의 최소범위를 15dB로 제시하고 있다.

그리고, 협/확대역 조건에서의 명료도 실험 결과에서, 협/확대역 조건의 명료도 척수간에는 통계적으로 의미있는 차이가 보이지 않은 것은, 결국 현재의 전화대역으로도 사용자는 충분히 의사전달을 할 수 있다는 사실을 나타낸 것이다. 그러나, 단음절중 3,400Hz 이상에서 많은 에너지를 갖는, 피열음 '시', 파열음 '스', '프', '크', 그리고 마찰음 '시', '시'으로 시작

하는 20개 단음절에 대한 명료도에 있어서 협대역과 확대역 조건간에 의미있는 차이를 나타낸 것은, 현재의 전화통화에서 이러한 음절들이 포함된 부분을 때때로 정확히 알아듣지 못하여 되물음과 같은 행동을 할 수도 있다는 것을 나타내고 있다. 또한, 본 실험에서는, 부의미 단음절의 초성자음에 대해서만 명료도를 살펴본았지만, 추후 연구에서는 이음절 이상에 대해 모음과 모음 사이의 사음이나 인접한 사음 등과 같은 여러 종류의 음절에 대해서도 확인해 볼 필요가 있다. 물론, 전화통화시 대화분산의 맥락효과(context effect) 때문에, 사람들은 종종 잘못 듣거나 잘 들지 못한 어떤 음절들을 자신도 인식 못한 상태에서 정보처리해 버리는 음소복원 현상(phoneme restoration phenomena)이 있다.

비교 라우트리스 조정 실험의 결과, 협/확대역 사이의 평균 라우트리스 차이는 3.4dB(A)로 나타났다. 이 값은 국내의 협대역 ISDN 전화에 대한 전송특성 기준의 감도/주파수 특성과 P.WBHS의 감도/주파수 특성에 대해, P.79의 LR 계산 알고리즘으로 계산한 LRAiff = 5.5dB보다 약간 적은 값이며, '협대역과 확대역 핸드셋 전화의 라우트리스와 음성품질 차이' 실험 [8]과 동대역폭이 다른 음성신호의 라우트리스 주관평가 연구 [9]의 6dB나 '확대역 라우트리스 균형' [10]에서의 10 ~ 14dB와 차이를 보이고 있다. 그러나 이러한 차이는, 앞서도 언급한 바와 같이, 실험에 사용한 장비들의 세부적인 특성차이에 기인하는 것으로, 실제의 전화를 고려한다면, [8]의 평탄특성이나 [9]의 협대역 평탄특성과 확대역 평탄특성, 또는 협대역 평탄특성과 1,000Hz 이상의 고주파 대역을 2dB/oct나 5dB/oct pre-emphasis 시킨 확대역 특성과의 비교결과보다 현실적이라 할 수 있다. 따라서, 본 실험의 주관평가 결과와 계산한 객관치를 적절히 고려하여 국내 확대역 전화의 RLR 설정에 지침으로 활용한 예절이다.

전면, 확대역 전화 개발이나 전송특성 기준설계 및 전송특성 측정방법에 관한 연구는 아직도 미해결된 분야가 많지만, 기존의 협대역 ISDN 전화에 대한 전송특성 기준치 및 측정방법에서 크게 벗어나지는 않을 것으로 생각한다. 그러나, 사용자들이 느끼는 통화품질의 분산이 협대역에서 보다는 크고, 그것이 전송특성 기준 설정에 영향을 미칠 수 있다는 사실은 반드시 염두에 두어야 할 것이다.

참고문헌

- [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 COM XII TD-27-E, Status of Question, Geneva, May 10~ 19, 1993.
- [4] ITU-T Rec. P.79, "Calculation of Loudness Ratings", Blue Book, vol. V, Geneva, 1989
- [5] ITU-T COM XII-R 7-E, Report of Working Party 1/12 Meeting, Geneva, Feb. 17~18, 1994.
- [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 XI-11-E, "Difference in Loudness and Speech Quality for 3.1kHz and 7kHz Handset Telephony", Geneva, March 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] 김진현, 김대만, 김진호, 임영호, 이기호, 이종진, 박복희, 김민호, 이남진, 김승민, 권오중, 권영희, 이호민, 이호준, 12(1), pp. 84-87, 1993
- [12] ETSI, Draft prETS 300 281, "Integrated Services Digital Network(ISDN); Telephony 7kHz teleservice Terminal requirements necessary for end-to-end compatibility", 1993.