

碩士學位論文

濟州 西部地域에 대한 移動電話 周波數帶의
電界強度 豫測에 關한 研究

濟州大學校 大學院

通信工學科



1994 年 6 月

濟州 西部地域에 대한 移動電話 周波數帶의 電界強度 豫測에 關한 研究

指導教授 金 興 洙

洪 文 湜

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1994 年 6 月

洪文湜의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 李 鎔 鶴

委 員 張 宰 成

委 員 金 興 洙



濟州大學校 大學院

1994 年 6 月

A Study on Field Strength for the Band of Land
Mobile Telephone Systems in Cheju Western Area

Mun-Sig Hong

(Supervised by professor Heung-Soo Kim)

A THESIS SUMMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT OF
THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF MASTER
OF ENGINEERING



DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1994. 6

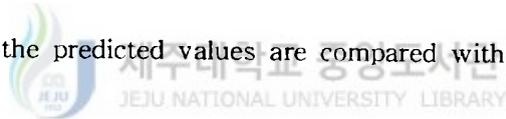
목 차

Abstract	1
I. 서론	2
II. 이동통신 전파특성과 전파손실	5
1. 이동통신의 전파특성	5
2. 전파손실 방정식	7
III. 제주지형의 특성과 보정값	13
1. 기지국 안테나 실효고	14
2. 지형 굴곡변화율	16
3. 수신점의 평균 기울기 각	19
4. 장애물에 의한 회절손실	21
IV. 전계강도의 예측과 측정	26
1. 전계강도 예측	26
2. 전계강도 측정	30
3. 예측치와 측정치의 비교	35
V. 결론	39
참고문헌	40

Abstract

The propagation prediction within a cell coverage in land mobile radio service is very important. The propagation loss of between base and mobile station must be calculated for propagation prediction. The propagation loss is presented in a $A+B \log_{10}R$ form, where both A and B are the parameter as function of the frequency and the antenna height and R is the distance of between base and mobile station. The propagation prediction in Cheju island is not easy, because a great number of peaks are found here and there at the foot of the Hanla Mt.

The characteristics of radio propagation in the western area Cheju island are measured for the Seorum transmitter site. The formular of correction which is regard to the configuration of the ground is presented, and the predicted values are compared with the measured one.



I. 서론

현대의 이동통신 시스템은 일상 생활속에서 중요한 통신수단으로 자리 잡고 있으며 양호한 통화품질 제공이 더욱 절실하게 요구되어지고 있다. 이에 따라 양질의 서비스를 제공하기 위한 이동통신 시스템 설계와 최적의 전파(propagation) 환경 구축에 대한 연구가 가속화되고 있다. 이러한 필요성에 의해 Hand-off, 동적 출력제어, 채널 할당, 주파수 재사용, 채널 용량 확대 방안 등에 대해 연구되고 있다. 이에 많은 학자들은 셀룰라 이동통신 이전부터 이동국에서 수신되는 전파 예측에 대해 끊임없이 연구해 왔으며, 실험적 결과들과 통계학적 데이터들을 이용하여 기지국 서비스 영역내의 임의 위치에 대해서 좀 더 정확한 전계 강도를 예측하기 위한 계산 도표와 순서도들을 개선시켜 왔다. 이러한 결과에서 전파손실은 거리에 따라 대수적으로 변한다는 것이 증명되었다.

굴곡이 심한 지형에서 VHF/UHF 주파수대의 방송과 육상 이동통신 시스템에 대한 전파손실을 구하여 기지국의 서비스 영역을 결정하는 방법이 제시되었다.(Barsis, 1971) 이동통신 전파 특성을 연구하기 위하여 Black(1972)은 필라델피아의 도심지에서 이동국을 움직이면서 기지국에서 1~2마일 이상으로 멀어질 때에는 수신 신호의 세기가 R^{-3} 에 비례한다는 것을 알아 냈으며, 기지국에서 임의의 이동국 위치까지의 지형 측면도에 대한 데이터들을 컴퓨터에 저장하고 전파 경로에 대한 감쇠를 계산하여 서비스 영역을 예측하는 방법도 제시되었다.(Durkin, 1977) 셀룰라 이동통신 시스템에서 Ott(1977)는 주파수 재사용 패턴에 대한 전파 환경 분석의 중요성에 대하여 언급했으며, 지형에 의한 회절 손실 등 전송 손실에 영향을 주는 요소들에 의한 전파 환경에 대하여도 연구 되었

다.(Allsebrook, 1977) 그리고 UHF 옥상 이동통신 시스템에서 기지국의 소형화에 대하여도 연구하였다.(Yoshikawa, 1976) 이동국의 위치 변동으로 기지국과 이동국 사이의 지형적 요인과 전파 환경이 시시각각으로 변하게 되며, 이로 인해서 이동국의 전계강도를 정확히 예측하기가 매우 어렵다. 일본 Tokyo 중심부를 포함한 Kanto 전 지역에서 옥상 이동통신의 전계강도 예측방법을 제시한 Okumura(1968)의 전계강도 예측 방법에 대한 보고서에는 도심지, 교외, 그리고 언덕과 산악지역 등과 같은 불규칙한 지형에 대하여 VHF와 UHF의 여러 주파수 대역에서 전계강도를 세밀하게 측정하여 이 데이터로부터 서비스 지역 내의 전계강도 예측 방법을 제시하였다. 이것은 이후 여러 사람들의 연구 결과에 대한 비교 데이터로 사용되고 있고, 이러한 예측 방법은 오늘날 일본에서 옥상 이동통신 시스템 설계에 표준이 되어 있다. 전계강도를 예측하는 방법은 자유공간을 전송하는 전파에 대한 예측곡선을 기지국 안테나의 실효고, 반송주파수, 이동국 안테나 높이에 대한 계수들로 나타내었다. 이 방법에 의해 이동통신 시스템을 설계하고자 할 때는 이러한 계수들에 의해서 적당한 예측곡선을 선택해야 한다.

본 연구에서는 이동전화 주파수대에서 제주 지역의 지형적 특성을 고려한 전계강도 예측 공식을 제시하고자 한다. Okumura(1968)가 제시한 전계강도 표준 공식을 이용하여 한라산을 중심으로 많은 오름들이 산재해 있는 제주 지역의 특성에 맞는 보정 방정식으로 제시하였다. 지형의 변화에 따른 기지국 안테나 실효고와 지형의 굴곡 변화 그리고 이동국의 수신점 기울기각 변화등 지형 특성에 맞는 보정값을 적용하여 지역별로 전계강도를 예측하였고, 세오름 기지국을 중심으로 광활하게 분포되어 있는 제주 서부 지역에서의 전계강도를 측정하여 보정 방정식에 의한 이론치와 비교하였다. 본 논문의 구성은 1장에서는 전계강도 예측의 중요성과 연구방향을 제시하였고, 2장에서는 이동통신의 전파특성

을 설명하고 전파손실에 대한 표준 방정식을 제시하였다. 3장에서는 기지국 안테나 실효고등 지형특성에 따른 보정값과 회절손실을 고려한 전파손실 예측에 대한 보정 방정식을 제시하였고, 4장에서는 3장에서 제시한 보정 방정식을 이용하여 제주 서부 지역에서의 전계강도를 지역별로 예측하고 전계강도 측정기가 장착된 차량을 이용하여 측정한 값과 비교하여 본 연구에서 제시한 보정 방정식의 타당성을 입증하고자 한다. 마지막으로 5장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II . 이동통신 전파특성과 전파손실

1. 이동통신의 전파특성

이동통신에서 기지국과 이동국간 자유공간 전파 경로상에서 이동국에 수신되는 수신전력 P_r 은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$P_r = P_t \left(\frac{1}{4\pi R/\lambda} \right)^2 \quad (1)$$

여기서 P_t [W]는 기지국 방사출력, R [Km]은 송수신간 거리, λ [m]는 반송 주파수의 파장이다. 즉 자유공간에서의 수신전력은 송수신간 거리(R)의 제곱에 반비례함을 알 수 있다. 그러나 이동통신에서의 전파 경로는 직진파만이 도래하는 경우는 드물며 여러 경로를 거치는 반사파, 회절파등의 복합적인 전파가 도래한다. Fig. 1은 이동통신에서의 전파 환경 특성을 나타낸 것이다. Fig. 1(a)는 장애물이 없을 때이고, Fig. 1(b)는 장애물로 인해 회절이나 음영지역이 발생하는 경우이며, Fig. 1(c)는 도심지 건물들에 의한 다중경로파들이 발생하는 경우를 나타내고 있다.

도심지에서는 건물, 도로 및 수신점 근처의 자동차 등에 의한 여러개의 반사파들로 구성되고, 시외 지역에서는 산악, 수풀, 언덕등 지형지물들에 의한 반사파들로 구성된다. 전파 경로는 이동국의 위치에 따라 달라지므로 전파 경로상에 발생하는 전파손실 또한 이동국의 위치에 따라 큰 차이를 보인다. 이러한 전계강도의 변화는 두가지로 구분할 수 있는 페이딩의 영향으로 나타나는 것이며 이동통신 시스템 설계 및 운용에 중요한 의미를 갖는다. 이들 중 하나는 도심지

에서 심하게 발생하는 페이딩으로 이동국의 안테나 높이가 주위 건물보다 낮고 반송 주파수의 파장이 주위 구조물보다 매우 짧기 때문에 이동국에는 다중경로 파가 합성되어 수신된다. 이러한 현상을 다중경로 페이딩 혹은 Short-term fading 이라고 한다. 다른 하나는 기지국과 이동국간 지형 구조와 인위적 환경에 의해 결정되는 Long-term fading 이다. Long-term fading이 쉽게 나타나는 지형은 주로 언덕이 있는 지형으로서, 언덕 위에서는 큰 신호를, 언덕 아래에서는 약한 신호를 수신하게 되며, 이러한 현상은 기지국과 이동국간의 직선 거리가 멀어질 수록 영향을 덜 받는다.

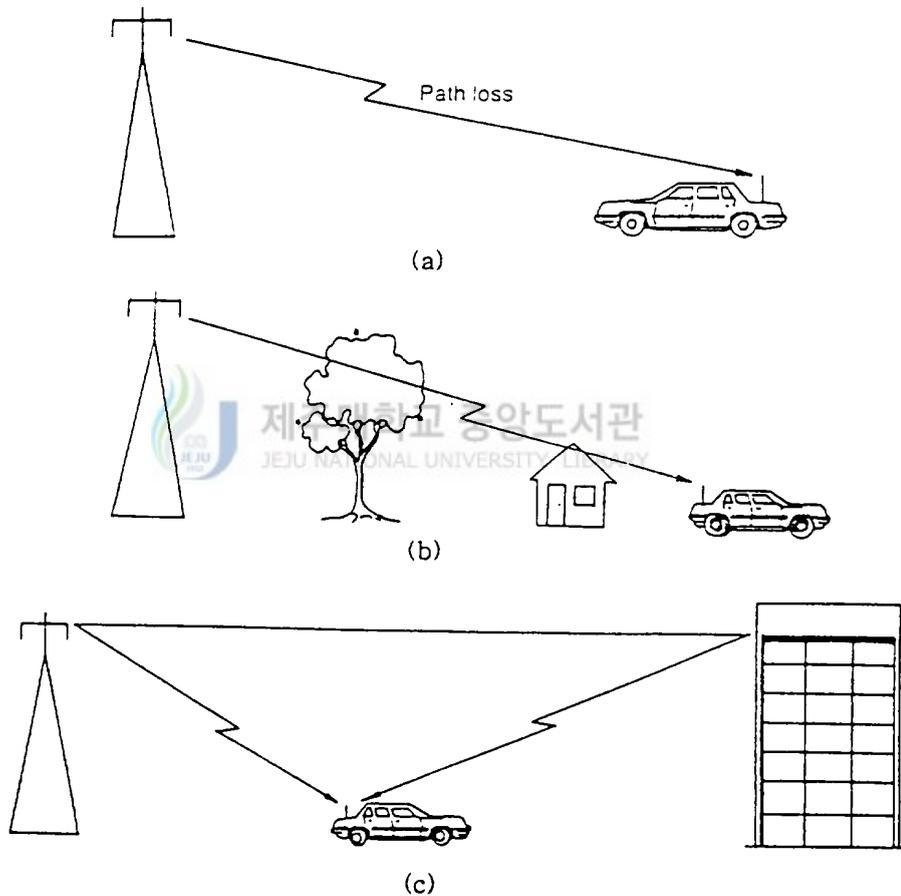


Fig. 1 Mobile telecommunications propagation path
 (a) free space (b) shadowing or diffraction path (c) multipath

실제 이동통신 전파 환경에서 기지국과 이동국간 거리에 따라 달라지는 전계강도 예측모델을 구하기는 매우 어렵지만 좀 더 정확한 예측을 하기 위한 모델 연구는 계속되고 있다.

본 연구에서는 제주지역의 지형적 조건에서 전계강도 예측모델을 제시하고 제시된 모델 방정식에 의한 예측치를 전계강도 측정 시스템을 이용하여 측정한 값들과 비교 분석 한다.

2. 전파손실 방정식

임의의 기지국 서비스권내에 있는 이동국의 수신 전계강도는 기지국 안테나 방사전계에서 자유공간 손실과 장애물들에 의한 전파 경로손실을 빼면 구할 수 있다. 등방성 안테나의 실효방사 출력(EIRP : Effective Isotropic Radiation Power)은 P_t [dBW]이고, 이동국의 수신전력이 P_r 일 때 전파손실 L_p [dB]는 식 (2)에 의해서 구할 수 있다.

$$L_p = 10 \log \left(\frac{P_t}{P_r} \right) \quad (2)$$

이 식에서 전송로가 자유공간인 경우 자유공간 전파손실 L_p 는 식 (3)과 같이 된다.

$$L_p = 10 \log \left(\frac{4\pi R}{\lambda} \right)^2 \quad (3)$$

등방성 안테나의 수신 전계강도가 E [$\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$]이면 이들 송수신점간의 전파손실 L_p [dB]를 구할 수 있다. A_{eff} 를 등방성 안테나의 실효 개구 단면적, P_u

를 수신 전력밀도라고 하면 수신전력 P_r 는 다음과 같이 된다.

$$P_r [dBm] = P_u [dBm/m^2] + 10\log_{10} A_{eff} \quad (4)$$

여기서

$$A_{eff} = \frac{\lambda^2}{4\pi}, \quad \lambda = \text{파장}(m)$$

$$P_u [dBm/m^2] = E [dB\mu V/m] - 10\log_{10}(120\pi) - 90$$

이다.

전파손실은 방사출력 (P_t)과 수신전력 (P_r)의 차이이기 때문에 식 (4)를 이용하여 다음과 같은 식을 얻을 수 있다.

$$L_p [dB] = P_t [dBW] - E [dB\mu V/m] - 10\log_{10}\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + 145.8 \quad (5)$$

기지국과 이동국의 송수신 안테나의 이득을 보정해 주면 실제의 전파손실 L_p 는 다음과 같다.

$$L_p [dB] = P_t [dBW] - E [dB\mu V/m] - 10\log_{10}\left(\frac{\lambda^2}{4\pi}\right) + 145.8 - G_t - G_r \quad [dB] \quad (6)$$

여기서 G_t 는 송신 안테나의 상대이득이며 G_r 은 수신 안테나의 상대이득이다.

Okumura(1968)의 예측 곡선은 1KW ERP/dipole의 조건하에서 수신된 전계강도이기 때문에 ERP/dipole을 EIRP 단위로 변경시켜야 한다. 따라서 다이폴 안

테나와 등방성 안테나간의 전력이득에 대한 차이를 보정해 줘야 한다. 즉 다이폴 안테나의 절대 전력이득 2.15 [dBi]를 보상하면 다음과 같은 관계식이 성립된다.

$$P_t [dBW ERP/dipole] = P_t' [dBW EIRP] + 2.15 \quad [dB] \quad (7)$$

식 (5)와 (7)을 이용하면 송수신 안테나들 사이의 전파손실 L_p [dB]는 다음과 같은 방정식으로부터 얻게 된다.

$$L_p [dB] = 178 - E [dB\mu V/m] - 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - G_t - G_r \quad (8)$$

비교적 평탄한 지형에서의 전파손실은 전계강도 예측 곡선을 이용하여 얻을 수 있다.(Okumura, 1968) 이들 곡선으로부터 전계강도 E [dB μ V/m]는 거리 R [Km]의 대수함수로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E [dB\mu V/m] = \gamma + \beta \log_{10} R \quad (9)$$

여기서 γ 와 β 는 기지국 안테나 실효고와 주파수에 의해 결정되는 상수이다. 그러므로 전파손실의 표준 방정식은 식 (9)에 식 (8)을 대입하여 다음과 같은 식을 얻는다.

$$L_p [dB] = A + B \log_{10} R - G_t - G_r \quad (10)$$

$$A = 178 - 10 \log_{10} \left(\frac{\lambda^2}{4\pi} \right) - \gamma - a(h_m) \quad (11)$$

$$B = -\beta \quad (12)$$

여기서 $a(h_m)$ 은 이동국 안테나 높이 h_m [m]에 대한 보정 요소이다. 기본곡선

의 h_m 은 1.5m이며 그 외에는 보정곡선이 사용된다.(Okumura, 1968) 그러므로 $h_m = 1.5m$ 일때를 기준으로 하여 $a(h_m) = 0$ [dB]로 취하여 계산하면 편리하다. 식 (9), (10)에서 A는 $R = 1$ [Km] 일때 전계강도 E [dB μ V/m]의 값에 의해 주어지며 B는 전계강도 곡선의 기울기로 결정되는 값이다.

Okumura(1968)가 제시한 전계강도 곡선에서 얻어낸 A와 B의 값들을 Table 1에 나타내었다.

Table 1. Values of the parameter A and B

f_c h_{te} [m]	A		B	
	800MHz	900MHz	800MHz	900MHz
30	124.1	124.5	35.0	35.7
50	121.0	122.5	34.1	33.8
70	119.0	120.5	32.5	32.2
100	116.7	118.0	31.3	32.5
200	112.7	114.5	29.4	29.9
300	110.3	110.5	28.7	29.0
600	106.1	106.5	26.7	27.5
1000	103.0	104.1	25.3	25.2

Table 1에서 A의 값은 다음과 같은 2가지 규칙을 가지고 있음을 알 수 있다. 먼저 각각의 주파수에서 h_{te} [m]가 2배로 증가함에 따라 A는 4 정도씩 감소하며, 또한 주파수가 일정할 때는 h_{te} 가 n배 만큼 높아지면 A는 $\log n$ 에 비례하여 증가한다. 이런 관계를 고려하면 A는 다음과 같은 식으로 표현할 수 있다.

$$A = a - 13.82 \log_{10} h_{te} - a(h_m)$$

$$a = 69.55 + 25.82 \log_{10} f_c \quad (13)$$

여기서 h_{te} [m]는 기지국 안테나 실효고를 나타내고, f_c [MHz]는 기지국 송신 주파수를 나타낸다. 한편 B의 값은 주파수에 독립적이며, h_{te} 가 대수적으로 증가함에 따라 일정하게 감소하고 있다. 이런 관계에서 B의 값은 다음과 같은 근사 방정식으로 표현할 수 있다.

$$B = 44.9 - 6.55 \log_{10} h_{te} \quad (14)$$

B의 최대 변동폭은 ± 0.5 정도이고 이 값은 B에 대한 근사값 오차가 된다. 식 (13)과 (14)를 식 (10)에 대입하면 전파손실에 대한 표준공식을 다음과 같이 얻게된다

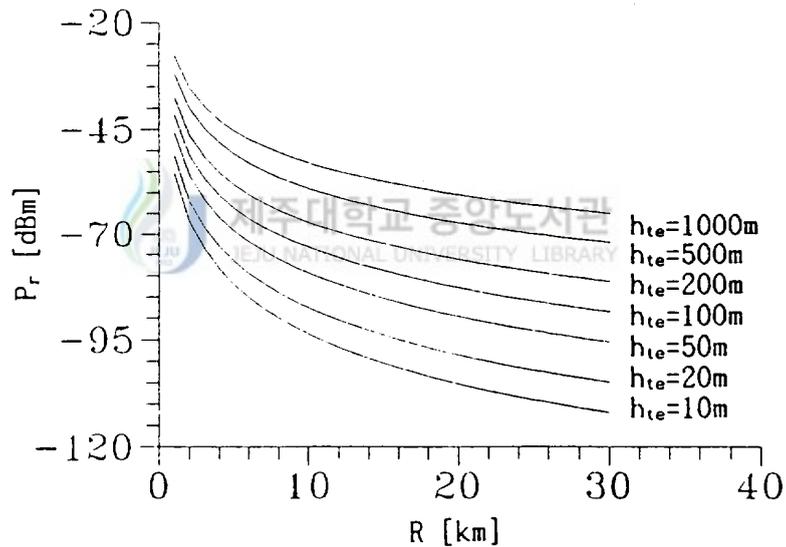


Fig. 2 Prediction curves of received power for effective antenna height and distance

$$L_p [dB] = 69.55 + 25.82 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{te} - a(h_m)$$

$$+ (44.9 - 6.55 \log_{10} h_{te}) \log_{10} R - G_t - G_r \quad (15)$$

여기서 $a(h_m)$ 은 이동국 안테나 높이(h_m)에 대한 보정값이며 $h_m = 1.5$ [m] 일때 $a = 0$ [dB]가 된다.

Fig. 2는 식 (15)를 이용하여 세오름 기지국에서 송신되는 이동전화 Setup 신호에 대해서 기지국 안테나 실효고와 거리를 변화시키면서 예측한 수신전력의 크기를 나타낸 것이다. 그림에서도 알 수 있듯이 수신전력의 크기는 기지국 안테나 실효고가 높을 수록 증가하고 거리의 대수에는 반비례함을 알 수 있다.



III . 제주지형의 특성과 보정값

지표면에는 다양한 형태의 지형 모양들이 존재한다. 특히 제주 지역은 한라산을 중심으로 해안까지 완만한 경사를 이루는 지형이며, 중산간 지역에 많은 오름들이 산재하여 지형적인 특성이 다른 지역과는 다르다. 따라서 전파 손실은 지형 특성에 맞는 보정요소를 고려하여야 한다. 본 연구에서는 세오름 기지국을 중심으로 제주 서부 지역에 대하여 전파 경로에 대한 지형 특성을 고려하였다.

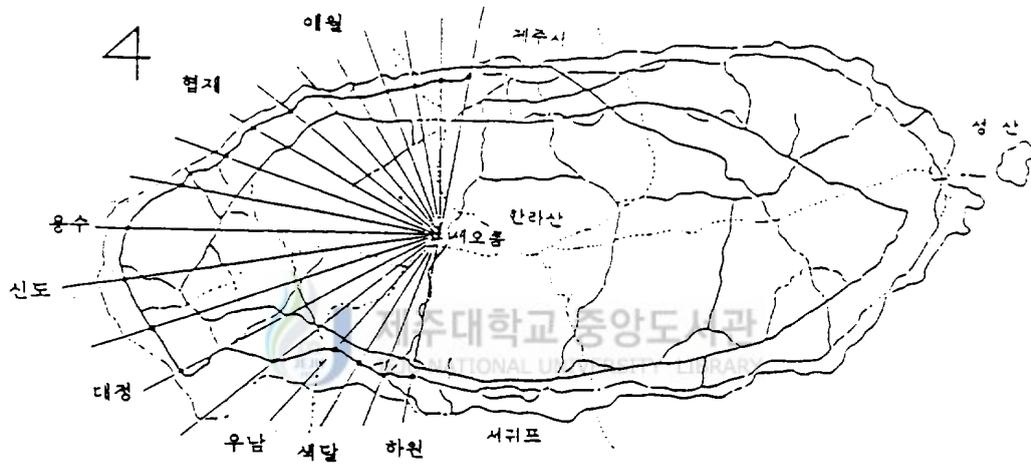


Fig. 3 Configuration of cell coverage and Cheju area

Fig. 3은 한라산 중턱에 위치한 해발 1170 [m]의 세오름 기지국 위치와 서비스 지역을 나타내었다. 세오름 기지국은 동쪽으로는 한라산으로 가로 막혀 있어서 전파 경로가 차단되어 주로 서부 지역을 서비스하고 있다.

Fig. 4는 1/78,500의 제주 축적 지도를 이용하여 도두와 하귀 지역의 지형을 단

면도로 나타낸 것이다. 그림에서 알 수 있듯이 기지국을 중심으로 이동국까지 전체적으로는 완만한 경사를 가진 지형을 나타내지만 중간에 많은 오름들이 산재해 있어서 부분적으로는 굴곡 변화가 심한 지형적인 특성을 가지고 있다.

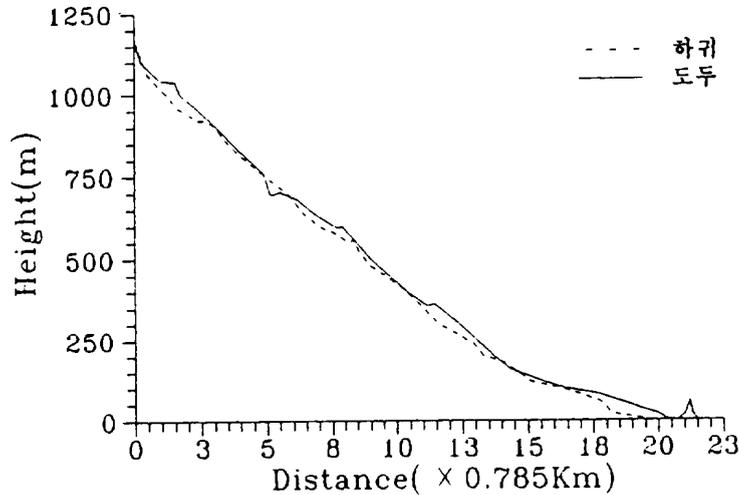


Fig. 4 Profiles of the Dodu and Hagwi

1. 기지국 안테나 실효고



임의의 지역에서 정확한 전계강도를 계산하기 위하여는 기지국 안테나의 실효 높이를 정의하여야 한다. Fig. 5의 지형 단면도에서 보는 바와 같이 기지국 안테나에서 3 ~ 15 [Km] 이내의 거리에서 평균 지표면 높이를 h_{ga} [m]라 하고 해발에 의한 기지국 높이를 h_{ts} [m]라 하면 송신 안테나의 실효 높이 h_{te} [m]는 다음과 같이 정의한다.

$$h_{te} = h_{ts} - h_{ga} \quad [m] \quad (16)$$

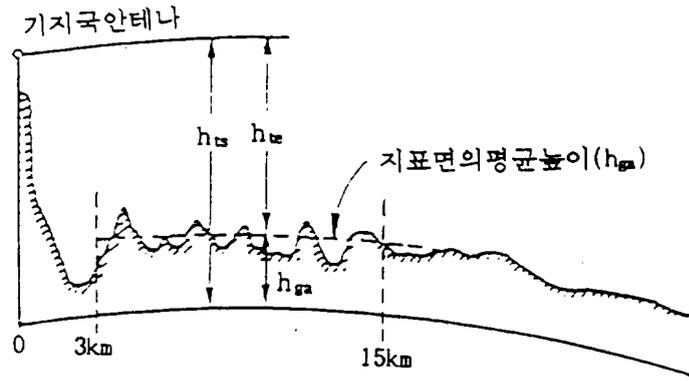


Fig. 5 Definition of the site antenna effective height (h_{e})

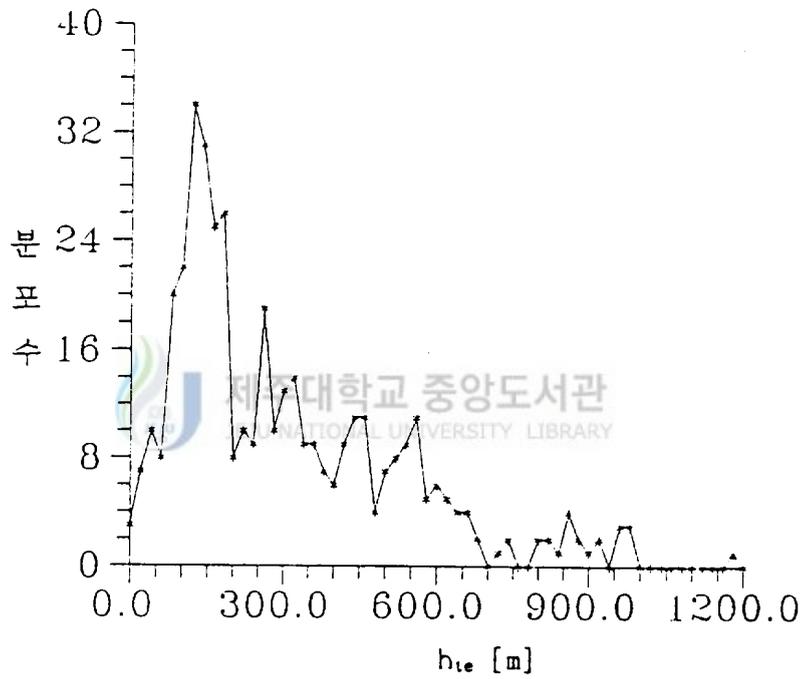


Fig. 6 Distribution of the effective antenna height in Cheju

세오름 기지국이 서비스하는 제주 서부 지역은 한라산을 중심으로 하여 해안까지 완만한 경사를 이루고 있으므로 기지국 안테나의 실효 높이는 실제 세오

를 기지국 안테나의 해발고 1170 [m] 보다 낮게 나타나며 안테나의 평균 실효 높이는 305.8 [m]로 나타났다. Fig. 6은 제주 서부 지역에서의 실효고 분포도를 나타낸 것이다. 실효고의 분포를 보면 0 ~ 1200 [m]까지의 다양한 분포를 보이고 있지만, 200 [m] 근처에 많이 분포되어 있음을 알 수 있고, 실효고가 음수값이 되는 경우도 나타나는데 이것은 오름 뒤편의 급경사 부분에서 생기는 현상으로 실제의 전계강도도 미약하거나 불통지역으로 나타나기 때문에 예측에는 고려하지 않았다. Fig. 7은 기지국 안테나의 실효고에 따른 거리별 수신전력의 변화에 대한 예측치를 나타내었다.

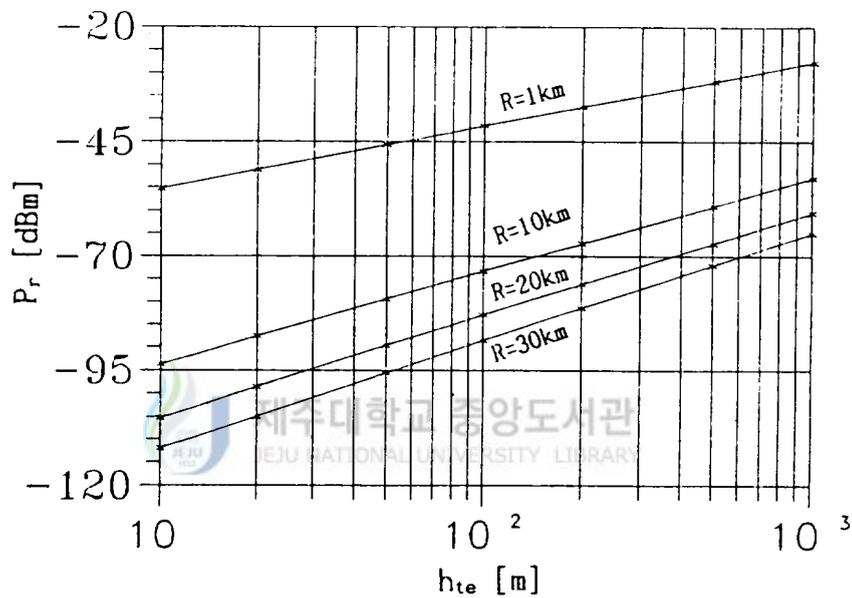


Fig. 7 Relation of base station effective antenna height and received power

2. 지형 굴곡변화율

일반적으로 전파 경로들은 불규칙한 굴곡을 갖는 지형들로 이루어져 있다.

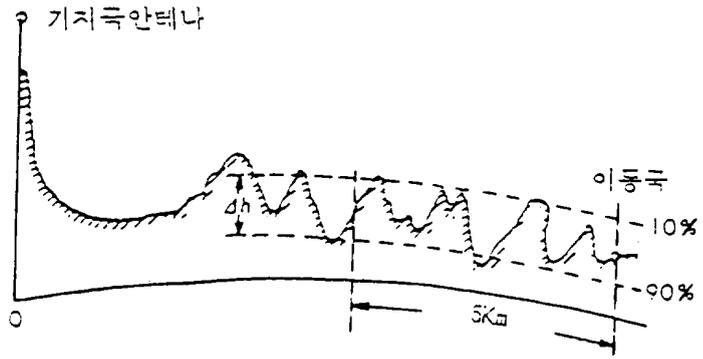


Fig. 8 Definition of the terrain undulation height Δh

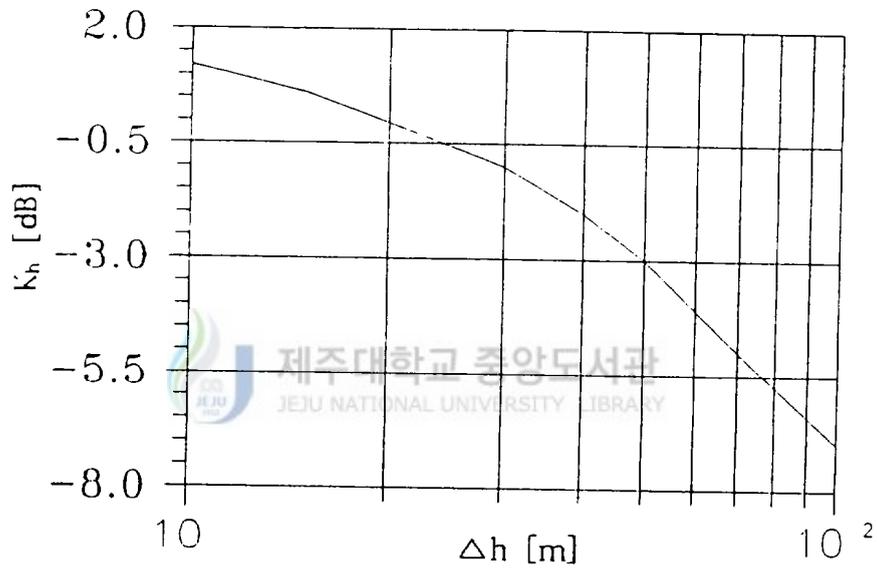


Fig. 9 Correction values for Δh

Fig. 8은 굴곡이 심한 언덕지형에서 불규칙성 정도를 표현하는 지형 굴곡 변화높이 Δh [m]를 나타낸 것이다. 지형 굴곡 변화높이 Δh 는 이동국이 위치한 수신점에서 기지국 송신점으로 5 [Km] 이내에서 10 ~ 90 [%] 사이의 굴곡 변

화값으로 나타낸다. 이러한 지형 굴곡 변화높이는 다수의 회절에 의해 수신점에 영향을 주는 산악 지역에 적용되며 주파수에 따라 비슷한 특성을 가지고 있다.

기복진 언덕 지역에서 전계강도에 대한 보정요소(K_h)는 Δh 의 크기에 따라 달라진다. Fig. 9는 Δh 의 변화에 따른 보정값을 나타냈으며, 굴곡 변화높이가 클수록 전파손실은 증가함을 알 수 있다.

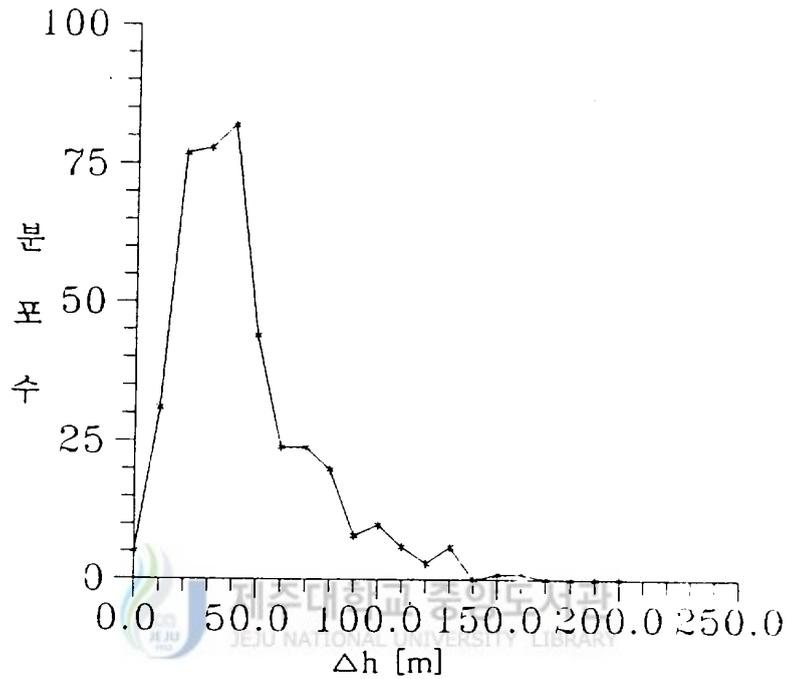


Fig. 10 Distribution of the Δh in Cheju

Fig. 10은 세오름 기지국을 중심으로한 제주 서부 지역의 굴곡 변화높이 Δh 의 분포도를 나타냈다. 이 그래프에 나타난 것과 같이 제주 서부 지역은 낮은 오름들이 곳곳에 산재해 있으나 전체적으로 완만한 경사를 이루고 있으며, 150 [m]까지의 굴곡 변화가 있는 곳도 나타난다. 수신점에서 본 굴곡 변화높이의 평균은 44.2 [m] 정도로 나타났다. 따라서 지형 굴곡 변화에 대한 보정요소(K_h)값은 -3.5 [dB] 정도가 되었다.

3. 수신점의 평균 기울기 각

일반적으로 지역이 평탄하거나 굴곡이 있는 지형이라도 최소한 5 ~ 10 [Km] 정도의 거리에서는 전체적인 경사가 생기게 된다.

Fig. 11은 일반적인 경사에 대해서 평균각을 나타내었다. 평균 기울기각 θ_m 은 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_m = \tan^{-1} \frac{h_{ms} - h_{ls}}{R} \quad (17)$$

여기서 $h_{ms} > h_{ls}$ 인 오르막 언덕일 때의 기울기는 양수값을 가지며, $h_{ms} < h_{ls}$ 인 내리막 언덕일 때의 기울기 값은 음수값을 갖는다.

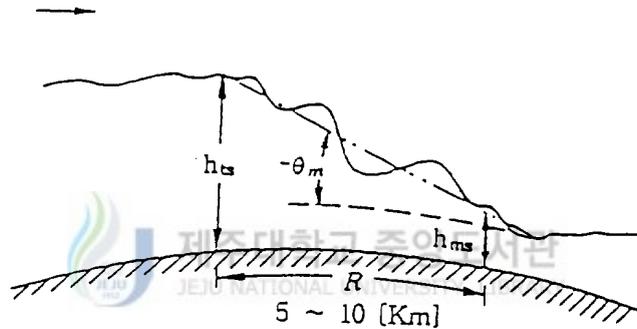


Fig. 11 Definition of average angle of general terrain slope

Fig. 12는 경사각에 대한 지역 보정요소 값(k_{sp})을 나타낸 것이며, Fig. 13은 제주 서부 지역에서의 경사각 분포를 나타낸 것인데, 세오름 기지국을 중심으로 해안 일주 도로까지 완만한 내리막 경사를 이루고 있으며 경사각은 음수값으로 $0^\circ \sim -7^\circ$ 사이의 분포를 보였다. 경사각이 -6.2° 이하가 되면 기지국 안테나 실효고가 음의 값을 갖게 되고 이것은 오름 뒤의 급경사 부분으로 고려 대상에

서 제외하였다. 제주 서부 지역에서의 경사각 분포의 평균은 -3.8° 정도가 되었다.

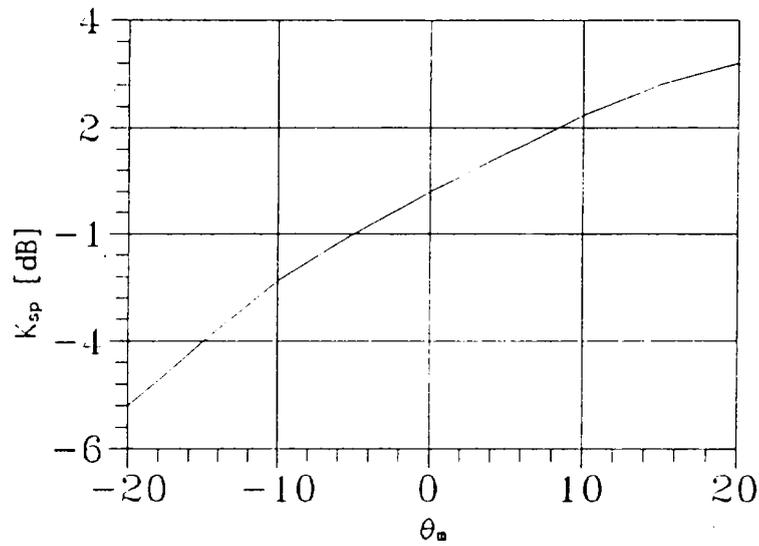


Fig. 12 Correction values for θ_m

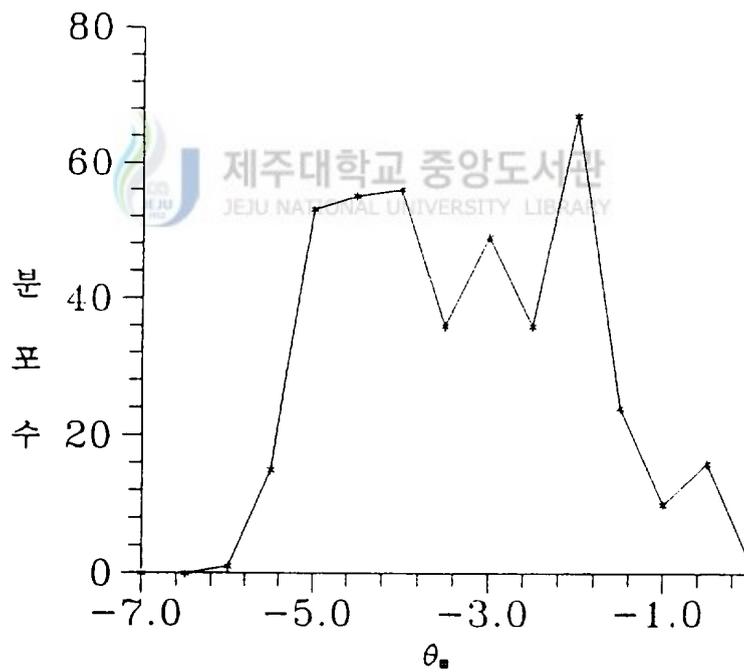


Fig. 13 Distribution of slope angle in the Western area of Cheju

4. 장애물에 의한 회절손실

세오름 기지국에서 일주 도로상을 움직이는 이동국간에는 많은 오름들과 언덕등의 전자파 전파 방해물체들이 산재해 있다. 이런 전파 장애물들에 의해 이동국에 수신되는 신호는 진폭이나 위상 변화, 전파 지연등의 신호 왜곡현상이 발생하게 되는데 이와 같이 장애물들로 인한 신호의 감쇠를 회절손실이라고 하며, 전계강도 예측을 위해서는 장애물에 의한 회절손실도 고려해야 한다. 회절현상에 대하여 Huygens는 첨두파(wave front)의 각 점들을 구면파를 형성하는 이차 전원(secondary source)으로 생각하였으며, Fresnel 은 이 전원들이 서로 간섭한다는 가정을 보충하여 회절현상을 해석하였고, Kirchhoff는 이 원리를 수학적으로 입증하였다. 광학에서 회절에 대한 Fresnel-kirchoff 이론을 산악지형에 의하여 음영 지역이 발생하는 경우에 장애물을 날카로운 모서리로 가정하면 신호의 회절손실을 예측하는데 적합하다.(Born 등 1980)

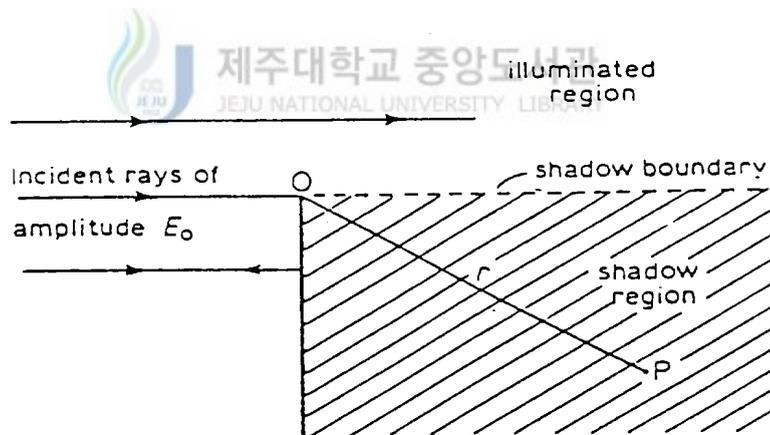


Fig. 14 A ray diffracted into the shadow region

Fig. 14는 기하학적 회절이론을 설명하기 위한 것으로 반평면 도체에서 입사파의 회절로 인해 음영 지역에서도 전계가 존재함을 나타낸 것이다. 이러한 회절이론에 의해서 P점에서의 전계는 식 (18)에 의해 구할 수 있다.

$$E_p = DE_0 \exp(j\Delta\phi) \quad (18)$$

여기서 E_0 는 입사 전계강도, D 는 회절 계수이고 $\Delta\phi$ 는 위상차를 나타낸다. 따라서 회절손실 L_d [dB]는 식 (19)와 같다.

$$L_d = 20 \log D \quad (19)$$

여기서 D 는 식 (20)과 같으며

$$D = \frac{S + 0.5}{\sqrt{2} \sin(\Delta\phi + \frac{\pi}{4})} \quad (20)$$

위상차 $\Delta\phi$ 는 식 (21)과 같다.

$$\Delta\phi = \tan^{-1}\left(\frac{S+0.5}{C+0.5}\right) - \frac{\pi}{4} \quad (21)$$

또한 C 와 S 는 Fresnel 적분식으로 부터 다음과 같이 나타낸다.

$$C = \int_0^\nu \cos\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) dx \quad (22)$$

$$S = \int_0^\nu \sin\left(\frac{\pi}{2} x^2\right) dx \quad (23)$$

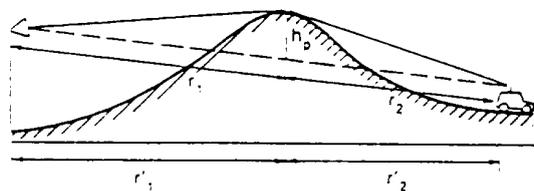
여기서 ν 는 Fig. 15(a)에서 보는 바와 같이 날카로운 모서리를 지나 수신점에

도달하는 신호의 회절손실을 구하기 위한 계수로써 식 (24)와 같이 표현된다.

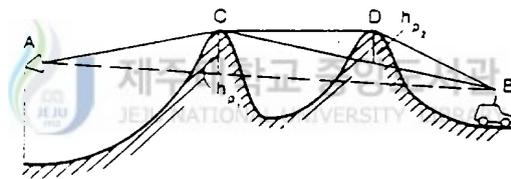
$$\nu = -h_p \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad (24)$$

여기서 r_1 은 날카로운 모서리와 기지국간 거리, r_2 는 날카로운 모서리와 이동국간 거리, h_p 는 날카로운 모서리의 고도이며 λ 는 반송 주파수의 파장 이다.

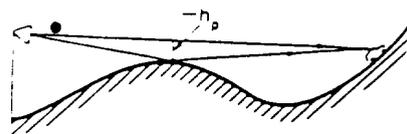
Fig. 15와 같이 여러가지 형태에 따라 결정되어지는 ν 를 구하면 회절손실 L_d 를 알 수 있다.



(a)



(b)



(c)

Fig. 15 Diffraction loss due to obstructive contions
(a) single knife edge (b) double knife edge (c) nonclear path

Fig. 16은 ν 의 변동에 따른 회절전계의 크기를 그래프로 나타내면 것이다. 여기서 $\sqrt{\lambda Z}$ 는 Fresnel 계수로서 $\nu = \sqrt{\lambda Z}$ 일때 수신 전계의 크기가 최대로 된다. 이 그래프의 곡선으로 부터 회절손실 L_d 를 유도하면 Table. 2와 같은 근사식으로 정리할 수 있다.

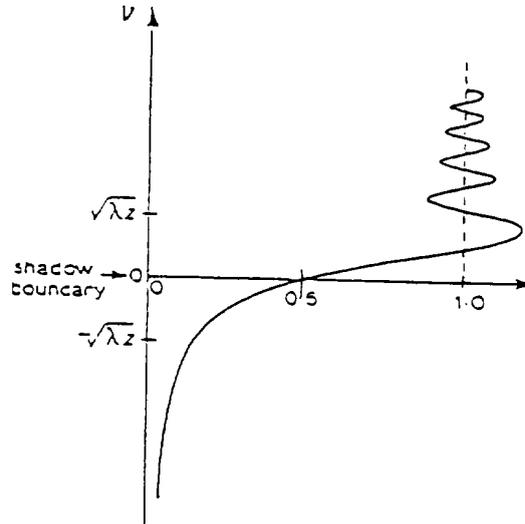


Fig. 16 Graph of the magnitude of the diffracted field

Table. 2 Parameter ν & diffraction loss L_d

ν	L_d [dB]
$1 \leq \nu$	0
$0 \leq \nu < 1$	$20 \log (0.5 + 6.2\nu)$
$-1 \leq \nu < 0$	$20 \log (0.5e^{0.95\nu})$
$-2.4 \leq \nu < -1$	$20 \log (0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1\nu + 0.38)^2})$
$\nu < -2.4$	$20 \log \left(-\frac{0.225}{\nu} \right)$

Fig. 16의 곡선에서 음영 경계 지역에서의 회절 전계는 입사 전계의 1/2 값을 갖게 됨을 알 수 있는데, 이러한 관계는 식 (24)를 이용하여 $h_p = 0$ 일때의 ν 를 구하고 Table. 2에 적용하여 회절 손실을 구하면 -6 [dB]가 됨이 증명된다.

음영 경계 지역 이상인 가시거리에서는 직접파와 회절파의 간섭으로 입사파의 크기 E_0 를 중심으로 오르내리다가 $\nu \geq 1$ 이 되면 일정값 E_0 로 되는데 이때 가시거리보다 높은 위치에서의 진동 영역을 Fresnel zone 이라 한다. 날카로운 모서리가 두개 이상일 때는 Fig. 15(b) 와 같이 두 부분으로 나누어 각각에 대한 ν 를 구한후 회절손실 L_{d1} 과 L_{d2} 를 구하여 합하면 총 회절손실이 된다.

IV. 전계강도의 예측과 측정

1. 전계강도 예측

제주 서부 지역과 같은 개활지(open area)에서는 전파손실식에 대한 표준공식 L_p [dB]에 보정 요소 Q_r [dB]을 더해 주어야 하며, 이때 보정요소 Q_r [dB]은 다음 식으로 주어진다.

$$Q_r [dB] = 4.78(\log_{10} f_c)^2 - 18.33 \log_{10} f_c + 40.94 \quad (25)$$

따라서 개활지에서의 전파손실 L_{po} [dB]는 다음과 같이 계산될 것이다.

$$L_{po} [dB] = L_p - Q_r \quad (26)$$

개활지에서의 전파손실식인 식 (26)을 이용하여 제주 지역 특성에 맞는 보정 방정식을 만들기 위해 지도상에서 지역 특성을 파악하여 기지국 송신 안테나의 실효 높이 h_{te} 를 계산하고, 지형 굴곡 변화높이 Δh 의 변화에 따른 보정요소 K_h 와 지역의 평균 기울기각 θ_m 의 변화에 따른 보정요소 K_{sp} 를 보정하고, 장애물에 의한 회절손실 L_d 를 합하면 다음과 같은 식으로 전파손실을 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} L_{po} [dB] = & 69.55 + 25.82 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_{te} - a(h_m) \\ & + (44.99 - 6.55 \log_{10} h_{te}) \log_{10} R - 4.78 (\log_{10} f_c)^2 \\ & + 18.33 \log_{10} f_c - 40.94 - G_t - G_r - K_h - K_{sp} + L_d \end{aligned} \quad (27)$$

식 (27)에 의해서 전파손실에 의한 전계강도를 Fig. 3과 같이 세오름 기지국

이 서비스하고 있는 제주 서부 지역에 대하여 계산하였다. 예측 지역은 서비스 지역내에 도두에서 부터 10° 씩 분할한 임의의 19개 방향으로 일주 도로 근처의 지역으로 정하였다. 예측 및 측정에 이용된 전파원의 특성은 Table. 3과 같다.

Table. 3 Parameters utilized in the measurments

구 분	제 원
기지국송신주파수(f_c)	879.540[MHz]
기지국 안테나 해발고(h_{ts})	1,170[m]
기지국 장비 출력	14.5[W]
7/8"급전선(65m) 손실	4.25[dB]
기지국 안테나 이득(G_t)	9[dBi]
이동국 안테나 이득(G_r)	3[dBi]
이동국 안테나 높이(h_m)	1.5[m]



임의의 지역에 대한 전계강도를 예측하기 위해서는 전파손실식 (27)에서 기지국에서 송신되는 반송 주파수 f_c [MHz], 이동국 안테나 높이 h_m [m]에 대한 보정값 $a(h_m)$, 기지국 안테나 이득 G_t 와 이동국 안테나 이득 G_r 의 값들은 일정값이므로 지역 변수들인 기지국과 이동국간 거리 R [Km], 기지국 안테나 실효 높이 h_{te} [m], 지형 굴곡 변화높이에 따른 보정요소 k_h [dB]와 지역의 평균 기울기 각 변화에 따른 보정요소 k_{sp} [dB] 및 장애물에 의한 회절손실 L_d [dB]를 계산하면 전체의 전파손실 L_{po} 를 구할 수 있다.

하귀 지역에서의 전계강도를 예측하기 위하여 세오름 기지국과 하귀 지역에

위치한 이동국간의 거리 R [Km]을 지도상에서 얻고, 기지국과 이동국까지의 송수신점간 지형 단면도를 이용하여 기지국 안테나의 실효 높이 h_{e} [m]를 계산한다. Fig. 17은 세오름 기지국과 하귀 지역간의 지형 단면도를 나타낸 것이다. 이

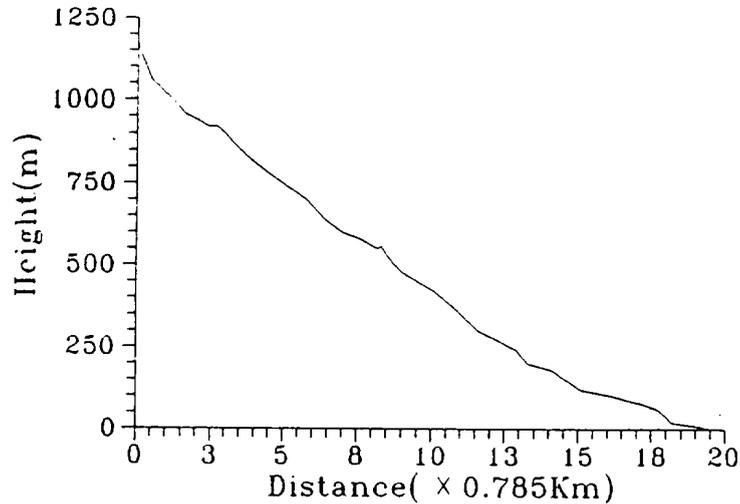


Fig. 17 Profile of the Hagwi direction

그래프에서 보는 바와 같이 기지국에서 이동국간 이르는 지형은 전체적으로는 완만한 경사를 가진 모형을 나타내고 있지만 실제로는 중산간 지역 등지에 많은 오름들이 산재해 있어서 부분적으로는 굴곡 변화가 심한 지형이다. 이 지역에서의 기지국 안테나의 평균 실효 높이(h_{e})는 해발고(1170m) 보다 훨씬 낮은 302.3 [m] 정도로 나타났으며, 지형의 굴곡 변화높이 Δh 는 최고 150 [m]의 굴곡을 보이는 곳도 있지만 굴곡 변화높이의 평균은 43.3 [m] 정도로 나타났고 이때의 보정요소 K_h 값은 -3.5 [dB] 정도이다. 하귀 지역에서의 경사에 대한 평균 기울기각 θ_m 은 -3.4° 정도가 되었다. 이러한 지역 특성에 따른 보정요소를 고려하여 식 (27)에 의해 예측한 전계강도는 -98.2 [dBm] 이었으며, Table. 4는 서

비스 지역내의 19개 지역에 대한 각각의 예측 전계강도 값들을 나타낸 것이다.

Table. 4 Prediction values of the field strength

지역명	기지국과 이동국간의 거리 R [Km]	측정지역의 해발고[m]	수신전력 예측치 [-dBm]
도두	15.94	5	92.0
내도	15.31	3	89.2
하귀	14.99	10	98.2
구엄	14.99	18	84.5
신엄	15.54	44	83.7
애월	17.74	4	103.1
귀덕	14.99	10	85.4
수원	18.46	7	90.2
협계	20.57	3	106.7
판포	24.26	5	103.2
용수	26.45	15	95.0
신도	26.85	25	100.1
일과	25.75	21	93.2
대정	24.10	18	84.6
안덕	15.10	120	85.4
우남	12.40	170	83.5
색달	12.32	117	80.8
중문	12.25	92	82.4
하원	11.69	103	111.3

2. 전계강도 측정

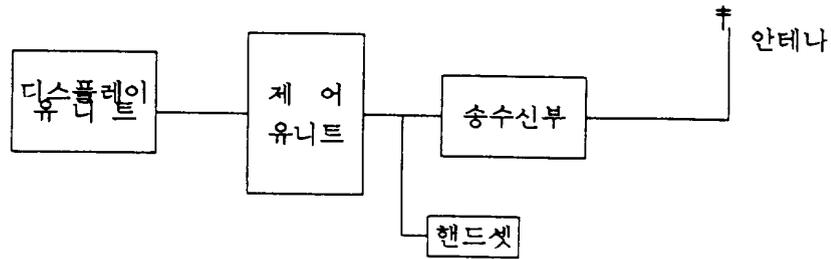
세오름 기지국이 서비스하고 있는 제주 서부 지역을 10°씩 19개의 지역으로 Fig. 3과 같이 구분하여 지역별로 전계강도를 측정했다. Table. 5는 측정에 사용된 기기의 제원을 나타낸 것이다. 이 기기는 셀룰라 이동통신 통화품질 측정 전용으로 제작된 장비이다.

Table. 5 Specifications of the SAM(System Access Monitor)

품 명	모 델	동작주파수범위 [MHz]	수신범위 [-dBm]	제조회사
전계강도측정기 (SAM)	SMRT-SAM	869.04~895.98 이동전화주파수대	50 ~ 117	SAFCO

이 측정 장비는 차량 탑재용으로 현재 한국이동통신에서 임의의 위치에서 전계 강도를 측정하여 셀룰라 이동전화 시스템 기지국의 서비스 영역 조사는 물론 인접 채널간 혼신여부 조사등 통화품질 모니터용으로 널리 사용되고 있다.

Fig. 18은 측정 장비의 연결 구성도를 나타낸 것이다. 그림에서 보는 바와 같이 이동국 안테나에서 기지국 신호를 수신한 데이터를 제어 유닛에서 분석하여 그 결과를 디스플레이 유닛으로 전송하여 주며, 디스플레이 유닛에는 특정한 채널을 선정하여 모니터할 수 있는 기능도 갖추고 있다. 또한 송수화기를 이용하여 통화할 수도 있으므로 통화중인 음성 채널의 통화품질 상태도 측정 할 수 있다. 이 측정 장비는 셀룰라 이동통신용 기본 주파수 A, B 밴드 (1 ~ 666) 는 물론 확장 주파수 A', B' 밴드 (991 ~ 1023)까지의 주파수 범위(869.040 ~ 895.980 MHz)를 측정 할 수 있다.



(a)

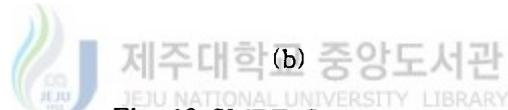
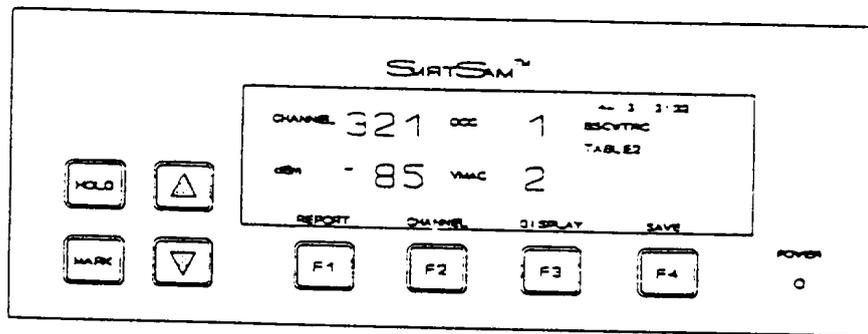
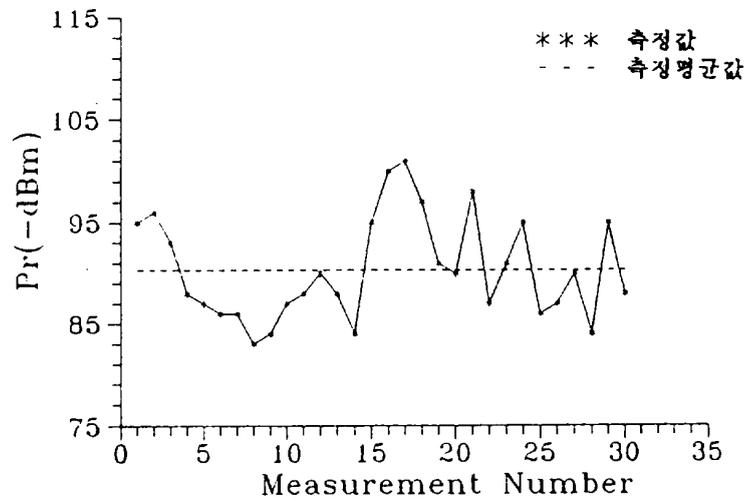


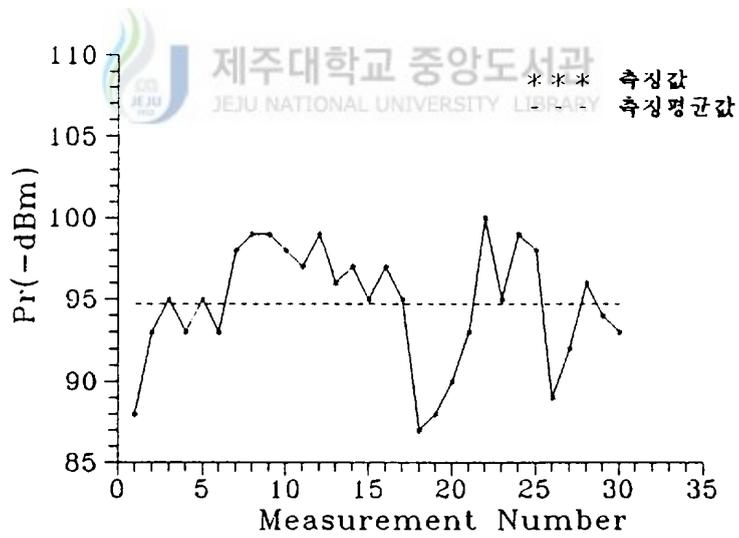
Fig. 18 SMRT-SAM system

(a) SMRT-SAM configuration (b) SMRT-SAM display unit

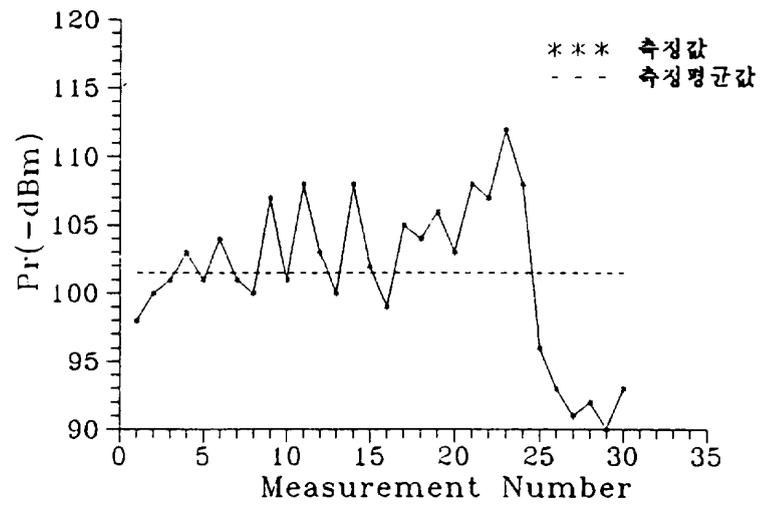
이러한 측정기가 장착된 차량을 이용하여 세오름 기지국의 송신 신호만 수신할 수 있도록 특정 주파수(879.540MHz)로 조정하여 19개의 지역에서 10 [Km/h] 정도의 속력으로 측정 지점의 도로에서 100m 정도를 천천히 이동하면서 측정한 수신전력 P_r [-dBm]의 값들을 평균하여 취한 값을 그 지역의 수신 전계강도로 정의하였다. Fig. 19 는 하귀, 도두, 용수, 하원 지역에 대한 전계강도 측정치 분포도와 평균값을 나타낸 것이다.



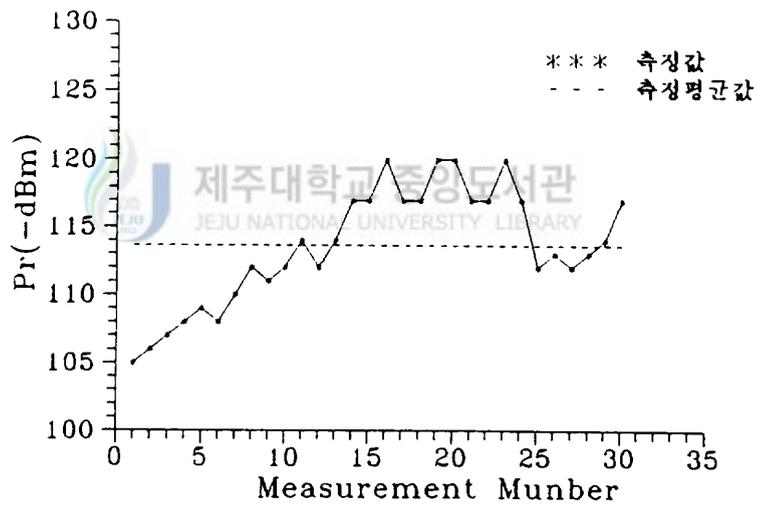
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 19 Measured values of the field strength
(a) hagwi (b) dodu (c) youngsu (d) hawon

이 그래프에서 보는 바와 같이 한 지점에서 10 [Km/h] 정도의 속력으로 천천히 움직이며 측정한 값들이 순간적인 페이딩의 영향으로 서로 많은 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. Table: 6은 세오름 기지국 서비스 영역내에 있는 19개의 지역들에 대해 전계강도를 측정 평균한 값들을 나타낸 것이다.

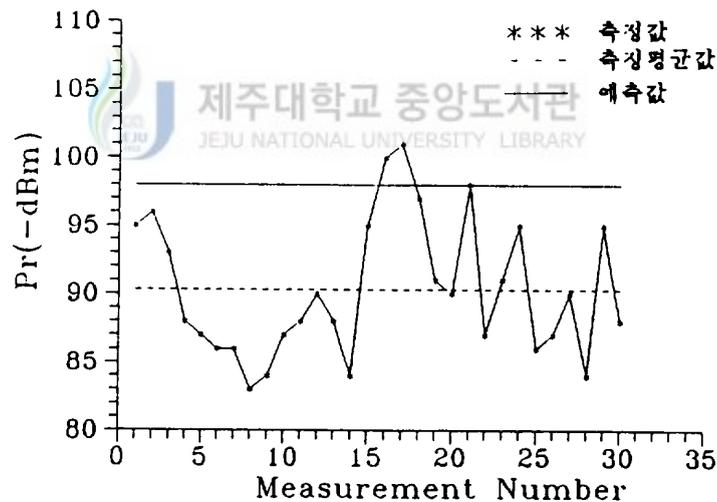
Table. 6 Measured values of the mean field strength

지역명	수신전력 측정치 [-dBm]	이동국 수신점의 주변환경
도두	94.7	10여 m 간격의 가로수(소나무) 및 왕복 1차선 도로
내도	90.0	"
하귀	90.1	"
구업	85.0	"
신업	86.3	있지않은 은행나무 및 단층건물
애월	105.1	구릉 및 건물 (2~3층)
귀덕	83.0	10여 m 간격의 가로수
수원	87.4	"
협제	105.2	소나무숲
판포	97.1	10여 m 간격의 가로수
용수	101.5	"
신도	101.0	"
일과	92.0	"
대정	85.2	"
안덕	87.4	방풍용 가로수 및 단층건물
우남	84.4	방풍용 가로수
색달	86.1	10여 m 간격의 가로수
중문	83.5	방풍용 가로수
하원	113.6	방풍용 가로수 숲

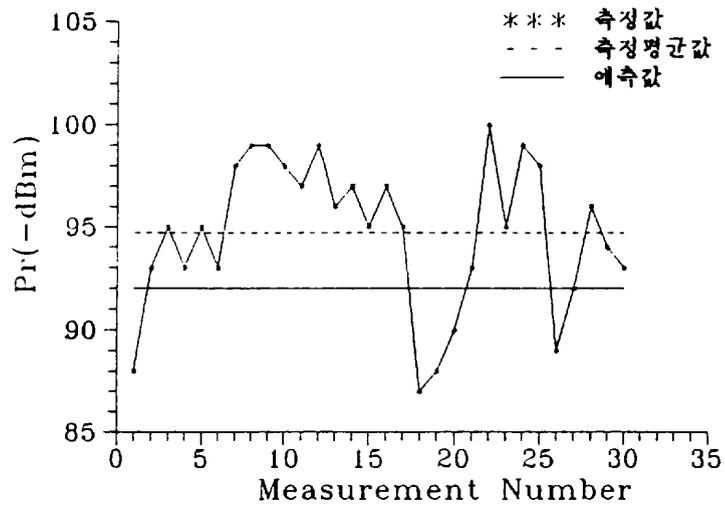
3 예측치와 측정치의 비교

전계강도 손실식을 이용하여 얻은 예측치와 전계강도 측정 장비를 이용하여 얻은 측정 평균치를 지역별로 비교 분석한다.

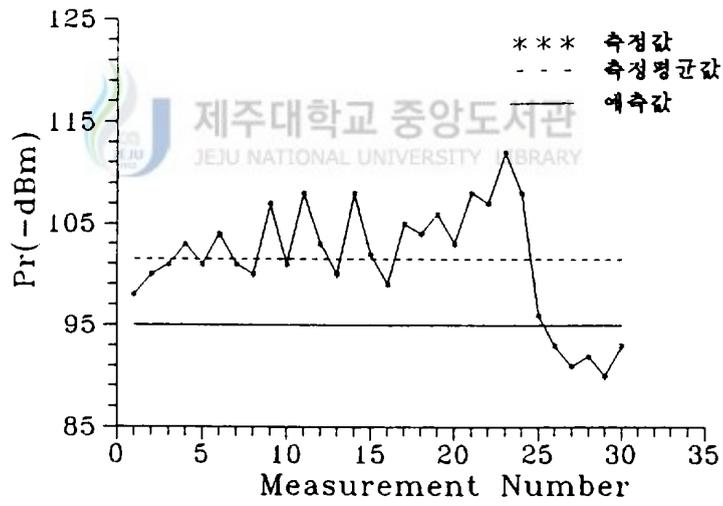
Fig. 20은 각 지역에서의 전계강도 측정치와 예측치를 그래프로 나타낸 것이다. 전체적으로 볼때는 가로수나 건물 등과 같은 전파 장애물들에 의한 순시 페이딩 발생으로 전계강도 측정치에는 많은 변화가 있음을 알 수 있다. 하원과 도두 지역에서의 전계강도는 측정 평균치와 예측치의 차이가 3 [dB] 정도로 거의 일치하고 있지만 하귀 지역에서의 측정 평균치는 -90.1 [dBm] 이고 예측치는 -98.2 [dBm] 으로 예측한 것보다 8.1 [dB] 정도 높은 값을 보이고 있다. 이러한 차이들은 전계강도 예측에서 도로변의 가로수에 의한 전파 감쇠, 건물에 의한 반사파 등을 세밀하게 고려해 주고, 지형 지물을 정확히 판독할 수 있는 세밀한 지도를 선택하여 예측하면 좀 더 정확한 값을 얻을 수 있을 것으로 기대된다.



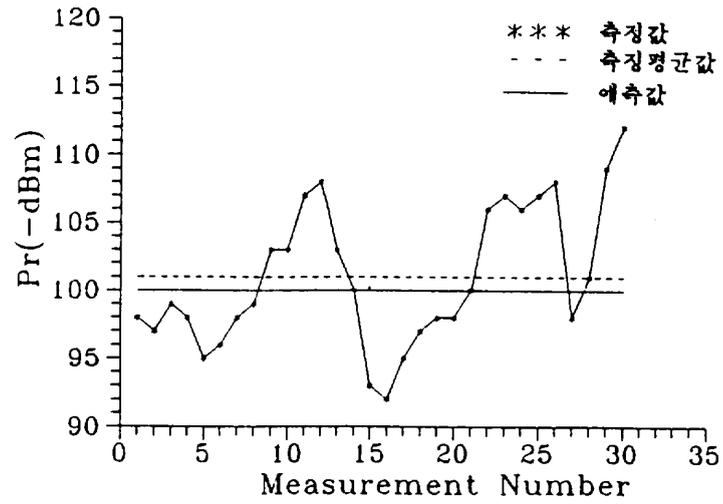
(a)



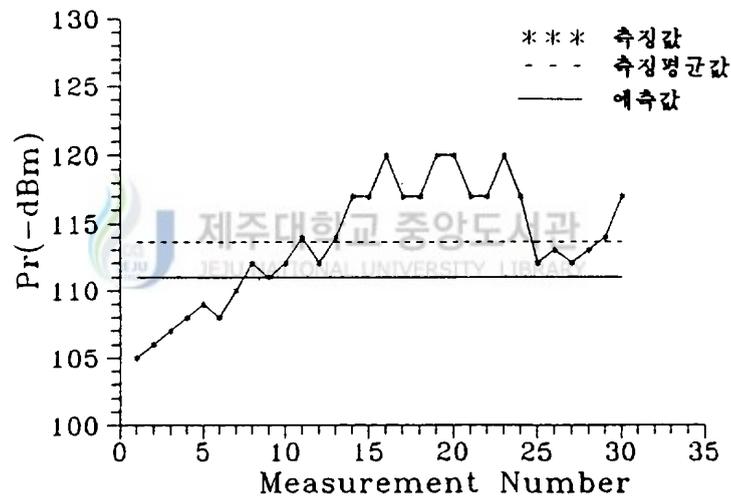
(b)



(c)



(d)



(e)

Fig. 20 Comparison of measured and predicted field strength
 (a) hagwi (b) dodu (c) youngsu (d) sindo (e) hawon

Table. 7 Comparison of measured and predicted field strength

지역명	예측치[-dBm]	측정평균치 [-dBm]	예측.측정치 차이 [dB]
도두	92.0	94.7	-2.7
내도	89.2	90.0	-0.8
하귀	98.2	90.1	8.1
구엄	84.5	85.0	-0.5
신엄	83.7	86.3	-2.6
애월	103.1	105.1	-2.0
귀덕	85.4	83.0	2.4
수원	90.2	87.4	2.8
협계	106.7	105.2	1.5
판포	103.2	97.1	6.1
용수	95.0	101.5	-6.5
신도	100.1	101.1	-1.0
일과	93.2	92.0	1.2
대정	84.6	85.2	-0.6
안덕	85.4	87.4	-2.0
우남	83.5	84.4	-0.9
색달	80.8	86.1	-5.3
증문	82.4	83.5	-1.1
하원	111.3	113.6	-2.3

※ 통화양호지역:-102이상, 불량지역:-102~-116, 불통지역:-116dBm이하

Table. 7 은 지역별 전계강도 예측치와 측정치를 도표로 나타내어 비교 하였다. 대부분 지역에서의 전계강도는 예측치와 측정치의 차이가 ± 3 [dB] 이하의 비슷한 결과를 보이고 있지만 하귀와 판포 지역에서는 예측치보다 측정치가 6 [dB] 이상 높게 측정되었고, 용수와 색달 지역에서는 예측치보다 5 [dB] 정도 낮게 측정되었다. 이러한 예측치들은 세밀한 지도의 선택과 수신점 주변의 반사 물체 등 환경적인 요소를 고려하면 좀더 정확한 예측이 기대된다.

V. 결론

이동통신 시스템을 설계하기 위한 단계로서 Okumura(1968)의 전파 예측 방법을 이용하여 전파손실식을 제시하였다. 본 연구에서는 한라산을 중심으로 많은 오름들이 산재해 있는 제주 지역 특성에 적합한 전파손실의 보정 방정식을 제시하였다. 특히 세오름 기지국을 기준으로 제주 서부 지역의 지형에 대한 굴곡 변화율과 평균 기울기각등 지역별 특성을 파악하여 전파손실에 관한 보정방정식을 제시하였다. 이 방정식의 타당성을 입증하기 위하여 세오름 기지국을 중심으로 도두에서 부터 10°씩 분할한 임의 19개의 제주 서부 지역에 대한 이론적 예측치를 실제 측정치와 비교하였다. 대부분 지역에서는 ± 3 [dB] 이내의 값으로 거의 일치함이 증명되었지만, 하귀 등 일부 지역에서는 예측치와 측정치가 $\pm 6 \sim 8$ [dB] 이상의 차이를 나타내는 경우도 나타 났는데 이러한 지역에 대해서는 정확한 지형 데이터와 주위 환경조건등을 고려하면 좀더 정확한 예측치를 얻을 수 있을 것으로 본다. 이러한 연구결과를 이용하여 복잡한 도심지에서의 전파환경을 분석하고 전계강도를 예측하면 기지국간 서비스 영역을 파악하는데 도움이 될 것이며, 기지국간 출력을 적절히 조정해 주므로써 효율적인 주파수 재사용과 간섭없는 통화 서비스를 제공하여 셀룰라 이동통신 전파 환경의 최적화에 기여할 것이다.

제주도 전역의 기지국을 대상으로 육상 이동통신의 전파환경을 연구하여 기지국 위치의 적정성을 파악하고 통화 불량 지역을 최소화하여 통화품질을 향상 시키고자 한다.

참 고 문 헌

- A. P. Barsis. 1971. Radio wave propagation over irregular terrain in the 76-9200 MHz frequency range, IEEE Trans. Veh.Technol., vol. VT-20.
- A. P. Barsis. 1973. Determination of service area for VHF/UHF land mobile and broadcast operations over irregular terrain, IEEE Trans. Veh. Technol. vol. VT-22.
- D. M. Black and D. O. Reudink. 1972. Some characteristics of radio Propagation at 800 MHz in the Philadelphia area, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-21.
- G. D. Ott. 1977. Vehicle location in cellular mobile radio system, IEEE Trans. Veh. Technol., vol. VT-26.
- J. Durkin. 1977. Computer prediction of service area for VHF and UHF land mobile radio services," IEEE Trans. Veh.Technol., vol. VT-26.
- K. Allsebrook and J. D. Parsons. 1977. Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF and UHF bands, IEEE Trans. Veh. Technol., vol.VT-26.
- M. Born and E. Wolf. 1980. Principles of optics 6th ed, Pergamon Press, Oxford, Chap VIII.
- N. Yoshikawa and T. Nomura. 1976. On the design of a small zone land mobile radio system in UHF band, IEEE Trans. Veh. Technol., VT-25.
- W. C. Y. Lee. 1989. Mobile cellular Telecommunications systems, New York, McGRAW Hill.
- Y. Okmura et al. 1968. Field strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service, Rev. Elec. Comm.Lab. vol. 16.

본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회 논문집

- 1) 홍문식, 이봉근, 김홍수, “세오름 기지국을 중심으로한 제주 서부지역의 전파 전파손실에 관한 연구” 한국통신학회 대한전자공학회 제주 지부 합동학술발표 논문집, pp. 18-22, 1993



感謝의 글

本 論文이 完成되기 까지 未洽한 저를 始終一貫 細心한 配漚와 精誠을 아끼지 않으신 金 興洙 指導教授님께 眞心으로 感謝드리며 論文의 내용을 더욱 忠實하게 해주신 李 鎔鶴 教授님, 張 宰成 教授님, 文 建 教授님, 林 載允 教授님께 깊은 感謝를 드리고 先輩로서 忠告와 보살핌으로 이끌어 주신 梁 斗榮 教授님, 康 鎭植 教授님께도 感謝를 드립니다.

研究室의 礎石으로 힘이되어 주신 金 漢哲 先輩님과 原稿整理등 많은 도움을 준 後輩 만중, 성욱, 휘성에게 고마운 마음을 전합니다. 그리고 學位 過程동안 많은 配漚를 해주신 會社 職員 여러분께 眞心으로 感謝를 드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 物心兩面으로 犧牲하시며 키워주신 父母님과 獨守空房하면서도 웃음으로 뒷바라지 해준 아내와 저희 兄弟들과 기쁨을 함께 하고 싶습니다.

