

# 음성통신에 있어서 최적 송화 주파수 특성에 관한 고찰

장대영\*\*, 장경환\*\*, 강성훈\*

\*한국전자통신연구소/신호처리연구소, \*\*충남대학교 심리학과

## A study on the desirable sending frequency characteristics for speech telecommunication

Dae-Young, Jang\*, Gyeong-Hwan, Jang\*\*, Sung-Hoon, Kang\*

\*Electronics and Telecommunications Research Institute, \*\*Chung Nam University

### I. 서 론

음성전송에 있어 통화 품질에 영향을 끼치는 요인에는 여러 가지가 있다. 그 중에서도 가장 중요한 것이 음량이다. 따라서 CCITT 및 세계 각국에서는 음향 경격(loudness Rating)으로서 적절한 음향을 만족하도록 규정하고 있지만, 음량이 적절하더라도 전송계의 주파수 특성에 따라 명료성 및 자연성이 크게 변하기 때문에, 최적 통화품질을 얻기 위해서는 음량과 함께 적절한 주파수 특성도 동시에 규정할 필요가 있다[1].

CCITT Question 10/XII에서 전화기의 바람직한 송·수화 주파수 특성이 논의되고 있지만, 각국의 의견이 일치되지 않아 국제적 권고에는 이르지 못하고, 세계 각국에서는 음량과 함께 각국 나름대로의 주파수 특성을 규정하고 있다. 각국의 주파수 특성 규정을 살펴 보면, 음성 전송 대역내에서 대체로 평탄한 수화 주파수 특성을 권고하고 있으며, 송화 주파수 특성은 명료성 향상이나 잡음 억제면에서 고역을 어느정도 강조시키는 것이 유리한 것으로 알려져 있다[4].

본 실험에서는 최적의 통화품질을 확보하기 위하여 우선 기준통화계인 정조 통화계(Orthotelephonic System)를 고찰하고, 전화기 주파수 특성에 대해 실제 사용자들의 선호도를 조사하기 위해 일련의 오피니언 평가를 실시하고, 그 결과를 토대로 최적 송화 주파수 특성을 제안하였다.

### II. 기준 통화계에 관한 고찰

이상적인 통화계란 그림 1과 같이 두 사람이 자유음장에서 1m 거리를 두고 얼굴을 마주 대하고 대화할 때의 공간 전송 특성을 말한다. 이 때 화자측 입과 청취자측 귀사이에는 자유 공간의 음향특성, 머리의 회절, 외이도의 공명 등에 의해 복잡한

특성이 되는데, 이 응답특성을 정조 통화 응답(Orthotelephonic Response: OTR)이라 한다. OTR은 화자측 입술전방 25mm지점의 입기준점(Mouth Reference Point : MRP)과 청취자측의 귀입구에

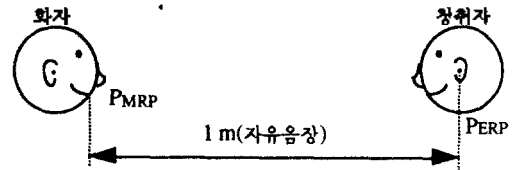


그림 1. 정조 통화계(Orthotelephonic System)

정의된 귀 기준점(Ear Reference Point : ERP), 또는 고막상의 한점에 정의된 고막 기준점(Drum Reference Point : DRP)사이의 음압비로서 정의되고 있다. 이 형태를 그림 2에 나타내는데, DRP/MRP 특성에서는 외이도의 공명에 의한 이득이 3.4 kHz 부근에서 얻어짐을 알 수 있고, ERP/MRP 특성은 1 kHz 까지는 거의 평탄한 특성이며, 1 kHz 에서 5 kHz 사이에서는 약 3 ~ 5 dB/oct로 증가하는 것을 볼 수 있다.[4]

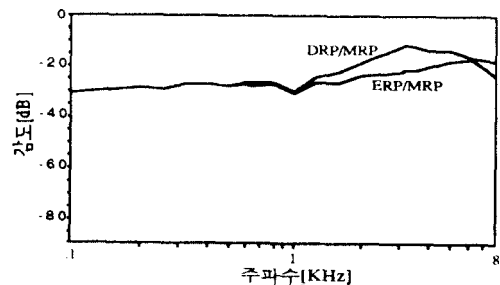


그림 2. 정조 통화 응답(Orthotelephonic Response : OTR)

OTR특성은 MRP에서의 음압레벨과 ERP에서의 음압레벨의 차로써 다음과 같이 구할 수 있다.

$$G_{ME} = 20 \log_{10} \frac{P_E}{P_M} \text{ [dB]}$$

여기서 GME는 MRP와 ERP사이의 전달특성이며, PE는 ERP에서  
의 음압레벨, PM은 MRP에서의 음압레벨이다.

한편 전화 통화계란 전화기와 선로를 통하여 두사람이 대화  
하는 것을 말하며, 이 응답특성은 전화기와 선로의 특성에 따라  
변화한다. 전화 통화계는 송화계, 전송계, 수화계의 3부분으로 나  
눌수 있다.

전화 통화계에서 수화기의 특성을 자유음장에서 두귀로 들  
을 때의 머리 되절 효과를 모사하기 위해, 그림 2(ERP/MRP)의  
곡선과 같은 주파수 응답을 가지도록 하는 것이 이상적이다. 그  
런데 수화기가 송화기보다는 효율적으로 평탄한 응답특성을 실  
현하기 쉬우며, 송화계에서 고주파 대역을 강조시키면 SN비를  
증가시킬 수 있기 때문에, 수화 주파수 특성은 평탄하게 유지시  
키고 송화단을 보정함으로써 전화계에서의 OTR을 실현하는 것  
이 바람직하다[10].

그렇지만, 전화계의 응답특성은 핸드셋의 사용방법, 대역제  
한 등에 의해 양이 수축을 하는 OTR의 특성과는 다르므로, 실  
제 전화기 사용방법과 유사한 실험에 의해 주관평가로서 실제  
전화기 사용시의 바람직한 주파수 특성을 구하여야 한다.

### III. 실험 절차 및 결과

#### 3.1. 오피니언 평가

##### 3.1.1. 실험 방법

실험은 미리 준비된 10개의 녹음문장으로 41명의 피험자(연  
구원 및 학생, 20~30대)를 대상으로 실험하였다.

전화전송대역인 300 ~ 3400 Hz대역에서 1 kHz 이상의 성분은  
명료성에, 1 kHz 이하의 성분은 자연성에 영향을 끼치는 것으로  
가정하고(7), 10가지의 주파수 특성 유형을 작성하였다. 실험 자  
료로 제시된 각 주파수특성의 유형들은 그림 3와 같으며 음성사  
료의 음량은 송화단 출력에서 음성레벨 측정기로 측정하여 20  
dBV가 되도록 하였다. 실내소음 및 회선잡음은 변수를 줄이기  
위해 제외시켰으며 수화 주파수 특성은 중간기준계(IRS)의 특성  
을 사용하였다.

본 실험에서는 평가척도로서 자연성과 명료성을 선정하였는  
데, 명료성은 전화 통화시 대화의 내용인 정보를 잘 전달할 수  
있는 능력을 말하며, 자연성은 음성이 평상시 자유 음장에서 들  
는 음성과 얼마나 가까운가를 나타내는 척도이다.

선정된 10개의 유형들을 랜덤하게 피험자에게 제시한 후 명

료성과 자연성에 대해 다음의 척도상에서 평가하도록 하였다.

명료성의 척도 : 1.매우 명료하지 않다.

2.명료하지 않다.

3.보통이다.

4.명료한 편이다.

5.매우 명료하다.

자연성의 척도 : 1.매우 부자연스럽다.

2.부자연스럽다.

3.보통이다.

4.자연스럽다.

5.매우 자연스럽다.

주파수 유형별로 상기의 척도에 대해 그 번호에 해당하는  
점수를 주고, 각 유형에 대한 피험자의 점수를 평균하여 평균  
오피니언 점수(Mean Opinion Score : MOS)를 구하였다.

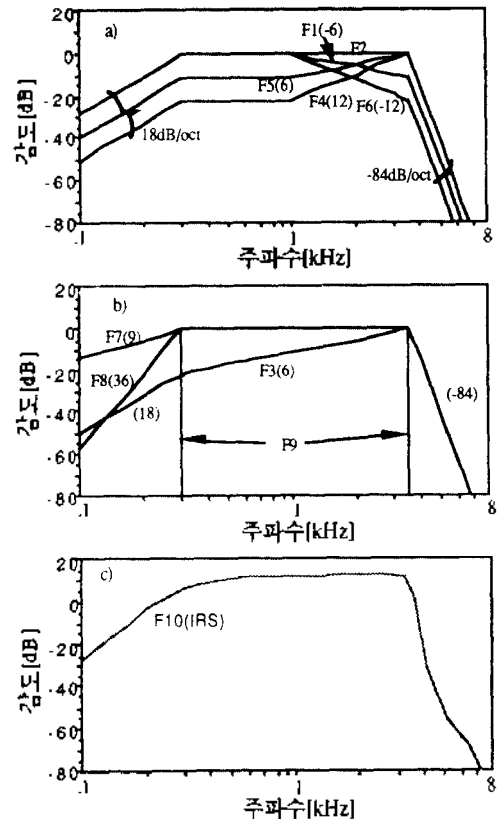


그림 3. 실험에 사용된 주파수 유형별호인의 수는 기음기단위(dB/oct)

#### 3.1.2. 결과 및 고찰

각 주파수 유형에 따른 명료성과 자연성에 대한 MOS를 각  
대역별로 그림 4에 나타낸다. 그림에서 보면 F2, F5, F7이 자연

상, 명료성 양 척도 모두에서 좋게 평가되고 있는데, 이것들은 대체로 300 ~ 3,400 Hz 대역에서 평판하거나 1 ~ 3.4 kHz 대역을 약간 강조시킨 것들이다.

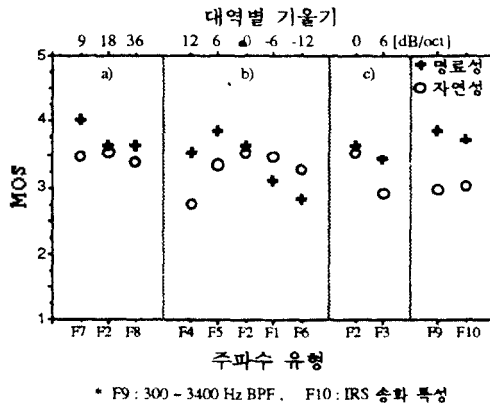


그림 4. 각 대역별 주파수 유형에 따른 MOS

먼저 그림 4의 a)에서 300 Hz 이하의 대역의 기울기 변화에 따른 MOS의 변화를 살펴 보면, 명료성에서는 9 dB/oct 기울기 특성의 MOS가 가장 높으며 자연성에서는 유형간에 거의 차이가 없는 것을 알 수 있다.

그림 4의 b)는 1 ~ 3.4 kHz 대역의 기울기 변화에 따른 MOS를 나타낸 것인데, 0 ~ +6 dB/oct 에서 명료성이 좋으며 그 이상으로 강조시키거나 감쇄시키면 오히려 명료성이 떨어진다. 자연성에서는 평판하거나 고역을 약간 감쇄시킨 것이 MOS가 높다.

그림 4의 c)는 음성전송대역 전체의 기울기 변화와 MOS의 관계인데, 6 dB/oct 보다는 평판한 것이 더 좋게 평가되고 있으며, 자연성에서 더욱 뚜렷한 차이가 있음을 알 수 있다.

결론적으로 볼 때 F7의 유형이 명료성, 자연성에서 각각 MOS 4와 MOS 3.5로 가장 좋으며, 명료성을 높이기 위해서는 1 ~ 3.4 kHz 대역에 +6 dB/oct 정도의 기울기를 주는 것이 바람직한 것을 알 수 있다.

### 3.2. 선호도 실험

#### 3.2.1. 실험 방법

선호도 실험은 각 피험자에게 내재되어 있는 기준에 의해 각 자극에 대한 의견을 표시하는 오피니언 평가와는 달리, 두 자극을 연이어 제시하여 그 중 하나의 자극을 기준으로 다른 자극이 더 좋은지 나쁜지를 판단시키는 것이다(3).

선호도 실험에서는 전체 주파수 대역을 4가지 주파수 대역으로 나누어 각 부분별로 유형들을 조합하여 실험에 사용하였

다. 즉 300 Hz 이하, 300 ~ 1,000 Hz, 1,000 ~ 3,400 Hz, 3,400 Hz 이상의 4부분으로 나누어 각 부분마다 4~5가지 유형을 만들어 28가지의 랜덤하게 조합된 쌍을 만들었다.

실험은 20대 학생 32명의 피험자를 대상으로 실시하였으며 실험장치 및 실험 조건은 오피니언 평가와 같다. 피험자에게 제시한 음성시료의 음량은 송화단 출력에서 음성레벨 측정기로 측정하여 -20 dBV 가 되도록 하였다.

#### 3.2.2. 결과 및 고찰

선호도 실험결과에 의해 구한 각 유형들의 선호된 비율로부터 선호도 척도값을 구하여 그림 5 ~ 8에 그래프로 나타내었다. 먼저 300 Hz 이하의 결과를 나타낸 그림 5에서 보면 기울기가 작을수록 선호도가 높아지지만, F2 및 F3를 비교해 보면 어느 정도 이상에서는 저역을 증가시키더라도 큰 만족도는 얻을 수 없다는 것을 알 수 있다. 또한 저역의 지나친 강조는 일반 전화 회선에서는 잡음의 큰입이 쉬워지고 호른소리가 크게 들려 오히려 만족도가 떨어진다.

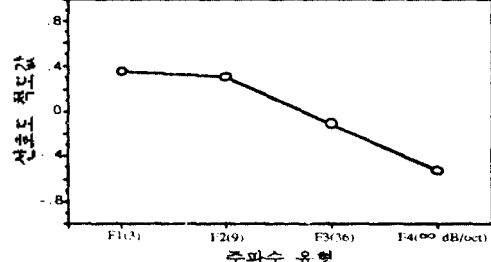


그림 5. 300Hz 이하의 기울기 변화에 따른 선호도 척도값

그림 6에서 300 ~ 1 kHz 대역의 결과를 보면, 기울기가 클수록 선호도가 떨어지며 변화폭이 큰 것으로 보아 이대역의 기여도가 높으며, 6 dB/oct 이상의 기울기에서는 선호도가 크게 감소하는 것을 알 수 있다.

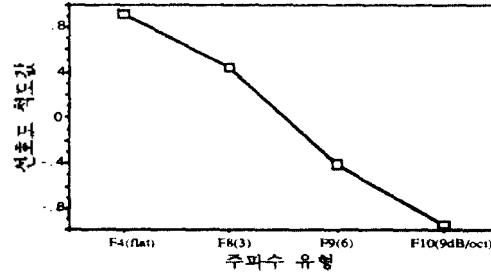


그림 6. 0.3 ~ 1 kHz 대역의 기울기 변화에 따른 선호도 척도값

그림 7에서 1 ~ 3.4 kHz 대역의 결과를 보면, 평판한 것과 +3 dB/oct의 기울기가 있는 것이 선호되고 있으며, +6 dB/oct 이상으로 강조시키거나 감쇄시키면 선호도가 떨어지는 것을 알 수 있

다. 그림 8은 3.4 kHz 이상 대역의 기울기와 신호도의 관계를 나타내는데, 주파수 유형에 따른 신호도 변화가 거의 없는 것으로 볼 때 전화 가입자의 만족도에 크게 영향을 미치지 않는다는 것을 알 수 있다.

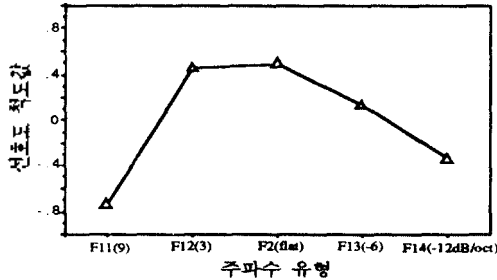


그림 7. 1 ~ 3.4 kHz 대역의 기울기 변화에 따른 신호도 척도값

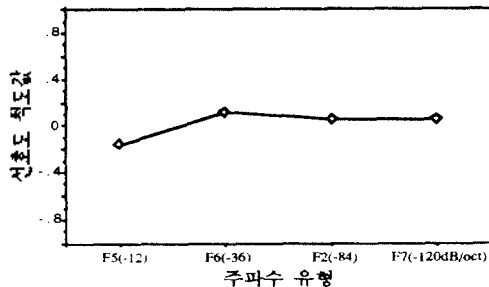


그림 8. 3.4 kHz 이상의 기울기 변화에 따른 신호도 척도값

이상의 신호도 실험 결과에 의하면 300 Hz 이하에서 9 dB/oct, 300 ~ 1 kHz 대역에서는 평탄, 1 ~ 3.4 kHz 대역에서 0 ~ 3 dB/oct 의 조건이 선호되고 있으며 3.4 kHz 이상의 대역에서는 통신망에서 고주파 성분에 의한 누화 등을 감안하여 가능한 기울기를 크게 하여 차단특성이 좋도록 하는 것이 좋다.

#### IV. 결론

음성전송계에 있어 주어진 대역에서의 가장 바람직한 주파수 특성을 찾아내기 위해 오피니언 평가 및 신호도 실험을 실시하였다. 오피니언 평가에서는 F2, F5, F7의 MOS가 높았는데, 300 Hz 이하에서 9 ~ 18 dB/oct, 300 ~ 1,000 Hz 대역은 평탄하며 1 ~ 3.4 kHz 대역은 0 ~ 6 dB/oct 인 특성이 좋게 평가되었으며, 신호도 실험에서는 300 Hz 이하에서는 9 dB/oct, 300 ~ 1,000 Hz 대역은 평탄하며, 1 ~ 3.4 kHz 대역에서는 0 ~ 3 dB/oct 인 특성이 좋음을 알 수 있었다.

두 실험 결과를 종합하여 보면 300 Hz 이하의 대역에서 9 dB/oct 로 증가하고, 300 ~ 1,000 Hz 대역에서 평탄하며, 1 ~ 3.4 kHz 대역에서 3 dB/oct로 증가되며, 3.4 kHz 이상의 대역에서 .84 dB/oct로 급격히 차단되는 곡선을 음성 전송계의 최적 통화품질

을 보장할 수 있는 바람직한 송화 주파수 특성으로서 제안할 수 있다. 그림 9(굵은선)에 그 특성을 나타낸다. 그림에서 점선으로 그려진 부분은 국내 상용 전화기들의 송화 주파수 특성의 대부분을 포함할 수 있는 상·하한을 나타낸다(2).

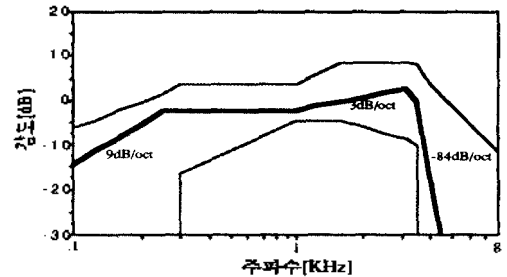


그림 9. 바람직한 송화 주파수 특성

본 실험에서는 수화계의 특성으로서 IRS의 특성을 사용하였는데 이 때의 전체 특성 즉, 결과로서 얻은 송화 주파수 특성과 IRS의 수화특성을 합한 특성은 그림 10(굵은선)과 같으며, 비교를 위해 함께 나타낸 OTR특성과 비교하여 보면 전화 전송 대역에서 거의 유사함을 알 수 있다.

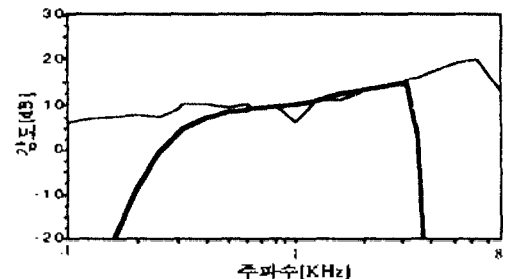


그림 10. 전화계에 있어 바람직한 주파수 특성

지금까지 음성 전송계에 있어 고려되어야 할 바람직한 전달 특성에 대해서 고찰하여 보았다. 결론적으로 전화망의 설계에 있어 그 전달 특성은 일상 생활에서 듣는 상대방의 목소리를 재현시킬 수 있도록, 대역내에서의 특성을 OTR을 토대로 설정하는 것이 이상적이며, 앞으로의 광대역 통신 및 각종 음향기기의 속성과 평가에도 이와 같은 자유 음장에서의 전달특성을 고려하는 것이 당연하다는 것을 확인할 수 있다(8).

#### 참고 문헌

1. 강성훈, 김민택, 김정환, "통화 특성 평가법 및 표준화에 관한 연구", ETRI 연구보고서 (1990).

2. 강성훈,김민택,김정환, "전화 전송 기준(안) I", ETRI (1990).
3. CCITT - Question 10/XII. Contribution COM XII - 228 - F\*, Study Period 1985 - 1988, Geneva, 1987.
4. CCITT - Question 10/XII. Contribution COM XII - 224 - E, Study Period 1985 - 1988, Geneva, 1987.
5. CCITT Recommendation Specification for an Intermediate Reference System, Vol. V, Rec P.48.
6. CCITT - Contribution COM XII - 54 - E, Study Period 1985 - 1988, Geneva, 1986.
7. CCITT - Question 10/XII. Contribution COM XII - 164 - E, Study Period 1985 - 1988, Geneva, 1987.
8. 三浦種敏, "通話品質", 通信工學講座 9.A (1955).
9. 加藤 和美, 寬 一彦, "電話通話의 周波數特性의 一檢討", 日本音響學會 講演論文集 2 - 1 - 19 (1980).
10. CCITT Recommendation, Consideration relating to Transmission Characteristics for Analogue Handset Telephones, Vol. V, Suppl No.10.