

# 셀룰러 이동통신의 무선회선 설계

李相天 · 權東昇 · 林聖準  
(한국전자통신연구소 이동통신연구실)

## ■ 차례 ■

- |                |                           |
|----------------|---------------------------|
| 1. 서론          | 다. Okumura 모델             |
| 2. 무선 회선 설계    | 라. NBS Technical Note 101 |
| 가. 열화율         | 4. 예측 모델 비교               |
| 나. 송신 전력       | 가. 전송 손실에 의한 비교           |
| 다. 주파수 재사용거리   | 나. 예측 요소에 의한 비교           |
| 3. 전송 손실 예측 모델 | 다. 정확성 및 복잡도에 의한 비교       |
| 가. Egli 모델     | 5. 컴퓨터 시뮬레이션 시스템구성        |
| 나. Carey 모델    | 6. 결론                     |

## 1 서론

시스템 용량의 한계를 극복하고, 자동차의 이동에 따른 통화품질을 높이기 위해 서비스 지역을 소구역화 한 800MHz대의 셀룰러 이동통신 방식이 1983년에 서비스를 시작하였다. 셀룰러 이동통신 방식의 기본 개념은 서비스 지역을 여러 개의 셀(Cell)로 분할하여 동일 주파수를 재 사용하며, 통화량의 증가에 따라 셀을 다시 세분하여 주파수 대역을 증가시키지 않고 통화량을 증가시킬 수 있게 한 것이다. 그러나 주파수 재 사용율이 증가함에 따라 동일 주파수 간섭 현상이 나타나며, 이것은 잡음과 함께 통화 품질의 저하 요인이 된다.

이동통신에서의 수신 신호는 기지국과 이동국 간의 거리의 변화, 이동국 주변의 지형, 지물에 의한 차폐 현상, 다중파 간섭에 의한 페이딩

(Fading)현상에 의해 큰 폭으로 변동하므로 실측에 의한 전송손실 측정과 이론적 해석에 의해서 주어진 품질 규정을 만족하도록 셀을 설계하여야 한다. 셀내에서의 CNR(Carrier to Noise Ratio)의 분포는 송신 전력에 의해서 결정되며, CIR(Carrier to Interference Ratio)의 분포는 동일 주파수 재사용 거리에 의해서 정해지므로, 셀룰러 시스템의 통화 품질은 송신 전력과 재사용거리에 의해서 결정되어 진다.

본고에서는 잡음과 동일 주파수 간섭에 의한 열화요인을 고려한 이동통신의 품질규정과 전송 손실 예측 모델에 의한 서비스 지역 예측을 통해 셀 분할 및 통화 품질 향상과 주파수 재사용 거리의 단축에 중점을 두어 설명하였다.

## 2 무선 회선 설계

가. 열화율

무선회선을 설계한다는 것은 셀 내의 통화품질이 주어진 품질 규정을 만족하도록 송신 전력 및 재 사용 거리를 결정하는 것으로서 열잡음과 동일채널 간섭이라는 열화 요인에 의해서 정해진다. 통화 품질이라는 것은 페이닝 환경하에서 단음 명료도(아날로그 방식) 및 BER(Bit Error Rate: 디지털 통신 방식)을 말하며, 그 특성은 CNR특성(CIR=∞일 때) 및 CIR특성(CNR=∞일 때)에 의한 영향이 같은 정도로 각각 주어지는 경우가 많았다<sup>(1)</sup>. 그러나 잡음과 동일 주파수 간섭은 동시에 존재하므로 통화 품질은 CNR과 CIR의 2개의 변수로서 고려해야 한다.

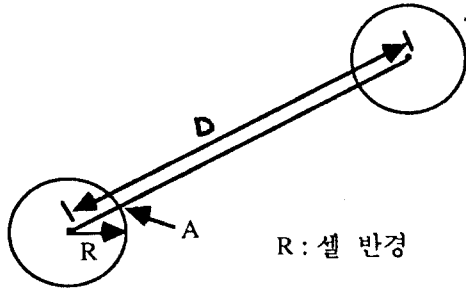


그림 1. 동일 채널 간섭 모델

그림1에서 보듯이 동일 채널 간섭이 존재할 때 서비스 영역 내에서의 간섭이 가장 심한 A 지점에서 설계하기로 한다. 희망파의 평균 수신 전력 X와 간섭파의 평균 수신 전력 Y와의 결합 밀도 함수 P(X, Y)는 상호 무상관일 때 식 (1)로 표현된다<sup>(2)</sup>.

$$P(X, Y) = 1 / (2\pi\sigma^2XY) \exp \left[ -1 / 2\sigma^2 \{ \ln^2(X/X_m) + \ln^2(Y/Y_m) \} \right] \quad (1)$$

여기서 X, Y는 대수정규분포이며, X<sub>m</sub>, Y<sub>m</sub>은 각각 X 및 Y의 장구간 평균치이다. 식(1)을 평균 CNR Γ(=X)와 평균 CIR Λ(=X/Y)의 결합 확률 밀도함수로 변화시키면 식(2)와 같이 표현된다.

$$P(\Gamma, \Lambda) = 1 / (2\pi\sigma^2\Gamma\Lambda) \exp \left[ -1 / 2\sigma^2 \{ \ln^2(\Gamma/\Gamma_m) + \ln^2(\Lambda/\Lambda_m \cdot \Gamma_m/\Gamma) \} \right] \quad (2)$$

여기서 Γ<sub>m</sub>, Λ<sub>m</sub>은 각각 Γ 및 Λ의 장구간 평균 CNR, CIR이다.

식 (2)에서 Γ가 소요의 전송 품질 Γ<sub>th</sub> 이하이거나 혹은 Λ가 소요의 전송 품질 Λ<sub>th</sub> 이하로 될 확률은 식 (3)으로 된다.

$$F_r = P_r[\Gamma \leq \Gamma_{th} \text{ or } \Lambda \leq \Lambda_{th}] = P_r[\Gamma \leq \Gamma_{th}] + P_r[\Lambda \leq \Lambda_{th}] - P_r[\Gamma \leq \Gamma_{th} \text{ and } \Lambda \leq \Lambda_{th}]$$

$$\begin{aligned} &= \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\ln \Gamma_m / \Gamma_{th}}{\sqrt{2} \sigma} \right] \\ &+ \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\ln(\Lambda_m / \Lambda_{th})}{\sqrt{2} \sigma} \right] \\ &- \frac{1}{2\sqrt{\pi}} \int_{-\infty}^{\ln(\Gamma_m/\Gamma_{th})/2\sigma} e^{-t^2} \operatorname{erfc} \left[ t + \frac{\ln(\Lambda_m/\Lambda_{th})}{\sqrt{2} \sigma} \right] dt \quad (3) \\ &\operatorname{erfc}(x) = \frac{2}{\sqrt{\pi}} \int_x^{\infty} e^{-t^2} dt \end{aligned}$$

식 (3)에 의해서 CNR 혹은 CIR이 각각의 규정 품질 Γ<sub>th</sub> 및 Λ<sub>th</sub> 이하로 될 확률은 Γ<sub>m</sub>/Γ<sub>th</sub> 및 Λ<sub>m</sub>/Λ<sub>th</sub>의 함수로서 표현되며, 그 곡선을 그림 2에 나타내었다.

그림 2에서 알 수 있듯이 열화율의 배분은 시스템의 규모 및 실현하고자 하는 품질의 정도에 따라서 열잡음 혹은 동일 채널 간섭에 중점을 둘 수 있는 유연성을 가진다. 예를 들면, 그림 2의 열화율 10%인 곡선에서 A점을 설정하면 열잡음에 중점을 두어 CNR을 정할 수 있으며, B점을 설정하면 동일 채널 간섭에 중점을 두어 CIR을 정할 수 있다.

나. 송신 전력

그림 1에서 반경 R의 셀 주변의 지점에서

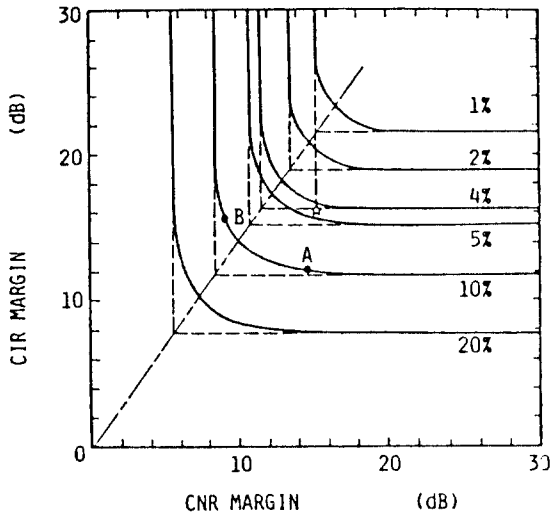


그림 2. 소요 품질 곡선

열잡음에 의한 열화율을  $F'_f$ 이라하면

$$F'_f = \int_0^{\Gamma_{th}} P(\Gamma) d\Gamma = \frac{1}{2} \operatorname{erfc}$$

$$\left[ \frac{\ln(\Gamma_m / \Gamma_{th})}{\sqrt{2} \sigma} \right] \quad (4)$$

로 나타낼 수 있으며, 그 관계를 그림 3에 나타내었다. 시스템을 설계할 경우 열화율은 셀 전체에 있어서의 값으로 되며, 셀 전체에서의 열잡음에 관한 열화율을  $F'_a$ 이라하면 이는  $F'_f$ 을 면적적 분함으로서 얻을 수 있다.

셀 주변에 있어서 소요품질  $\Gamma_{th}$ 를 열화율  $F'_a$ 으로 확보하기 위해서 필요한 장구간 평균 CNR  $\Gamma_m(R)$ 은  $\Gamma_{th}$ 와  $F'_f$ 에 대응하는 소요 margin  $\Gamma_m(R) / \Gamma_{th}$ 의 합으로 주어지며, 셀 반경 R에 따른 전송손실  $L_p$ , 수신기의 잡음전력  $kTB_f N_f$ 에 의해서 소요 송신전력  $P_t$ 는 식(5)에 의해서 계산된다.

$$P_t = (\Gamma_m \cdot kTB_f N_f \cdot L_p) / (G_t \cdot G_r) \quad (5)$$

단,  $G_t, G_r$ 은 급전손실을 포함한 송신 및 수신

안테나 이득이다. 그림 4에 소요 송신 전력  $P_t$ 의 설계 순서를 나타냈다.

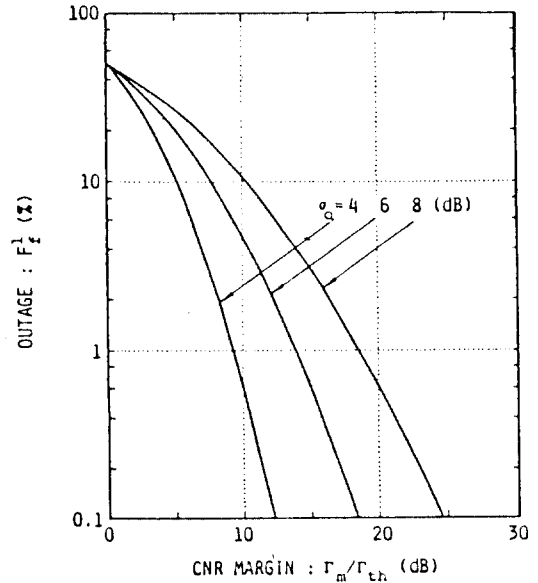


그림 3. 열화율과 CNR margin과의 관계

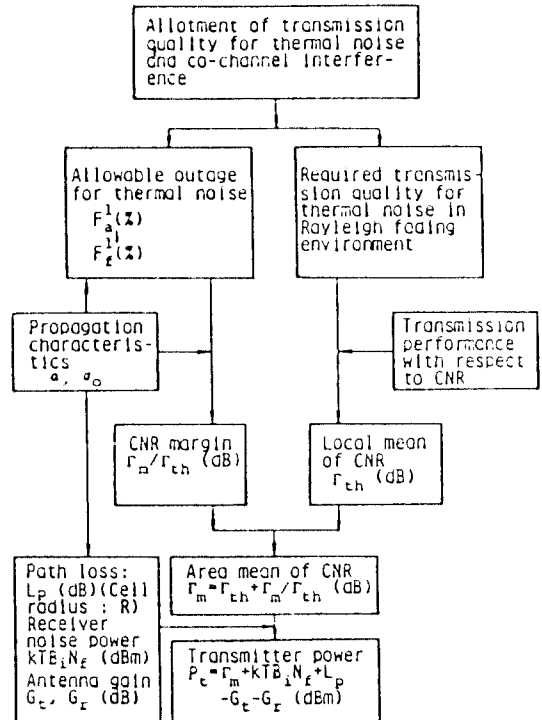


그림 4. 송신 전력 설계 순서

다. 주파수 재사용 거리

그림 3에서와 같이 동일 채널 간섭국이 하나인 경우, 그리고 간섭파와 희망파의 중앙치 변동이 무상관이라면 셀 주변에서의 동일 채널 간섭에 의한 열화율  $F_f^2$ 는 식(6)으로 표현된다.

$$F_f^2 = \int_0^{\Lambda_{th}} P(\Lambda) d\Lambda = \frac{1}{2} \operatorname{erfc} \left[ \frac{\ln(\Lambda_m / \Lambda_{th})}{2\sigma} \right] \quad (6)$$

$$P(\Lambda) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma\Lambda} \exp\left[-\frac{1}{4\sigma^2} \ln^2(\Lambda / \Lambda_m)\right]$$

셀 전체의 열화율  $F_{f,ave}^2$ 는 식(5)에서의  $F_f^2$  면적적분 함으로서 얻을 수 있다.

그림 1에서 희망파국으로부터 거리  $r$ 만큼 떨어진 지점에서의 장구간 평균 CIR  $\Lambda_m(r)$ 은 희망파국 및 간섭파국으로부터의 거리비 (식(7))에 의해서 주어지며,

$$\Lambda_m(r) = \left(\frac{r}{R-r}\right)^{-\alpha} \quad (7)$$

셀 주변에서의 장구간 평균 CIR  $\Lambda_m(R)$ 은 식 (7)에서  $r=R$ 일 때의 값이며, 동일 채널 간섭이 가장 심한 곳이다. 이 때의 거리비는 식 (8)과 같이 된다.

$$\frac{D}{R} = 1 + \Lambda_m(R)^{\frac{1}{\alpha}} \quad (8)$$

그림 5에  $D/R$ 과  $\Lambda_m(R)$ 의 관계를 나타내었으며,  $\Lambda_m(R)$ 은 소요의 품질  $\Lambda_{th}$ 를 열화율  $F_f^2$ 로 확보하기 위해서 필요한 최소의 장구간 평균 CIR이고,  $\Lambda_{th}$ 와 최소의 소요 CIR margin  $\Lambda_m / \Lambda_{th}$ 와의 합으로써 결정된다. 그림 6에 설계 순서를 나타내었다.

이상의 논의에서 기본적인 설계 순서를 밝히기 위해서 간섭국이 하나인 경우를 고려했으나, 실제의 이동통신에서는 최소한 주변 6개의 기지

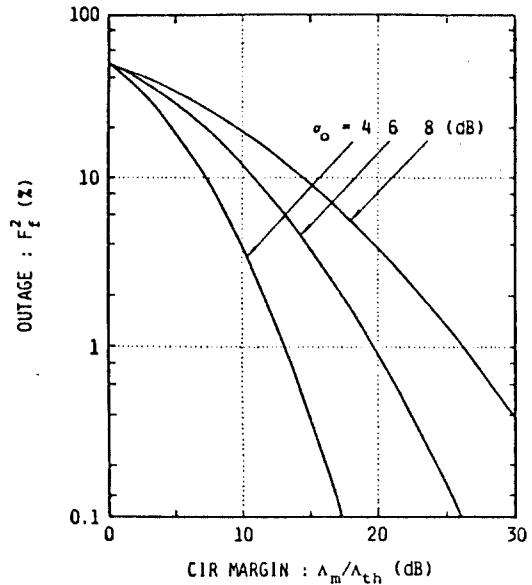


그림 5. 장구간 평균 CIR과 재사용 거리

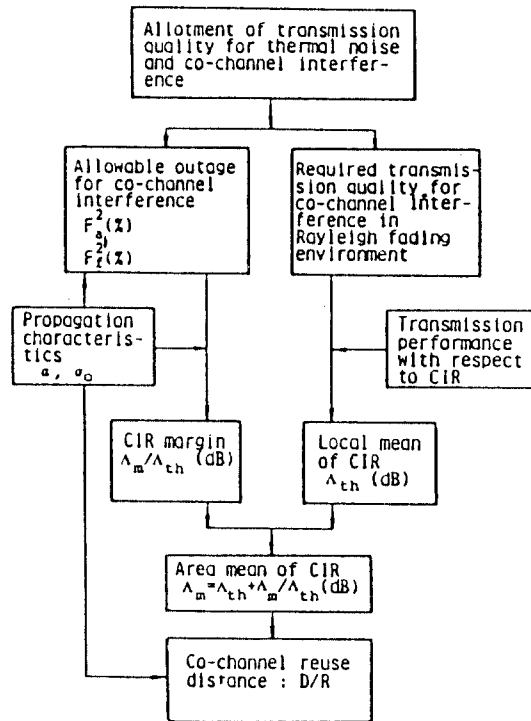


그림 6. 주파수 재사용 거리의 설계 순서

국을 고려할 경우 합성파의 중앙치 변동도 거의 대수 정규 분포를 따르므로 셀 주변에서의 평균 CIR의 확률 밀도 함수  $P(\wedge)$ 는 식 (9)로 표현된다<sup>(3)</sup>.

$$P(\wedge) = \frac{1}{2\sqrt{\pi}\sigma_m \wedge} \exp\left[-\frac{1}{4\sigma_m^2} \ln^2(\wedge / \wedge_m)\right] \quad (9)$$

이를 이용하면 6개의 간섭파 존재 시 주파수 재사용 거리의 설계에서는, 1개파 간섭시의 설계 순서에서 표준 편차가  $\sigma_m$ 일 때의 소요 CIR margin을 이용해서 설계하면 소요 장구간 CIR  $\wedge_m$ 에 대해서 1개파 간섭에 비해 6개파 간섭은 열화분 8dB를 margin으로 추가해야하나 실제로는 6개의 간섭국이 항상 동시에 동일 채널을 사용할 확률이 매우 작으므로 주로 3개의 간섭국만을 고려하면 열화분 5dB 정도를 margin으로 더 고려하면 된다<sup>(4)</sup>.

### [3]. 전송 손실 예측 모델

#### 가. Egli 모델

이론적인 평면 전송 손실에 준시가지의 지형 계수를 고려한 실험적인 식이며 식 (10)과 같이 주어진다<sup>(5)</sup>.

$$L(\text{dB}) = 20 \log f + 40 \log D - 20 \log hb + \begin{cases} + 76.3 - 10 \log hm, & hm \leq 10 \\ + 85.9 - 20 \log hm, & hm > 10 \end{cases} \quad (10)$$

여기서 기지국과 이동국간의 거리  $D$ 는 km 단위이며, 주파수  $f$ 는 MHz, 기지국 안테나 높이  $hb$ , 이동국 안테나 높이  $hm$ 은 m 단위이다.

#### 나. Carey 모델

FCC part22에서 규정한 이동통신 서비스 반경을 결정하기 위한 모델이며, 송수신 안테나 높이, 송신 출력, 평균 지형 높이등에 의해서 서비스 반경을 결정하는 도표이다<sup>(6)</sup>. 평균 전송

손실을 수식으로 표현하면 식 (11)과 같다

$$L(\text{dB}) = 110.7 - 19.1 \log hb + 55 \log D, \quad 8 \leq D < 48 \quad (11)$$

$$L(\text{dB}) = 91.8 - 18 \log hb + 66 \log D, \quad 48 \leq D < 96$$

#### 다. Okumura 모델

1955년 일본 NTT에서 수많은 전송 실험 결과를 정량화하여 발표한 모델이며, 세계적으로 이동통신 시스템의 설계 기준으로 많이 쓰여지고 있으며 적용범위는 주파수 100-3000MHz, 기지국 안테나 높이 30-1000m, 거리 1-100km이다<sup>(7)</sup>. 이 모델은 그래프로 주어져 있기 때문에 이동통신 무선 회선 설계에 컴퓨터를 이용하기가 불편하여 Hata가 경험적인 실험식을 만들어 많이 이용하고 있다.

Hata의 실험식은 다음과 같다.

#### (1) 시가지 전송 손실

$$L(\text{dB}) = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log hb - a(hm) + (44.9 - 6.55 \log hb) \log D \quad (12)$$

여기서  $a(hm)$ 은 이동국 안테나 높이의 보정 계수이며

중소도시에서는  $a(hm) = (1.11 \log f - 0.7)hm - (1.56 \log f - 0.8)$ ,

대도시에서는  $a(hm) = 8.29(\log 1.54hm)^2 - 1$ ,  
 $\begin{cases} 1: f \leq 200\text{MHz} \\ a(hm) = 3.29(\log 11.75hm)^2 - 4.97: f \geq 400\text{MHz} \end{cases}$  이다.

#### (2) 교외지 전송 손실

$$L(\text{dB}) = \text{시가지 전송 손실} - 2(\log f / 28)^2 - 5.4$$

#### (3) 개방지 전송 손실

$$L(\text{db}) = \text{시가지 전송 손실} - 4.78(\log f)^2 + 18.33 \log f - 40.94$$

4] 예측 모델 비교

라. NBS Technical Note 101

1965년에 Rice에 의해 발표되었으며, 모든 종류의 지형에 대해서 40MHz에서 100GHz 범위 내의 전송 손실을 계산할 수 있다<sup>(7)</sup>. 이 모델을 이용하여 프로그램으로 실현한 것이 Longley-Rice 모델, TIREM(Terrain Integrated Rough Earth Model)이다. 여기서 사용된 주요 변수는 다음과 같다.

- 지형
- 주파수
- 송신 출력
- 안테나 높이
- 거리
- 기후
- 대지 굴절율
- 대지 전도율
- 대지 유전율

가. 전송 손실에 의한 비교

기지국 안테나 380m일 때 준시가지에서의 Longley-Rice모델, Okumura모델 및 G.E.사의 계산치에 의한 결과를 그림 7에서 비교하였다<sup>(8)</sup>. Longley-Rice모델은 지형 데이터를 이용하여 예측하였으며, Okumura모델은 준시가지의 실측 결과인데, 전송 거리 5-65km에서는 서로 유사한 결과를 보였다.

나. 예측 요소에 의한 비교

전송 손실 예측 모델에 필요한 입력 변수 및 전송 경로 환경에 따른 예측 모델간의 비교를 표 1에 보였다<sup>(9)</sup>. 여기서 N은 전혀 다루지 않았으며, L은 다소간 다루었으며, E는 광범위하게 취급하였음을 표시한다. 표 1에서 몇 가지 입력 변수가 예측의 정확성에 영향을 미치는 데 산악의 형태 및 건물 데이터등을 포함하는 지형 데이터가 그 예이다.

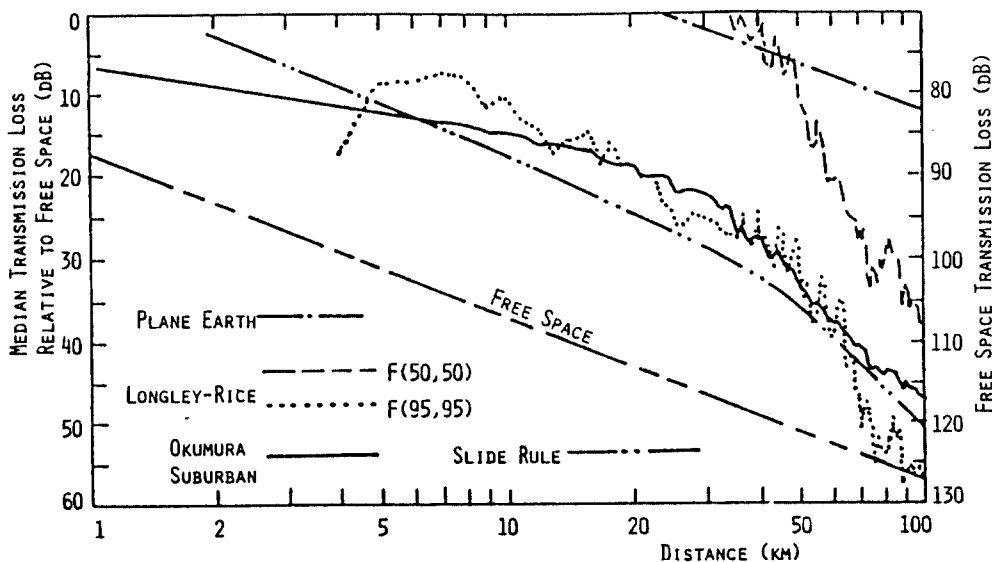


그림 7. 전송 손실 비교(준시가지)

Model	Input Parameters Treated										Propagation Factors Included						Output Parameters			
	Antenna Height				Terrain data	Building data	Foliage data	Hill shape	Distance	Free space	Diffraction by smooth earth	Reflection from earth surface	Reflection from hills	Diffraction by hills	Atmospheric refractivity	Building penetration	Loss deviation	Location variability	Time fading	Median trans-mission loss
	Above average terrain	Above street level	Effective height	Mobile (1-3 m)																
Bullington	N	E	L	E	L	N	N	L	E	E	E	L	N	E	N	N	N	L	L	E
Egli	E	N	L	E	N	N	N	N	E	N	N	L	N	N	N	N	N	E	N	E
Carey	E	N	N	N	N	N	N	N	E	N	N	N	N	N	N	N	N	L	L	E
Tech Note 101	N	E	E	E	E	N	L	L	E	E	E	E	N	E	E	L	N	E	E	E
R-6602-LM	E	L	N	L	N	N	N	N	E	N	N	N	N	N	N	N	N	L	L	E
Longley-Rice Pt.-to-Pt.	N	E	E	E	E	N	N	L	E	E	E	E	N	L	E	N	N	E	E	E
Longley-Rice Area	N	E	L	E	N	N	N	N	E	E	E	E	N	N	E	N	E	N	E	E
Okumura	N	E	E	E	L	N	L	L	E	E	E	N	N	L	N	N	L	E	N	E
TIREM	E	E	E	E	E	N	N	L	E	E	E	E	N	E	E	N	L	E	E	E
Gen. Electric Slide Rule	N	E	L	E	N	N	N	N	L	L	L	L	N	N	N	N	N	E	N	E
Lee	N	E	L	N	L	N	N	L	E	N	N	L	N	L	N	N	N	N	N	E
CCIR Report 567	E	L	N	N	N	N	N	N	E	E	E	N	N	N	N	E	N	E	E	E
Bertoni & Walfisch	N	E	L	E	L	E	N	N	E	E	N	N	N	N	N	N	N	N	N	E

\* Rating Scale: N = not treated; L = limited treatment; E = extensive treatment

다. 정확성 및 복잡도에 의한 비교

컴퓨터 프로그램을 이용하거나 수작업으로 전송 손실 예측을 할 때, 수행 시간에 따른 모델 선정이 필수적이다. 일반적으로 정확성이 높은 예측 모델일수록 복잡한 계산과 수행 시간이 요구된다. 그림 8에 이 관계를 도시하였는데, Okumura, Egli, Lee 모델들은 수작업에 의한 것이며 Longley-Rice, Dukin, JRC, CRC 그리고 Allsebrook-Parsons은 프로그램으로 되어 있다<sup>11)</sup>. 예측 모델의 복잡도 및 정확성면에서 Okumura, CRC 모델이 가장 높은 것으로 나타나 있다.

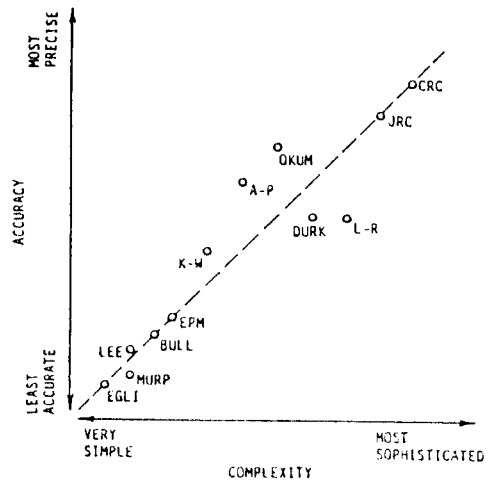


그림 8. 예측 모델의 정확성 및 복잡도

### 5 컴퓨터 시뮬레이션 시스템 구성

컴퓨터에 의한 전송 손실 및 서비스 지역 예측을 위해서는 지형 데이터가 우선적으로 필요하며, 예측 오차를 최소화하기 위해서는 상세한 지도를 사용해야 한다. 지형 데이터에 의한 전송 손실 예측의 장단점은 다음과 같다.

#### (1) 장점

- 데이터 수집 시간 절약
- 오차가 적음
- 재 반복 사용할 수 있음
- 예측 시간 단축

#### (2) 단점

- 개발 비용이 많이 듦
- 프로그램 개발이 필요
- 대형 컴퓨터 필요

그림 9에 지형 데이터를 이용한 등고선을 도시하였다.

지형 데이터를 사용하여 서울남산에 가상의 기지국을 설치하여 Carey 예측 모델 해석 결과를 그림 10에 나타내었다. 여기서 기지국 안테나 높이는 30m, 이동국 안테나 높이는 1.8m, 송신 출력을 50W로 가정하여 해석하였다. 기지국 송신 주파수는 890MHz이다. Carey 모델 해석 중에서 가장 중요한 것은 정북을 중심으로 45° 간격으로 8방향에 대한 16km 거리 내에 있는 평균 지형 높이를 구하는 것이다. 그림 8에서 보면 북쪽으로는 북한산에 의해서 평균 지형 높이가 300m이므로 FCC에서 규정한 수신 전계 강도 39dBμ/m의 전송 거리는 11.2km가 된다. 동, 서, 남쪽은 대체로 평탄한 지형이므로 24km까지 전송된다. 일반적으로 Carey 모델은 FCC에서 규정한 준시가지에서의 800MHz에 셀룰러 이동통신에서의 기지국 선정을 위한 서비스 지역 예측에 사용되지만 평균 지형 높이에 의한 해석이므로 정확한 해석 방법은 아니며, 실제적으로는 지형, 지물에 의해서 주어진 통화 품질 이하로 될 때가 많다.

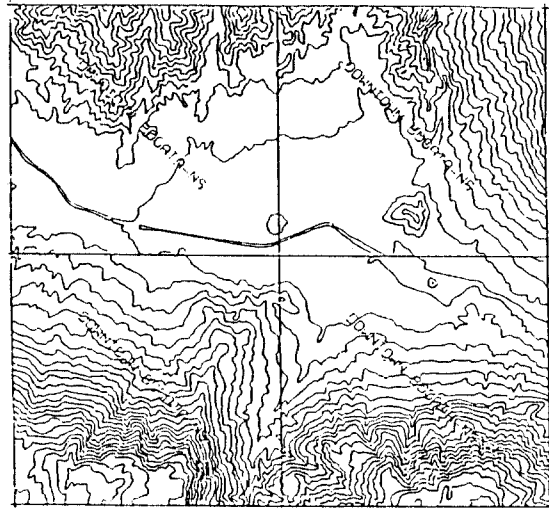


그림 9. 지형 데이터를 이용한 등고선

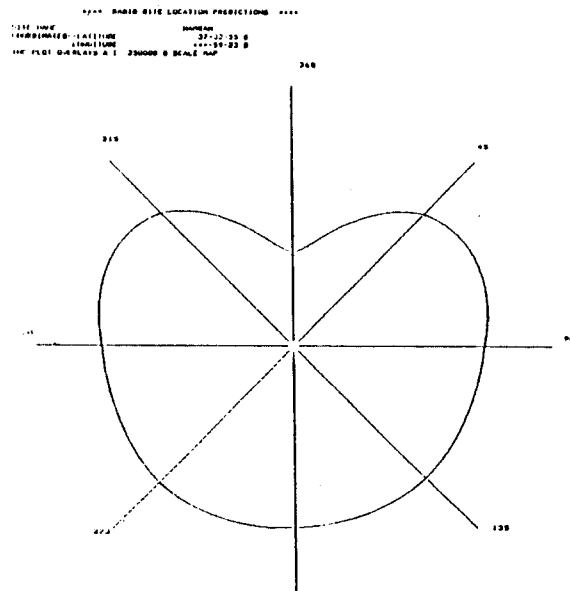


그림 10. Carey 해석 결과

컴퓨터 프로그램에 의한 전송 손실 예측 방법 중 가장 널리 알려진 것이 TIREM이다. TIREM은 지형 조건에 따라 13개의 전송 모델



로 구성되어 있으며 지형 데이터를 이용하기 때문에 대체적으로 정확한 해석이 가능하다. 그림 11에는 TIREM을 이용한 해석 결과를 수신 전계 강도에 따라 도시하였다. 수신 전계 강도를 4등분으로 구분하여 표시하였기 때문에 서비스 지역 예측 및 불감 지역, 동일 수파수 간섭 지역등을 세분하여 예측할 수 있다. 그림 12에는 10개의 기지국으로 구성된 셀룰러 시스템의 서비스 가능 지역을 예측한 결과인데, 실추정 방법에 비하여 가상의 기지국 설정이 용이하여 비용 절감 및 시간 단축의 효과가 예상되며 예측 오차가 최소화 될 것으로 기대된다.

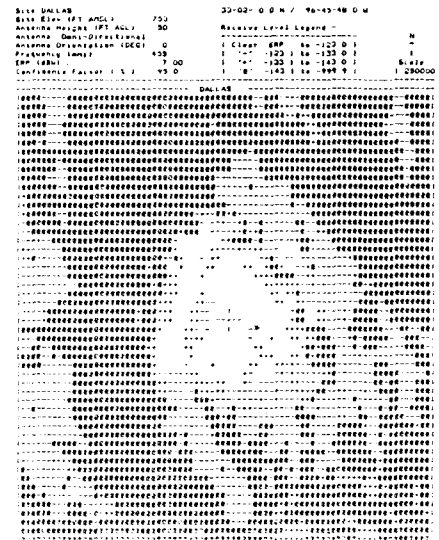


그림 11. TIREM 예측 결과



그림 12. 셀룰러 시스템의 서비스 지역 예측 결과

## [6] 결 론

늘어나는 이동통신 서비스에 따른 주파수 자원의 부족 현상을 해결하기 위해서는 적절한 셀 분할을 통한 동일 주파수 재사용율을 증가시켜야 하며, 한편으로는 통화 품질의 저하 현상도 고려해야 하기 때문에 전파 전송의 해석에 의한 무선회선 설계가 중요하다.

현재까지 발표된 실측에 의한 전송 손실 예측 모델과 이론적 해석은 많이 발표되었지만, 각 나라마다의 자연 조건, 인구 밀집 유형의 차이로 인하여 우리나라의 이동 통신 시스템 설계에 적합하지 않은 점이 많으므로 국내의 실측 자료 정리 및 지형 데이터를 이용한 전산화 처리가 필요하며, 전파 특성 해석 모델 개발 및 시스템 구축이 필요하리라 생각된다.

### 참고문헌

1. K. Hirade, M. Ishizuka, F. Adachi and K. Ohtami, "Error-rate Performance of Digital FM with Differential Detection in Land Mobile Radio Channels", IEEE Trans. Veh. Technol., VT-28, 3, pp.204-212, Aug. 1979.
2. Masaharu HATA, "Radio Link Design of Cellular Land Mobile Communication Systems", IEEE Trans. V.T., Nov., 1973.
3. R.L. Mitchell, "Performance of the Log-normal Distribution", J.Opt. Soc. Am., 58, 9, pp. 1267-1272, Sept. 1968.
4. Y.S. Yeh, J.C. Wilson and S.C. Schwarz, "Outage Probability in Mobile Telephony with Directive Antenna and Microdiversity", IEEE Trans. V.T., VT-33, 3, pp. 123-127, Aug. 1984.
5. Egli, J.J. "Radio Propagation above 40Mc over Irregular Terrain", Proc. IRE, 45, 1383-1391, 1957.
6. Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, K. Fukuda, "Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Service", Rev. Elec. Commun. Lab., Vol. 16, pp. 824-873, 1968.
7. P.L. Rice, A.G. Longley, K.A. Norton, A.P. Paris, "Transmission Loss Predictions for Tropospheric Communication Circuits", NBS Tech. Note 101, Jan. 1967.
8. A.G. Longley and P.L. Rice, "Prediction of Tropospheric Radio Transmission Loss over Irregular Terrain: A Computer Method-1968", ESSA Tech. Rep. ERL79-ITS 67.
9. Master Propagation System (MPSII) User's Manual, NTIS, 1983.
10. "Special Issue on Mobile Radio Propagation", IEEE Trans. V.T., Vol. 37, No.1, Feb. 1988.
11. John F. Aurand, Robert E. Post, "A Comparison of Prediction Methods for 800MHz Mobile Radio Propagation", IEEE Trans., V.T. Vol. Vt-34, No.4, Nov. 1985.



李相天

저자약력

- 1960년 8월 25일생
- 1983. 3 : 동아대학교 전자공학과 졸업
- 1986. 2 : 동아대학교 전자공학과 졸업(석사)
- 1986. 1 ~ 현재 : 한국전자통신연구소  
이동통신연구실 연구원



權東昇

저자약력

- 1962년 4월 3일생
- 1985. 2 : 연세대학교 전자공학과 졸업
- 1987. 2 : 연세대학교 전자공학과 졸업(석사)
- 1988. 5 ~ 현재 : 한국전자통신연구소  
이동통신연구실 연구원



林聖準

저자약력

- 1947년 11월 7일생
- 한국전자통신연구소 이동통신연구실 실장