

碩士學位論文

300MHz帶에서 多重經路
傳播現像을 考慮한 電波 特性

濟州大學校 大學院

通信工學科



1994年 12月

300MHz帶에서 多重經路 傳播現像을 考慮한 電波 特性

指導教授 張 宰 成

李 青 旻

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1994年 12月

李 青 旻의 工學 碩士學位 論文을 認准함



審査委員長 金 興 洙

委 員 梁 斗 榮

委 員 張 宰 成



濟州大學校 大學院

1994年 12月

**Radio Propagation Characteristics Considered
Multipath Environment in 300MHz**

Chung-Min Lee

(Supervised by professor Jae-Seong Chang)

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

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING
GRADUATE SCHOOL
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1994. 12

목 차

Abstract	1
I. 서 론	2
II. 육상이동통신에서의 전파전파	5
1. 자유공간에서의 전파전파	5
2. 대지반사파에 의한 전파	6
3. 장애물에 의한 전파	8
III. 도심지에서의 전파 특성	12
1. 기하광학에 근거한 전계강도 계산	12
2. 평균 전계강도의 근사방정식	15
IV. 전파특성 시뮬레이션	19
1. 평균 전계강도의 계산	19
2. 교외권의 전계강도	21
3. 도심권의 전계강도	29
V. 결 론	33
참고문헌	35

ABSTRACT

In the suburban and urban area, the characterizations of propagation are difficult to predict because of propagation environment's complexity.

We suggested theoretical prediction method that mean field strength and path loss are predicted, in order to analyze multipass propagation characteristics by the direct wave, the reflection wave and the diffraction wave at radio wave propagation(300MHz). In suburban area, obstacles commonly existing over propagation path, it is necessary to repeatedly and conitunally the field strength measure of samll-area unit in order to predicted variation of the received field strength for time and location.

In urban area, reflection and scattering pheonomena of radiowave propagation are analyzed by considering the solid and geometrical structure for the building: The propagation pheomenon in free space is analyzed by GTD(Geometrical Theory of Diffraction), computed by geometrical optics and the approximate equations of average field strength are proposed.

The received field strength are calculated by the proposed theoretical method and also compared to mesasured results in real propagation environment.

I. 서 론

현대 사회는 통신기술의 발전과 함께 경제활동도 광역화 되고 있다. 이와 함께 개인의 정보수요 또한 개성화 되고, 고도 정보화 사회로 발전하면서 다양한 정보통신 미디어가 등장하여 확산되고 있다. 이 중에서 즉시성과 기동성이 뛰어난 이동통신은 가장 활성화된 정보통신 수단이다.

이동통신 시스템을 개선하기 위한 연구는 지속되어 왔고, 그 중에서 통화 가능 지역을 결정하고 수신 전계강도를 평가하는 전파 예측모델에 대한 해석을 주로 다루고 있다. 이 모델은 전파 감쇠 정도를 예측하여 최적의 서비스 범위 및 기지국 위치 선정 등에 이용하고 있다. 한편 수신 전계강도의 감쇠 원인은 지형과 건물로부터 다중반사로 인한 다중경로 효과에 기인하며, 지형 및 건물에 의해 반사되고 회절된 다중신호는 여러가지 크기와 위상을 가지고 수신 안테나에 도달하기 때문에 신호간 서로 간섭을 일으켜서 페이딩(*Fading*) 현상도 발생하게 되므로 전파 환경을 고려한 해석이 중요시 되고 있다. 이동통신의 해석은 시스템외에 외부의 기후, 산림, 지형, 구조물 등 복잡한 환경 구조에 의해 크게 영향을 받으므로 이동통신 전파환경을 포함하는 전파특성에 대한 연구가 가속화 되고 있다. (*Reudink, 1973*), (*Ikegami, 1991*) 또한 전파환경은 해당지역의 지형, 구조물에 따라 그 특성을 달리하므로 이동통신 전파환경에 대한 정밀한 모델링을 하기 위해서는 해당 서비스 지역에서의 독자적인 측정 데이터를 구축할 필요가 있다. *Okumura(1968)*는 불규칙한 지형 및 다른 전파환경(도시, 교외, 개활지)에서 직접 측정된 자료를 통계 처리하여 전계강도를 예측하는 경험적 방법을 제시하였으며,

Hata(1980)는 Okumura의 예측곡선에 해석적 표현을 적용하여 특정지역의 경로손실을 근사화 하였다. Lee(1982)는 전파경로상의 장애물 또는 인공구조물에 의한 측정자료의 평균치를 이용하여 지역간 예측곡선을 만들고 인공구조물이 유사한 지역을 비교하여 선택하는 방법을 제시하였다. 이외에도 통계적 모델로 잘 알려진 Egli(1957) 모델과 불규칙한 지형에서의 회절손실을 고려한 Edwards - Durkin(1969) 모델 등이 제시되었다. 도심지에서의 경로손실에 대한 연구는 VHF/UHF 대역에서 진행되었다. 특히 전파의 다중경로 특성을 예측하기 위한 이론적 예측 모델 및 실험적 예측 모델은 많은 사람들에 의해 연구되어 제안되고 있다. 그중에서 Ikegami(1990)는 광 추적 기법에 의한 이론적 전파전파 예측 모델을 사용하여 VHF/UHF 대역의 도심지 환경에 대한 전파현상을 제시하였다.

본 연구에서는 수신점에서의 평균 전계강도를 정확히 해석하기 위해 다중전파 경로를 직접파, 반사파 및 회절파로 나누어 실제 전파환경에 적용하여 계산한다. 회절파에 의한 손실은 장애물을 뿔기형(Knife-edge)으로 간주하여 구하고, 대지 반사파에 의한 물리적 특성도 해석한다. 특히 전파경로상에 1개 이상의 장애물이 존재하는 경우, 이 장애물에 의한 회절과 반사의 영향을 고려한 다중경로전파의 전계강도를 이론적으로 예측한 후, 교외권으로 분류되는 세오름과 견월악 기지국에서의 제주도 동·서부지역에 대한 수신 전계강도를 실제 측정치와 비교, 분석한다. 도심지는 지형 특성, 건물에 의한 산란 및 회절 현상 등을 고려한 근사 방정식을 사용하여 노형 기지국에서의 전계강도를 예측하여 분석한다.

본 연구의 구성은 I 장에서는 전파특성 연구의 필요성과 방향에 대해 제시하고, II 장에서는 다중경로 전파특성을 해석하기 위한 실험식을 제시한다. III 장에서는 도심지에서의 평균 전계강도를 예측하는 근사 방정식을 유도하고, IV 장에서는 전파현상을 해석한 전파 예측 모델을 구현하기 위해 각 기지국에 따른 수신 전계

강도를 지역별로 환경적 실험상태를 고려하여 예측한다. 그리고 전파전파 측정 데이터와 비교하여 다중경로 현상을 고려한 전파특성 해석의 타당성을 입증하고, V 장에서 본 논문의 결론을 맺는다.



II. 육상이동통신에서의 전파 특성

실제 이동통신 환경에서 직접파만 도래하는 경우는 드물며 수신점에서의 전계 강도는 다중경로를 거치는 반사파, 회절파 등 모든 도달된 파의 벡터 합으로 이루어진다. 따라서 1절에서 자유공간에서의 전파전파, 2절에서 대지반사파에 의한 수신전력을 유도하고, 3절에서는 전파경로상에 있는 장애물에 의한 회절손실식을 구한다.

1. 자유공간에서의 전파전파

전파에너지를 흡수하거나 반사하는 어떤 장애물도 거치지 않는 자유공간 전파에서 송신 안테나로부터 거리가 $d[m]$ 인 자유공간에서의 전계강도는 송신전력 $P_t[W]$ 와 송신 안테나 이득 G_t 로부터 다음과 같이 표현된다.

$$E = \frac{\sqrt{30 P_t G_t}}{d} \quad (1)$$

만약 송신 안테나가 이득 G_t 를 갖고 수신점 방향으로 G_r 배의 전력을 복사한다고 할 때, 수신전력 P_r 는

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (2)$$

이 된다. 여기서 G_r 는 수신 안테나 이득, $\lambda[m]$ 는 반송 주파수의 파장이다. 이

때 전송손실 L_F 는 수신전력 대 송신전력의 비로 정의하며, 식 (3)과 같다.

$$L_F [dB] = 10 \log_{10} \left(\frac{P_r}{P_t} \right) \\ = 10 \log G_t + 10 \log G_r - 20 \log f - 20 \log d + 147.56 \quad (3)$$

여기서 $f [Hz]$ 는 반송 주파수이다. 특히 송·수신 안테나가 등방성 안테나일때 기본 전송손실 L_B 는 다음 식으로 나타낸다.

$$L_B [dB] = -32.44 - 20 \log f_{MHz} - 20 \log d_{km} \quad (4)$$

2. 대지반사파에 의한 전파

완만한 구형 지구 표면 위에서 반사 메카니즘은 파장과 비교해 너무 크지 않고 불균일한 거친 표면에 의한 반사와 표면위의 반사 위치에 따라 변화하므로 반사계수가 균일하지 않은 반사 및 빌딩, 나무, 언덕 등이 각 수신점으로 부터 반사표면 위의 어떤 지역으로까지의 가시거리 경로를 방해하는 제한된 반사 등 세가지로 구분해 볼 수 있다.

대지반사파는 대지에 한번 또는 그 이상 반사되어 수신하는 전파로 대지반사의 분석은 수신점으로 부터 기하학적인 반사 지점을 결정하는 것이 중요하다. 전파가 대지에 접촉하는 경우 대지의 전기적 상수는 지역에 따라 다르고 완전 도체가 아니므로 완전 반사를 하지 못하고 일부는 대지로 침투하여 열 에너지로 소모된다. 따라서 대지 조건을 고려하여 전계강도를 산출해야 보다 정확한 값을 유도할 수 있다. 수신점에서의 반사신호의 크기는 안테나 지향성, 수신점의 높이, 지표면의

특성과 전파경로의 길이에 의존한다.

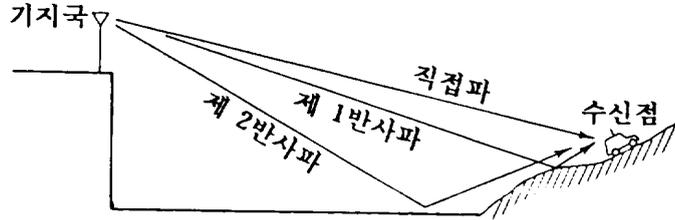


Fig.1 Propagation Model

송신점과 수신점이 거리 d 만큼 떨어져 있을 때, 수신점에서는 세가지 파, 즉 직접파, 반사파 및 지표파를 수신할 수 있다. 그림 1과 같이 반사파가 2개 존재하는 경우 수신전력은 식 (5)와 같다.

$$P_r = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 | 1 + \rho_1 e^{j\Delta_1} + \rho_2 e^{j\Delta_2} + \eta |^2 \quad (5)$$

여기서 ρ_1, ρ_2 는 입사각에 따른 두개의 반사파에 대한 각각의 대지 반사계수, Δ_1, Δ_2 는 송신 안테나에서 수신 안테나까지 전파하는 직접파와 반사파간 위상차 ($4\pi h_1 h_2 / \lambda d$)이고 h_1, h_2 는 송·수신점 높이이다. η 는 지표파의 영향을 고려한 성분이다.

이동통신 환경의 전파 모델링에서는 지표파의 영향을 무시한다. 또한 2개의 반사파가 존재할 때 식을 간단히 하기 위해 반사계수를 -1 이라 가정하고, 자유공간 감쇠정수를 고려하여 수신전력을 구한다. 일반적인 식은 다음과 같다.

$$P_r = P_0 | \alpha_0 - \alpha_1 e^{j\Delta_1} - \alpha_2 e^{j\Delta_2} |^2 \quad (6)$$

여기서 P_0 는 자유공간 전송전력으로

$$P_0 = P_t G_t G_r \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^2 \quad (7)$$

이다. α_0 , α_1 및 α_2 는 자유공간 감쇠정수로 α_0 는 직접파의 감쇠정수, α_1 은 수신점과 가까운 곳의 완전 반사에 의한 감쇠정수 및 α_2 는 멀리 떨어진 곳의 반사파에 의해 발산하는 반사에 의한 감쇠정수를 나타낸다. α_2 는 전방향으로 발산하기 때문에 완전반사 되는 α_1 과 비교해 $\alpha_1 \gg \alpha_2$ 인 관계가 성립한다. (Beckman, 1963) 또한 반사계수 $\rho = -1$ 인 조건을 고려하면 $\alpha_0 \cong \alpha_1$ 이 되어 식 (6)은 식 (8)처럼 다시 쓸 수 있다.

$$P_r \cong \alpha_0 P_0 |1 - e^{j\Delta_1}|^2 \cong \alpha_0 P_t G_t G_r \left(\frac{h_1' h_2'}{d^2} \right)^2 \quad (8)$$

이 식에서 α_0 는 제주 지역에 대한 감쇠정수, h_1' 와 h_2' 는 반사점에 의해 확장된 대지평면에서 실효 안테나 높이이다. 2개 이상의 반사파가 존재할때 수신점과 가까운 대지반사파만을 고려하더라도 큰 차이가 없다. (Lee, 1980)

3. 장애물에 의한 회절

육상이동통신의 전파전파에서 전파경로상에는 하나의 장애물 또는 여러 독립된 장애물 등이 존재한다. 이러한 장애물에 의해 회절현상이 발생하므로, 구형의 지구 표면 또는 여러 종류의 장애물을 포함한 불규칙한 지형에서의 회절로 인한 전송손실의 해석이 필요하다.

회절이 대지의 표면 또는 여러가지 장애물에 의해서만 발생된다 하더라도 경로의 수직면에 위치한 기하학적 파라미터(회절각, 굴곡의 반경, 물체의 높이)를 계산하기 위해서는 전파경로상에서의 평균 대기 굴절을 고려해야 한다. 이를 위해서 경로의 프로파일은 등가 지구반경을 이용한다. 전파경로상에 존재하는 장애물 즉 산악 및 대지의 굴곡에 따른 영향을 고려하기 위해서 송·수신점을 포함한 대지의 지형 단면도를 사용한다. 일반적으로 지형 단면도는 장애물의 높이를 정확히 계산하기 위해 거리와 높이를 동일 축적으로 하지 않고, 높이의 방향을 확대하고 지구 단면을 타원으로 바꾸어 근사하는 방법을 사용한다. 지형 단면도를 사용하면 전파는 직진한다고 볼 수 있고, 장애물의 영향을 쉽게 파악할 수 있다.

전파경로상에 1개 또는 그 이상의 장애물이 존재할 때 이 장애물에 의해 발생하는 손실을 계산하여야 한다. 그러나 장애물의 모양은 다양하고 복잡하므로 모든 형태에 대한 해석은 불가능하고, 두께를 무시한 가는 쇠기형 장애물로 정의하여 모델링 한다. 이상적인 쇠기형 장애물인 경우에, 모든 기하학적인 파라미터는 여러 등가 형태를 가정하여 크기가 없는 단일 파라미터로 조합되는 함수로서 *CCIR Rep. 715-3(1990)*, 주장애물 해석 방법인 *Deygout(1966)* 방법, *Fresnel* 적분식을 이용한 *Lee* 방법 등을 사용한다.

두개의 쇠기형 장애물이 있는 경우, 회절이론은 *Millington(1962)* 등에 의해 다루어지고 실제적인 경우에 있어서는 *Epstein* 및 *Peterson(1953)*의 계산법으로 미리 계산된 보정법을 사용한다. 이 계산법은 단일 쇠기형 장애물 회절이론을 두개의 장애물에 연속적으로 적용하며, 두개의 장애물이 유사한 손실을 가질 때 특히 유용하다. 한개의 장애물이 확실히 큰 효과를 가질 때에는 *Deygout* 방법을 사용하여 계산한다.

여러개의 연속적인 쇠기형 장애물(3개 이상)이 있는 경우, 회절에 대한 이론적

인 해석은 장애물 수에 해당하는 *Fresnel* 형의 적분식을 전개하여 계산한다.
(Volger, 1982)

또한 단일 장애물은 물론 다중 장애물까지 해석하기 위해 *Picquenand*(1974) 방법을 도입한다. 실제 계산을 위한 전파경로상의 첫번째 *Fresnel zone* 반경 r 은 식 (9)와 같다.

$$r = 548 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}} \quad (9)$$

여기서 d_1 [Km]은 송신점에서 장애물까지의 거리, d_2 [Km]는 장애물에서 수신점까지의 거리이다.

장애물에 의한 회절손실 L_{ref} [dB]는 전파경로와 장애물 위치의 상호관계에 따라서 식 (10)에서 식 (14)까지의 *Fresnel* 적분과 연관된 항을 포함하여 근사화한 5단계 장애물 회절손실식을 사용한다.

$${}_0L_{ref} = 0 \quad 1 \leq V \quad (10)$$

$${}_1L_{ref} = 20 \log(0.5 + 0.62V) \quad 0 \leq V \leq 1 \quad (11)$$

$${}_2L_{ref} = 20 \log(0.5 e^{0.95V}) \quad -1 \leq V \leq 0 \quad (12)$$

$${}_3L_{ref} = 20 \log(0.4 - \sqrt{0.1184 - (0.1V + 0.38)^2}) \quad -2.4 \leq V < -1 \quad (13)$$

$${}_4L_{ref} = 20 \log\left(-\frac{0.225}{V}\right) \quad V < -2.4 \quad (14)$$

여기서 V 는 다음 식과 같으며, c_s , λ , d 의 단위는 모두 [Km]이다.

$$V = c_s \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (15)$$

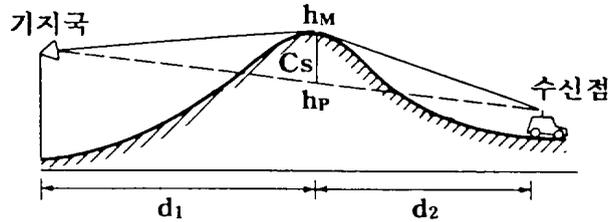


Fig. 2 Diffraction due to an obstruction

c_s 는 그림 2에서 보이는 것처럼 전파경로와 장애물 정점까지의 거리로 장애물 높이 h_M 과 전파경로 높이 h_P 의 관계로 나타낼 수 있고, 장애물이 전파경로보다 위에 존재할 때는 $c_s > 0$, 그렇지 않으면 $c_s < 0$ 가 된다.

$$c_s = h_M - h_P \quad (16)$$

$$h_P = \frac{h_1 d_2 + h_2 d_1}{D} - \frac{d_1 d_2}{2Ka} \quad (17)$$

여기서 D 는 d_1 과 d_2 의 합이고, K 는 등가 지구 반경계수 $4/3$, a 는 지구반경 $6370Km$ 이다.

특히 전파경로상에 2개 이상의 다중 장애물이 있는 경우에 전체 회절손실은 각 장애물이 있는 지점에서 장애물 높이 c_s 에 대한 첫번째 *Fresnel zone* 반경 r 의 비 c_s/r 를 계산한다. 그 중에서 c_s/r 가 큰 장애물이 전파경로상에 심한 영향을 미치는 주장해물로 간주하여 이 손실을 먼저 구하여 합하는 방법을 사용한다.

Ⅲ. 도심지에서의 전파 특성

전파 전파경로상에서 장애물의 존재는 페이딩 진폭과 특성 뿐만 아니라 평균 전송손실 값을 변화시킬 수 있다. 주파수가 높아지면 기후, 산림, 자연적 또는 인공적 장애물의 영향 뿐만 아니라 지구 표면의 굴곡도 전파전파에 영향을 미친다. 도심지의 건물에 의한 회절 및 차폐는 간섭현상을 일으켜 추가 전송손실을 야기시킨다. 따라서 지형특성 및 산림, 건물에 대한 감쇠, 산란 및 회절 현상, 건물에 의한 영향 등을 고려하여 도심지에서의 전파현상을 해석한다. 1절에서 다중경로 전파구조를 갖는 도심지에서 기하광학에 근거한 전계강도를 계산하고, 2절에서는 근사방정식을 구한다.

1. 기하광학에 근거한 전계강도 계산



Fig. 3 Mobile radio environment

도심지에서의 전파전파 환경은 그림 3과 같이 이동체가 이동할 때 수신되는 전

파 환경은 다중경로 전파구조를 갖는다.

다중경로 전파전파는 빌딩에 의해 회절되고 반사되는 광학이론 (*Diffraction mode, Reflected mode*)과 산란 모드(*Scattered mode*), 도파관 모드(*Guided mode*)의 3가지 모드로 구성되며, 도심지에서 나타나는 전파전파 현상들은 이 3가지 전파전파 모드들을 적절히 조합하여 해석한다. (Parsons, 1992)

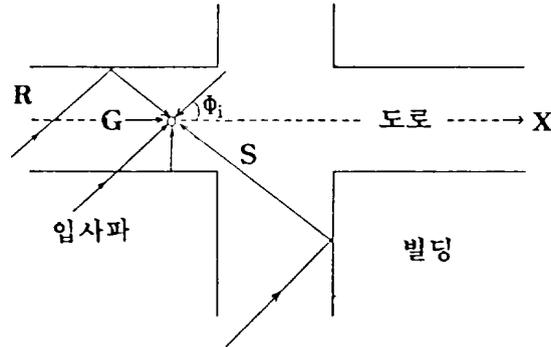


Fig. 4 Multipath propagation model

그림 4는 도심지에서의 다중경로 전파현상을 나타내며 수신점에서 동방향 안테나를 사용했을 경우 유효전력 $P(x)$ 는 다음과 같다.

$$P(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N E_i^2 + \sum_{i=1}^N \sum_{k=i+1}^N E_i E_k \times \cos \left\{ 2\pi \frac{\cos \phi_i - \cos \phi_k}{\lambda} x + (\theta_i - \theta_k) \right\} \quad (18)$$

여기서 E 는 전계강도, θ 는 위상, λ 는 파장이다. 이동체가 거리 x 방향을 따라 L_1 만큼의 거리를 이동중 일때 수신되는 평균 전력은 다음과 같다.

$$\overline{P}(x) = \frac{1}{L_1} \int_0^{L_1} P(x) dx = \frac{1}{2L_1} \int_0^{L_1} \sum_{i=1}^N E_i^2 dx$$

$$+ \frac{1}{L_1} \int_0^{L_1} \sum_{i=1}^N \sum_{k=1}^N E_i E_k \cos \left[2\pi \frac{\cos \Phi_i - \cos \Phi_k}{\lambda} x + (\theta_i - \theta_k) \right] dx \quad (19)$$

이 식에서 두번째 항은 다중경로 전파 상호간의 간섭으로 생기는 적분값이며, 거리 L_1 이 전계강도 변동의 주기에 비해 매우 클 때는 무시할 수 있다. 따라서 식 (19)는 첫째항만 남게 되며, 다음과 같이 근사화된다.

$$\overline{P}(x) = \frac{1}{2} \sum_{i=1}^N \overline{E}_i^2 = \sum_{i=1}^N \overline{P}_i \quad (20)$$

여기서 P_i 는 거리 L_1 상의 i 번째 파의 평균전력이고, 평균 전계강도는 각 성분파들의 전계강도를 자승 평균하여 얻을 수 있다.

$$\overline{E}(x) = \sqrt{\sum_{i=1}^N \overline{E}_i^2} \quad (21)$$

공간에서의 페이딩(*Fading*)은 전계 강도의 변동주기가 변함에 따라 다양하게 나타나므로 평균 전계강도는 표본길이 L_1 과 밀접한 관계를 갖게 된다. 따라서 전계강도를 구하고자 할 때는 페이딩 현상으로 인해 표본길이를 경우에 따라 다르게 선택하여야 한다.

도심지에서의 페이딩은 대수정규 페이딩과 레일리 페이딩으로 구분된다. 대수정규 페이딩은 기지국과 이동체 간의 지질학적, 기하학적 형태에 따른 영향과 빌딩의 회절손실(*Shadowing*)로 발생한다. 또한 레일리 페이딩은 이동체 주위의 빌딩과 다른 구조물들로 부터 반사되는 파와 다중경로 전파들간의 간섭으로 발생한다. 도심지에서는 특히 레일리 페이딩 현상이 심하므로 표본 길이 L_1 은 레일리 페이딩 주기보다는 길게 하고 빌딩의 크기 보다는 작게 취해야 한다.

도심지에서 건물에 의한 다수의 회절과 반사는 수신점에서 평균 전계강도에 큰 감쇠를 가져오기 때문에 직접 회절되어 도달하는 파와 한번 반사되어 도달하는 파들이 전계강도에 크게 나타나는 주요 요소가 된다. (Ikegami, 1980)

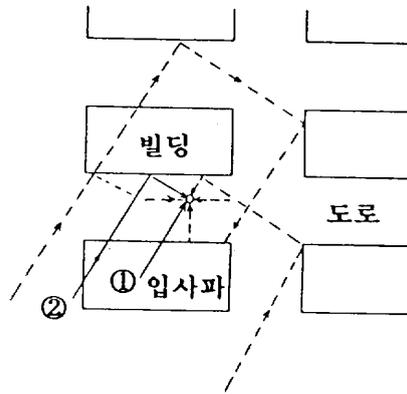


Fig. 5 Ideal city structures and geometrical optical rays

평균 전계강도를 계산하기 위해 그림 5와 같이 빌딩의 높이가 동일하고, 블럭들이 일정한 간격으로 구성되는 이상적인 도시 구조로 가정한다. 그림 5에서 ①의 파는 회절되는 파를 나타내고, ②의 파는 한번 반사된 파를 의미한다. 이 파들은 전계강도에 매우 큰 영향을 미치며, 기타 점선으로 나타낸 광학 또는 비광학적 파들의 전력 합은 회절파 및 반사파의 두 전파들에 비해 매우 작은 값이므로 무시한다. 따라서 이 두개 파들의 평균 전계강도는 식 (21)에 의해 계산된다.

2. 평균 전계강도의 근사 방정식

그림 6은 표본길이 내에서의 평균 전계강도를 결정하는 두개의 중요한 전파들에 관한 전파경로를 나타낸다.

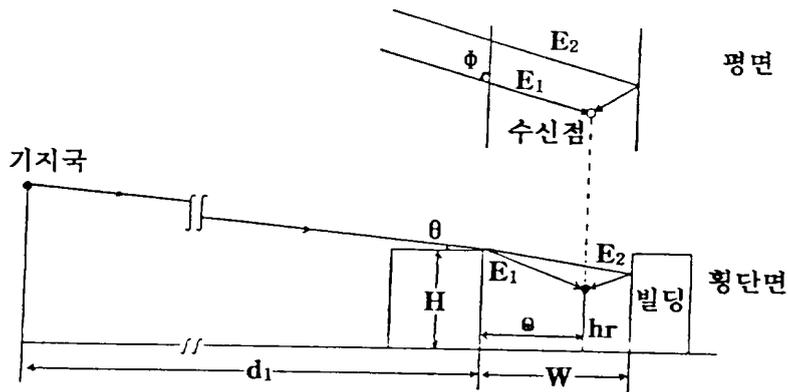


Fig. 6 Transformed path profile

ϕ 는 입사파와 도로가 이루는 각으로 도로각이라고 하며, $0 \leq \phi \leq 90^\circ$ 범위에 있다. 두 전파의 전계강도 E_1 과 E_2 는 다음 사항들을 가정하고 이동체에 적용하여 계산한다.

- ① 전파가 회절되는 빌딩의 지붕은 송신 안테나의 가시거리내에 있다.
- ② 빌딩은 전파 전파방향에 수직으로 놓여 있고, 쇄기형 장애물을 갖는다.
- ③ 지표면 반사는 무시한다.

쇄기형 장애물에서의 회절 전계는 *Fresnel* 방정식에 의해 다음과 같이 근사화 된다.

$$E \approx \frac{0.225E_0}{V} \quad (22)$$

$\theta \approx 0$, $d_1 \gg \omega$, $W - \omega$, H 이면 *Fresnel* 변수 V 도 다음과 같이 근사화된다.

$$V_1 = \sqrt{2}(H - hr) \sqrt{\frac{\sin \phi}{\lambda W}} \quad (23)$$

$$V_2 = \sqrt{2}(H - h_r) \sqrt{\frac{\sin \phi}{\lambda(2W - w)}} \quad (24)$$

여기서 H 는 건물 높이, h_r 는 수신점 높이, W 는 도로 폭, w 는 건물과 수신점 사이의 거리이다. 식 (23)과 (24)를 이용하면 E_1 과 E_2 는 다음과 같이 된다.

$$E_1 \cong \frac{0.225E_0}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda W} / (H - h_r) \sqrt{\sin \phi} \quad (25)$$

$$E_2 \cong \frac{0.225E_0}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda(2W - w)} / L_r(H - h_r) \sqrt{\sin \phi} \quad (26)$$

여기서 E_0 는 자유 공간에서의 전계강도, λ 는 파장, L_r 는 입사파와 반사파의 진폭비로 결정되는 반사손실이다. 따라서 평균 전계강도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} \overline{E} &= \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \\ &\cong \frac{0.225E_0}{\sqrt{2}} \sqrt{\lambda \left(W + \frac{(2W - w)}{L_r^2} \right)} / (H - h_r) \sqrt{\sin \phi} \end{aligned} \quad (27)$$

전파경로와 반사 계수들에 의존하는 반사손실은 $VHIF$ 와 $UHIF$ 영역에서 평균 4~10dB 정도가 된다는 것이 실험에 의해 측정되었다. (Mitobe, 1974) 또한 도로를 횡단하면서 측정한 평균 전계강도는 거의 일정하기 때문에 임의의 도로에서의 평균 전계강도는 도로 중앙에서의 전계강도로 정하고 식 (28)과 같이 근사화 될 수 있다.

$$\overline{E} \cong \frac{0.225}{2} \sqrt{1 + \frac{3}{L_r^2}} E_0 \sqrt{\lambda W} / (H - h_r) \sqrt{\sin \phi} \quad (28)$$

이 식에서 파장을 주파수로 표시하고, dB로 환산하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \overline{E} [dB] \approx & E_0 + 5.8 + 10\log\left(1 + \frac{3}{L_r^2}\right) + 10\log W \\ & - 20\log(H - h_r) - 10\log(\sin\Phi) - 10\log f \end{aligned} \quad (29)$$

여기서 W , H , h_r 는 [m]이고, f 는 [MHz]이다. 도로의 중앙에서 평균 전계강도는 전파전파 변수 W , H , h_r , Φ 와 f 의 근사식으로 표현되며, 이들 각각의 변수는 반사손실과 무관하다.



IV. 전파특성 시뮬레이션

이동통신 시스템에서 전파현상을 예측할 때에는 전파경로상의 장애물과 수신점 주위 주변환경 등을 고려하여 해석해야 한다. 지역적 특성에 맞는 전계강도를 분석하기 위해 제주도를 교외권(조밀한 교외, 교외, 시골, 삼림지, 개활지)과 도심권으로 구분하여 각 전파환경에 적합한 해석 방법을 적용한다. 따라서 1절에서는 평균 전계강도의 통계적 예측을 위한 측정 데이터수를 구하고, 2절에서는 세오름과 견월악 기지국이 커버하는 교외권의 전계강도를 계산한다. 3절에서는 노형 기지국이 커버하는 제주시 도심권에서 전계강도를 구하여 분석한다.

1. 평균 전계강도의 계산

어떤 지역에서의 전계강도는 레일리 페이딩과 대수정규 페이딩을 함께 포함하고 있다. 각 지점별 대표 신호는 레일리 파동은 제거되고 지형으로 인한 대수정규 페이딩은 그대로 유지된 상태의 실제적인 국부 평균이고, 대수정규 분포에 따른다. 적정 구간에 대해 평균과 중앙치 (*median*)로 각 지점별 대표치를 구할 수 있으며, 레일리 페이딩을 포함하고 있는 신호 $r(y)$ 를 다음과 같이 표현하여 일반식을 유도한다.

$$r(y) = m(y)r_0(y) \quad (30)$$

여기서, $m(y)$ 는 대수정규 분포 변수이고, $r_0(y)$ 는 레일리 분포 변수이다. 데이터 길이 L 을 적절히 선택하면 단구간 평균치 $\hat{m}(x)$ 는 다음과 같이 나타낼 수 있

다.

$$\begin{aligned} \widehat{m}(x) &= \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r(y) dy - \frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} m(y) r_0(y) dy \\ &= m(x) \left[\frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r_0(y) dy \right] \end{aligned} \quad (31)$$

식 (31)에서 적분 길이 L 을 선택하여 다음 식이 성립하면

$$\frac{1}{2L} \int_{x-L}^{x+L} r_0(y) dy \cong 1 \quad (32)$$

식 (31)은 식 (33)과 같이 된다.

$$\widehat{m}(x) \cong m(x) \quad (33)$$

적분구간 $2L$ 에 대한 표준편차와 $1\sigma_m$ spread, $2\sigma_m$ spread는 표 1과 같다.

(Lee, 1982)

Table 1. Typical range of standard deviation values and spreads as a function of $2L$

적분구간 $2L$	σ_m	$1\sigma_m$ spread [dB]	$2\sigma_m$ spread [dB]
5λ	0.165	3.00	6.00
10λ	0.122	2.10	4.20
20λ	0.090	1.56	3.14
40λ	0.060	1.00	2.12

표 1에서 적분구간을 크게 할수록 표준편차와 $1\sigma_m$ spread가 작아진다. 적분구간을 40λ 이상으로 하면 표준편차는 작게 할 수 있으나, 지형적 특성인 대수정규

페이딩 효과가 나타난다. 지점별 대표값을 얻기 위하여 일반적인 적분구간은 $10m$ $spread$ 가 $1dB$ 이하가 되는 40λ 를 취한다. 또한 90% 신뢰도를 갖기 위해 이 구간내에서 36~50개 이상의 데이터를 측정하고 평균 전계강도의 통계적 예측을 한다.

2. 교외권의 전계강도

교외권에서의 전계강도를 해석하기 위해 측정지역은 2개 이상의 기지국이 있고, 반복측정을 할 수 있도록 제주도 동·서부 지역을 선택하였다. 제주도는 중앙부에 해발 1950m인 한라산을 중심으로 인구 밀집 지역인 해안 지대까지 완만한 경사를 이루면서 중산간 지역에는 오름들이 곳곳에 산재해 있는 지형적 특성을 갖는다. 따라서 전파 방사 효율을 고려하여 제주도 서부 지역은 세오름 기지국, 동부 지역은 견월악 기지국에서의 전파 서비스 구역으로 하여 전파경로상에 존재하는 장애물의 위치 및 수에 대한 해석을 근거로 수신 전계강도를 구한다.

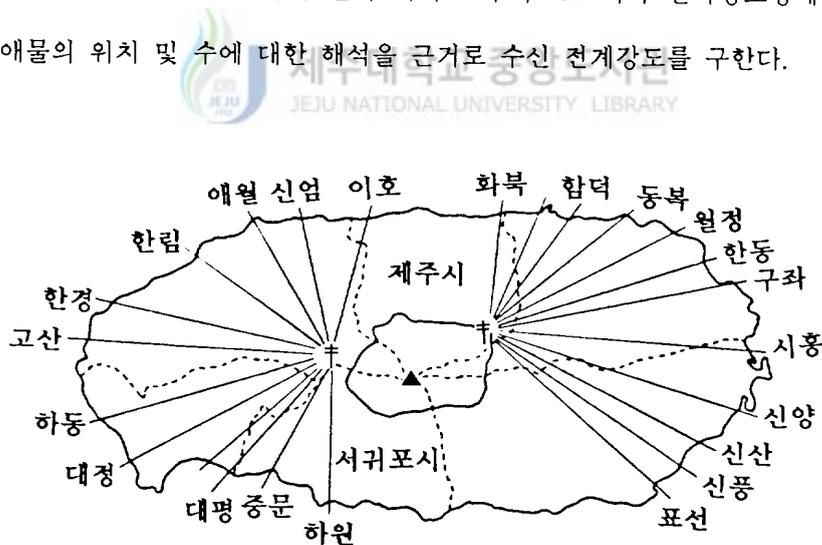


Fig. 7 Base stations and received points in CHEJU' Island

그림 7은 세오름과 견월악 기지국의 위치 및 전파경로상에 영향을 미칠 것으로 예상되는 장애물을 중심으로 서비스 지역을 방사형으로 분할하여 두 기지국에 대해 각각 12개 수신점을 나타내었다. 좌측은 세오름 기지국, 우측은 견월악 기지국이다.

두 기지국에 대한 수신점에서 각각의 전계강도의 이론적 예측은 II장에서 제시한 자유공간에서의 전계강도와 전송손실, 대지반사파에 의한 전계강도, 장애물에 의한 회절손실을 구하여 모두 벡터적으로 더하여 수신점에서의 평균 전계강도를 계산한다.

표 2와 3은 두 기지국에 대한 측정 지점에서 전파환경을 각각 분석하여 지형 유형과 측정 당시의 실험상태를 분류한 것이다. 지형유형은 *CCIR Rep. 1009-1* (1990)에 수록된 논문의 여러 실험 데이터를 근거로 분류하였고, 실험상태는 측정 당시의 전파환경을 의미한다.



Table 2. Propagation environments around received points for the Seorm site

수신점	해발고도 [m]	전파거리 [km]	환경유형	지형유형	측정시 실험상태
이 호	20	26.1	교외	평탄지	2차선 도로, 상록수 도로 양쪽 건물(1~2층) 해수욕장
신 엄	50	27.2	시골	언덕	2차원 도로(굴곡) 도로 양쪽 건물(1층) 바다
애 월	30	29.8	교외	평탄지	2차원 도로 도로 양쪽 건물(1~3층)
한 립	10	34.3	조밀한교외	언덕	2차원 도로, 인도 도로 양쪽 건물(1~3층)
한 경	10	44.7	교외	평탄지	2차원 도로 도로 양쪽 건물(1~2층)
고 산	25	46.4	조밀한교외	평탄지	2차원 도로, 가로수 도로 양쪽 건물(1~3층)
하 동	18	45.0	시골	평탄지	2차원 도로 도로 양쪽 건물(1~2층)
대 정	10	42.9	조밀한교외	평탄지	4차원 도로 도로 양쪽 건물(1~3층)
화 순	40	29.1	교외	언덕	2차원 도로 도로 양쪽 건물(1~3층) 해수욕장
대 평	20	27.3	시골	언덕	산으로 둘러싸인 분지 과수원
중 문	100	20.8	교외	평탄지	2차원 도로, 가로수 관광단지 해수욕장
하 원	110	18.9	산지	평탄지	2차원 도로, 가로수 도로 양쪽 과수원

Table 3. Propagation environments around received points for the Gyunwolak site

수신점	해발고도 [m]	전파거리 [Km]	환경유형	지형유형	측정시 실험상태
화 북	8	18.5	조밀한교외	평탄지	6차선 도로, 인도, 가로수 도로 양쪽 건물(1~4층) 공업단지
조 천	4	21.6	조밀한교외	평탄지	2차선 도로, 인도, 가로수 도로 양쪽 건물(1~3층)
함 덕	5	22.6	조밀한교외	평탄지	2차선 도로, 인도, 가로수 도로 양쪽 건물(1~4층) 해수욕장
동 북	5	27.8	조밀한교외	평탄지	2차선 도로, 인도 도로 양쪽 가옥(1~2층)
월 정	15	35.4	시골	평탄지	2차선 도로, 상록수
한 동	15	38.6	시골	평탄지	2차선 도로 도로 양쪽 가옥(1층) 바다
구 좌	10	41.6	조밀한교외	평탄지	2차선 도로, 가로수 도로 양쪽 건물(1~3층)
시 흥	15	44.2	시골	평탄지	2차선 도로, 가로수 도로 양쪽 가옥(1~2층)
신 양	20	45.4	개발지	평탄지	2차선 도로, 가로수 도로 양쪽 가옥(1층) 해수욕장
신 산	20	41.3	교외	평탄지	2차선 도로, 가로수 도로 양쪽 건물(1~2층)
신 풍	20	40.2	개발지	평탄지	2차선 도로, 가로수
표 선	10	39.3	조밀한교외	평탄지	2차선 도로, 작은가로수 도로 양쪽 건물(1~3층) 해수욕장

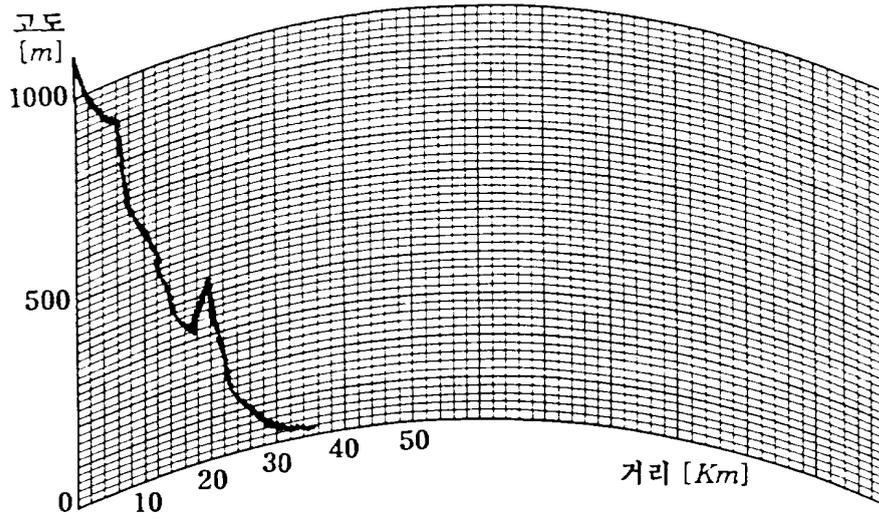


Fig. 8 Profile for Hankyung

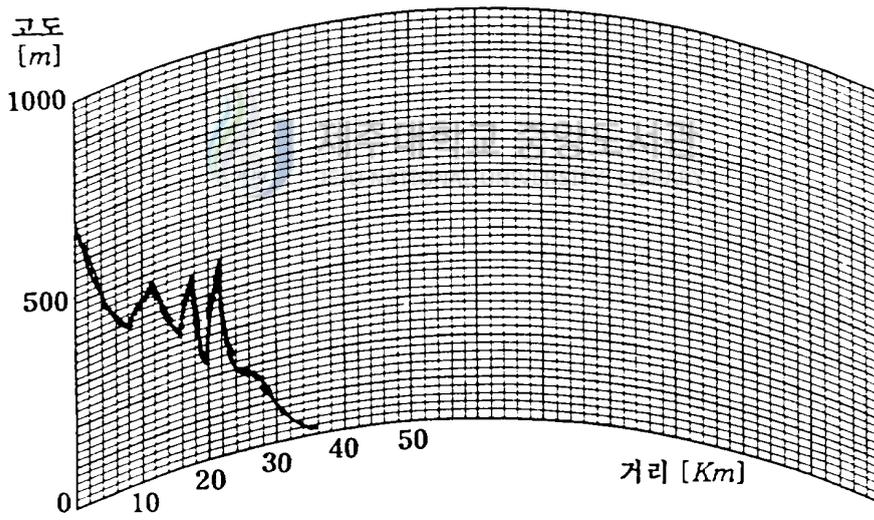


Fig. 9 Profile for Shihung

그림 8과 9는 지구 곡률과 등가 지구반경 계수를 고려한 한경과 시흥 지역의

지형 단면도이다. 그림 8에서 한경 지역은 세오름 기지국(1212m)에서 전파거리가 20Km 되는 지점에 해발 440m인 장애물이 전파경로상에 영향을 미칠 것으로 보이고, 단일 쇄기형 장애물로 간주하여 해석한다. 반면 그림 9에서 보는 것과 같이 시흥 지역은 건월악 기지국(700m)으로 부터 12, 18, 22Km 지점에 각각 해발 480, 460, 480m인 3개의 다중 장애물에 대한 해석이 필요하다.

표 4는 교외권 전계강도 측정에 사용된 두 기지국의 제원이다.

Table 4. Parameters of transmitter in suburban area

기지국 제원	세오름 기지국	건월악 기지국
위 치	동경 126° 28' 34" 북위 31° 34' 19"	동경 126° 36' 54" 북위 32° 29' 57"
송신점고도	1212m	700m
E. R. P.	112W	112W
반송 주파수	322.075MHz	322.075MHz
안테나 종류	슬리브 코리니어 안테나	슬리브 코리니어 안테나
안테나 이득	5dBi	5dBi
편 파	수직	수직

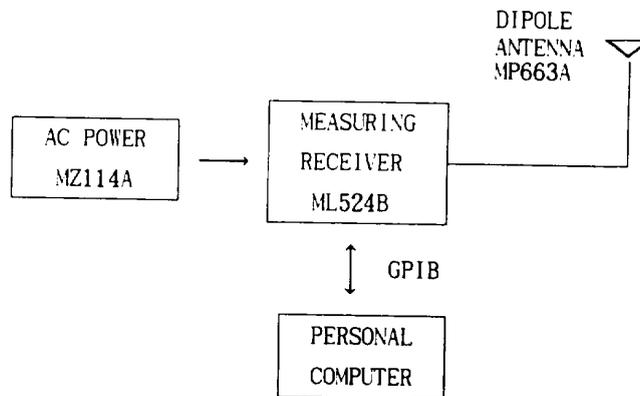


Fig. 10 Field strength measuring system in receiver

또한 전계강도 측정은 그림 10과 같은 시간별로 측정이 가능한 전파 측정 시스템을 사용하여 각 기지국에서 방사 형태로 분할한 12개 수신점에서 20~40 Km/h의 속도로 도로를 따라 이동하면서 전계강도를 36~50회 반복 측정하고, 수신점에서의 평균 전계강도는 통계적 예측을 했다.

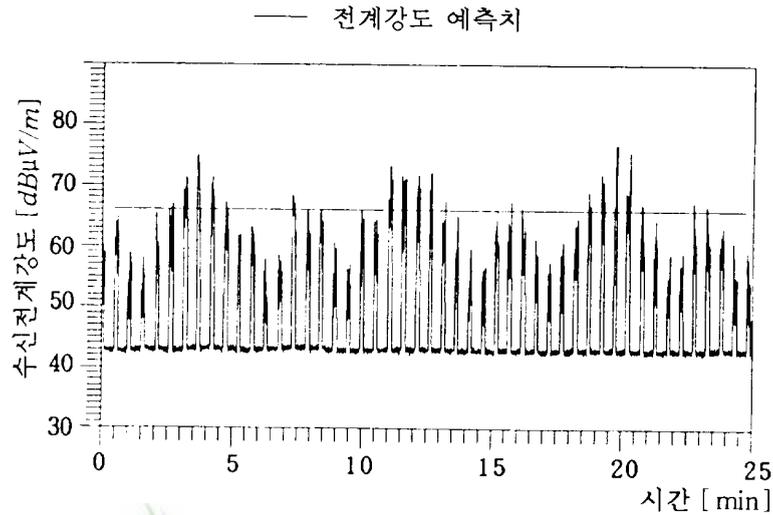


Fig. 11 Measured values and predicted values for Hankyung

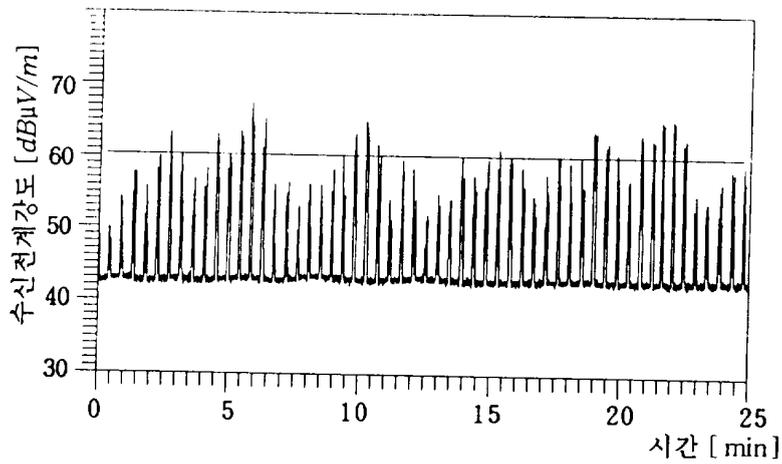


Fig. 12 Measured values and predicted values for Shihung

그림 11과 12는 한경과 시흥 지역에서 측정 회수에 따른 수신 전계강도의 측정치와 예측치를 나타낸 것이다. 한경 지역은 전파경로상에 영향을 주는 장애물이 거의 없고 수신점 근처 환경 상태는 시골로, 측정 결과는 시간 및 거리에 따른 전계강도의 변화폭이 좁다. 반면 시흥 지역은 전파경로상에 장애물이 많아 수신점에 도달하는 동안 심한 감쇠가 예상되며, 수신점 주위 환경은 나무가 늘어선 도로이다. 따라서 거리를 이동하며 반복 측정할때 회수에 따른 측정치의 변화가 심하다.

□ 전계강도 최대 측정치, ⊙ 전계강도 예측치, ■ 전계강도 최소 측정치

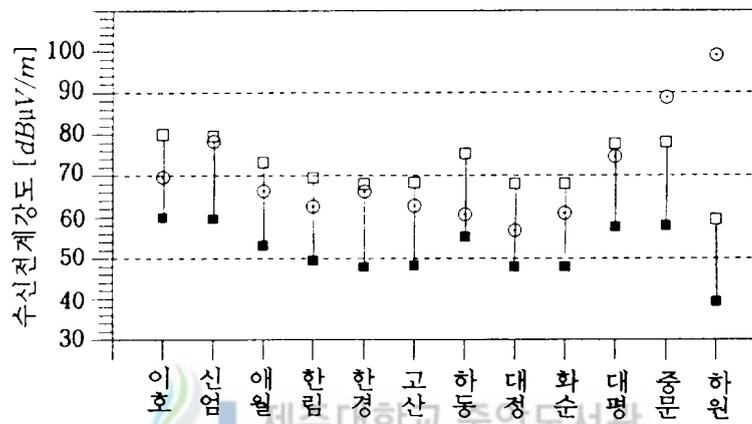


Fig. 13 Received field strengths in the Seorm site

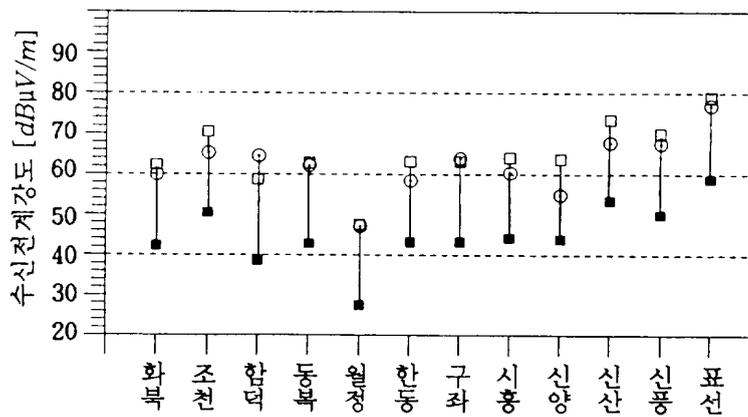


Fig. 14 Received field strengths in the Gyunwolak site

그림 13과 14는 세오름, 건월악 기지국에 대한 평균 전계강도의 예측치와 측정치를 비교하였다. 세오름 기지국을 중심으로 측정된 수신 전계강도는 40~90 dB μ V/m, 건월악 기지국에서는 30~80 dB μ V/m 사이의 값을 보이고 있다. 중문과 하원 지역은 예측치와 측정치간 차이가 수십 dB μ V/m로 수신점 주위 전파환경을 세밀히 고려하면 보다 정확한 예측이 기대된다. 또한 시흥 지역인 경우, 전파경로상의 장애물의 영향으로 수신 전계강도가 타지역에 비해 낮다.

3. 도심권의 전계강도

도심지에서의 수신 전계강도는 수신점 근처에 있는 여러 형태의 장애물과 신호 페이딩을 야기하는 다중경로 현상에 의해 좌우된다. 특히 레일리 페이딩은 전파경로에 따른 지형적인 작은 변화에 의해 나타나므로 지역에 따른 건물의 밀집도, 건물 높이, 차량, 가로수 등 인공적인 환경요인을 고려한다.

표 5는 도심지 전파현상을 고찰하기 위한 노형 기지국의 제원이다.

Table 5. Parameters of transmitter at Nohyung

기지국 제원	노형 기지국
위 치	동경 126° 28' 53" 북위 33° 16' 14"
송신점고도	116m
송신전력	100W
반송 주파수	322.075MHz
안테나 종류	슬리브 코리니어 안테나
안테나 이득	5dBi
편 파	수직

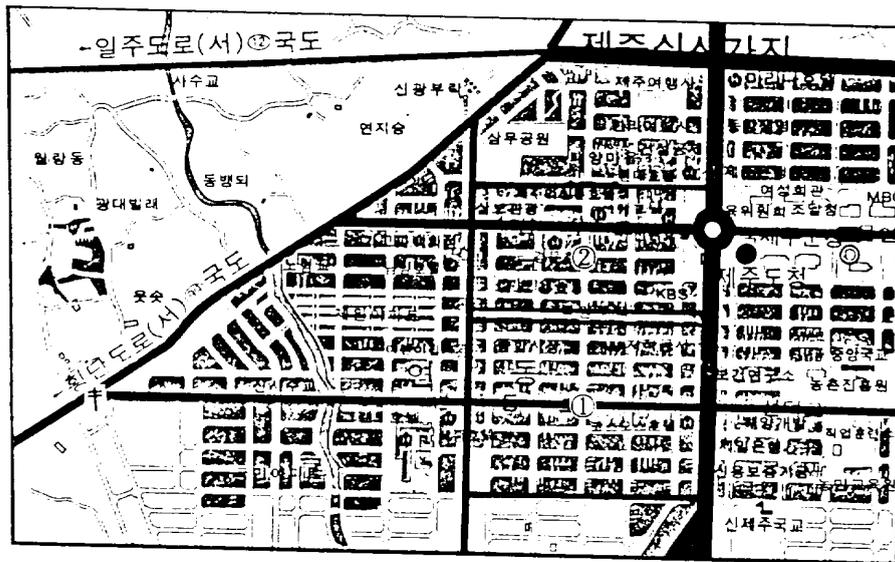


Fig. 15 Nohyung Base station and sample areas

그림 15는 노형 기지국과 측정을 위한 표본지역을 나타낸 것이다. 측정방법은 20~40Km/h의 속도로 주행측정을 하며, 신제주 지역에서 블록 단위로 세분하여 2개 표본지역의 전계강도를 반복해서 측정하였다. 도심지에서의 전파전파는 기지국과 수신점간 전파경로에서 직접파가 도래하는 경우는 드물고 주로 건물, 지면, 차량에 의한 여러 방향의 반사파와 회절파로 구성된다. 이 경우 전파경로는 수신점의 위치에 따라 달라지므로 건물을 그림 16에서 처럼 모델링을 하여 분석한다.

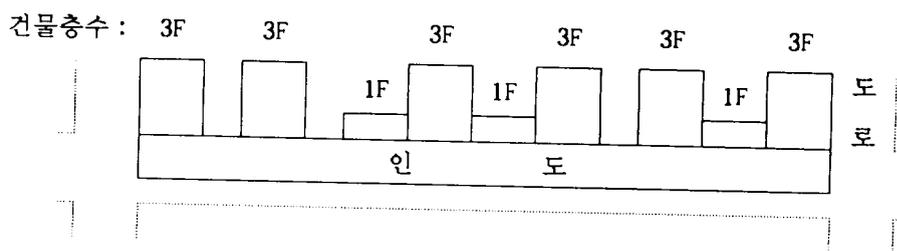
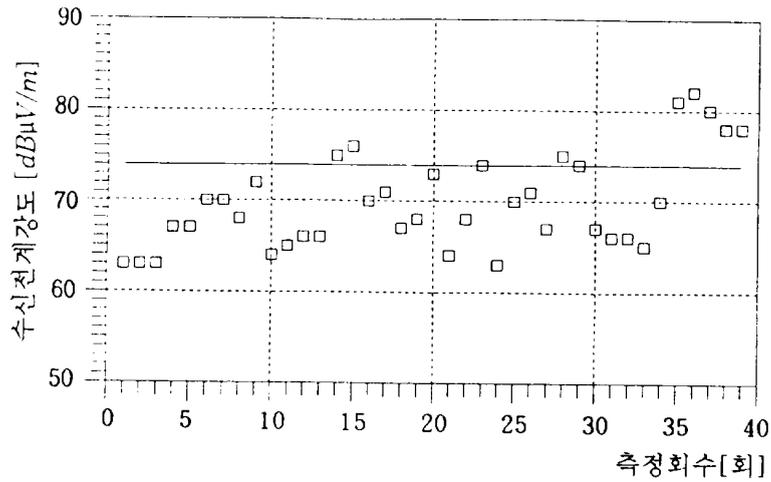
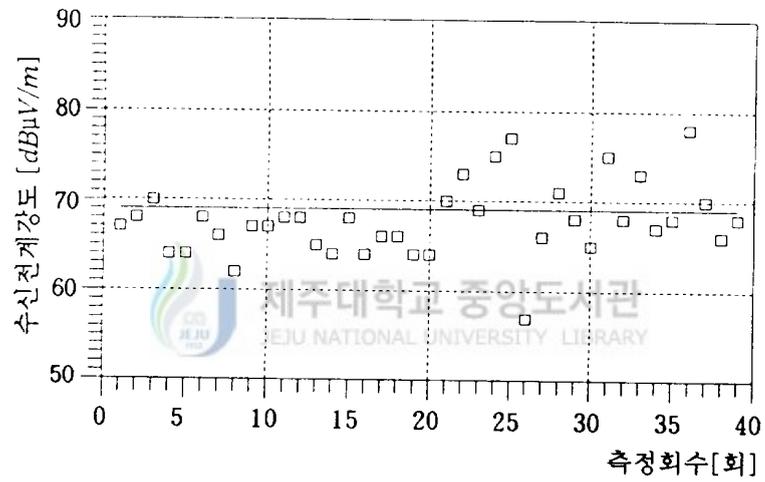


Fig. 16 The building modeling in measured area



(a)



(b)

— 전계강도 예측치, □ 전계강도 측정치

Fig. 17 Received field strengths at Sincheju area

(a) Sample area ①, (b) Sample area ②

그림 17은 신제주에 위치한 노형기지국을 중심으로 그림 16에 나타난 2개 표본

지역에 대한 평균 전계강도의 예측치와 측정치이다. 수신 전계강도의 예측치는 각각 $74 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$, $69 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 의 값이 되지만 도심지에서는 주위 자연적, 인공 환경에 의한 감쇠가 야기되고 각 표본지역에 따라 건물의 형태, 밀집도, 높이, 도로 폭의 차이로 측정치는 $60 \sim 80 \text{ dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 의 분포를 갖는다.

V. 결 론

VHF/UHF대 육상 이동통신에서 특정한 전파지형(도심지, 교외)에서의 평균 전계강도를 해석하기 위해서는 직접 측정된 자료를 통계처리하여 전계강도를 예측하는 경험적 방법을 사용하여 왔다. 그러나 기존의 측정방법에는 명확한 측정구간에 대한 범위 제한이 없기 때문에 수신위치의 전파환경 및 장애물에 따른 다른 데이터와 비교, 분석하기에는 다소 미흡한 점이 있다.

본 연구에서는 육상 이동통신에서 발생하는 다중경로 전파특성을 정확하게 예측하기 위해서 직접파, 회절파 및 반사파의 영향을 고려한 평균전계강도 및 전파 전달손실을 모델링하고 이론적인 식을 제시했다. 이 식에 의한 알고리즘은 수신점에서의 평균전계강도가 지형적 특성으로 인한 전파경로상의 장애물 수와 위치 그리고 전파거리에 영향을 받음을 확인하였다. 교외권에서 두 기지국에 대해 각각 수신점에서의 이론적 예측결과를 실제 측정치와 비교, 분석하여 그 결과를 모델링하는 과정에서 고려하지 않은 사항(수목, 기후 등)으로 인해 다소의 오차가 발생하였다. 그러나 본 연구에서 제시한 전파모델의 이론식을 적용한 육상 이동통신의 전파특성에 대한 교외권에서 전계강도 계산식의 타당성을 입증하였다.

복잡한 전파환경을 정확히 해석하기 위하여 도심지에서의 전계강도 계산은 건물 높이, 도로 폭 등을 고려한 근사방정식을 사용하여 신제주 지역에서 건물에 대한 모델링을 한 후, 평균 전계강도를 계산하였다. 이 경우 건물 높이에 따라 전계강도가 달라지므로 반복 측정에 의한 통계적 예측 방법을 사용하여 수신점에서의 전계강도를 나타내고 이론치와 비교, 분석하였다.

이론적인 예측방법은 경제적 측면과 전파자원의 효율적 운용면에서 축적지도

와 지형데이터만으로도 최적의 기지국 설계가 될 수 있도록 실제 서비스 영역을 예측케 하고, 디지털 이동통신 시스템 설계시 다중경로 지연특성 연구에 활용할 수 있는 전파예측에 대한 지속적인 연구가 필요하다.



참 고 문 헌

- David Parsons, 1992, The Mobile Radio Propagation Channel, John Wiley & Sons, Chap.4.
- Deygout J. 1966, "Multiple knife-edge diffraction of microwaves," IEEE Trans. Vol.AP-14, pp.480~489.
- Epstein J. and Peterson D.W. 1953, "An experimental study of wave propagation at 850Mc.," Proc.IRE Vol.41, No.5, pp.595~611.
- F. Ikegami and S.Yoshida, 1980, "Analysis of multipath propagation structure in urban mobile radio environments," IEEE Trans. Ant. Propagat., Vol.AP-28, No.4, pp.531~537.
- Fumio Ikegami, 1991, "Theoretical prediction of mean field strength for urban mobile radio," IEEE Tran. Ant. Propagat., Vol.39, pp.299~302.
- J. Durkin, 1977, "Computer prediction of service area for VHF and UHF land mobile radio services," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.VT-26.
- J.J. Egli, 1957, "Radio Propagation above 40 MC over irregular terrain," Proc. IRE. Vol.45, No.10, pp.1383~1391.
- M. Hata, 1980, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," IEEE Trans. Veh. Technol., Vol.29, No.3, pp.317~325.
- Millington. G. Hewitt, R. and Immirzi, F. S. 1962, "Double knife-edge diffraction in field strength predictions," IEE Monograph 507.E

-
- P. Beckman and A. Spizzichino, 1991, Eds. The Scattering of Electromagnetic Waves from Rough Surface, New York:Pergamon, pp.241.
 - Picquenard A., 1974, Radio Wave Propagation, Wiley, New York.
 - R. E. Edwards and J.Durkin, 1962, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems," Proc. Inst. Elec. Eng., Vol.116, No.9, pp.338~344.
 - S.Mitobe and S.Ito, 1974, "Measurement of VHF reflection from precast concrete walls," NIIK Tech. REP. pp.103~109.(in Japanese)
 - Vogler, L E., 1982, "An attenuation function for multiple knife-edge diffraction," Radio Sci., Vol.17, No 6. pp. 1541~1546.
 - Willam C. Y. LEE., 1980, "Studies of Base-Station Antenna Height Effects on Mobile Radio", IEEE Trans., Veh. Technol., Vol.VT-29, pp.252~260.
 - Y.Okumura, 1968, "Field Strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service," Rev. Elec. Commun. Lab., Vol.116.



본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회 논문집

- 1) 이청민, 이창진, 강부식, 이봉근, 장재성, “UHF대의 다중경로 현상에 대한 전파 특성”, 한국통신학회 하계종합 학술발표회 논문집, pp. 483~486, 1994
- 2) 이청민, 강승남, 이창진, 강부식, 장재성, “도심지 건물에 의한 전계강도 측정”, 대한전자공학회 한국통신학회 제주지부 학술발표회 논문집, pp. 34~37, 1994



感謝의 글

學位科程동안 끝임없는 사랑과 指導를 아끼지 않으시고 學問의 길로만 精進하도록 이끌어 주신 指導教授 張宰成 教授님께 깊은 感謝를 드리며 忠告와 細心한 配慮로써 본 論文의 審査를 맡아 주신 金興洙 教授님, 梁斗榮 教授님께도 아울러 感謝드립니다. 또한 工學道의 참된 길을 가르쳐 주신 李鎔鶴 教授님, 文建 教授님, 林載允 教授님, 康鎭植 教授님께도 深深的 感謝를 올립니다.

끈끈한 정을 나누며 학문의 同伴者 或은 助言者로서 많은 도움을 준 마이크로파 연구실의 高興眞 先輩님, 康富植 先輩님을 비롯한 모든 先輩님에게 고마움을 표하며, 지난 1년간 사랑으로 함께 지내온 昌珍 오빠, 承男 오빠께도 고마운 마음을 전합니다. 그리고 마지막 學校生活까지 최선을 다하도록 配慮해 주신 濟州 移動通信 家族들에게도 感謝를 드립니다.

끝으로 오늘이 있기 까지 念慮해 주시고 物心兩面으로 돌보아 주신 아버지, 큰 언니 內外분, 작은 언니 內外분께 精誠이 담긴 이 글을 전합니다. 그리고 남동생 尙映, 尙勳과도 論文이 完成된 기쁨을 함께 나누고 싶습니다. 어려운 시절에 많은 도움을 주신 사촌 오빠 內外분들께도 감사드리며, 친구들의 깊은 우정도 잊지 않겠습니다. 끝으로 살아계셨으면 제일 기뻐하셨을 어머님께 이 論文을 바칩니다.