
碩士學位論文

可視距離 環境에서의 電波 傳播特性 分析

濟州大學校 大學院

通信工學科



1995年 12月

可視距離 環境에서의 電波 傳播特性 分析

指導教授 金 興 洙

洪 性 旭

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

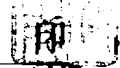
1995年 12月

洪 性 旭의 工學 碩士學位 論文을 認准함



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

審査委員長 張 宰 成



委員 梁 斗 榮



委員 金 興 洙



濟州大學校 大學院

1995年 12月

Analysis for The Radio Wave Propagation Characteristics for Line of Sight

Seong-wook Hong

(Supervised by. professor Heung-soo Kim)

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



DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1995. 12

목 차

Abstract	1
I. 서론	2
II. 전파 모델	5
1. 평면대지에서의 반사	5
1) 수평편파	6
2) 수직편파	8
2. Two-ray 모델	11
3. Fresnel zone	14
III. 측정시스템 및 분석	18
1. 측정시스템	18
2. 회귀분석 및 전환점	21
IV. 측정 결과 및 고찰	25
1. 도로폭에 의한 영향	25
2. 건물높이에 의한 영향	28
V. 결론	33
참고문헌	34

Abstract

In the mobile radio communication systems, we must study radio wave propagation characteristics for microcell and picocell environments because the conventional cellular environment is changing to microcell and picocell.

In this paper, sample areas are selected to study propagation in variety of environment including the width of road, the built-up density and the height of building at Cheju city area. Sample area is separated two zones by break point at which the slope of the signal strength is changed. The location of the break point is calculated on first Fresnel zone clearance for antenna height variation. The slope and the standard deviation of the signal strength are obtained by the regression analysis. The break point distance can be used to define the size of microcell and to design of microcellular system.

I. 서론

고도의 정보화사회로 사회구조가 변화함에 따라 통신의 수요가 급증하고 통신의 기능과 역할이 더욱 중요하게 부각되고 있다. 이러한 상황에서 이동통신 분야에 대한 가입자의 욕구를 충족시킬 수 있는 개인통신 서비스(personal communication services)는 통신 기술의 비약적인 발전과 통신의 고도화 시대를 도래시킬 것이다. 이러한 개인통신 서비스의 종류로는 900MHz대 주파수에서 호출기능 위주의 서비스 제공을 위한 협대역 개인통신 서비스와 1.8GHz~2.2GHz 주파수를 이용한 음성 위주의 서비스를 제공하는 광대역 개인통신 서비스가 있다.(장병수, 1994) 개인통신 서비스는 작은 규모의 가입자 단위로 더욱 좋은 통신 품질을 제공하고 주파수의 효율적인 사용을 위하여 마이크로셀 또는 피코셀 시스템으로 구성될 것이다. 그러나 마이크로셀 또는 피코셀 시스템 환경에서는 셀간의 신호 간섭 문제가 크게 발생한다. 이를 해결할 수 있는 셀의 크기를 결정하기 위해서는 마이크로셀 또는 피코셀 시스템 환경에서의 전파 특성에 관한 연구가 반드시 필요하다.

마이크로셀룰라 시스템에서는 전파 경로를 200m~1000m로서 비교적 짧은 거리로 선정하고, 기지국 안테나의 높이를 건물보다 낮은 가로등 높이 정도로 설치한다. 그리고 송신 전력은 10mW 정도로 비교적 저출력을 사용한다. 송·수신점 사이의 전파 경로가 짧기 때문에 가시거리(line-of-sight) 경로상에서 전파 링크 배열이 가능하며, 마이크로셀 환경에서의 다중경로로 인한 페이딩의 영향은 기존의 셀룰라 환경에서의 영향에 비해 매우 작다. 마이크로셀룰라 시스템은 기존의 셀룰라 시스템에 비해 여러 장점이 있다. 첫째는 대중 교통으로 인한 음영 폐

이딩(shadowed fading)을 제거할 수 있고, 둘째로 전파 신호가 한정되어 제한된 크기의 마이크로셀에 신호를 전송할 수 있어 상호 간섭을 줄일 수 있다. 또한 기지국 안테나의 높이가 낮기 때문에 다중경로 반사로 인한 페이딩을 줄일 수 있으며, 초과 신호 지연 확산을 제한한다.(Xia, 1993)

비가시거리 경로에서의 전파 전파 연구는 교외지역에 대해 직접파와 대지 반사파 및 장애물의 영향을 고려한 회절파 성분을 이용하였으며, 그 손실모델들은 여러나라에서 실험적으로 수집된 데이터의 통계적 해석으로부터 전계강도 예측곡선을 구하는 방법(CCIR, 1978)과 안테나 높이와 지표면의 상태 및 기후 등의 영향을 고려한 모델(Longley와 Rice, 1988) 등이 있다. 한편 도심지의 경우는 경로손실을 예측하는데 자연 및 인공 구조물의 영향을 고려하였다. Okumura 등(1968)은 일본의 동경지역을 대상으로 측정 데이터에 근거하여 거리와 주파수에 따른 보정인자와 지형 차이에 의한 보정인자 그리고 안테나 높이 변화에 따른 보정인자를 이용하여 경로손실식을 구하였으며, Hata(1980)는 Okumura 모델에 주어진 그래프의 정보를 설명하기 위해 실험적인 공식을 유도하였다. 그리고 건물의 점유면적에 따른 보정인자 등을 이용한 Ibrahim과 Parsons 모델(1983) 등이 있다. 그러나 이러한 경로손실 예측모델들은 적용된 환경과 유사한 지역에서는 적합하지만 일반적으로 적용 환경이 바뀔으로써 적합치 않아 특정 지형에 맞도록 손실항을 고려하는 예측모델들이 제시되고 있다. 한편 국내에서의 연구는 지형 특성을 고려한 경로손실 예측, 실내에서의 전파 특성, 터널내에서의 전파 특성(김경재 등, 1995), 페이딩 현상을 설명하기 위한 통계적 예측(송기홍 등, 1995), 다중경로 전파 특성 등에 대해 다양하고 광범위하게 진행되고 있으며 또한 전환점을 측정 파라미터로 사용하여 전파 특성을 분석하였다.

가시거리 경로에서의 전파 특성 연구는 도심지에서 주파수의 효율적인 사용과

작은 규모의 가입자 단위로 보다 많은 가입자 수용과 더욱 좋은 통신 품질을 제공하기 위하여 여러 환경에서의 마이크로셀 또는 피코셀에 대한 수신 전력 예측과 안테나 높이, 주파수 변화 등에 따른 전파 특성에 대해 이루어졌다.(Xia, 1993)

본 논문에서는 제주지역에 대한 마이크로셀 전파 환경에 Two-ray 모델을 적용하여 전파 특성을 분석한다. 도심지역에서 전파에 영향을 주는 환경적 요인은 도로폭과 건물 높이 그리고 건물 밀집도 등이다. 따라서 도로폭과 건물 높이가 상이한 3개의 표본환경과 도로폭은 일정하고 건물 높이가 다른 4개의 표본환경을 선정하여 표본환경에서의 이동거리에 따른 신호 세기의 변화를 분석한다. 측정 데이터는 회귀분석과 최소자승법으로 통계처리하며, 회귀분석을 통해 구한 전파 경로손실 크기와 신호 세기의 변화에 대한 표준편차를 Two-ray 모델로부터 얻은 이론치와 비교 분석한다. 주파수와 송·수신 안테나 높이를 이용하여 계산된 전환점 거리와 각 표본지역에 대한 데이터를 통계처리하여 구한 전환점 거리를 비교 분석한다. 본 논문은 I장에서 마이크로셀 환경에서의 전파 특성 연구의 필요성과 연구 방향을 제시하고, II장에서는 전파모델을 이론적으로 해석한다. III장에서는 개활지역과 도심지역에서의 측정 표본환경을 설정하고 개활지역에서의 측정 데이터 분석으로 전파모델의 적합성을 확인하며, IV장에서는 도심지역에서 전파 전파에 영향을 주는 환경적 인자에 따른 전파 특성을 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 전파 모델

전파는 직접파와 반사파, 그리고 회절파로 구분된다. 직접파는 자유공간 전송손실을 이용하여 구할 수 있고 반사파는 지표면을 평탄한 면, 구면, 파도와 같이 굴곡이 있는 구면 등의 형태로 구분하여 지표면의 반사계수, 발산인자를 이용하여 구할 수 있다. 회절파 성분은 장애물의 형태와 프레넬 반경 등에 의해 구분할 수 있으며 전계강도에 미치는 영향은 회절손실로 계산된다.(Shibuya, 1926)

1. 평면대지에서의 반사

굴곡이 없고 유한한 도전율을 갖는 대지에 대한 반사파의 크기와 위상은 이론적으로 해석할 수 있다. 지면이 고르지 못하면 반사파는 산란현상을 일으켜 굴곡이 없는 지면에 비하여 반사파의 세기가 크게 감소한다.

유전상수가 ϵ 이고, 도전율이 σ 인 매질에 대해 Maxwell 방정식은 다음과 같다.

$$\nabla \times H = \sigma E + \epsilon E' \quad (1)$$

$$E' = -\frac{\partial E}{\partial t} \quad (2)$$

정현파에 대하여 식 (2)는 다음과 같다.

$$E' = j\omega E_0 e^{j\omega t} = j\omega E \quad (3)$$

그러므로 식 (1)은 다음과 같다.

$$\begin{aligned}\nabla \times H &= \left(\epsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right) E' \\ &= \epsilon' E'\end{aligned}\quad (4)$$

일부 도전성을 갖는 유전체는 다음과 같이 복소 유전상수 ϵ' 을 갖는 유전체로 간주할 수 있다.

$$\epsilon' = \left(\epsilon + \frac{\sigma}{j\omega}\right) \quad (5)$$

1) 수평편파

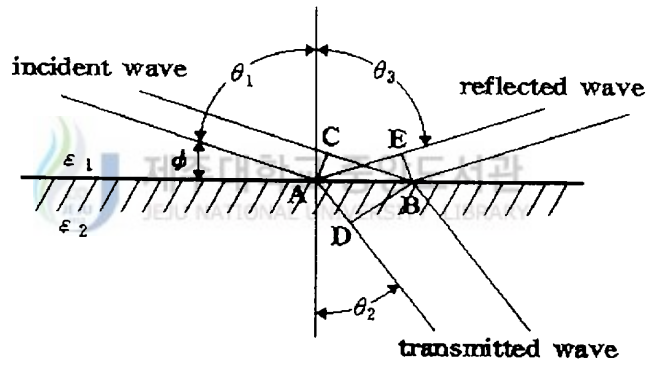


Fig. 1. Geometry in the plane of incidence

Fig. 1에서 전계 E 가 경계면에 평행한 경우일때 입사파를 E_i , 반사파를 E_r , 투과파를 E_t 라 하면 경계면에서 전계 E 의 접선 성분은 연속이므로 다음 식이 성립한다.

$$E_i + E_r = E_t \quad (6)$$

또한 스넬의 법칙(snell's law)에 의하면

$$\frac{\sin \theta_1}{\sin \theta_2} = \sqrt{\frac{\epsilon_2}{\epsilon_1}} \quad (7)$$

이고 $\theta_1 = \theta_3$ 이다.

Fig. 1에서 η_1, η_2 를 매질 1, 2의 파동 임피던스라 하면 \overline{AB} 부분에 입사되는 전력은 $(1/\eta_1)E_i^2 \cos \theta_1$ 에 비례하고 반사되는 전력은 $(1/\eta_1)E_r^2 \cos \theta_1$ 에 비례하며 투과되는 전력은 $(1/\eta_2)E_t^2 \cos \theta_2$ 에 비례한다. 에너지 보존 법칙에 의하여

$$\frac{1}{\eta_1} E_i^2 \cos \theta_1 = \frac{1}{\eta_1} E_r^2 \cos \theta_1 + \frac{1}{\eta_2} E_t^2 \cos \theta_2 \quad (8)$$

로 되며, 입사파와 반사파의 비로 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\frac{E_r^2}{E_i^2} = 1 - \frac{\sqrt{\epsilon_2} E_i^2 \cos \theta_2}{\sqrt{\epsilon_1} E_i^2 \cos \theta_1} \quad (9)$$

식(9)에 식(6)를 대입하여 정리하면

$$1 - \left(\frac{E_r}{E_i}\right)^2 = \frac{\sqrt{\epsilon_2}}{\sqrt{\epsilon_1}} \left(1 + \frac{E_r}{E_i}\right)^2 \frac{\cos \theta_2}{\cos \theta_1} \quad (10)$$

이 되므로 입사전계와 반사전계의 비는 다음과 같다.

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_1 - \sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_2}{\sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_1 + \sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_2} \quad (11)$$

식(11)를 식(7)의 스넬의 법칙을 적용하면

$$\frac{E_r}{E_i} = \frac{\cos \theta_1 - \sqrt{(\epsilon_2/\epsilon_1) - \sin^2 \theta_1}}{\cos \theta_1 + \sqrt{(\epsilon_2/\epsilon_1) - \sin^2 \theta_1}} \quad (12)$$

이 된다. 전자파가 공간에서 지면에 입사되는 경우 매질 1의 유전상수 ϵ_1 는 대기 유전상수 ϵ_0 이며 매질 2의 유전상수 ϵ_2 는 복소 유전상수 ϵ' 이므로 대지의 반사계수는 경계면에 대한 입사각의 함수로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_h = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\sin \phi - \sqrt{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) - \cos^2 \phi}}{\sin \phi + \sqrt{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) - \cos^2 \phi}} \quad (13)$$

2) 수직편파

Fig. 1에서 전계 E 가 경계면에 대하여 수직으로 편파되는 경우이다. 경계면에서 전계 E 의 접선 성분은 연속이므로 다음 식이 성립한다.

$$(E_i - E_r) \cos \theta_1 = E_t \cos \theta_2 \quad (14)$$

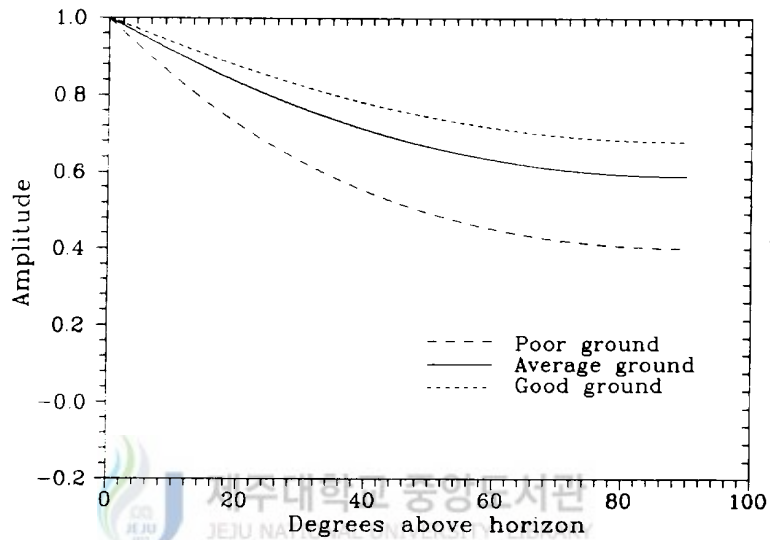
식(14)을 식(9)에 대입하면 수직편파에 대한 반사계수는 다음과 같다.

$$R_v = \frac{E_r}{E_i} = \frac{\sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_1 - \sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_2}{\sqrt{\epsilon_1} \cos \theta_2 + \sqrt{\epsilon_2} \cos \theta_1} \quad (15)$$

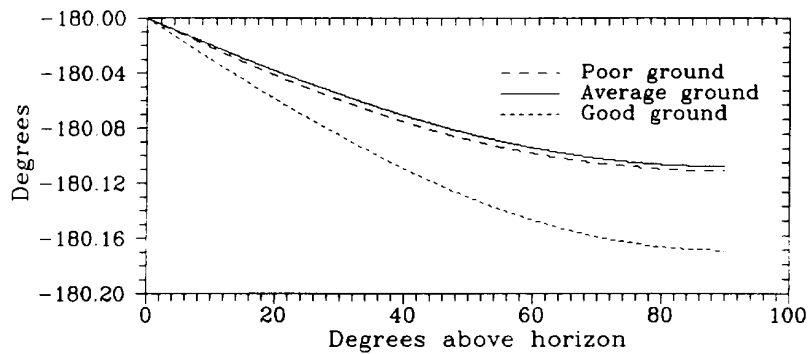
식(15)를 식(7)의 스넬의 법칙을 적용하고, 전자파가 공간에서 지면에 입사되는 경우 $\epsilon_1 = \epsilon_0$, $\epsilon_2 = \epsilon'$ 이므로 대지의 반사계수는 입사각에 대하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$R_v = \frac{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) \sin\psi - \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} - \cos^2\psi}}{\left(\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0}\right) \sin\psi + \sqrt{\frac{\epsilon}{\epsilon_0} + \frac{\sigma}{j\omega\epsilon_0} - \cos^2\psi}} \quad (16)$$

수평·수직편파에 대한 대지의 반사계수인 식(13)과 식(16)은 주파수와 입사각의 함수로 된 복소수이므로 입사파와 반사파는 크기도 다르고 위상도 다르게 됨을 알 수 있다.

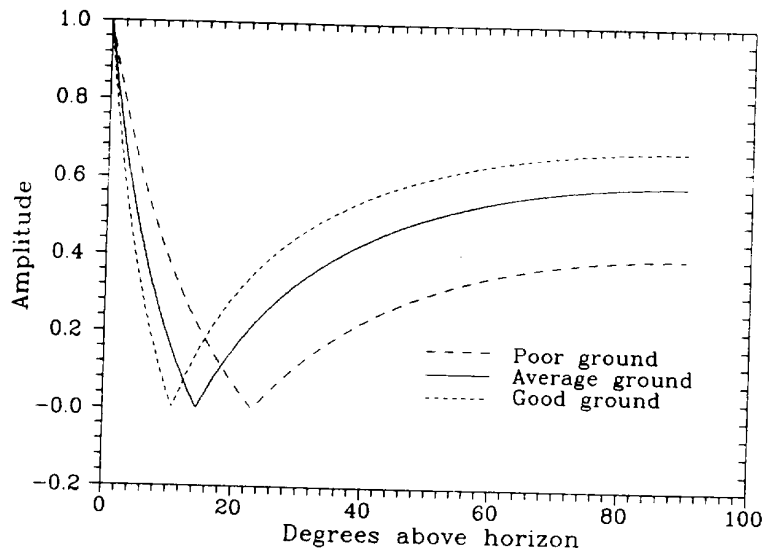


(a) Magnitude

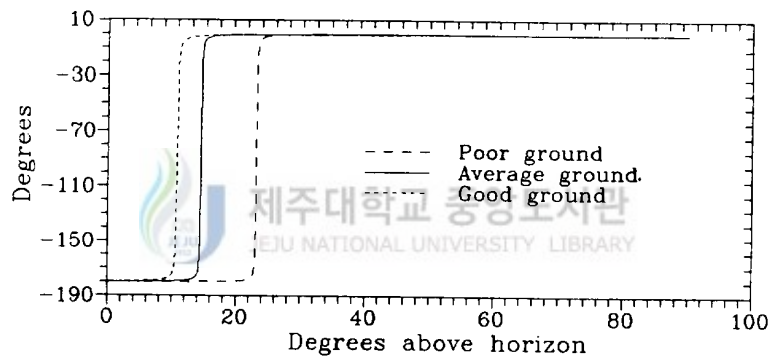


(b) Phase

Fig. 2. Reflection coefficient for horizontal polarization



(a) Magnitude



(b) Phase

Fig. 3. Reflection coefficient for vertical polarization

Fig. 2와 Fig. 3은 수평·수직편파에 대한 각각의 반사계수의 크기와 위상의 변화를 나타내며 주파수는 880.2MHz이다. 평균대지일 때와 건조한 대지, 습한 대지일 때 입사각의 변화에 따른 반사계수를 구하였다. 대지 상태에 따른 유전상수와 도전율은 Table 1에서 보이는 것과 같다. 수평편파인 경우 매우 작은 입사

각에서 반사파는 입사파와 크기는 같고 180° 의 위상차를 보인다. 입사각이 증가할수록 고정 범위안에서 반사파의 크기는 점차적으로 감소하며 위상은 입사각에 관계없이 거의 180° 차를 보인다. 수직편파인 경우 입사각이 증가함에 따라 반사파의 크기와 위상은 급격히 감소하며 브루스터각(pseudo-Brewster's angle)이라는 입사각에서 반사파의 크기는 최소로 되고 위상은 -90° 로 된다. 입사각이 브루스터각보다 커지면 반사파의 크기는 다시 증가하고 위상은 0° 에 접근함을 알 수 있다.(Hess, 1993)

Table 1. Typical values of ground constants

Surface	Conductivity σ (siemens)	Dielectric constant ϵ_r
Poor ground(dry)	0.001	4~7
Average ground	0.005	15
Good ground(wet)	0.02	25~30
Sea water	5	81
Fresh water	0.01	81



2. Two-ray 모델

지상에서 서로 마주 볼 수 있도록 설치된 송·수신 안테나에 대하여는 직접파와 반사파가 합성되어 수신전계를 이룬다. 직접파는 자유공간 전송손실을 이용하여 구할 수 있으며 굴곡이 없고 유한한 도전율을 갖는 대지에 대한 반사파의 크기와 위상은 이론적으로 해석할 수 있다.

Two-ray 모델은 Fig. 4에서 보는 바와 같이 송·수신 안테나의 높이가 각각

h_1 , h_2 이고, 전자파가 공간에서 지면에 일정한 각도(ϕ)로 입사할 때 직접파와 대지 반사파를 고려한 모델이다.(Siwiak, 1995)

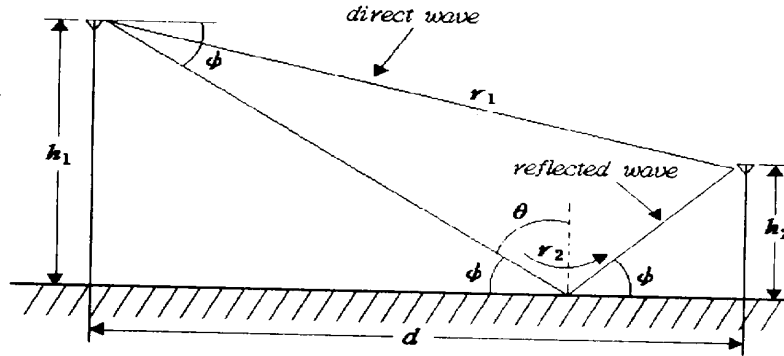


Fig. 4. Two-ray model

가시거리의 전파 경로상에 직접파와 대지 반사파 및 지표파가 존재할 때 수신점에서의 전력은 다음과 같다(Jakes, 1993).

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \left| 1 + \Gamma(\phi) e^{j\phi} + (1 - \Gamma(\phi)) A e^{j\phi} + \dots \right|^2 \quad (17)$$

여기서 첫항은 직접파 성분이며, 둘째항은 대지 반사파, 셋째항은 지표파 성분이다. 그리고 나머지항은 대지의 2차 영향과 유도계의 성분이다. 식 (17)에서 직접파와 대지 반사파만을 고려할 경우 수신 전력은 다음과 같다.

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{1}{r_1} e^{-jkr_1} + \Gamma(\phi) \frac{1}{r_2} e^{-jkr_2} \right|^2 \quad (18)$$

여기서 P_t 는 송신 전력이고 P_r 은 수신 전력이다. 그리고 r_1 은 송신점으로부터 수신점까지의 직접 거리이고 r_2 는 지면 반사로 인한 경로 거리이다. $\Gamma(\phi)$ 는 반

사계수이며, 입사각 ϕ 와 편파의 함수로써 다음과 같다.

$$\Gamma(\theta) = \frac{\cos \theta - a\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + a\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \quad (19)$$

여기서 $\theta = 90^\circ - \phi$, a 는 수직·수평편파에 대해 각각 $1/\epsilon_r$ 과 1이고, 평균대지에 대해 상대 유전상수는 $\epsilon_r = 15 - j60\sigma\lambda$ 이며, 표면의 도전율은 0.005 mho/m이다.

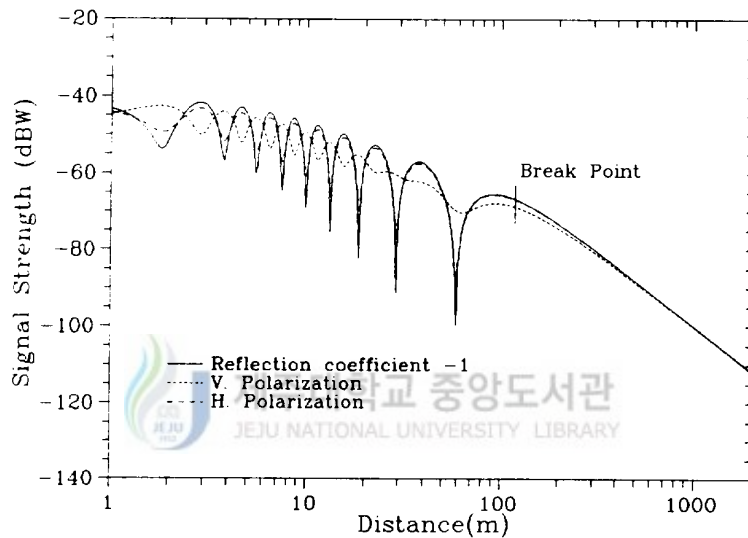


Fig. 5. Receiving powers for antenna pattern

Fig. 5는 송신 출력 1W, 주파수 880.2MHz, 송·수신 안테나의 높이를 각각 6.3m, 1.6m로 하였을 때 대지 반사계수가 -1인 경우와 수직편파, 수평편파일 때의 거리에 따른 수신 전력을 나타낸다. 송신점을 기점으로 이동 거리가 먼 경우 입사각은 작으며($\theta \approx 90^\circ$), 수평·수직편파의 반사계수는 대략 -1이 된다. 그러나 입사각이 증가할 때 반사계수는 감소하여 0에 가깝게 된다. 따라서 반사계수가

-1인 경우는 근거리 영역에서 신호의 변동과 크기는 매우 크게 나타난다. 반사계수의 절대치는 수직편파의 값보다 수평편파에서가 크기 때문에 수직편파에 대한 신호는 수평편파보다 매우 작게 변화한다.

3. Fresnel zone

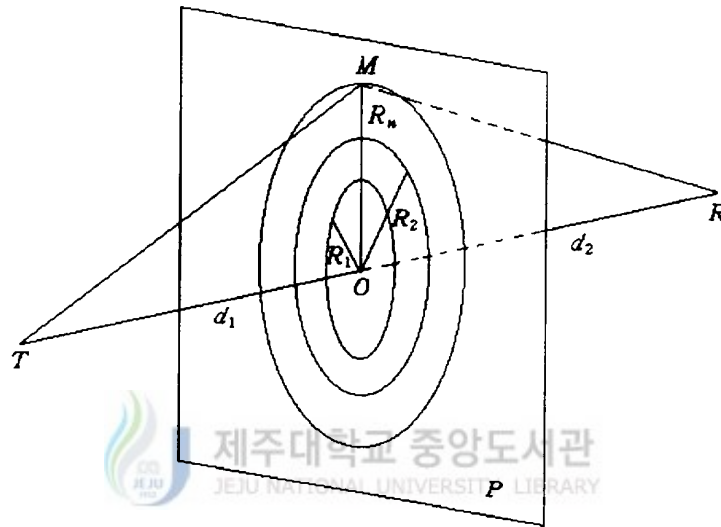


Fig. 6. Fresnel zone

지면상의 전파 전송로에 언덕이나 큰 장애물이 있으면 VHF대 이상에서 수신 전계강도가 크게 떨어지는 차폐 현상이 나타난다. 가시 영역에서의 장애물이 놓여 있는 궤도와 그 영향을 나타내는 지표로써 프레넬 영역(fresnel zone)이 편리하게 쓰여진다. 이는 송신점에서 수신점으로 신호가 수신될 때 호이겐스의 원리(huygens' principle)에 의하여 수신점에서의 전계는 송·수신 직선 경로상

의 임의의 한 점에서 직선 경로에 수직이 되는 평면상의 전자계의 분포로부터 구할 수 있다.

프레넬 영역은 송·수신 안테나를 초점으로 하는 타원체로서 정의된다. Fig. 6에서 보는 바와 같이 평면상의 임의의 점을 M 이라 하고, 송신점에서 M 점까지의 거리와 M 점에서 수신점까지의 거리 합인 경로와 직선 경로 \overline{TR} 과는 일정한 경로차를 갖는다. 즉 경로차 r_0 는 다음과 같은 등식이 성립한다.

$$r_0 = \sqrt{d_1^2 + R_n^2} + \sqrt{d_2^2 + R_n^2} - (d_1 + d_2) \quad (20)$$

$d_1 \gg R_n$, $d_2 \gg R_n$ 일때의 경로차의 근사식은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$r_0 \simeq \frac{R_n^2}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \quad (21)$$

경로차 r_0 가 $n\lambda/2$ 일 때의 점 M 의 체적을 구하여 보면 직선 경로에 위치한 O 점을 중심으로 하는 원들을 얻을 수 있으며 반경은 식(21)을 전개하여 구할 수 있다.

$$R_n \simeq \sqrt{n\lambda d_1 d_2 / (d_1 + d_2)} \quad (22)$$

식(22)에서 $n = 1$ 인 경우 반경 R_1 의 원 내부 영역을 제 1차 프레넬 영역이라고 하고, 반경 R_n 과 R_{n+1} 사이의 영역을 제 n 차 프레넬 영역이라고 한다. 한 프레넬 영역내에서의 전자계는 수신점의 전계강도를 크게하고, 서로 인접하는 두 개의 영역은 수신점 R 의 전계강도에 서로 반대의 신호로 감산되는 효과를 나타낸다. 이때 제 1차 프레넬 영역으로부터의 기여가 제일 크며, 이의 크기는 수신점

R 에서의 전체 수신 전력의 두배이다. 이러한 방법으로 전송로상의 장애물에 의하여 프레넬 영역이 어느 정도 차폐가 되는 지에 의하여 수신 전계강도를 정성적으로 분석하는 것이 가능하다.

전환점은 1차 프레넬 영역이 차단되는 지면에 대하여 송·수신점 사이의 거리로서 정의되며 프레넬 영역 클리어런스와 연관하여 구할 수 있다. 전파경로가 1차 프레넬 영역 클리어런스에 있을 때 거리가 먼 지점에 신호 감쇠의 주원인은 파면 확산이다. 그러나 1차 프레넬 영역 클리어런스가 차단될 때 파면 확산 이외에 장애물에 의한 감쇠 때문에 전환점 이후 영역에서는 가파른 경로손실 기울기를 보인다. 경로손실 정도를 나타내는 직선 기울기는 등방성 안테나일 때 전환점 이전 영역에서 2에 가까운 크기로 완만하게 감소하는 기울기를 갖는다. 그러나 송신 안테나 근처에서는 송·수신 안테나의 방사패턴에 의한 안테나간의 오프셋(offset), 입사각의 함수인 지면 반사계수의 변화에 의해 많은 영향을 받는다. 수직편파의 경우 브루스터각에 상응하는 범위보다 큰 거리에서 반사계수의 크기는 0에서 1로 증가한다. 그러므로 대지 반사에 의한 영향은 거리에 따라 증가한다.

1차 프레넬 영역이 지면에 접할 때의 송·수신점간의 수평거리 d 는

$$d \simeq \frac{1}{\lambda} \sqrt{(\Sigma^2 - \Delta^2)^2 - 2(\Sigma^2 + \Delta^2)^2 \left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^4} \quad (23)$$

이며, Σ 는 송·수신 안테나 높이의 합이고 Δ 은 송·수신 안테나 높이의 차이이다. 높은 주파수에 대해 식 (23)은 안테나 높이와 파장의 함수로 다음과 같은 근사식으로 쓸 수 있다.

$$d \simeq \frac{4h_1h_2}{\lambda} \quad (24)$$

전환점 거리는 식 (24)로부터 구해지며, 전환점 이내의 영역에서 전파 신호는 지면으로부터 반사된 파로 인해 전파 세기가 심한 변화를 보이지만 완만한 기울기를 갖는다. 전환점 이후 영역에서의 전파 신호는 매우 가파른 기울기에 의해 감소한다.

Ⅲ. 측정시스템 및 분석

마이크로셀룰라 시스템은 건물이 밀집되어 있는 도심지역에서 2~3층 높이에 안테나를 설치한 기지국을 중심으로 10mW 정도의 전력으로 개인통신 서비스가 제공된다.

1. 측정시스템

마이크로셀 환경에서의 전파 특성을 분석하기 위해 측정에 사용된 송·수신 장치를 Fig. 7에 나타내었다.

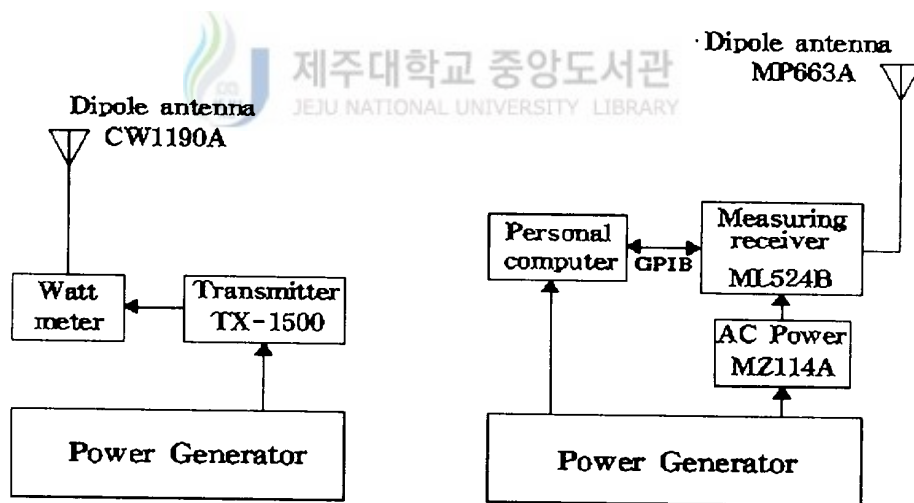


Fig. 7. Block diagram of measurement equipment

고정국은 안테나 높이를 조절할 수 있는 삼각대와 0.53m의 폴대들을 연결하여 차량 위에 설치하였고 다이폴 안테나, Wattmeter, 75Ω dummy load, 최대 출력 50W인 소형 송신기와 소형 발전기로 구성하였다. 이동국은 주파수 범위가 140MHz에서 1000MHz인 전계강도계와 다이폴 안테나 그리고 GPIB 카드를 갖춘 퍼스널 컴퓨터와 소형 발전기로 구성하였다. 송·수신기 및 안테나 제원은 Table 2과 같다.

Table 2. Base and Mobile station parameter

	Power	Freq.band (MHz)	Antenna	Gain (dB)	Polarization
Transmitter	0.05~50 (W)	869.04~893.37	Dipole	5	Vertical
Receiver	0~108 (dBμ V/m)	140~1000	Dipole	0	Vertical & Horizontal

송신 안테나는 $\lambda/2$ 다이폴을 2개 배열한 코리니어 안테나이며, 안테나 높이를 6.3m, 4.44m로 하여 그에 따른 신호 세기 변화를 분석하였다. 수신 안테나 높이는 1.6m로 고정하였다. 송신 주파수는 현재 사용중인 이동전화 주파수대내에서 880.2MHz를 선택하였다. 수신 데이터는 컴퓨터에서 초당 30개 정도의 데이터를 기록하도록 제어하였으며 측정거리는 2.5m에서 200m 또는 500m 사이를 이동하면서 측정하였다.

도심지의 마이크로셀 환경은 인공구조물의 형태에 따라 다양하며 표준환경을 규정하기가 힘들다. 따라서 건물의 높이와 밀집도 및 도로폭에 따라 환경을 구분하였으며 이러한 마이크로셀 환경에서 8 지역을 표본으로 선정하였고, 선정지역의 위치와 환경인자는 Table 3과 같다.

Table 3. Environment factor

Measurement position	Averaged height of buildings	Built-up density	Width of road
Height of transmitted antenna : 6.3 m			
sample area 2 (Namsöng-ro)	5.04 m	45.62 %	27 m
sample area 3 (Dongkwang-ro)	9.39 m	48.54 %	30 m
sample area 4 (Chungang-ro)	9.35 m	53.53 %	20 m
Height of transmitted antenna : 4.44 m			
sample area 5 (Yongmun-ro)	5.21 m	46.08 %	24 m
sample area 6 (Yöndong-ro)	6.60 m	45.92 %	20 m
sample area 7 (Kwandök-ro)	9.87 m	47.46 %	24 m
sample area 8 (T'apdong-ro)	11.34 m	44.45 %	20 m

가시거리 경로상에서 신호 세기의 변동은 이동 거리에 따라 일정한 크기로 감소한다. 신호 세기는 측정 범위내에의 한 지점에서 급격히 감소하게 되어 이동 거리에 따른 신호 세기를 감쇠 크기가 서로 다른 근거리와 원거리 영역으로 나눌 수 있다. 이들 영역의 구분은 안테나의 높이와 주파수와 관계되는 전환점에 의해 분리된다. 이 전환점 거리는 1차 프레넬 영역의 반경인 클리어런스를 갖는 최대 거리이다. 근거리 영역에서는 송신점에서 전환점까지의 데이터를 적용하며, 원거리 영역에서는 전환점 이후의 데이터를 적용하였다. 전체 데이터는 고차 최소자승법을 이용하여 가장 적합한 고차 방정식을 구하고 이론치에 상응하는 기울기를 갖는

거리를 전환점 거리로 선택하였다. 각 영역의 데이터들은 회귀분석에 의해 신호 강도의 평균과 표준편차를 계산하며 거리에 따른 감소 정도를 기울기로 나타내었다. 이론 데이터의 분석 결과를 보면 전환점 이후의 기울기는 전환점 이전의 기울기보다 상대적으로 큰 값을 갖는다. 이것은 원거리 영역에서 더 많은 전파 경로 손실이 있다는 것을 의미한다. 그러므로 전환점까지의 거리는 마이크로셀의 크기를 결정하는 중요한 변수이다.

2. 회귀분석 및 전환점

회귀분석은 대응하는 2개의 변수 사이에서 1차 함수의 관계를 이용하여 1차 함수의 두 미지수를 최소자승법에 의해 구하는 방법이다. 여기서 랜덤 변수는 송신점으로부터 수신점까지 대수거리(x)와 수신 전력(y)으로 이 두 변수로부터 회귀 관계를 결정하게 되며 다음과 같은 등식을 갖는다.

$$\begin{aligned} \sum y_i &= ak + b \sum x_i \\ \sum x_i y_i &= a \sum x_i + b \sum x_i^2 \end{aligned} \quad (25)$$

식(25)으로 구한 1차 회귀방정식의 상수항 a 와 1차항의 계수인 b 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} a &= \frac{\sum y_i \sum x_i^2 - \sum x_i \sum x_i y_i}{k \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \\ b &= \frac{k \sum x_i y_i - \sum x_i \sum y_i}{k \sum x_i^2 - (\sum x_i)^2} \end{aligned} \quad (26)$$

식(26)에서의 b 는 직선의 기울기로써 대수거리에 따른 신호 세기의 감쇠율을

나타내며 이를 평균치로하여 신호 세기의 변동폭인 표준편차를 구할 수 있다.

사용 주파수와 송·수신 안테나의 높이를 알 경우 식(24)를 이용하여 전환점 거리를 구할 수 있다. 그러나 도심지에서 주위 환경으로 인하여 신호 세기는 감소된다. 이러한 영향으로 전환점 거리는 이론치와 비교해 볼 때 오차가 발생된다.

측정데이터를 고차 최소자승법을 이용하여 가장 적합한 고차 회귀방정식을 구할 수 있으며, 미지 계수들을 데이터로부터 추정하는 방법인 고차 최소자승법은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix} \sum y_i \\ \sum x_i y_i \\ \vdots \\ \sum x_i^m y_i \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} k & \sum x_i & \sum x_i^2 & \cdots & \sum x_i^m \\ \sum x_i & \sum x_i^2 & \sum x_i^3 & \cdots & \sum x_i^{m+1} \\ \vdots & \vdots & \vdots & & \vdots \\ \sum x_i^m & \sum x_i^{m+1} & \sum x_i^{m+2} & \cdots & \sum x_i^{m+m} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} a_1 \\ a_2 \\ \vdots \\ a_{m+1} \end{bmatrix} \quad (27)$$

식(27)로부터 구한 고차 회귀방정식은 다음과 같다.

$$\hat{y} = a_1 + a_2 \hat{x} + a_3 \hat{x}^2 + a_4 \hat{x}^3 + \cdots \quad (28)$$

측정데이터로부터 식(28)과 같은 고차 회귀방정식을 만들고 이들 고차 회귀방정식중에서 측정데이터의 표준편차를 최소로 하는 회귀방정식을 선택한다. 등방성 안테나일 때의 회귀방정식에 의해 얻은 전환점 거리에서의 감쇠기울기와 고차 방정식의 기울기를 비교하여 표본환경에서의 전환점을 구한다.

Fig. 8은 송신 출력 1W, 주파수 880.2MHz, 송·수신 안테나 높이를 각각 4.44m, 1.6m로 하였을 때의 수직편파에 대한 이론적인 결과이다. 적용범위 내의 모든 데이터는 표준편차의 크기를 최소로 하고 일정한 기울기를 갖는 두 직선으로 나타낼 수 있다. 두 직선의 기울기는 전환점에 의해 구분된다. 전환점 이전

위치에서의 전파 신호는 직접파와 대지 반사파의 합성으로 심하게 진동하며 완만한 감쇠를 하지만 전환점 이후 위치에서는 거리에 대하여 신호의 세기가 급격히 감소하며 합성파의 변화는 매우 미세하다. 이는 회귀분석 결과로부터 알 수 있다.

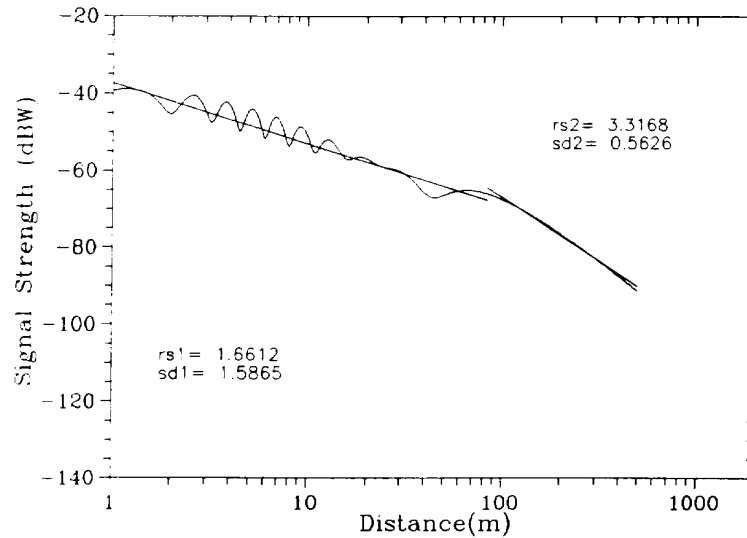


Fig. 8. Regression fit to the two-ray model

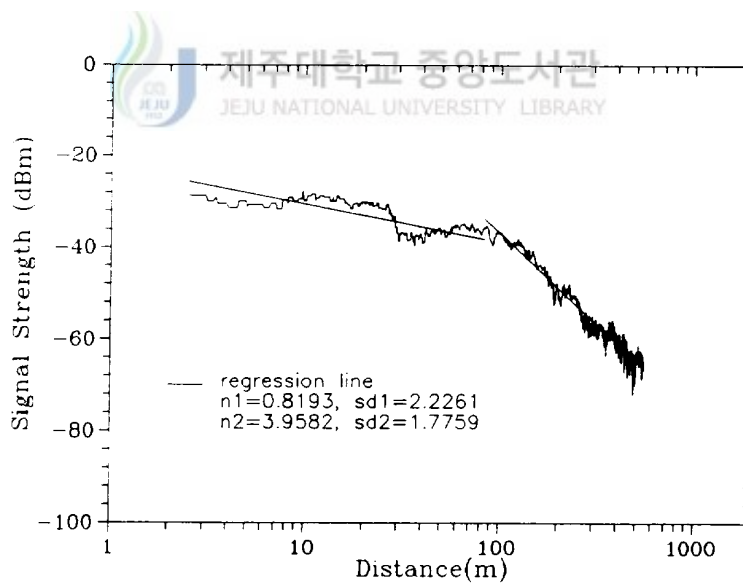


Fig. 9. Composite curves for LOS path (sample area 1)

표본지역 1(북제주군 동귀리)의 주위 환경은 개활지와 유사한 환경으로 나무와 건물과 같은 장애물이 없고 평탄한 밭으로 이루어져 있다. Fig. 9는 표본지역 1에서 안테나 높이를 4.44m로 하였을 때의 측정 신호 세기 변화이다. 전환점 이내 영역에서 기울기는 0.82로 작은 경로손실을 보이나 신호 세기 변동율인 표준편차는 2.2dB로 페이딩이 일어났다. 한편 전환점 이후 영역에서는 1.7dB의 표준편차로 전환점 이전 영역보다 작게 변화하였다. 이러한 특성은 Fig. 8에 나타난 이론치와 유사한 특성을 갖는다.

IV. 측정 결과 및 고찰

도심지에서 전파에 영향을 미치는 환경적 요인인 도로폭과 건물 높이, 건물 밀집 분포에 따른 전파 특성을 연구하기 위해 도로폭이 다른 3 지역과 도로폭이 거의 유사하고 건물 높이가 다른 4 지역을 선정하여 표본지역에서의 이동거리에 따른 신호 세기의 변화를 고찰한다.

1. 도로폭에 의한 영향

도심지에서의 전파 경로손실은 건물과 같은 인공구조물의 형태와 분포의 영향이 크다고 볼 수 있어 측정 환경을 도로폭과 건물 높이로 구분하였다. 도로폭과 건물 높이가 다른 3 지역을 선정하여 표본지역에서의 이동거리에 따른 신호 세기의 변화를 측정하였다.



Fig. 10은 안테나 높이가 6.3m일 때의 표본지역 2에 대한 가시거리내에서 신호의 합성 곡선으로 각 영역에서의 측정치에 대하여 기울기 지수 rs 와 표준편차로 분석하였다. 10m 이내에서 신호 감소는 송·수신 안테나간의 오프셋과 입사각에 따른 대지 반사계수의 변화로 생겼다. 신호 세기는 불규칙한 건물 높이의 분포에 의해 일부분의 거리에서 큰 변화를 보였으나 일정한 감쇠 크기를 갖는 두 영역으로 구분된다. 전환점 이전 영역은 전환점 이후 영역보다 감쇠기울기가 작은 값을 가졌고, 신호의 변동을 또한 이론 결과와 같이 전환점 이후 영역보다는 큰 값을 가졌다.

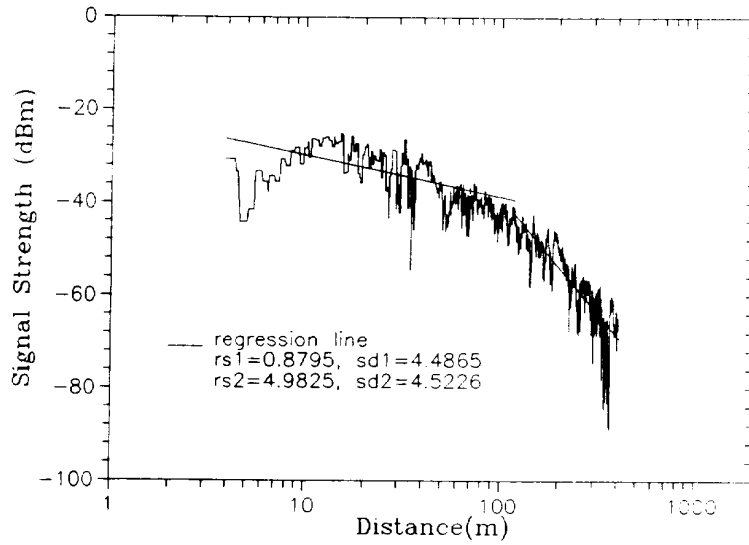


Fig. 10. Composite curves for LOS path(sample area 2)

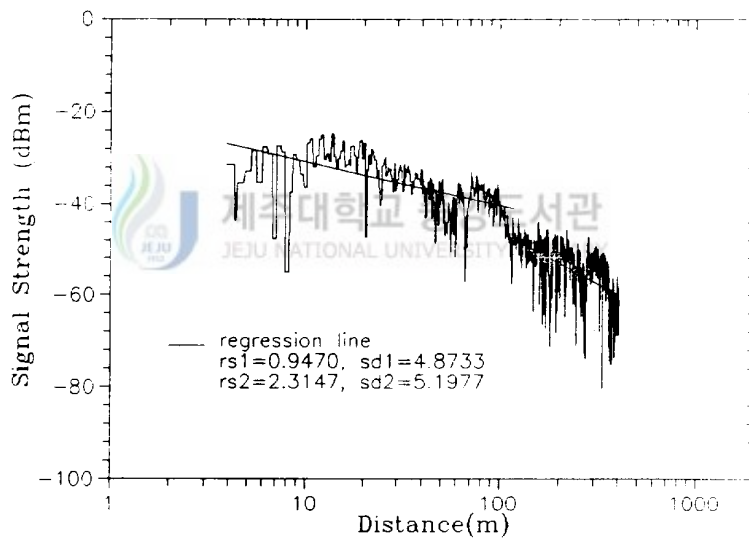


Fig. 11. Composite curves for LOS path(sample area 3)

Fig. 11은 표본지역 3에 대한 가시거리내의 신호 합성곡선으로 전환점 이전 영역에서의 측정치에 대하여 기울기는 0.95와 표준편차 4.9dB를 얻었고, 전환점

이후 영역에서는 기울기는 2.3과 표준편차는 5.2dB를 얻었다.

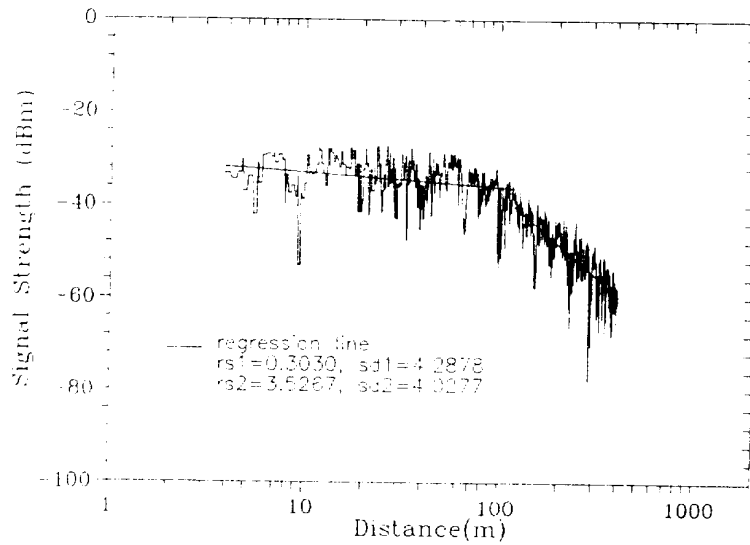


Fig. 12. Composite curves for LOS path(sample area 4)

Fig. 12는 표본지역 4에 대한 가시거리내에서의 신호 합성곡선이다. 전계강도의 감쇠기울기는 전환점 이전 영역에서가 작은 값을 가져 자유공간에서와 같이 완만한 경사를 이룬다. 전환점 이후 영역에서의 신호 변동에 대한 표준편차는 전환점 이전 영역과 비슷한 값을 가졌다. 이것은 건물에 의한 반사파의 영향으로 간주된다.

Fig. 13은 표본지역 2, 3, 4에서의 수신 전계강도에 대한 회귀분석 결과이다. 전환점 이전 영역에서 기울기 지수 r_s 를 비교해 보면 표본지역 4에서는 표본지역 2, 3에 비해 상대적으로 작은 값을 가졌다. 이것은 표본지역 2, 3에 비해 도로폭이 좁고 주위의 건물들이 밀집되어 있어 건물 반사파에 의한 영향으로 추측할 수 있다. 표본지역 3에서는 표본지역 2에 비해 건물의 높이가 높지만 감쇠기울기는 0.1 정도의 차이로 비슷하다. 신호의 변동폭인 표준편차에 대해 표본지역 1에서 결과를 보면 전환점 이전 영역의 표준편차는 이후 영역보다 큰 값을 가졌다. 그러

나 표본지역 2, 3, 4에서는 이와는 달리 전환점 전후 영역의 값이 0.2dB 정도의 차이로 비슷하게 나타났다. 이는 대지 반사뿐만 아니라 건물 반사와 가로수 등의 다중경로로 인한 페이딩 영향이다. 표본지역 2, 3, 4에 대한 기울기 지수는 근거리 영역보다 원거리 영역에서 크다. 이것은 전환점을 기준으로 하여 경로손실이 눈에 띄게 증가함을 알 수 있어 셀 반경을 구하는데 이용할 수 있다.

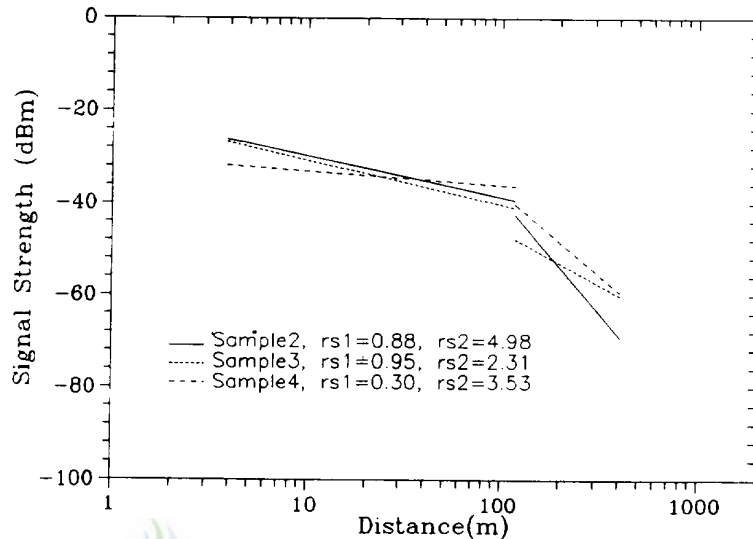
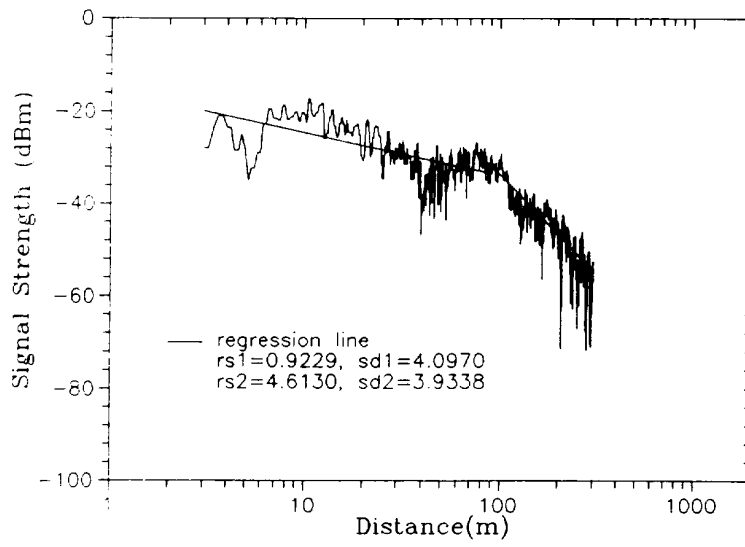


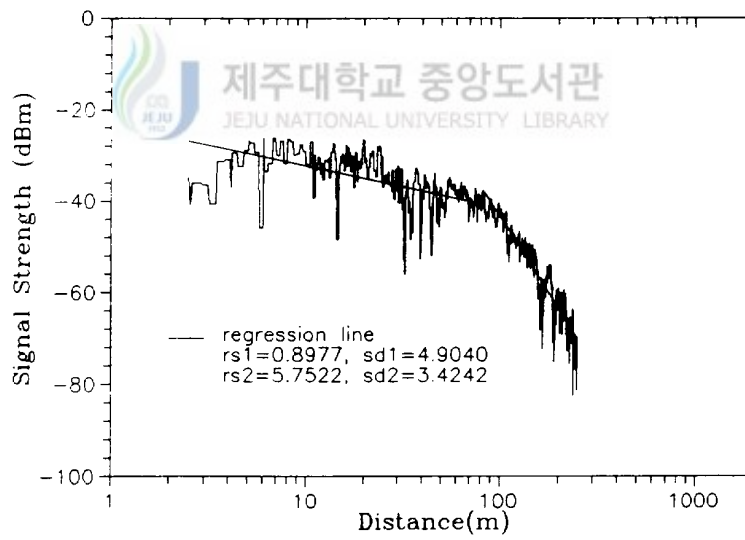
Fig. 13. Regression comparison for LOS measurements in different environments

2. 건물 높이에 의한 영향

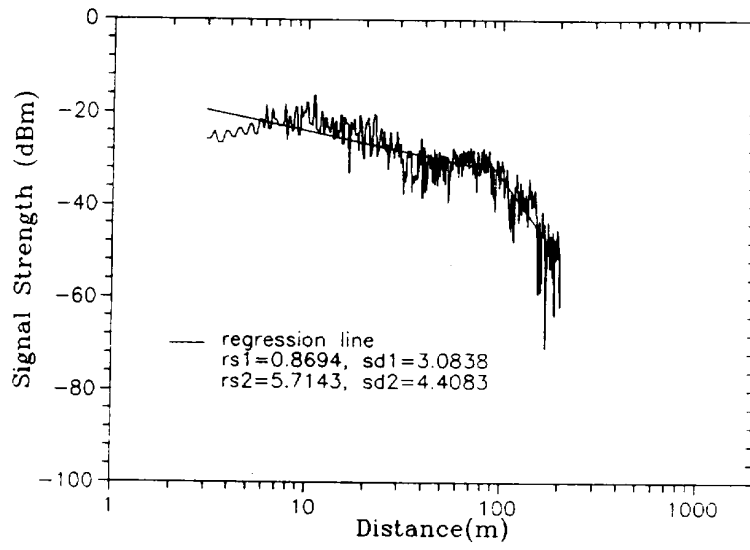
마이크로셀룰라 시스템에서 수신 전계강도에 영향을 주는 송신 안테나 높이는 주위의 건물 높이보다 낮게 세워진다. 건물 높이에 의한 전파 영향을 분석하기 위해 도로폭을 일정하게 하고 건물 높이가 각각 다르게 분포된 전파 환경을 선정하여 표본지역에서의 이동거리에 따른 신호 세기의 변화를 고찰한다.



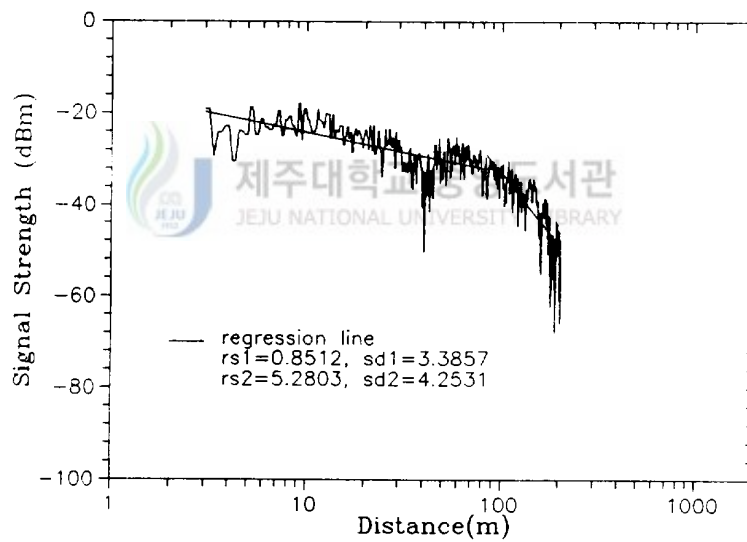
(a)



(b)



(c)



(d)

Fig. 14. Composite curves for LOS path
(a) sample area 5 (b) sample area 6
(c) sample area 7 (d) sample area 8

Fig. 14는 도로 폭이 일정하고 건물높이가 상이한 표본지역 5, 6, 7, 8에서의 가시거리내의 신호 합성곡선을 나타내었다. 이때 송신 안테나의 높이는 4.44m이다. 각 영역에서 대한 회귀직선을 기울기 지수 rs 와 표준편차로 분석하였다. 신호 세기는 불규칙한 건물 높이의 분포에 의해 일부분의 거리에서 약간의 변화를 보였으나 일정한 감쇠 크기를 갖는 두 영역으로 구분된다.

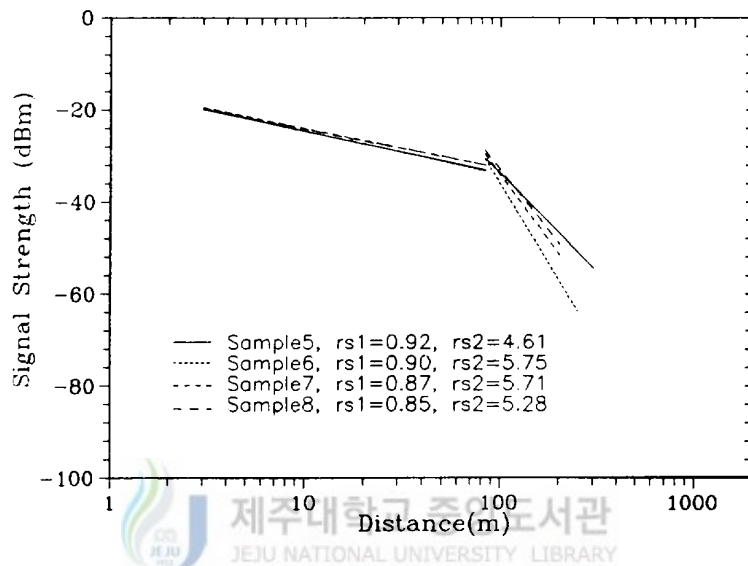


Fig. 15. Regression comparison for LOS measurements in different environments

Fig. 15는 표본지역 5, 6, 7, 8에 대한 분석 결과이다. 전환점 이전 영역에서 기울기 지수 rs 를 비교해 보면 표본지역 5, 6, 7, 8에서의 결과는 거의 일치한다. 이것은 송신 안테나의 높이가 건물의 평균 높이보다 낮은 경우 건물의 높이와는 무관함을 나타낸다.

식 (24)에서 알 수 있듯이 평탄한 지형의 가시거리 전파 경로에서 1차 프레넬 영역 전환점 거리는 송신 안테나 높이의 선형 함수이다. 기지국 안테나 높이는 인

접 셀에 대한 간섭을 방지하고 전파 신호 적용 범위를 정하는 PCS 시스템 설계에 있어서 중요한 인자이다. 셀 반경 내에서는 경로손실이 거의 없기 때문에 낮은 송신전력을 사용할 수 있다. 셀 반경 외에서의 전파 신호는 빠르게 감소하기 때문에 높은 기울기 지수를 갖게 되며, 이것은 인접 셀과의 상호 간섭 혹은 동일 대역에서 다른 지역 사용자들 제한하는 자연적인 전파 장벽으로 비유될 수 있다.



V. 결론

제주지역에 대한 마이크로셀 전파 환경에 Two-ray 모델을 적용하여 전파 특성을 분석하였다. 대지 반사파는 평균대지, 건조한 대지, 습한 대지일 때로 구분하여 송·수신점 거리에 따라 반사계수의 크기와 위상을 해석하였으며 수평편파보다 수직편파에서의 신호가 미세하게 변화하였다. 전환점은 프레넬 영역 클리어런스를 기초로하여 송·수신안테나의 높이와 주파수의 함수로 유도하였다. 도심지에서의 전파에 영향을 주는 환경적 요인인 도로폭과 건물 높이, 건물 밀집도에 따른 전파 특성은 도로폭과 건물 높이가 다른 7개의 표본환경을 선정하여 표본환경에서의 이동거리에 따른 신호 세기의 변화를 분석하였다. 감쇠기울기가 크게 달라지는 전환점을 기준으로 가시거리 신호 세기를 전환점 이전과 이후 두 영역으로 나누어 회귀분석으로 각 영역의 전파 감쇠 크기를 계산하였다. 전환점 이전 영역에서 경로 손실은 이론치에 의한 감쇠율인 2보다 작았으며, 전환점 이후 영역에서의 전파 신호세기는 거리에 대해 급격히 감소하였다.

제주지역에 대해 측정한 결과 송신기로부터 전환점까지의 거리는 이론치에서 최대 10m 정도의 차이가 있었으며, 건물 높이가 송신 안테나보다 높게 분포된 도심지 환경에서의 표준편차는 전환점 이전 영역보다 이후 영역에서 큰 수치를 가졌다. 이것은 다중경로 전파에 의한 페이딩 영향으로 분석된다. 전환점 내의 회귀직선 기울기는 건물들의 밀집도, 도로폭에 따라 차이를 보였으나 건물 높이가 송신 안테나보다 높게 위치한 표본환경에 대해서는 미세한 감쇠가 있을뿐 큰 영향은 없다. 개인통신 서비스에 있어서 전파신호의 적용범위를 정하는 중요한 인자인 전환점 위치는 다른 지역 사용자를 제한하는 자연적 전파 장벽으로 비유할 수 있다.

참고문헌

- 장병수, 1994, 국내 개인통신 서비스 추진 현황, 한국통신학회지, Vol.11, No.7, pp. 533-546.
- Hata, M., 1980, Empirical formula for propagation loss in land-mobile radio services, *IEEE trans. Vehicular Tech.*, Vol.29, pp. 317-325.
- Hess, G. C., 1993, Land-mobile Radio System Engineering, Artech House, Boston, pp. 35-56.
- Ibrahim M. F., Parsons, J. D. and Dadson, C. E., 1983, Signal strength prediction in urban areas using topographical and environmental data base, *Proc. ICC83, Conference Record*, pp.A2.5.1-2.5.4
- IEEE Vehicular Technology Society Committee on Radio Propagation, 1988, Coverage prediction for mobile radio systems operating in the 800/900 MHz frequency range, *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.37, No.1, pp. 1-70.
- Jakes, W. C., 1993, Microwave Mobile Communications, Wiley, New York, pp. 79-90.
- 김경재, 윤영중, 박한규, 1995, 터널에서의 전파경로손실 분석, 한국통신학회논문지, Vol.20, No.6, pp.1723-1729.
- Lee, W. C. Y., 1990, Mobile Cellular Telecommunications Systems, McGraw-Hill, New York, pp. 100-132.

- Maclean, T. S. M. and Wu, Z., 1993, Radiowave Propagation over Ground, Chapman & Hall, London.
- Okumura, Y., Ohmori, E., Kawano, T. and Fukuda, K., 1968, Field strength and Its variability in VHF and UHF Land Mobile Radio Service, *Elec. Comm. Lab.*, Vol.16, pp. 825-873.
- Parsons, J. D., 1992, The Mobile Radio Propagation Channel, Wiley, New York, pp. 16-28.
- 송기홍, 이동두, 감영권, 이혁재, 1995, 대도시 지역에서의 이동전화신호에 대한 수신전력 예측모델, *한국통신학회논문지*, Vol.20, No.3, pp. 193-204.
- Shibuya, S., 1925, A Basic Atlas of Radio-wave Propagation, Wiley, New York, pp. 159-238
- Steele, R. and Prabhu, V. K., 1985, High-user-density digital cellular mobile radio systems, *Proc. IEE, Pt. F*, 132, No.5, pp. 396-404.
- Siwiak, K., 1995, Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications, Artech House, Boston, pp. 105-122
- VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30MHz to 1000MHz, CCIR, Recommendation 370-3, Vol.5, XIV Plenary Assembly Kyoto, Japan(1978).
- Xia, H. H., Bertoni, H. L., Maciel, L. R., Lindsay-Stewart, A. and Rowe, R. 1993, Radio propagation characteristics for line-of-sight microcellular and personal communications, *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, Vol.41, No.10, pp. 1439-1447.

본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회 논문집

- 1) 홍성욱, 김홍수, “제주시 지역에서의 마이크로셀룰라에 대한 전파 전파 특성”, 한국통신학회 대한전자공학회 제주지부 합동학술발표 논문집, pp. 40-44, 1995
- 2) 홍성욱, 김홍수, “제주시 지역에 대한 마이크로셀 전파 특성”, 대한전자공학회 추계종합학술발표회 논문집, pp. , 1995



感謝의 글

본 論文의 結實을 맺기까지 學文의 길로 이끌어 주신 指導教授 金 興洙 教授님께 眞心으로 感謝를 드리며 未備한 論文을 指導 審査하여 주신 張 宰成 教授님, 梁 斗策 教授님께 깊은 感謝를 드립니다. 그리고 항상 곁에서 激勵을 해주신 李 鎔鶴 教授님, 文 建 教授님, 林 載允 教授님, 康 鎮植 教授님께 感謝를 드립니다.

每事に 힘이 되어준 李 起台 先輩님, 洪 文湜 先輩님, 康 富植 先輩님께 感謝를 드립니다. 學文의 同業者로서 또는 助言者로서 도움을 준 萬鐘과 後輩 權益, 在信에게 고마움을 전하며, 研究室에서 잡다한 일을 처리해 준 京杓, 秀民에게 고마움을 전합니다.

끝으로 오늘이 있기까지 獻身的인 사랑으로 보살펴 주신 할머님, 어머니,姑뻘님, 姝兄, 누님 그리고 곁에서 힘이 되어준 兄님, 兄嫂님, 어려움 속에서도 사랑으로 뒷바라지를 해준 아내 亨美, 동생 慶信, 禎信와 함께 이 論文이 完成된 기쁨을 나누고 싶습니다. 항상 저를 지켜보고 있으나 찾아볼수 없는 先親께 이 論文을 바칩니다.