

# 디지털 이동무선 시스템의 무선 채널환경에 따른 음질의 변화 측정

정희원 정연호\*

## Measurements of Speech Quality in Channel Environments of a Digital Mobile Radio System

Yeon Ho Chung\* Regular Members

### 요 약

디지털 이동무선 시스템의 성능은 대부분의 경우 비트오율로 표시한다. 이동무선 시스템에 있어서 최종 서비스 품질은 비트오율외에 호접속 확률, 호차단 확률 및 음질등에 의해 좌우되므로 효율적인 무선망 성능분석 및 운영 최적화를 위해서는 이러한 성능지시자에 대해서도 조사되어야 한다. 본 논문에서는 시스템의 주요 전파환경에 따른 음질의 변화에 대해 측정하였다. 글로벌 디지털 이동통신 시스템의 하나인 GSM (Global System for Mobile communications) 시스템 및 RPE-LTP GSM 음성 부호기를 구현하여 무선채널 환경과 예상할 수 있는 채널 시나리오에 따른 음질변화를 측정하였다. 일반인으로 구성된 10명의 음질 평가위원이 음질을 측정하였으며 평균 의견점수 (Mean Opinion Score)를 이용하여 수치화하였다. 채널환경을 도심, 산간지대 및 전원지대로 구분하였을 때 도심에서는 신호대 잡음비 12dB인 경우 어떠한 채널상황 시나리오에 대해서도 우수 혹은 양호한 음질을 얻을 수 있었다. 산간지대에서는 같은 신호대 잡음비에서도 많은 시간지연 특성으로 인해 음질이 불량하였으며 전원지대에서도 높은 페이딩을 때문에 만족할 만한 음질을 얻을 수 없었다.

### ABSTRACT

The performance of digital mobile radio systems is often evaluated by BER (Bit Error Rate). Although BER is the major performance indicator, the performance needs to be analyzed further in terms of the probability of call access, call blocking and speech quality. This paper presents the measurements of speech quality performance in various channel conditions, by making use of the GSM (Global System for Mobile Communications) simulator and RPE-LTP GSM speech codec, all developed for the investigation. For each channel condition, the channel-corrupted speech file was evaluated by 10 listeners and its speech quality was quantified in terms of MOS (Mean Opinion Score). The results show that in a typical urban area, speech quality is either excellent or acceptable at the SNR of 12 dB. In hilly terrain or a rural area, however, unsatisfactory speech quality has been obtained at the SNR of 12 dB, due to either large time dispersion or high fading rate.

### I. 서 론

이동무선 서비스는 1980년대에 접어들면서 급속도로

성장하였다. 다양하고 늘어나는 수요에 대처코자 디지털 이동시스템이 개발되었으며 1992년말 유럽에서는 디지털 시스템인 GSM (Global System for Mobile

\* 경북대학교 공과대학 전자·전기공학부: 정희원  
논문번호: 98024-0114, 접수일자: 1998년 1월 14일

Communications)을 상용 서비스 시작하였다. 현재 GSM의 2천년대 예상 수요자는 약 3억명으로 추산하고 있다<sup>(1)</sup>. 또한, 특히 유럽에서는 제3세대 이동무선 시스템 설계에 있어서 GSM을 기본 시스템으로 이용하고 있다<sup>(2)</sup>.

광대역 시스템의 채널 파라미터에 대한 성능분석은 문헌에 많이 소개되어 있다<sup>(3,4,5)</sup>. 그리고 GSM 시스템 서비스 이후 GSM 시스템 성능에 대해서도 많은 연구가 진행되었다<sup>(6)</sup>. 이 모두의 연구결과는 비트오율을 이용하여 성능을 표시하고 있다. 최근 광대역 시스템(예: GSM)에 있어서 광대역 채널 파라미터와 시스템 성능과의 관계를 규명하여 성능 예측 메커니즘을 제안하였다<sup>(7)</sup>. 이러한 비트오율 성능 지시자는 중요하나 최종 시스템 성능은 호차단 확률, 호절단 확률, 망접속 확률 그리고 음질에 의해 평가되어야 하므로 이런 성능 지시자에 대해서도 연구가 요구된다. 음질에 대해서 현재까지 이동무선 시스템에 있어서의 채널환경에 따른 음질에 관한 연구결과가 문헌에 소개되고 있지 않고 있다. 사용자가 느끼는 음질은 일반적으로 음성 부호기/복호기와 무선채널 영향의 결과이며 특히 음질은 채널영향에 의해 더 많이 좌우된다고 알려져 있다.

문헌에 GSM의 음성 부호기(복호기) 성능은 소개되어 있다<sup>(8)</sup>. 본 논문에서는 개발된 시뮬레이터를 이용하여 가상할 수 있는 이동통신 시스템의 채널환경을 만들어 그 환경에 대한 주관적 음질평가를 목적으로 하며 이를 위해 아래와 같은 방법을 사용하였다. PC에 연결된 음성신호 인터페이스기(Speech Interface Unit)를 통해 원시 음성신호를 얻는다. 이 음성신호는 GSM 음성부호기를 이용하여 부호화된다. 그 다음, GSM 시뮬레이터를 이용하여 관심있는 채널환경에 대해 적절한 수의 음성프레임을 송신하여 0과 1로 이루어진 음성신호 에러패턴 화일을 얻는다. 여기서 0은 해당 비트에서 에러가 발생치 않았음을 의미하며 1은 에러가 발생했음을 뜻한다. 이 에러패턴 화일을 이용하여 앞에서 얻은 부호화된 음성신호와 결합하여 채널에러(연집에러와 불규칙에러)가 포함된 부호화된 음성신호를 얻게 된다. 그 다음에는 음성 복호기를 이용하여 복호화된 SIU를 이용하여 음질 평가를 수행한다.

음질을 평가하기 위해서 두 가지 방법을 생각할 수 있다. 다시 말해 주관적 혹은 객관적 측정에 의해 평가를 할 수 있다. 주관적 평가의 근거는 음질은 어떠한 수학적 표현보다도 실제 인간이 평가하고자 하는 음성 신호를 들어서 평가하는 것이 가장 좋다고 생각

하는 것이다(9,10). 그러나 실제 측정하기 위해서는 적절한 평가위원이 요구되는 등 어려움과 제한이 있다. 반면에 객관적인 방법은 주관적 방법의 좋은 대안이나 간접적인 음질 측정 방법이며 실질적인 음질을 얻기 위해 주관적인 측정이 결국 이루어져야 한다. 본 논문에서는 일반적으로 음질 평가에 사용되고 있는 주관적인 평가 방법을 사용하였으며 일반 사용자중심으로 선택된 음질 평가위원에 의해 주관적으로 음질을 평가하여 그 평균 의견 점수(Mean Opinion Score: MOS)로 표시하였다.

본 논문의 구성은 II장에서 에러패턴 화일을 얻기 위해 사용된 GSM 시뮬레이터에 대해 설명하고 III장에서 음질측정과 음질테스트 순서를 제시한다. IV장에서 음질측정결과를, V장에서는 결론을 제시한다.

## II. GSM 시뮬레이터

### 1. 음성신호 발생기 및 송신기

GSM 시뮬레이터는 SPW 시뮬레이션 플랫폼을 이용하여 구현하였으며 그림 1에서와 같이 5개의 주블럭과 2개의 부블럭으로 구성되어 있다. 첫번째 블럭은 음성신호 발생기로서 필요한 음성신호 프레임만큼 음성신호를 발생시킨다. 음성신호를 실제 음성 부호기에서 얻은 데이터를 이용할 수 있고 혹은 의사불규칙 이진 시퀀스(Pseudorandom Binary Sequence)를 사용할 수 있다. 본 연구에서는 의사 불규칙 이진 시퀀스를 사용하였다. 이렇게 발생된 데이터는 다음 블럭인 프레임 발생기에서 GSM 프레임 크기인 260비트로 구성하여 하나의 프레임으로 만든다. 이 프레임은 GSM 송신기 블럭으로 입력되어 블럭 부호화 및 콘볼루션 부호화 과정을 거치며 또한 인터리빙 및 GSMK 변조기를 통과하게 된다. GSM 송신기 블럭의 기능은 다음과 같다. 실제 GSM의 음성 부호기(RPE-LTP)는 부호화된 파라미터의 중요도에 따라 두 그룹으로 나누어 전송하므로 프레임 발생기로부터 입력된 프레임(의사불규칙 이진 시퀀스 260비트)은 먼저 첫 182비트를 1급 비트로, 나머지 78비트를 2급 비트로 나눈다. 1급 비트에는 음질과 아주 밀접한 관련이 있는 파라미터인 예측 여파기(prediction filter)의 계수, 장기예측 이득(long term prediction gain) 및 피치주기(pitch period)에 대한 정보가 포함되어 있다.

채널 부호화 과정에서 1급 비트중 첫 50비트를 식(1)의 생성기 다항식을 이용하여(53,50)블럭 부호화(에러검색)하며 나머지 132비트와 콘볼루션 부호기를

식 (6)의  $p(t)$ 는 펄스응답으로서 식 (7)과 같이 정의된다.

$$p(t) = \left[ \sqrt{\frac{2\pi}{\ln 2}} B \exp\left(-\frac{2\pi^2(Bt)^2}{\ln 2}\right) \right] * \text{rect}\left(\frac{t}{T}\right) \quad (7)$$

그림 1. GSM 시뮬레이터의 최고레벨 블록 구성도  
Fig. 1 Top-level block diagram of the GSM simulator

위한 꼬리비트 (4비트) 를 추가하여 189 비트가 된다.

$$g(D) = 1 + D + D^3 \quad (1)$$

189 비트는 식 (2) 및 식 (3)의 생성기 다항식을 이용하여 CC(2,1,5)의 콘볼루션 부호화 과정을 거친다. 그리고 2급 비트는 채널 부호화 과정을 거치지 않고 1급 비트와 합해져서 456 비트가 채널 부호화 블록에서 출력된다.

$$g_1(D) = 1 + D^3 + D^4 \quad (2)$$

$$g_2(D) = 1 + D + D^3 + D^4 \quad (3)$$

콘볼루션 과정을 거친 데이터는 연집에러 (burst error)를 줄이기 위해 인터리빙 기술을 사용하고 있다. 인터리빙 깊이는 8이며 인터리빙후 꼬리비트, 보호구간 및 채널 추정을 위한 프리앰블을 삽입하여 156비트로 이루어진 버스트가 발생한다. 각각의 버스트는 차동 (differential) 부호화 및 GMSK 변조된다. GMSK 변조는 연속 위상변조 방법으로 변조된 신호는 식(4)와 같이 표현할 수 있다.

$$s(t) = A \cos(\omega_c t + \psi(t, a)) \quad (4)$$

여기서 위상함수  $\psi(t, a)$ 는 다음과 같이 정의된다<sup>(11)</sup>

$$\psi(t, a) = \pi \sum_{i=-3}^3 a_i q(t-iT) + \frac{\pi}{2} \sum_{i=-\infty}^{i=-4} a_i \quad (5)$$

$a$ 는 데이터 비트이고  $q(t)$ 는 위상 응답으로 식 (6)과 같이 표현할 수 있다.

$$q(t) = \int_{-\infty}^t p(y) dy \quad (6)$$

식(7)에서 \* 는 콘볼루션을 나타내며 B는 필터의 3dB 대역폭이며 T는 비트시간이다.

GMSK의 중요한 파라미터인 대역시간폭은 0.3으로서 연속적인 심볼4개가 변조과정에 사용되고 있음을 의미한다<sup>(11)</sup>. 이것은 대역폭의 효율적 사용을 위해서 기저대역에서 심볼4개에 의한 의도적인 심볼간 간섭 (ISI) 삽입이라고 볼 수 있다. 식 (4)를 이용해서 변조된 심볼은 이동무선 채널 블록으로 입력된다.

## 2. 이동무선 채널 모델링

송신기에서 송신된 신호는 이동무선 채널의 다중경로 현상에 의해 영향을 받게된다. 이동무선 채널 블록에서의 신호는 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$r(t) = \sum_i R_i(t) \cos((\omega_c(t - \tau_i) + \psi_i(t, a) + \phi_i(t))) \quad (8)$$

여기서  $R_i(t)$ ,  $\tau_i$  및  $\phi_i(t)$ 는  $i$  번째 경로의 신호크기, 시간지연 및 랜덤위상을 나타낸다. 그리고  $\omega_c$ 는 각 반송파 주파수이다.

본 논문에서 사용하는 채널모델은 그림 2에서와 같이 GSM 규격에서 제시된 모델 (도심, 전원, 산간지대)로서 경로의 개수를 6개로 제한하고 있다. 따라서 식 (8)을 다시 표현하면

$$r(t) = I(t, a) \cos(\omega_c t) - Q(t, a) \sin(\omega_c t) \quad (9)$$

이며, 여기서  $I(t, a)$  및  $Q(t, a)$ 는

$$I(t, a) = \sum_{i=1}^6 R_i(t) \cos(-\omega_c \tau_i + \psi_i(t, a) + \phi_i(t)) \quad (10)$$

$$Q(t, a) = \sum_{i=1}^6 R_i(t) \sin(-\omega_c \tau_i + \psi_i(t, a) + \phi_i(t)) \quad (11)$$

이다.

본 논문에서는 단기 페이딩 현상인 레일리 페이딩만 고려하고 있으며 Jakes 모델<sup>(12)</sup>을 이용하여 구현하였다. 다시말해 식 (10) 및 식 (11)에서  $R_i(t)$ 는 레일리 분포를 가지며  $\phi_i(t)$ 는 균일분포를 가진다.

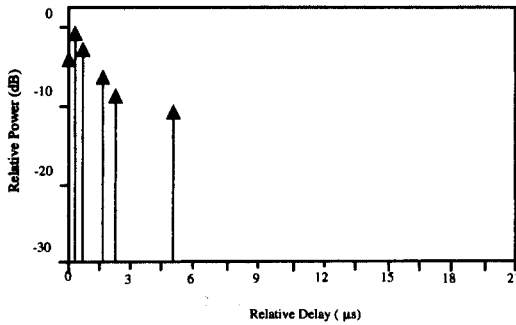


그림 2. (a) 채널 모델 (도심공간)  
Fig. 2 (a) The Channel model in a typical urban area

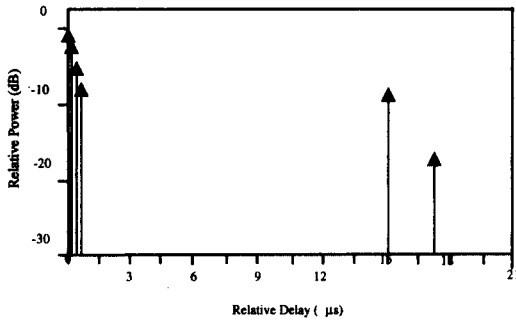


그림 2. (b) 채널 모델 (산간지대)  
Fig. 2 (b) The Channel model in hilly terrain

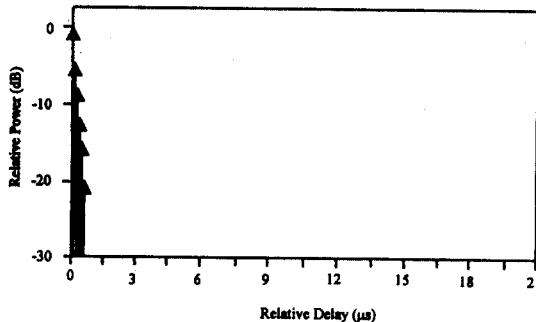


그림 2. (c) 채널 모델 (전원지대)  
Fig. 2 (c) The Channel model in a rural area

같은 방법으로 식 (9)에서 간섭신호와 가산성 백색  
가우시안 잡음을 고려하면 식(9)는 식 (12)과 같이 된다.

$$r(t) = (I(t, a) + n_I(t) + I_{im}(t)) \cos(\omega_c t) - (Q(t, a) + n_Q(t) + Q_{im}(t)) \sin(\omega_c t) \quad (12)$$

여기서  $n_I(t)$ 와  $n_Q(t)$ 는 잡음의 동상 및 직교성분  
이며  $I_{im}(t)$  및  $Q_{im}(t)$ 는 간섭신호의 동상 및 직교  
 성분이다.

시뮬레이터에서의 채널 모델링은 식 (12)를 이용하  
여 그림 2에서 보여주고 있는 GSM 채널 모델을 적용  
 하였으며 잘 알려진 광대역 채널 모델인 탭 지연선 모  
 델 (tapped delay-line model)을 이용하여 GSM 채널  
 모델의 각 경로에 대해 신호크기가 독립적인 레일리  
 페이딩을 갖도록 하고 경로의 지연 성분에 따라 사용  
 자 데이터를 지연시켜 구현하였다. 탭 지연선 모델에  
 대해서는 참고문헌 (13)에 자세히 설명되어 있다.

### 3. 수신기 및 비트오율 계산기

수신측에서는 송신단의 역순에 의해 수신신호가  
 처리된다. 수신단의 첫 블록은 저역통과 여파기로서  
 잡음을 제거하고 채널 추정과정 이전에 동기화 과  
 정을 거친다. 동기화 과정은 수신된 파형에 채널의 시  
 간 지연 성분을 제거하여 최적의 판단시간을 얻기 위  
 한 것이다. 이 과정은 송신된 프리앰블과 수신측의  
 저장된 프리앰블과의 복소 상호 상관함수에 의해 이  
 루어진다. 상호 상관함수의 크기는

$$A(t) = \sqrt{(R_n^I(t))^2 + (R_n^Q(t))^2} \quad (13)$$

이며  $R_n^I(t)$  및  $R_n^Q(t)$ 는 상호 상관함수의 동상 및  
 직교성분을 나타낸다. 그러므로 최적판단 시간  $t_0$ 는  
  $A(t)$  값이 최대가 될때의 시간이 된다.

채널 임펄스 응답의 추정을 위해 복소 상호 상관  
 함수를 이용하였으며 아래와 같이 표현할 수 있다.

$$R_n[k] = E\{s^*[n] r[n+k]\} = \frac{1}{N} \sum_{n=-\infty}^{\infty} s^*[n] r[n+k] \quad (14)$$

여기서 \* 는 공액 복소수를 나타내며  $E\{\cdot\}$ 는 앙상  
 블 평균 그리고  $N$ 은 샘플된 데이터 개수를 표시한다.  
  $s[n]$ 은 저장된 프리앰블이며  $r[n]$ 은 수신된 프리앰  
 블이다.

그런데

$$\begin{aligned}
 r[n] &= s[n] * h[n] \\
 &= \sum_{l=-\infty}^{\infty} s[l]h[n-l]
 \end{aligned}
 \tag{15}$$

이므로 식 (14)를 다시 표현하면

$$\begin{aligned}
 R_n[k] &= \frac{1}{N} \sum_{n=-\infty}^{\infty} \sum_{l=-\infty}^{\infty} s^*[n]s[l]h[n+k-l] \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} \left( \frac{1}{N} \sum_{n=-\infty}^{\infty} s^*[n]s[n+k-m] \right) h[m] \\
 &= \sum_{m=-\infty}^{\infty} R_{ss}[k-m]h[m] \\
 &= R_{ss}[k] * h[k]
 \end{aligned}
 \tag{16}$$

따라서  $R_{ss}[k]$ 를 임펄스 함수로 가정하면 정확한 채널 임펄스 응답 ( $h[k]$ )을 얻을 수 있다.

추정한 채널 임펄스 응답을 이용하여 16상태 비터비 알고리즘을 이용한 최대확률시퀀스 추정 (Maximum Likelihood Sequence Estimation) 기법을 통해 GMSK 신호를 복조한다. 2장 1절에서 설명한 바와같이 실제 수신기는 송신단 GMSK에 의한 의도적인 ISI와 채널 ISI를 제거하여야 한다. 본 논문에서는 기저대역 신호 ISI를 제거하는 과정에 추정된 채널 임펄스 응답을 이용하여 최대확률 시퀀스를 결정하여 복조하였다. 비터비 알고리즘을 이용한 MLSE 등화기에 대해서는 문헌에 소개되어 있다<sup>(14,15)</sup>.

심볼 복조가 실행된 뒤 송신단의 역순으로 실행된다. 송신단에서 차동 부호화를 하였으므로 차동 복호화를 실행한 후 역인터리빙 과정을 거치며 채널 복호화 과정을 거치게 된다. 그림 3은 신드롬 계산기<sup>(14)</sup> (블록 복호기)를 나타낸다. 이 복호기는 1급 비트중첩 50비트의 에러발생 유무를 3개의 패리티 비트를 이용하여 검출하며 패리티 값에 따라 수신된 프레임의 질을 결정하는 불량 프레임 지시자 (Bad Frame Indicator (BFI))를 출력한다. 다시말해 신드롬 계산기의 잔여 비트가 모두 0이면 양호한 프레임 (BFI = 0)으로, 그렇지 않으면 불량한 프레임 (BFI = 1)으로 결정한다. 실제 GSM 시스템에서는 BFI 값이 1일 경우 음성 프레임 보간법 (speech extrapolation)을 이용하여 음성 프레임을 재생하여 음성 복호기에 입력하나 본 논문에서는 음성 프레임 재생과정을 거치지 않고 직접 음성 복호기에 입력하였다.

### III. 음질 측정

원시 음성신호는 8kHz 샘플링율로 SIU를 통해 샘플

된다. 하나의 음성신호 샘플은 GSM 음성신호 처리 부분 표준안인 13비트로 표시되어진다. 음질측정 방법은 그림 4에서와 같이 먼저 시뮬레이터에서 시뮬레이션 파라미터 (예를 들어 경로수, SNR 값, 간섭자수 등)를 적절히 선택하여 45개의 관심있는 채널 시나리오를 만들어 각 시나리오에 대해 신드롬 (에러패턴) 파일을 얻는다. 이 파일은 해당 비트의 에러 발생여부를 나타내주는 1, 0로 구성되어 있다. 즉 '1'은 원시 음성신호의 해당 비트에서 채널영향에 의해 에러가 발생했음을 의미하며 '0'은 에러가 발생치 않았음을 의미한다. 따라서 이 에러패턴 파일을 이용하여 SIU로 통해 얻은 원시 음성신호 데이터와 XOR 논리 연산을 통해 해당 채널시나리오에 영향을 받은 음성신호 데이터를 얻게 된다. 이 데이터를 GSM 음성 복호기에 적용하여 SIU를 통해 음질을 평가하였다.

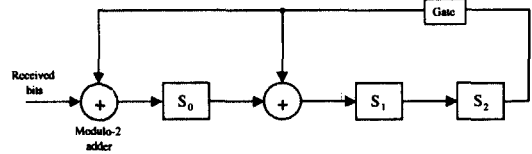


그림 3. 블록 복호기(불량프레임 검출기)  
Fig. 3 Syndrome calculator (generator polynomial  $g(D) = 1 + D + D^3$ )

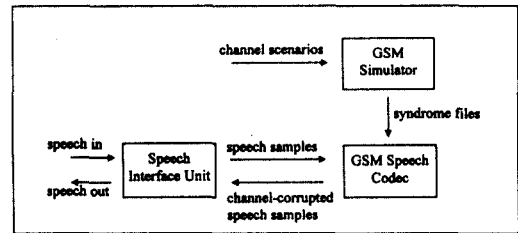


그림 4. 음질측정 방법  
Fig. 4 Methodology of speech quality measurement

#### 1. 주관적 음질

음질의 정량화는 인간의 인식정도와 관련이 있기 때문에 가장 어려운 분야중 하나이다. 문헌에 소개된 주관적 음질측정 방법중 많이 이용되고 있는 평균 의견점수 (Mean Opinion Score)를 사용하여 음질을 수치화 하였다. 일반적으로 MOS는 음질영역과 이해노력 영역으로 나누어 측정한다<sup>(16)</sup>. 다시말해 음질영역은 주

로 음성의 질(만족정도)을 나타내며 이해노력 영역은 단순한 문장으로 구성되어 있는 테스트 음성을 이해 하는데 필요로 하는 노력정도를 의미한다. 따라서 이 두 영역은 서로 밀접한 관련이 있으며 하나의 영역만으로도 전반적인 음질평가를 얻을 수 있다. 표 1은 MOS의 각 점수에 대한 설명이다. 본 논문에서는 편의상 MOS 3.0을 보통의 음질이라 간주하여 설명한다.

표 1. 평균 의견점수의 설명  
Table 1. Descriptions in the Mean Opinion Score (MOS)

Rating	Quality	Listening efforts
5	Excellent	clearly understood with no effort
4	Good	understood with no appreciable effort
3	Fair	understood with moderate effort
2	Poor	marginally understandable with considerable effort
1	Bad	No meaning understood with any feasible effort

2. 원시음성 획득 및 채널시나리오 생성

45개의 채널시나리오는 앞에서 설명한 바와같이 시뮬레이터에서 관련 파라미터를 이용하여 발생하였는데 그 내용은 아래와 같다. 그림 2에서 보여주고 있는 채널 모델은 GSM에서 모의수행을 위해 세 개의 지역(도심, 전원지역, 산간지대)으로 나누어 제시하고 있는 6 텡 채널 모델이다<sup>(7,17)</sup>. 각 채널 모델에서의 이동국 속도는 GSM에서 권장하고 있는 값을 각각 적용하였다. 즉 도심(GSMTU)에서는 50 km/h, 산간지대(GSMHT)에서는 100 km/h 그리고 전원지대(GSMRA)에서는 250 km/h로 가정하였으며 SNR 값은 각 전파 환경에 대해 8, 12, 16dB를 사용하였다. 정적인 채널(static channel)인 경우 아주 양호한 성능으로 인해 4, 8, 12dB를 사용하였다.

표 2 - 표 4에서 각 채널모델에서 음질 평가를 위해 고려한 채널환경을 보여주고 있다. 표 2 - 표 4에서 언급하고 있는 협대역 환경은 모의수행 과정에서 채널 모델에서 생성하였다. 다시 말해 협대역 환경은 신호 크기 변형 채널(Amplitude varying channel)<sup>(18)</sup> 이므로 각 채널 모델에서 채널의 시간 지연(time dispersion)을 제거하여 얻었다. 따라서 채널 모델에서 첫 번째 경로 성분만 선택하여 생성하였다. 그리고 광대역 환경에서는 채널 모델에서 6 텡을 그대로 둔 상태이며 동채널 간섭자(co-channel interference)의 존재 유무 및 간섭자 수에 대해 음질 영향을 고려하였다. 동채널 간섭자가 존재할 경우에는 신호대 잡음비보다는 일반적으로 반송파대 간섭비(C/I)로 표시한다.

음질평가를 위해 사용된 프레임수(시뮬레이션 프레임수)는 500이며 이는 10초 동안의 음성에 해당하며 총130,000 비트이다. 따라서 10초 동안의 음성은 음질을 분석하는데 높은 신뢰성을 가지는 충분한 양의 데이터이다. 원시음성 획득은 아래 시험문장을 두 명의 남자와 두 명의 여자가 10초 동안 마이크를 통해 말하고 있는 동안 SIU를 통해 음성신호를 샘플링하였다.

“우리는 가치있는 사람을 볼 때 그와 똑같이 되도록 하고 그렇지 못한 사람을 볼 때는 자신을 살펴보고 감사하여야 한다”

3. 음질 검사순서

음질평가를 위해서 일반인으로 구성된 평가위원 10명을 선택하였다. 남자 8명과 여자 2명으로 구성되어 있으며 이들은 모두 음성부호 혹은 통신분야에 전혀 종사하고 있지 않는 평범한 일반인들이다. 그러므로 평가위원들의 평가점수는 그들의 사전지식이나 경험에 의해서가 아닌 순수한 자신의 음질 감지정도에 근거를 두고 있다. 평가를 시작하기전 사전 주의사항, 목적 및 순서등에 대해 위원들에게 주시시켰다. 그리고 평가는 평가용지에 자신의 느낌에 따라 점수를 부여하고 만약 두 점수중에서 구분하기 곤란할 경우 두 점수를 모두 표시할 수 있도록 허용하였다.

평가 사전준비를 마친후 45개의 채널 시나리오별 데이터를 임의의 순서대로 정리하여 10초동안 검사재료를 재생하였다. 평가위원은 헤드폰을 통해 들었으며 필요에 따라 음량을 조절할 수 있도록 했다. 10초간의 재생후 약 5-10초동안 시간을 주어 점수표시를 하도록 했다. 1절에서 설명한 바와같이 평가위원은 두 영역(음질,이해노력) 모두 표시하도록 하였다.

IV. 시뮬레이션 및 평가결과

45개의 시나리오에 대해 두 가지 영역(이해노력 및 음질 영역)에 대한 평가결과를 얻었다. 평가결과를 보면 남자 원시음성에 대한 MOS 결과는 여자 원시음성 결과보다 약간 높게 나타났다. 이는 문헌에서 소개된 결과와 일치함을 알 수 있다<sup>(9)</sup>. 또한 이해노력 영역의 점수가 음질영역 점수보다 훨씬 높았다. 총 4명의 화자로부터 얻은 평균 의견점수를 다시 평균하여 얻은 값을 대응하는 채널 환경하에서의 평균 의견점수로 정하여 분석하였다. 표 2 - 표 4는 각 채널모델(GSMTU, GSMRA, GSMHT)에 대한 평균 의견점수(이해노력 영역)를 보여주고 있다. 또한 성능 비교를

위해 각각의 채널 시나리오에 대한 비트오율 표 5 - 표 7에 표시하였다.

표 2. 도심에서의 채널시나리오에 따른 음질평가 결과  
Table 2. Speech quality in a typical urban area for various channel scenarios

SNR (dB)	Static		Narrowband		Wideband (no interferer)		C/I (dB)	Wideband (1 interferer)		Wideband (3 interferers)	
	MOS-L	STD	MOS-L	STD	MOS-L	STD		MOS-L	STD	MOS-L	STD
	8(4)	3.33	0.78	1.84	0.85	2.35		0.61	8	1.41	0.61
12(8)	4.88	0.29	3.21	0.75	4.05	0.79	12	2.99	0.84	3.63	0.86
16(12)	4.95	0.16	4.08	0.88	4.74	0.45	16	4.50	0.65	4.75	0.50

(MOS-L은 이해노력 영역의 MOS 점수, STD는 표준편차)

표 3. 산간지대에서의 채널시나리오에 따른 음질평가 결과  
Table 3. Speech quality in hilly terrain for various channel scenarios

SNR (dB)	Static		Narrowband		Wideband (no interferer)		C/I (dB)	Wideband (1 interferer)		Wideband (3 interferers)	
	MOS-L	STD	MOS-L	STD	MOS-L	STD		MOS-L	STD	MOS-L	STD
	8(4)	3.21	0.81	1.76	0.85	1.65		0.69	8	1.31	0.59
12(8)	4.83	0.38	3.39	0.77	2.8	0.82	12	2.45	0.67	2.71	0.77
16(12)	4.90	0.32	4.36	0.62	3.59	0.75	16	3.64	0.68	3.34	0.72

(MOS-L은 이해노력 영역의 MOS 점수, STD는 표준편차)

표 4. 전원지대에서의 채널시나리오에 따른 음질평가 결과  
Table 4. Speech quality in a rural area for various channel scenarios

SNR (dB)	Static		Narrowband		Wideband (no interferer)		C/I (dB)	Wideband (1 interferer)		Wideband (3 interferers)	
	MOS-L	STD	MOS-L	STD	MOS-L	STD		MOS-L	STD	MOS-L	STD
	8(4)	3.38	0.76	1.71	0.73	1.49		0.53	8	1.33	0.70
12(8)	4.83	0.40	3.10	0.78	2.73	0.66	12	2.63	0.83	2.11	0.77
16(12)	4.90	0.32	4.0	0.69	3.79	0.78	16	3.55	0.74	3.40	0.69

(MOS-L은 이해노력 영역의 MOS 점수, STD는 표준편차)

표 5. 도심에서의 채널시나리오에 따른 비트오율  
Table 5. BER in a typical urban area for various channel scenarios

SNR (dB)	Static		Narrowband		Wideband (no interferer)		C/I (dB)	Wideband (1 interferer)		Wideband (3 interferers)	
	BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)		BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)
	8(4)	0.0052	0.0501	0.0534	0.0691	0.0173		0.0495	8	0.0696	0.0768
12(8)	0.0	0.0030	0.0110	0.0307	0.0011	0.0154	12	0.0135	0.0311	0.0063	0.0283
16(12)	0.0	0.0	0.0017	0.0132	0.00001	0.0036	16	0.0007	0.0103	0.0001	0.0083

(BER(c1)은 1급 비트의 비트오율, BER(c2)는 2급 비트의 비트오율)

표 6. 산간지대에서의 채널시나리오에 따른 비트오율  
Table 6. BER in hilly terrain for various channel scenarios

SNR (dB)	Static		Narrowband		Wideband (no interferer)		C/I (dB)	Wideband (1 interferer)		Wideband (3 interferers)	
	BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)		BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)
	8(4)	0.0052	0.0501	0.0538	0.0718	0.0584		0.0729	8	0.0991	0.0914
12(8)	0.0	0.0030	0.0074	0.0326	0.0142	0.0361	12	0.0260	0.0457	0.0263	0.0465
16(12)	0.0	0.0	0.0010	0.0145	0.0035	0.0183	16	0.0055	0.0232	0.0064	0.0231

표 7. 전원지대에서의 채널시나리오에 따른 비트오율  
Table 7. BER in a rural area for various channel scenarios

SNR (dB)	Static		Narrowband		Wideband (no interferer)		C/I (dB)	Wideband (1 interferer)		Wideband (3 interferers)	
	BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)		BER (c1)	BER (c2)	BER (c1)	BER (c2)
	8(4)	0.0052	0.0501	0.0620	0.0763	0.0478		0.0718	8	0.0868	0.0941
12(8)	0.0	0.0030	0.0123	0.0376	0.0109	0.0407	12	0.0206	0.0518	0.0234	0.0529
16(12)	0.0	0.0	0.0027	0.0224	0.0037	0.0266	16	0.0057	0.0310	0.0053	0.0318

두 영역에서의 표준 편차를 비교해본 결과 이해노력 영역에 의한 평균 의견점수의 표준 편차가 높았다. 이것은 이해노력 영역에 의한 점수가 훨씬 더 평가 위원들의 의견에 좌우된다는 것을 나타낸다.

편의상 MOS 3.0을 보통의 음질로 간주할 때 표 2-표 4에서 다음과 같은 관찰을 할 수 있다. 일반적인 도심지역에서는 예상 가능한 신호대 잡음비 12dB에서 어떤 채널 시나리오에서나 음질이 양호함을 알 수 있었다. 협대역 및 간섭신호 없는 광대역 채널상황에서의 평균 의견점수 결과를 비교해보면 광대역에서 평균 의견점수 0.5에서 0.7 정도의 경로 다이버시티 이득을 보여주고 있음을 알 수 있다. 다시말해 도심에서는 협대역 채널 (단일 경로) 보다 송신기에서 전송한 정보가 여러 경로를 통하여 수신기에 도달하는 광대역 채널상황에서 더 양호한 음질을 얻을 수 있었다. 이것은 MLSE 등화기에서 단일 경로 상황보다 적절한 지연 성분을 가지는 또 다른 경로가 존재할 때 오히려 성능 개선 효과가 있음을 나타낸다. 이러한 GSM 도심 채널에서의 경로 다이버시티 효과는 표 5에서도 확인할 수 있으며 다른 GSM 비트오율 성능 분석 연구 결과에서도 나타나 있다<sup>(19,20)</sup>. 표 2와 표 5를 비교해볼 때 도심지역에서는 1급비트 오율이 대략 1% 보다 낮아야 만족할만한 음질을 얻을 수 있음을 알 수 있다.

산간지대에서의 음질평가 결과를 보면 협대역 및 정적인 채널조건을 제외하고는 신호대 잡음비 12 dB

에서도 음질은 보통이하로 나타났다. 이는 산간지대 채널모델 (그림 2(b) 참조) 이 많은 시간지연 현상을 나타내고 있기 때문이다. 많은 시간지연으로 인해 음질열화 현상이 생기며 또한 SNR을 16 dB로 증가하여도 음질이 크게 개선되지 않음을 알 수 있었다. 이 사실은 산간지대 채널모델에서 시간지연 성분을 제거했을 경우 (협대역 채널상황) 12 dB에서 MOS는 3.39 (표 3 참조)로 보통의 음질을 얻을 수 있어 시간 지연이 음질에 미치는 영향을 확인할 수 있었다. 그리고 음질성능에 있어서 동채널 간섭자 (co-channel interferer)에 의한 영향은 거의 나타나지 않았다. 그리고 만족할 만한 음질을 위한 최대 1급비트 오류는 대략 0.5% 임을 알 수 있다.

전원지대에서는 표 4에서와 같이 광대역 및 협대역 채널조건에 대해 큰 차이가 없음을 알 수 있다. 정적인 경우와 협대역 경우를 제외하고 신호대 잡음비 12dB에서 음질 성능은 보통이하로 나타났다. 그 이유는 전원지대 채널모델이 단일경로 모델로 간주할 수 있어 양호한 성능이 기대되나 높은 이동국 속도 (시속 250km)에 의한 주파수 천이에 의해 음질이 저하되기 때문이다. 다시말해 매우 빨리 변화하는 채널로 인해 채널추정 블럭에서 실행되는 채널 임펄스 응답 추정이 더 이상 정확하지 않게 되므로 비터비 등화기의 성능이 떨어지게 되고 따라서 음질도 저하된다. 전원지대에서는 동채널 사용자수가 증가함에 따라 음질성능이 저하되었다. 그리고 1급비트 오류와의 비교에서는 도심지역과 마찬가지로 대략 1% 보다 낮아야 만족할만한 음질을 얻을 수 있었다. 그림 5-그림 7 은 MOS 결과 (이해노력 영역)를 도식적으로 나타낸 것이다.

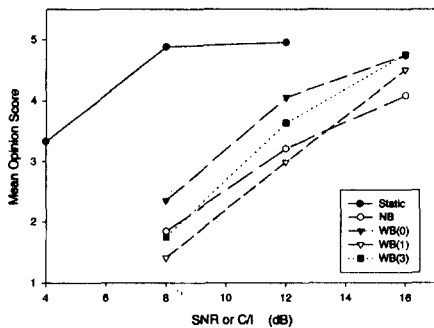


그림 5. 도심에서의 각 시나리오에 따른 주관적 음질성능  
Fig. 5 Subjective quality of GSM-TU profile relative to channel conditions

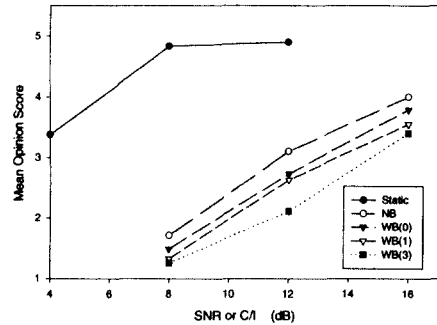


그림 6. 전원지대에서의 각 시나리오에 따른 주관적 음질성능  
Fig. 6 Subjective quality of GSMRA profile relative to channel conditions

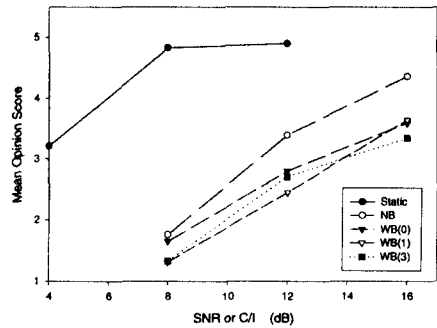


그림 7. 산간지대에서의 각 시나리오에 따른 주관적 음질성능  
Fig. 7 Subjective quality of GSMHT profile relative to channel conditions

표 8. 다른 문장을 사용하였을 때의 음질평가 결과  
Table 8. Speech quality with different sentences

SNR (dB)	Wideband (no interferer)					
	GSM-TU		GSM-HT		GSM-RA	
	MOS-L	STD	MOS-L	STD	MOS-L	STD
8(4)	2.20	0.91	1.50	0.52	1.20	0.42
12(8)	4.00	0.94	3.05	0.49	2.80	0.79
16(12)	4.70	0.48	4.20	0.63	3.60	0.69

(MOS-L: 이해노력 영역의 MOS 점수, STD: 표준편차 GSM-TU: 도심 GSM-HT: 산간지대, GSM-RA: 전원지대)

그리고 문장이 서로 다른 경우의 평가값의 차이를 조사하기 위해 간섭자가 없는 광대역 채널상황에서



서로 다른 문장 9개를 사용하였다. 그 결과를 표 8에 표시하였다. 산간지대 채널모델의 SNR이 16dB인 경우는 약 0.6 정도의 차이를 보이나 대부분의 경우 큰 차이가 없음을 알 수 있다.

### V. 결 론

본 논문에서는 주관적인 방법을 사용하여 디지털 이동통신 시스템의 하나인 GSM 시스템의 채널환경에 따른 음질을 측정하였다. 주관적인 음질측정을 위해 비공식적인 음질 테스트를 진행했으며 음질 정량화는 평균 의견점수 (Mean Opinion Score)를 사용하였다. 신호대 잡음비 12dB에서 일반적인 도심에서는 어떠한 채널조건에서도 음질이 우수하거나 보통이상으로 나타났다. 특히 경로 다이버시티 효과는 MOS 기준으로 0.5 혹은 0.7의 개선 효과로 나타났다. 그러나 산간지대 혹은 전원지대에서는 같은 신호대 잡음비 (12dB)에서 많은 시간지연 혹은 높은 페이딩으로 인해 음질이 떨어짐을 알 수 있었다. 이러한 사실은 산간 및 전원지대 채널모델에서 두가지 요소에 해당하는 시뮬레이터 파라미터를 제거한 후 음질을 조사했을 때 아주 양호한 음질을 얻을 수 있어 확인할 수 있었다. 따라서 이러한 지역에서는 신호대 잡음비 (혹은 반송파대 간섭비)를 12dB 이상 유지해야 하며 동채널 간섭자 수가 증가할 경우 음질 저하를 더 많이 초래하기 때문에 12 dB 이상의 반송파대 간섭비를 제공해야 할 것이다.

본 논문에서 제시한 가상할 수 있는 채널 상황에서의 음질 평가는 현실적으로 시뮬레이션을 통해서만 가능한 연구이며 문헌에서도 소개되고 있지 않은 연구 결과이다. 특히, 특정 비트오율 (보통  $10^{-3}$ )을 얻기 위한 신호대 잡음비 (혹은 반송파대 간섭비) 분석이 아니라 만족할 만한 음질을 얻기 위한 최소 신호대 잡음비의 분석에 중요성을 갖고 있다. 또한 각 채널 시나리오가 음질에 미치는 영향을 정량적 (MOS)으로 제시하였고 대응되는 비트오율도 함께 제시하여 비교 분석도 가능함으로써 향후 디지털 이동통신 시스템의 설계, 운영 최적화 문제 및 일반적인 시스템 성능의 기준으로도 유용하게 사용할 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

1. Chia, S.T.S., "Design and optimisation for cellular access network", IEE Electron. & Commun. Eng. J., Vol.8, No.6, pp.269-277, December 1996.

2. Cox, A.K., "The generation game - a view of the future of personal communications", IEE Colloquium on Mobile Communications Towards the Next Millennium and Beyond, Digest No. 1996/115, May 1996.
3. Arnold, H.W. and Bodtmann, W.F., "The performance of FSK in frequency-selective Rayleigh fading", IEEE Trans. Comm., Vol. COM-31, No.4, pp.568-572, April 1983.
4. Glance, B. and Greenstein, L.J., "Frequency-selective fading effects in digital mobile radio with diversity combining", IEEE Trans. Comm., Vol. COM-31, No.9, Sept. 1983.
5. Chuang, J. C-I., "The effects of time delay spread on portable radio communications channels with digital modulation", IEEE J. Sel. Areas in Comm., Vol. SAC-5, No.5, pp.879-889, June 1987.
6. Kadel, G., "Determination of the GSM-system performance from wideband propagation measurements", Proc. IEEE VTC'92, Vol.1, pp.540-545, 10-13 May 1992.
7. Chung, Y.H., Parsons, J.D. and Turkmani, A.M.D., "The prediction of BER performance in the GSM radio system", IEEE Trans. Comm., Vol. COM-44, No.9, pp.1064-1069, Sept. 1996.
8. Natvig, J.E., "Evaluation of six medium bit-rate coders for the pan-European digital mobile radio system", IEEE Journal on Selected Areas in Communications, Vol.6, No.2, pp.324-331, Feb. 1988.
9. Daumer, W.R., "Subjective evaluation of several efficient speech coders", IEEE Trans. Communications, Vol. COM-30, No.4, pp. 655-662, April 1982.
10. Papamichalis, P.E., Practical Approaches to Speech Coding, Prentice-Hall, 1987.
11. Anderson, J.B., Aulin, T. and Sundberg, C.E., Digital Phase Modulation, Plenum Press 1986.
12. Jakes, W.C. (ed), Microwave Mobile Communications, John Wiley, 1974.
13. Parsons, J.D., The Mobile Radio Propagation Channel, Pentech Press, 1992.
14. Haykin, S., Digital Communications, John Wiley & Sons, 1988.
15. Proakis, J.G., Digital Communications, McGraw-Hill, 1989.
16. Barrett, P.A., Voelcker R.M. and Lewis, A.V.,

“Speech transmission over digital mobile radio channels”, BT Technol. J. Vol.14, No.1, pp.45-55, January 1996.

17. COST 207, Digital Land Mobile Radio Communications, Final Report, Commission of the European Community, Brussels, 1989.
18. Rappaport, T.S. Wireless Communications: Principles & Practice, Prentice Hall, 1996.
19. D' Avella, R, Moreno, L. and Sant'Agostino, M., “An adaptive MLSE receiver for TDMA digital mobile radio”, IEEE J. Sel. Areas Comm. Vol.7, No.1 pp.122-129, Jan. 1989.
20. Steele, R., Mobile Radio Communications, Pentech Press, 1992.
21. Gaspard, I., “Efficient methods for evaluation and prediction of subjective speech quality in GSM mobile networks”, Proceedings of IEEE Vehicular Technology Conference '94, Stockholm, Sweden, Vol.1, pp.334-337, June 1994.
22. SPW - The DSP Framework User's Guide and Tutorial, Version 3.1, March 1994.
23. Papoulis, A., Probability, Random Variables, and Stochastic Processes, McGraw-Hill, 1984.



정연호(Yeon Ho Chung) 정회원  
1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)

1992년 9월 : Imperial College, The University of London (공학석사)

1996년 7월 : Liverpool University 전기전자공학과(공학박사)

1985년 3월~1990년 8월 : 외무부 외신정보과/주영 한국대사관

1994년 11월~1996년 7월 : Liverpool University 연구/강의 조교

1994년 11월~1995년 1월 : (주)FCL 기술 자문역(이동통신 시스템 설계 및 S/W 개발)

1996년 8월~현재 : 경북대학교 전자전기공학부 초빙교수

<연구분야> 이동통신 채널 특성화, 이동통신 시스템 설계, 적응성 변조 기술, 이동통신 시스템 음질