
碩士學位論文

濟州 西部地域의 地形特性을 考慮한
電波 傳播 豫測



濟州大學校 大學院

제주대학교 중앙도서관
通信工學科

JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

李 權 益

1996 年 12 月

濟州 西部地域의 地形特性을 考慮한 電波 傳播 豫測

指導教授 金 興 洙

李 權 益

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함

1996年 12月

李 權 益의 工學 碩士學位 論文을 認准함



審査委員長

李 鎔 鶴

委員

康 鎭 植

委員

金 興 洙

濟州大學校 大學院

1996年 12月

**Mobile Radio Wave Propagation with
Terrain Characteristics in The Western
Area of Cheju**

Kwoun-Ig Lee
(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

1996. 12

목 차

Abstract	1
I. 서론	2
II. 전파 예측 모델	5
1. 자유공간 전파 모델	5
2. 평탄한 대지면에서의 반사 모델	6
3. 실제 지형에서의 반사모델	11
4. 회절에 의한 전파 모델	13
1) Fresnel 반경	13
2) Fresnel zone	15
3) 회절 손실	16
III. 측정 시스템 및 측정 환경	19
1. 측정 시스템	19
2. 측정 환경	20
IV. 측정 결과 및 고찰	23
1. 직접파, 반사파 모델	23
2. 회절파 모델	30
V. 결론	36
참 고 문 헌	37

Abstract

In the mobile radio communication systems, the propagation of energy from the transmitter to receiver occurs in various modes such as by direct, reflected and diffusely scattered paths. In this paper, we present the formula to find field strength under the terrain configurations of the western area of Cheju. The reflection coefficients are obtained by several experiments. The propagation model which includes the terrain configurations and reflection coefficients are presented. This model is used to find the field strength. This prediction model play an important role in planning cell site and service area in western area of Cheju.



I. 서론

이동 통신 시스템 설계에 있어서 수신전계강도에 대한 예측은 서비스 가능 지역을 결정하고 제한된 주파수 자원의 효율적인 사용을 위해서 반드시 필요하며, 일정 수준 이상의 수신 전력을 확보하도록 송신 기지국의 위치와 송출 전력을 결정할 뿐 아니라 셀의 모양 및 크기를 결정하는데 있어 매우 중요한 역할을 한다. 지금까지 상당히 많은 예측 모델이 개발되었으나 측정 지역에 따라 예측치가 다르게 나타날 뿐만 아니라 대부분 일반적인 측정 환경에 대해서 예측 모델이 제시되었다. 따라서 전파 환경이 다양하고 고려해야 할 손실 인자가 많은 지형에서는 그 지역의 환경 조건에 맞는 수신전계강도 예측 모델 개발이 필요하다.

이동 통신 시스템의 전파 전파 경로상에서 수신 신호를 감쇠시키는 주된 요인은 산, 언덕, 수면, 삼림지역과 같은 자연적인 지형요소와 건물과 같은 인공 구조물의 요소가 있다. 이동 전파 환경에서 전파는 직접파, 반사파, 회절파로 구분되며 건물이나 산, 언덕과 같은 장애물이 있는 환경에서는 회절파의 영향이 두드러지게 나타난다. 따라서 전파 전파를 해석하기 위해 주변 환경에 따라 크게 몇가지 환경으로 구분된다. 큰 도로 주변에 높은 건물들이 있는 도심지(urban), 나무와 집들이 산재된 마을이 있는 교외지(suburban), 주변은 평탄하고 언덕과 낮은 산이 있는 시골지(rural), 농장과 넓은 들판이 있고 전파 경로에 큰 나무와 건물과 같은 장애물이 없는 개활지(open area)와 같은 실외(outdoor)환경과 건물의 내부 또는 건물 내부의 각 층별로 구분된 실내(indoor)환경으로 구분된다.(Okumura 등, 1968) 특히 실외 환경인 도심지에서는 인공 구조물과 도로의 복잡성 때문에 전파 현상을 예측하기가 어렵고 교외지나 시골지 같은 산악과

언덕으로 이루어진 지역에서는 불규칙한 오름과 굴곡이 산재해 있기 때문에 회절 현상과 지형굴곡도를 고려해야 한다.(Ibrahim과 Parsons, 1983)

전파 전파 환경에서 전파는 전리층파, 대류권파, 지상파로 구분할 수 있으며 일반적인 이동 전파 환경에서의 전파는 지상파로서 송신점에서 수신점으로 직접 도달하는 전파인 직접파, 대지 또는 해면에서 한 번 반사한 다음에 수신점에 이르는 전파인 반사파, 지표면을 따라 수신점에 도달하는 전파인 지표파, 평면상이 아닌 수신점으로 회절 작용에 의해서 이르는 전파인 회절파로 구분할 수 있다.(Shibuya, 1987)

경로 손실 예측 모델에는 주파수에 따라 달라지는 지형의 불규칙성 인자를 고려한 Egli모델(Hata, 1980), 컴퓨터에 지형을 데이터 베이스화하여 경로 프로파일로부터 경로 손실을 구하는 JRC모델(Parsons, 1992), 지구곡률과 장거리 경로에 대한 대류권의 영향을 고려한 Blomquist-Ladell모델(Jakes, 1974), 안테나 높이, 지표면의 굴절계수, 대지상수, 기후 등의 영향을 고려한 Longley-Rice모델(Longley와 Rice, 1988), 여러 나라에서 실험적으로 수집된 데이터의 통계적 해석으로부터 전계강도 예측 곡선을 구하는 CCIR모델(CCIR, 1978), 일본의 동경 지역을 대상으로 측정 데이터에 근거하여 거리와 주파수에 따른 보정인자, 지형 차이에 의한 보정인자, 안테나 높이 변화에 따른 보정인자를 이용하여 경로 손실을 구하는 Okumura모델(Okumura 등, 1968) 등이 제안되었다. 한편 국내에서의 연구는 지형 특성을 고려한 경로 손실 예측(이형수 등, 1995), 실내에서의 전파 특성, 터널 내에서의 전파 특성(김경재 등, 1995), 페이딩 현상을 설명하기 위한 통계적 예측(송기홍 등, 1995), 다중 경로 전파 특성에 대해 다양하고 광범위하게 진행되고 있다. 그러나 이러한 경로 손실 예측 모델들은 대개 방대한 현장 측정을 통하여 얻은 통계적 데이터에 기인

하며 경로 손실 예측 모델이 적용된 환경에는 적합하지만 적용되는 환경이 바뀌면 잘 맞지 않는다. 따라서 특정 지역의 지형 특성에 맞는 손실 인자의 추정과 경로 손실 모델이 필요하다.

본 논문에서는 제주 지역의 지형 특성을 고려한 전파 전파 예측을 위해 324.075MHz의 송신 주파수에서 직접파, 반사파와 회절파를 고려한 제주도 교외 지역에 대한 전계강도 예측 방법을 제시한다. 자유공간 전파 전파식을 기본으로 대지면 반사파의 정확한 반사점을 계산하고 반사 표면의 영향, 반사 표면의 굴곡도, 반사계수의 크기 등을 고려한 반사파에 의한 이론적 반사 모델을 실제 지형에 적합한 반사 모델로 변환한 수신전계강도와 전파 경로상의 장애물에 의한 회절 손실을 구한 수신전계강도를 측정치와 계산치를 비교, 분석함으로써 제주도 서부 지역에서의 예측 모델의 적합성을 입증한다. 본 논문은 I장에서는 이동 전파 환경에서의 전파 예측의 필요성과 연구의 방향을 제시하고, II장에서는 전파 예측 모델을 이론적으로 해석한다. III장에서는 측정에 사용된 시스템 및 측정환경에 대해 설명하며, IV장에서는 측정치와 예측치를 비교, 분석한다. 마지막으로 V장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 전파 예측 모델

이동 전파 환경에서 직접파는 자유공간 전계강도식을 이용하여 구할 수 있고 반사파는 대지면의 전기적 특성과 송수신점 안테나 높이, 주파수를 고려한 대지면의 반사계수와 전파 경로상의 지형의 형태를 고려하여 구할 수 있고 회절파는 전파 경로가 비가시거리인 조건에서 산악이나 인공 구조물로 인한 회절 현상을 이용하여 구할 수 있다.

1. 자유공간 전파 모델

자유공간에서의 전송경로는 이상적인 대기 또는 진공상태이고 전파 에너지가 흡수 또는 반사되는 장애물이 없는 직선경로이다. 전자파를 전송하는 안테나에서 유효면적에 수신된 전력은 다음과 같이 쓸 수 있다.(Parsons, 1992)

$$P = W A_e \quad (1)$$

여기서 A_e 는 수신안테나 유효면적으로서 다음과 같다.

$$A_e = \frac{\lambda^2 G}{4\pi} \quad (2)$$

송신 안테나로 부터 모든 방향으로 거리 $d[meter]$ 에서의 전력밀도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$W = \frac{P_t G_t}{4\pi d^2} \quad (3)$$

여기서 P_t 는 송신 전력이고 G_t 은 송신 안테나 이득이다. 그리고 d 는 송수신점 간 수평거리이다. 식(2)와 식(3)으로 부터 유효전력은 다음과 같이 구할 수 있다.

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

전계의 세기와 전력밀도의 관계로 부터 자유공간에서의 전계의 세기 E_0 는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E_0 = \frac{\sqrt{30 G_t P_t}}{d} \quad [V/m] \quad (5)$$

2. 평탄한 대지면에서의 반사 모델



근거리 전파 경로는 지구의 곡률을 무시한 평탄한 대지로 간주된다. 반사 표면이 평탄하면서 전파 경로가 가시거리인 전파 환경에서 대지 반사파가 존재할 때 수신 전계강도는 다음과 같이 직접파와 대지 반사파의 벡터 합으로 구할 수 있다.

$$\vec{E} = \vec{E}_d + \vec{E}_r \quad (6)$$

\vec{E}_d 를 기준 벡터라 하면 식(6)은 다음과 같이 바꾸어 쓸 수 있다.

$$\vec{E} = \vec{E}_d + \vec{E}_r e^{-j\theta} \quad (7)$$

여기서 E_d 는 직접파의 크기, E_r 은 반사파의 크기이며 θ 는 직접파와 반사파의 위상차이다. 따라서 벡터 \vec{E} 의 크기는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = \sqrt{E_d^2 + E_r^2 - 2 E_d E_r \cos(\theta - \pi)} \quad (8)$$

식(8)을 직접파와 반사파의 실효 반사계수 ρ_e 를 이용하여 표현하면 다음과 같다.

$$E = E_d \sqrt{1 + \rho_e^2 - 2 \rho_e \cos(\theta - \pi)} \quad (9)$$

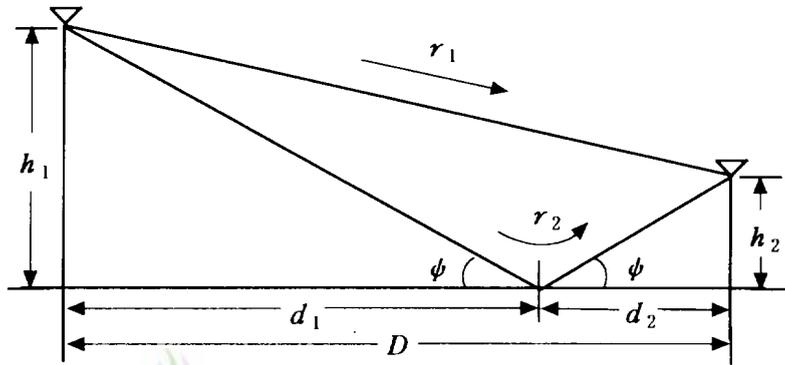


Fig. 1. Smooth-flat ground model

Fig. 1은 평탄한 대지면상의 전파 전파 현상을 나타내며 평탄한 대지면상의 전파 방정식은 식(9)에서 직접파 성분 E_d 를 자유공간 전계강도 E_0 로 바꾸고 실효 반사계수 ρ_e 를 대지 반사계수 R 로 바꿈으로써 수신전계강도는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$E = E_0 \sqrt{1 + R^2 - 2R \cos(\theta - \pi)} \quad (10)$$

반사파는 대지면의 반사로 인해 위상 변화가 생김으로 반사계수는 다음과 같이 표

현된다.

$$\vec{R} = R e^{-j\phi_R} \quad (11)$$

여기서 ϕ_R 은 반사면에서 반사할때 발생하는 위상 지연각이다. 따라서 반사파의 전체 위상 지연각 θ 는 ϕ_R 과 경로길이 차에 의한 지연각 δ 의 합으로 다음과 같이 구해진다.

$$\theta = \delta + \phi_R \quad (12)$$

따라서 수신 전계강도는 다음과 같다.

$$E = E_0 \sqrt{1 + R^2 - 2R \cos(\delta + \phi_R - \pi)} \quad (13)$$

송·수신점간 거리 D 와 송·수신 안테나 높이를 각각 h_1, h_2 라 하면 직접파와 대지 반사파의 경로길이 차 Δ 와 지연각 δ 는 다음과 같은 관계로 부터 구해진다.

$$\Delta = \frac{2h_1h_2}{D} \quad (14)$$

$$\delta = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{4\pi h_1h_2}{\lambda D}$$

평탄한 지표면의 반사계수 R 은 수평편파와 수직편파에 대해 다음과 같이 구할 수 있다.

$$R_{HP} = \frac{\sin \phi - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}}{\sin \phi + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}} \quad (15)$$

$$R_{VP} = \frac{\epsilon_c \sin \phi - \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}}{\epsilon_c \sin \phi + \sqrt{\epsilon_c - \cos^2 \phi}}$$

여기서 상대 유전 상수 ϵ_c 는 $\epsilon_r - j60\sigma\lambda$ 이다. ϕ 는 Grazing angle이며, 편파 특성, 주파수와 대기의 전기적 특성에 따라 변화한다. Table 1은 대지의

전기적 특성에 따라 평균대지, 건조한 대지, 습한 대지일 때의 반사계수와 개활한 지역에서 대지면 상태가 돌이 많고 메마른 대지인 환경 1과 풀이 많고 습한 대지인 환경 2에서의 측정 데이터로부터 산출한 대지의 전기적 특성을 나타내었다.

Table 1. Electrical characteristics of the reflection surface

Surface	Dielectric constant(ϵ_r)	Conductivity(σ)
Poor ground(dry)	4 ~ 7	0.001
Typical ground	15	0.005
Good ground(wet)	25 ~ 30	0.02
Environment 1	14.9	0.01
Environment 2	30	0.03

Fig. 2는 송신 주파수가 324.075MHz일 때 입사각에 따른 반사계수의 크기와 위상을 나타내었다. 측정에 의한 환경1과 평균 대지, 환경 2와 습한 대지의 반사계수는 거의 일치함을 알수 있으며 환경 1에 대한 유전상수 $\epsilon_r=14.9$, 표면의 도전을 $\sigma=0.01\text{ mho/m}$ 를 적용하였다. Fig. 2에서와 같이 $\phi=0$ 일때는 반사파와 입사파의 크기는 같고 위상은 180° 달라지나 ϕ 가 증가할수록 반사파의 크기와 위상은 급격히 감소한다. 브레스터 각(Brewster angle)에서 반사파의 크기는 최소로 되고 위상은 -90° 로 된다. 입사각이 그보다 커지면 반사파의 크기는 다시 증가하고 위상은 0° 에 접근한다.(Hess, 1993)

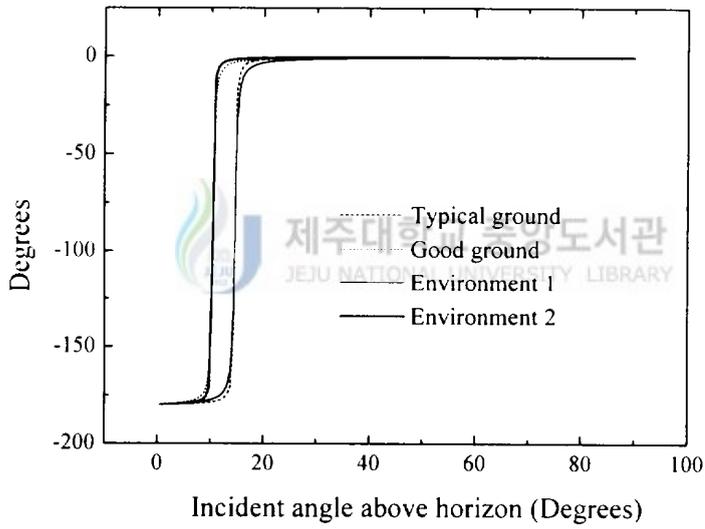
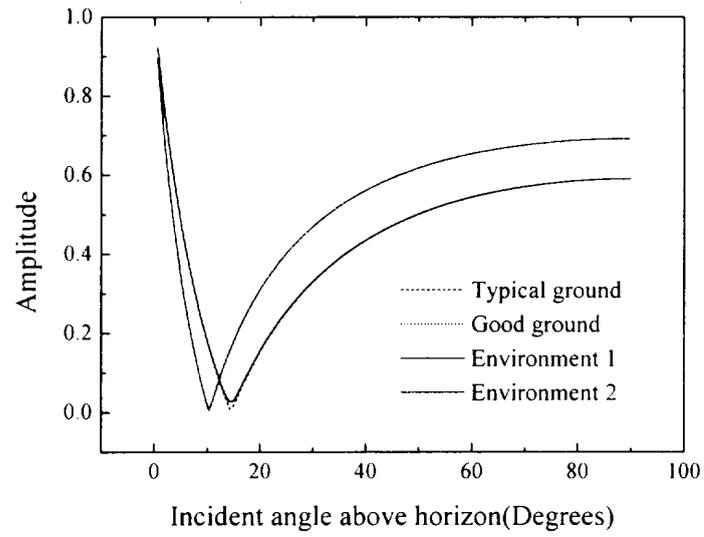


Fig. 2. Magnitude and phase of the reflection coefficient for vertical polarization

3. 실제 지형에서의 반사모델

실제의 전파 전파 환경에서 반사는 평탄한 대지면에서 반사가 이루어지지 않고 송·수신점 사이에 굴곡이 있고 점차적으로 지형의 해발고가 감소하는 형태의 경사면상에서 반사가 이루어진다. 따라서 평탄한 대지 모델을 실제 지형 특성의 변화에 적합한 모델로 변환 하여야 한다.

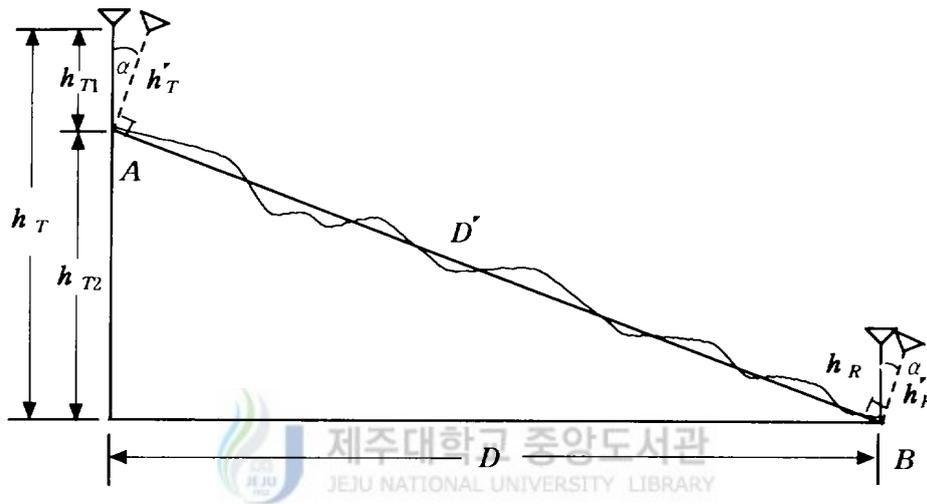


Fig. 3. Reflection model for general slope of terrain

Fig. 3은 송·수신점 사이의 실제 지형의 경사도를 프로파일을 이용하여 나타내었다. 평면대지 모델이나 구면대지 모델에서 반사점은 거리가 D 인 수평면상에서 형성되지만 대부분의 실제 지형에서는 경로 AB 의 경사면상에서 반사점이 형성되고 실제 송·수신점간 거리, 송·수신 안테나 높이, 반사각, 반사계수등이 변하게 된다. 지형의 경사도는 송·수신점간의 실제 지형의 굴곡 변화량에서 1차

최소자승법의 회귀 분석을 통하여 직선적으로 구할 수 있으며 송·수신점 사이의 실제 지형은 평탄한 원래의 대지면에 대해 일정한 각 α 를 갖는 평면으로 나타낼 수 있다.

지형 경사도로 인해 송·수신 안테나 높이는 h'_T , h'_R 로 변환되고 송·수신점간 거리 D 는 D' 으로 바뀌게 되며 이들 파라미터는 다음의 관계로부터 구해진다.

$$\alpha = \tan^{-1}\left(\frac{h_{T1}}{D}\right)$$

$$h'_T = \frac{h_{T2}}{\cos \alpha} = \frac{(h_T - h_{T1})}{\cos \alpha} \quad (16)$$

$$h'_R = \frac{h_R}{\cos \alpha}$$

$$D' = \frac{D}{\cos \alpha}$$

따라서 변환 파라미터에 의한 경로길이차 Δ 와 지연각 δ 는 다음과 같이 구해진다.



제주대학교 중앙도서관
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

$$\Delta' = \frac{2h'_T h'_R}{D'} \quad (17)$$

$$\delta' = \frac{2\pi\Delta'}{\lambda} = \frac{4\pi h'_T h'_R}{\lambda D'}$$

식(17)를 실제 지형 반사모델에 적용하면 수신전계강도는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$E = E_0 \sqrt{1 + R^2 - 2R \cos(\delta' + \phi_R - \pi)} \quad (18)$$

4. 회절에 의한 전파 모델

이동 무선통신 시스템에서는 차량 주변의 자연적 또는 인공적인 장애물에 의해 기지국과 이동체 사이에 가시거리 통신이 항상 이루어질 수는 없다. 이런 환경에서 신호의 품질을 열화시키는 요인은 페이딩, 경로손실, 지연확산, 차폐등이 있다. 이때 차량이 이동하면서 수신하는 전파 전력은 평균적으로 매우 미약하며 건물이나 구름, 산 등의 장애물은 수신 신호의 진폭이나 위상 변화, 전파의 지연등으로 통신신호에 왜곡 현상을 야기하게 된다.

1) Fresnel 반경

회절 현상은 Huygen's 원리에 의해 설명할 수 있다. 이 원리는 파동의 모든 점들이 이차 구면 생성에 대하여 원천으로 고려되어지고, 이 구면파는 전파 방향으로 새로운 파동을 생성하는데 결합된다. 회절은 음영지역에서 이차 구면파의 전파에 의해 야기된다. 음영지역에 대한 회절파의 전계강도는 장애물 주위의 공간에서 모든 이차 파면의 전계 성분의 벡터합이다.

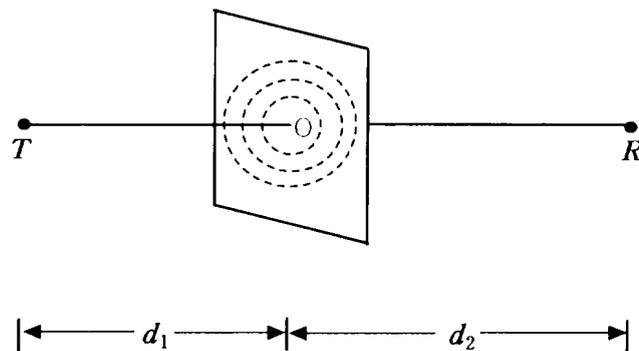


Fig. 4. Fresnel ellipsoid between transmitter and receiver

Fig. 4에서 T 와 R 사이의 가지거리 경로에 대해 수직으로 평판이 있다고 가정하면 이판은 임의의 값을 중심 반경으로 하는 원으로 구성되어 있고, T 와 R 사이를 전파하는 파는 원의 어떤 점을 통과하여 TOR 경로를 만든다.

Fresnel 영역은 송·수신 안테나를 초점으로 하는 타원체로서 정의된다. Fig. 4에서 보는 바와 같이 평면상의 임의의 점을 O 라 하고, 송신점에서 O 점까지의 거리와 O 점에서 수신점까지의 거리 합인 경로와 직선 경로 TR 과는 일정한 경로차를 갖는다.

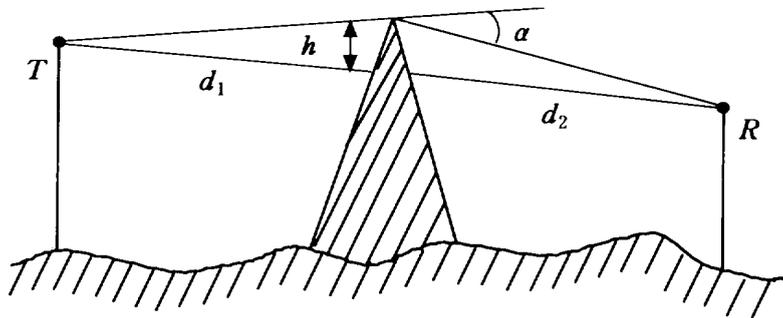


Fig. 5. The geometry of knife-edge diffraction

Fig. 5는 송·수신점으로 부터의 거리 d_1 과 d_2 사이에 무한한 폭 h 를 갖는 차폐막이 존재하는 환경을 나타내었다. 직접경로와 회절경로 사이의 차이인 초과경로 길이는 Fig. 5의 기하학으로 부터 다음과 같이 구할 수 있다.(Parsons, 1992)

$$\Delta = \frac{h^2}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \quad (19)$$

자유공간 전파조건이 되려면 장애물은 첫 번째 Fresnel 영역에 존재해야만 하고, 실제적으로는 지형장애물이 필요한 만큼 낮아지기 위해 안테나 높이를 높여야

만한다. 경로간의 Fresnel 영역에 대한 타원 방정식들로 지형장애물의 영향에 대한 양적 평가를 할 수 있다.

송수신점 사이의 타원들은 Fresnel 영역을 나타내며 Fresnel 영역을 형성하는 타원의 반경은 경로 길이가 송수신점 사이의 직접 경로 길이보다 각각의 타원체를 통과하는 경로길이는 길어지며 이로인한 초과 경로 길이는 $\lambda/2$ 배 씩 증가한다. Fresnel 타원의 반경은 식(19)로부터 다음 식으로 구하여 진다.

$$h = r_n = \sqrt{\frac{n\lambda d_1 d_2}{(d_1 + d_2)}} \quad (n = 1, 2, 3, \dots) \quad (20)$$

여기서 $n=1$ 일 때 1차 Fresnel 영역이라 하며 장애물이 이 영역 내부에 존재할 때 회절현상이 발생한다.

2) Fresnel zone

Fig. 6에서와 같이 송수신점 사이의 전파경로 TR 선 가까이에 쇄기형 장애물 (Knife edge), 산악이나 인공구조물등이 P 에 있는 경우이다. 전파 경로 TR 과 장애물 P 가 거의 맞닿은 상태일 때 R 점의 수신 정계강도는 자유공간 전계강도 E_0 의 $1/2$ 이 된다. PR 평면의 윗쪽은 직접파와 회절파의 간섭에 의해 동위상 또는 역위상으로 합성되기 때문에 그 경로차가 $\lambda/2$ 일 때 극대값을 갖고, 여기서 다시 올라가면 감소되어서 1λ 의 경로차가 있는 곳에서는 극소값을 갖게 된다. 이와 같이 수신점 부근의 전계강도 변화 현상이 되풀이되면서 극대, 극소의 진폭차는 적어지고 위로 올라가면 자유공간 전계강도가 된다.

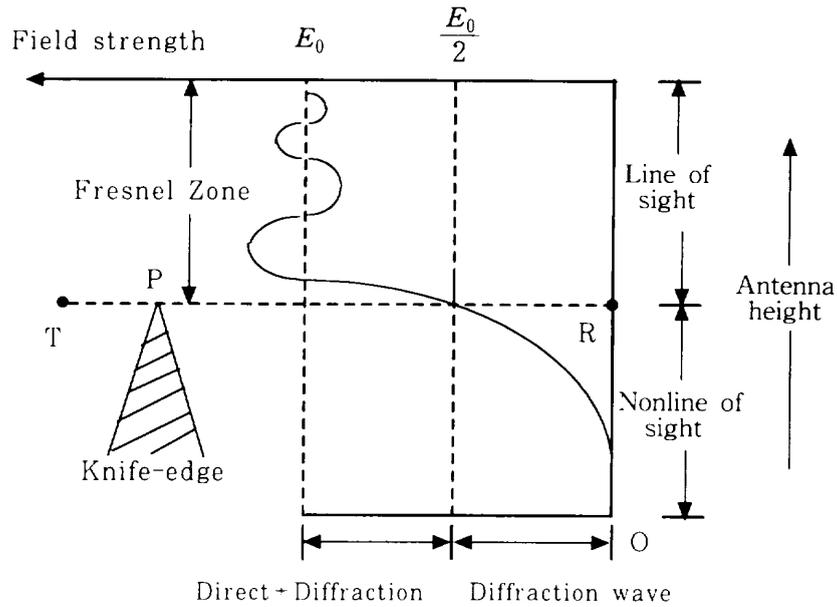


Fig. 6. Fresnel zone

즉, Fig. 6와 같이 수신점의 위치가 높아질수록 전계강도의 세기는 E_0 를 중심으로 그 값이 오르내리다가 점차로 일정값 E_0 가 되는데, 가시선보다 윗쪽의 장애물 부근의 진동영역을 Fresnel zone이라 한다. Fresnel zone으로 부터 수신된 전계강도는 위상이 바뀌게 되므로 수신전계강도에 영향을 미치고 수신점의 전계가 진동하게 된다. 진동하는 파의 진폭은 Fresnel zone의 차수가 높을수록 Fresnel zone으로 부터 도달되는 에너지의 양이 적어지므로 점차 감소한다.

3) 회절 손실

Fig. 7은 송신점 사이에서 두가지 형태의 장애물이 놓여 있는 쐐기형 장애물 모델을 나타내었다. Fig. 7(a)는 송수신점 사이의 직접 경로보다 장애물의 높이

가 높은 경우이고 Fig. 7(b)는 송수신점 사이의 직접 경로보다 장애물의 높이가 낮은 경우를 나타내었다.

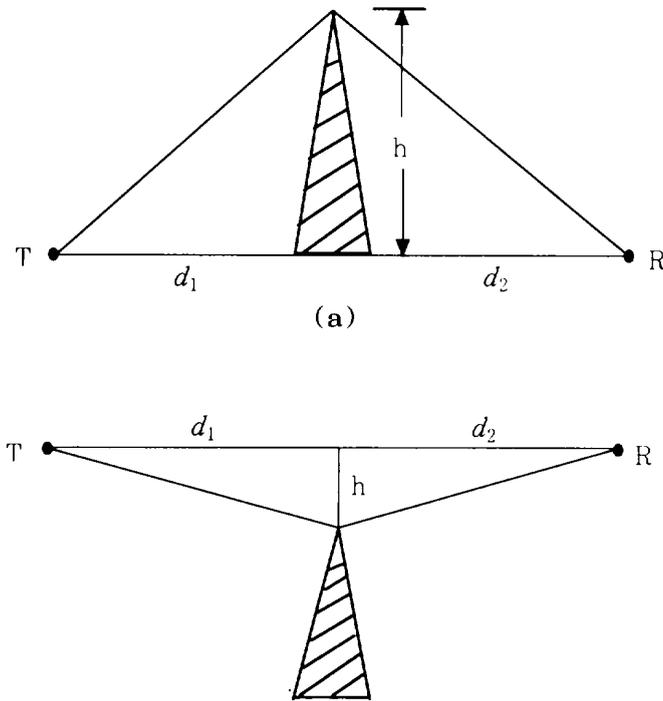


Fig. 7. Knife-edge diffraction (a) $h, v > 0$ (b) $h, v < 0$

쐐기형 장애물로 인해 송수신점 사이의 직접 경로와 쐐기형 장애물을 통과하는 경로 사이에는 경로 길이차가 생기게 되며 이로 인해 발생하는 위상차는 다음과 같다.

$$\phi = \frac{2\pi\Delta}{\lambda} = \frac{2\pi}{\lambda} \frac{h^2}{2} \frac{d_1 + d_2}{d_1 d_2} \quad (21)$$

Fresnel-Kirchhoff 회절 변수 v 를 다음식으로 정의할 수 있다.

$$v = h \sqrt{\frac{d_1 + d_2}{\lambda d_1 d_2}} \quad (22)$$

식(21)의 ϕ 를 회절변수 v 로 나타내면 다음과 같다.

$$\phi = \frac{\pi}{2} v^2 \quad (23)$$

회절변수 v 와 직접 경로와 장애물 사이의 높이 h 는 장애물의 높이가 직접 경로보다 높은 경우는 양수이며 직접 경로보다 낮은 곳에 장애물이 존재하는 경우는 음수이다.

이 파라미터들을 이용하여 수신점의 전계강도는 2차 Huygens 전원의 합으로 구해지며 다음의 복소 Fresnel 적분식으로 구해진다.(Lee, 1982)

$$E = \frac{E_0(1+j)}{2} \int_v^\infty \exp(-j \frac{\pi}{2} t^2) dt \quad (24)$$

여기서 E_0 는 자유공간 전계값이며 회절 손실식이 정확하게 적용되기 위해서는 다음의 조건이 만족되어야 한다.

$$d_1, d_2 \gg h, \quad d_1 d_2 \gg \lambda \quad (25)$$

따라서 회절로 인한 손실을 데시벨로 표현하면 다음과 같다.

$$L = 20 \log \left| \frac{E}{E_0} \right| \quad (26)$$

Ⅲ. 측정 시스템 및 측정 환경

이동 무선 통신 시스템에 있어서 무선 호출 서비스는 UHF 주파수대역에서 최소 50W에서 최대 150W의 출력을 갖고 서비스를 제공하고 있다.

1. 측정 시스템

이동 통신 시스템에서의 전파 특성을 분석하기 위해 측정에 사용된 수신 장비를 Fig. 8에 나타내었다.

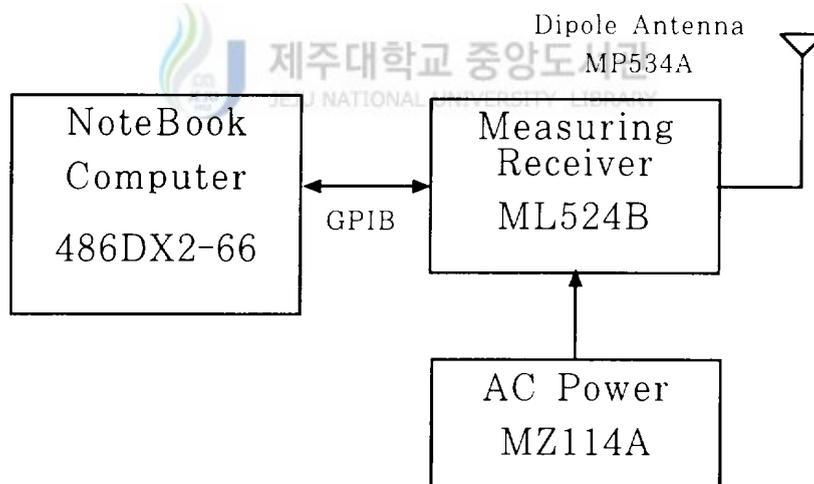


Fig. 8. Block diagram of measurement equipment

송신 기지국은 현재 서비스를 제공하고 있는 세오름 기지국으로 고정되어 있다. 이동 수신국은 주파수 범위가 140 ~ 1040MHz인 전계강도계와 다이폴 안테나, GPIB 인터페이스 카드를 장착한 노트북 PC로 구성하였다. 송·수신기 및 안테나 제원은 Table 2와 같다.

Table 2. Base and mobile station parameters

	Power	Frequency band(MHz)	Antenna	Gain (dB)	Polarization
Transmitter	90W	324.075	Dipole	8.15	Vertical
Receiver	0~108 (dB μ V/m)	140~1040	//	0	//

2. 측정 환경



송신 기지국은 현재 무선 호출 서비스를 제공하고 있는 세오름 기지국으로 송신 주파수는 324.075MHz이며 출력은 90W이다. 안테나 높이는 해발고를 포함 1157m이다. 수신 안테나는 차량에 탑재하여 측정위치에서 고정된 상태에서 노트북 PC로 수신하였고 수신 안테나 높이는 지면에서 2.45m이다.

교외지역의 전파 환경은 지역의 특성에 따라 다양하며 표준환경을 규정하기가 어렵다. 따라서 수신지역 주변의 건물의 높이와 산림의 정도에 따라 환경을 구분 하였으며 이러한 전파 환경에서 10개 지역을 표본으로 선정하였고, 선정지역의

위치는 Fig. 9과 측정환경 Table 3과 같다.

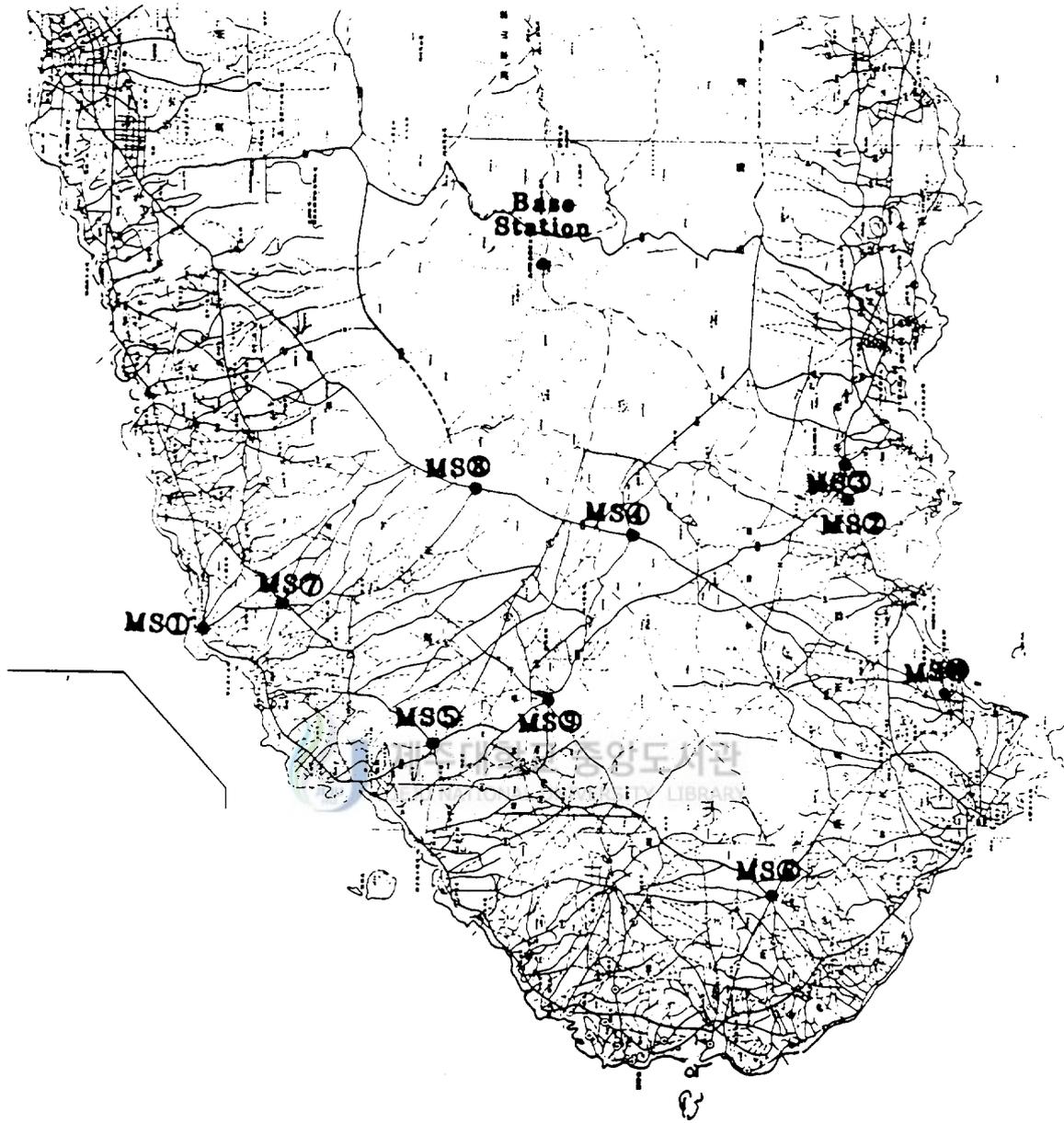


Fig. 9. Base and Mobile station position in the western of Cheju area

Table 3. Measurement environment for sample areas

No.	Area	Road No.	Distance (m)	Height level(m)
①	Ae-Wol	12	16500	10
②	Chang-Cheon 1	12	13000	60
③	Chang-Cheon 2	12	13040	70
④	Kwang-Pyoung	1111	9600	420
⑤	Seo-Dong	16	12720	210
⑥	Pyoung-Gi	16	23000	60
⑦	Nab-Up	16	14880	70
⑧	Eo-Eum	1111	8160	460
⑨	Kum-Ak	16	15000	200
⑩	Sa-Gae	12	20400	10

직접과, 반사파 모델 지역으로 표본지역 ①에서 ⑥까지 선정하였으며, ⑦에서 ⑩까지는 회절파 모델지역으로 선정하였다. ①에서 ⑥까지의 측정지역의 주변환경은 1층 건물이나 6m 정도의 나무 또는 주변이 개활한 환경이며, ⑦에서 ⑩까지의 측정지역은 전파 경로상에 노로오름(1069.9m), 무명오름(1068m), 금오름(430m), 산방산(385m)이 각각 위치해 있다. 그리고 노로오름과 무명오름은 송신 기지국에 인접하여 있고 금오름, 산방산은 수신국에 인접하여 위치해 있다.

IV. 측정 결과 및 고찰

제주도의 지형적 특성은 해발 1950m인 한라산을 중심으로 하여 인구 밀집 지역인 해안 지대까지 완만한 경사를 이루고 있으며 중산간 지역에는 오름들이 곳곳에 산재해 있음으로 인해 직접파, 반사파, 회절파 성분들이 존재한다. 현재 제주도 서부 지역의 무선 호출 서비스는 해발 1157m의 세오름 기지국에서 제공하고 있으며 무선타호출 주파수 324.075MHz에 대해 제주 서부지역의 지형 특성을 고려한 전계 강도 예측식을 구하기 위해 지형 프로파일상 직접파와 반사파만이 존재하는 표본 지역을 선정하였고, 오름들에 의한 회절 현상이 발생하는 회절파를 고려하였다.

1. 직접파, 반사파 모델

Table 4는 전파경로상 가시거리 조건하에서 직접파와 반사파만이 존재하는 6개의 표본지역에 대한 측정치, 이론치와 예측치를 비교한 도표이다. 측정치와 예측치간의 오차 ΔP 는 최대 4.1에서 최소 0.2 이다.

Table 4. Predicted and measured value of received power for measurement area

No.	Measurement area	Road No.	Received power (dBm)		ΔP
			Measured value	Predicted value	
①	Ae-Wol	12	-58.9	-56.6	2.3
②	Chang-Cheon 1	12	-58.0	-54.9	3.1
③	Chang-Cheon 2	12	-54.1	-55.1	1.0
④	Kwang-Pyoung	1111	-52.5	-48.4	4.1
⑤	Seo-Dong	16	-55.4	-53.9	1.5
⑥	Pyoung-Gi	16	-56.7	-56.9	0.2

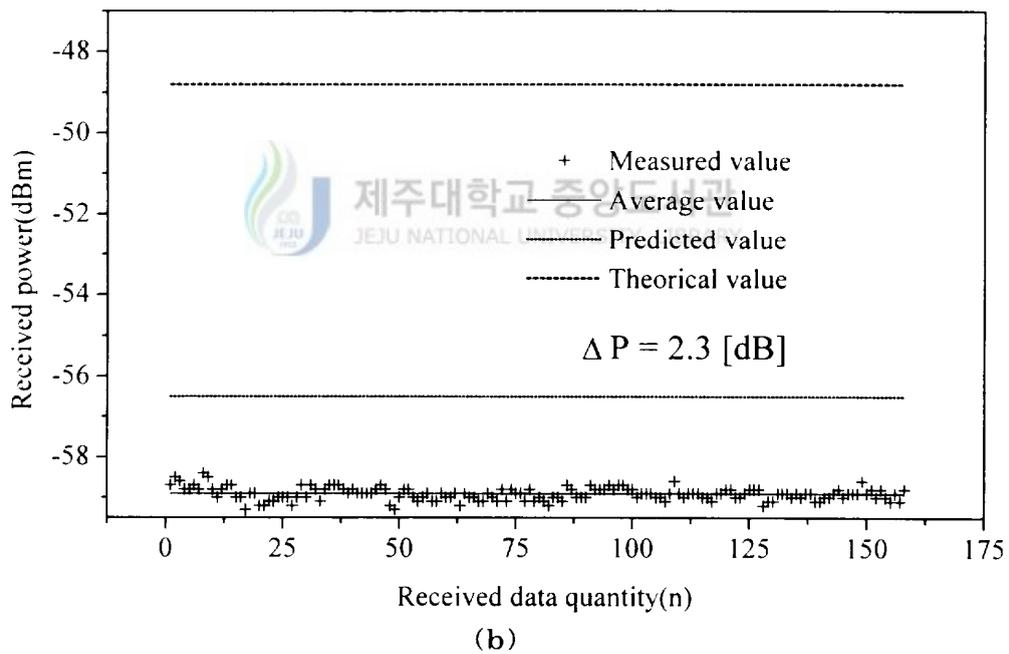
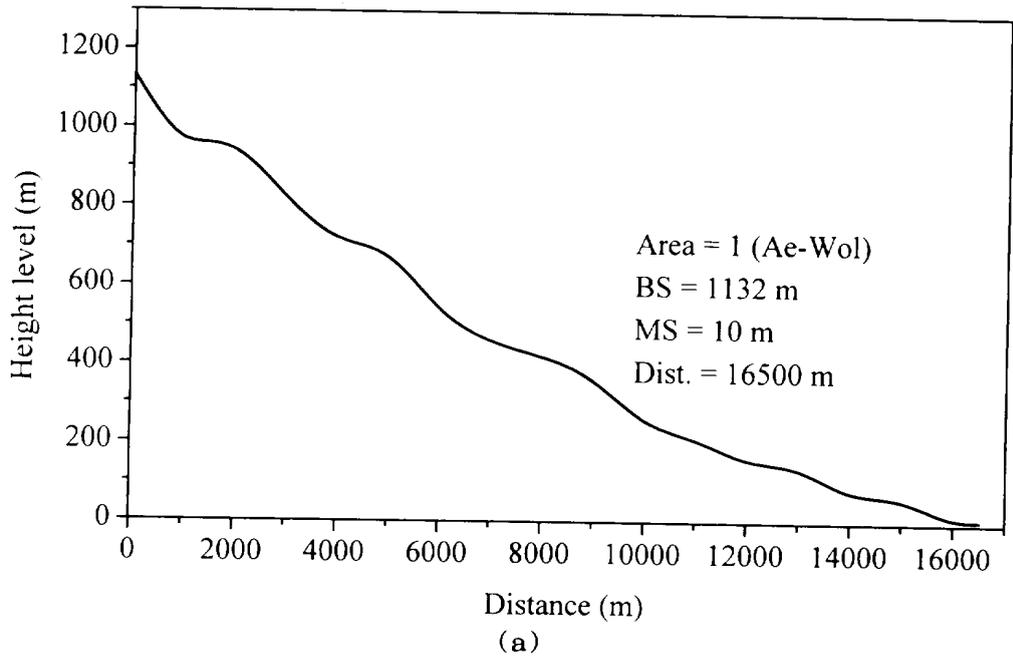
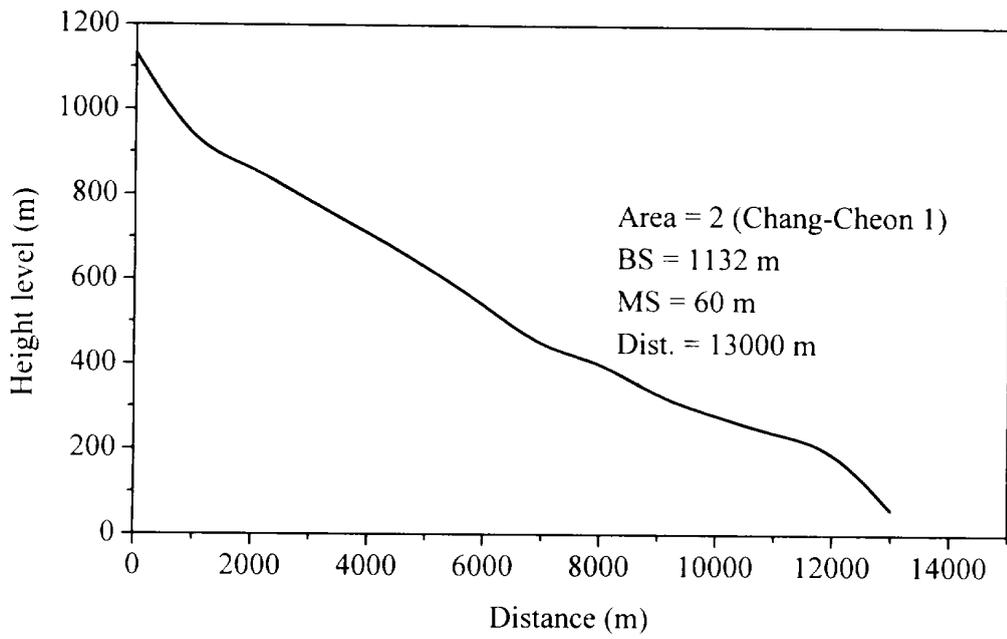
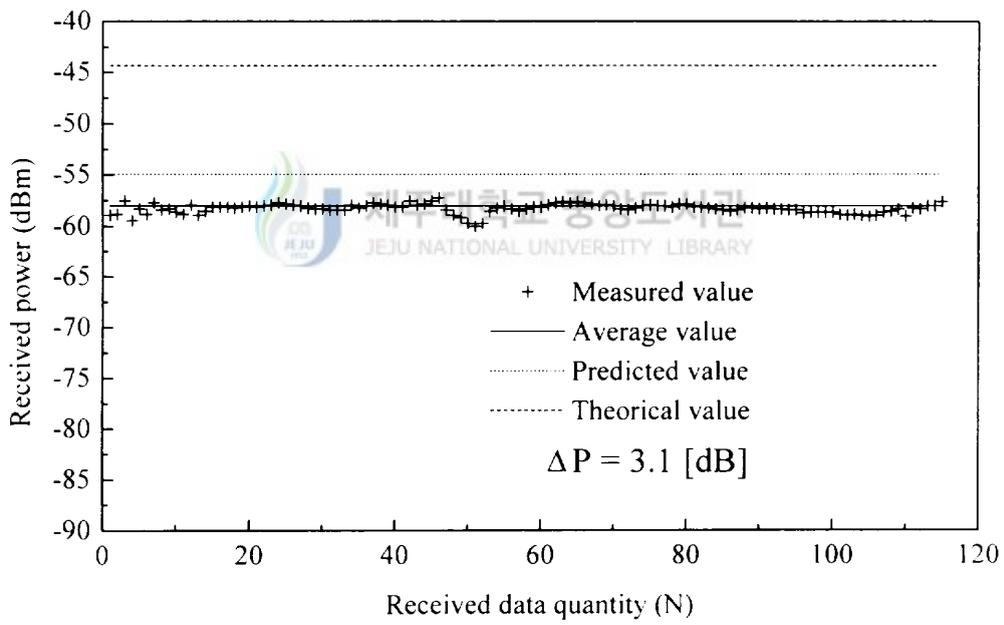


Fig. 10. Ae-Wol area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

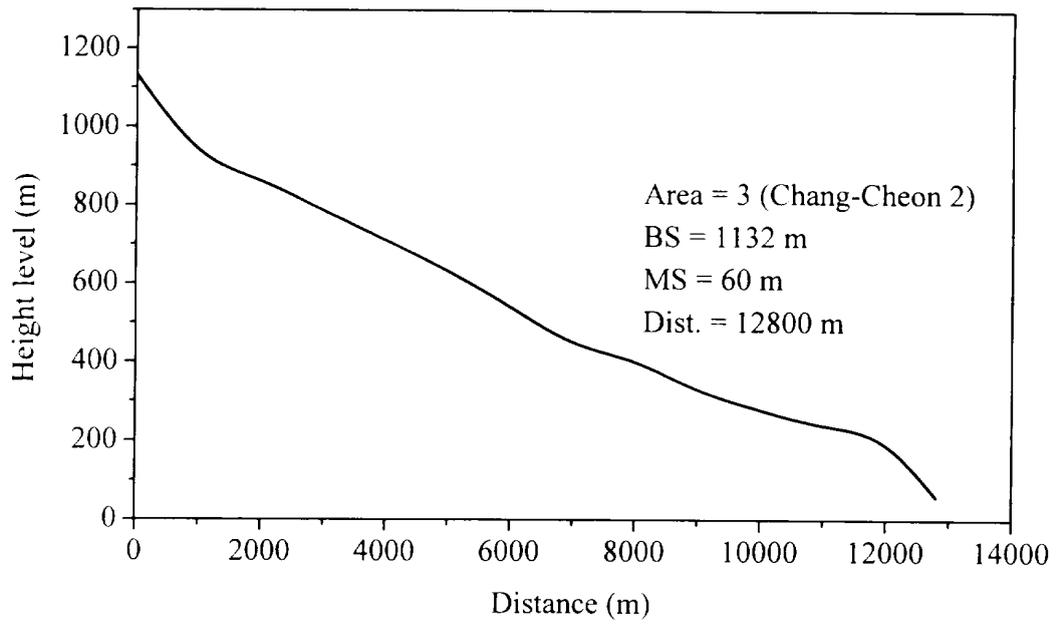


(a)

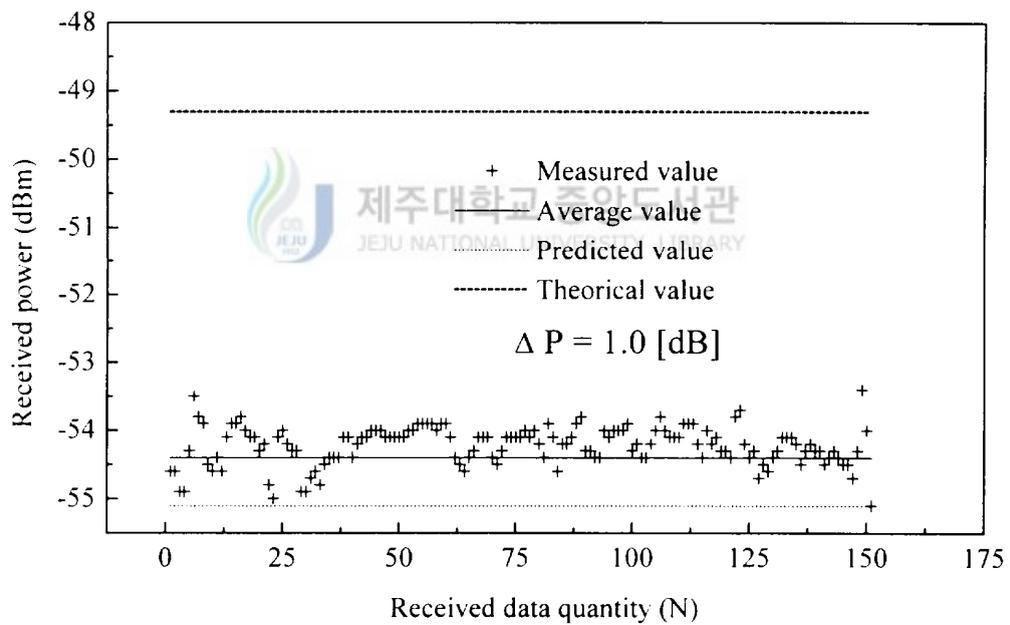


(b)

Fig. 11. Chang-Cheon 1 area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

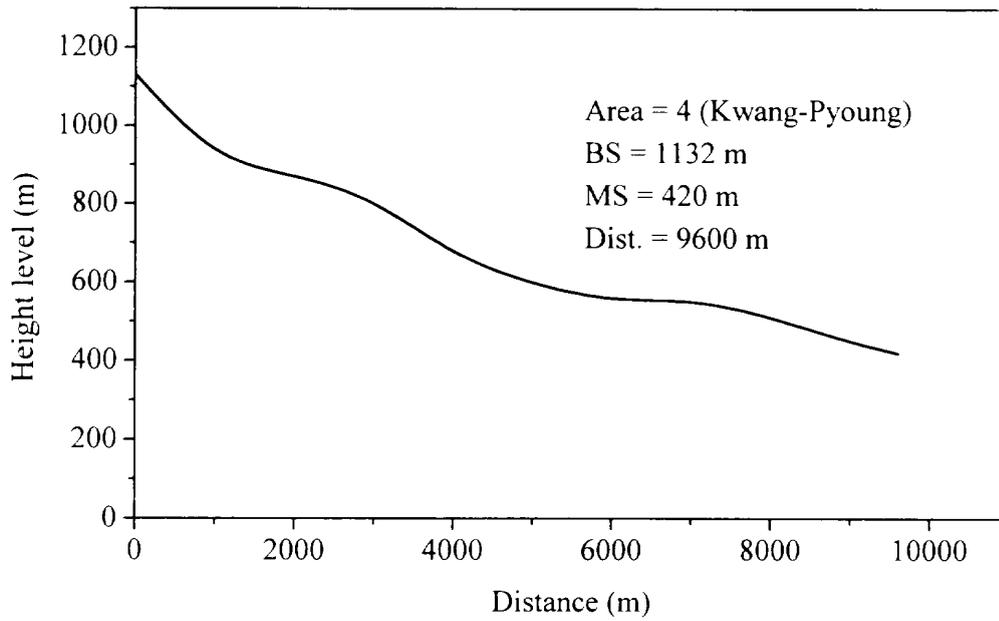


(a)

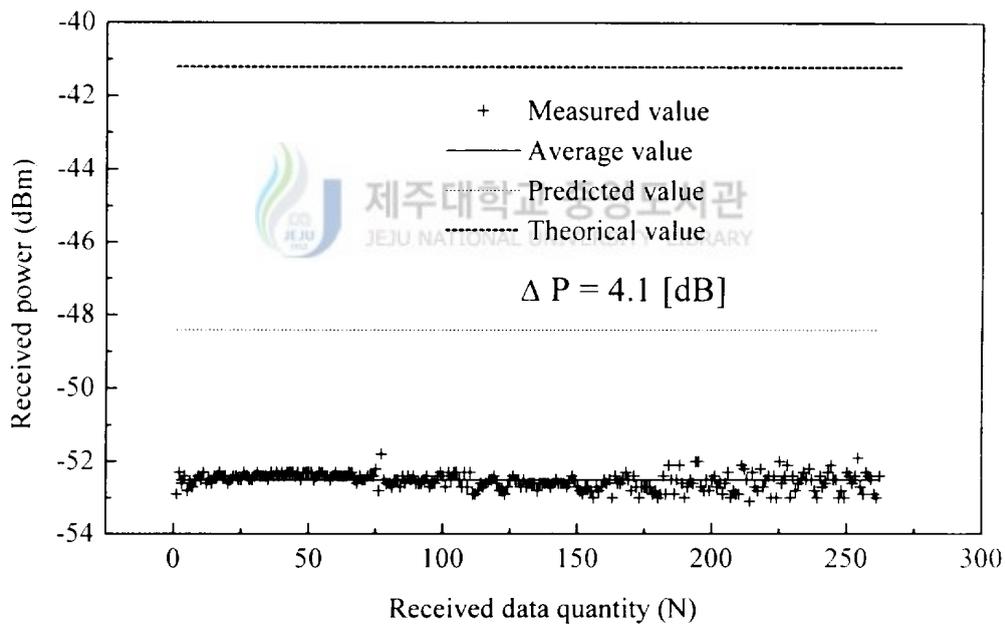


(b)

Fig. 12. Chang-Cheon 2 area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

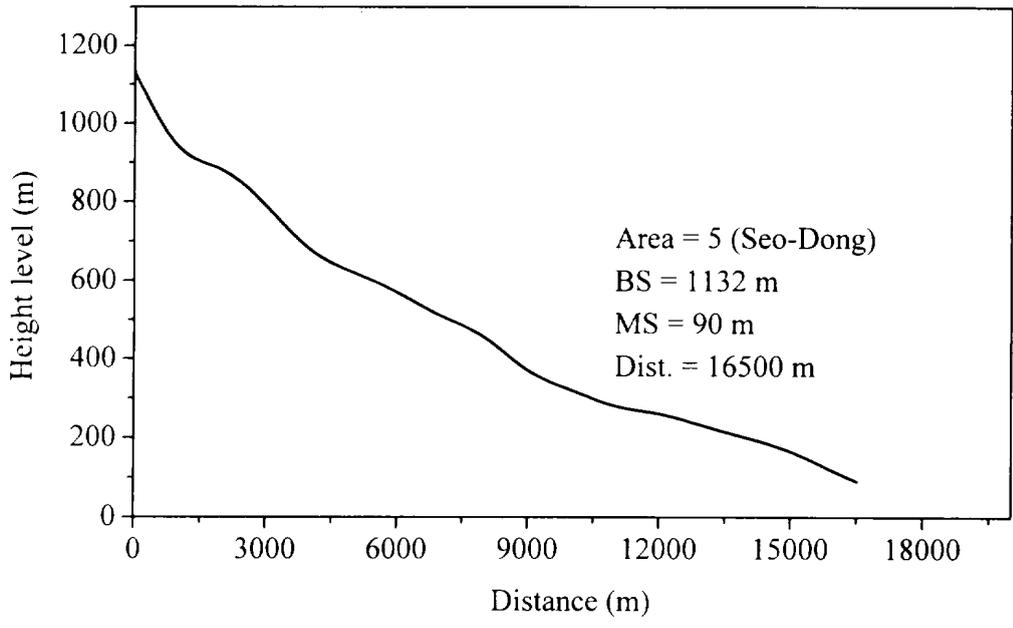


(a)

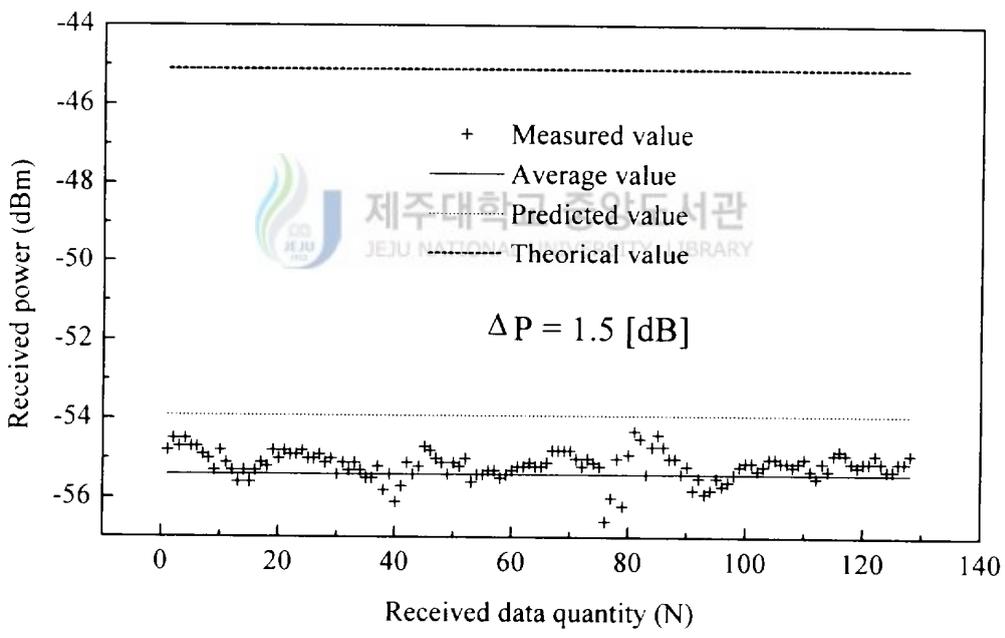


(b)

Fig. 13. Kwang-Pyoung area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

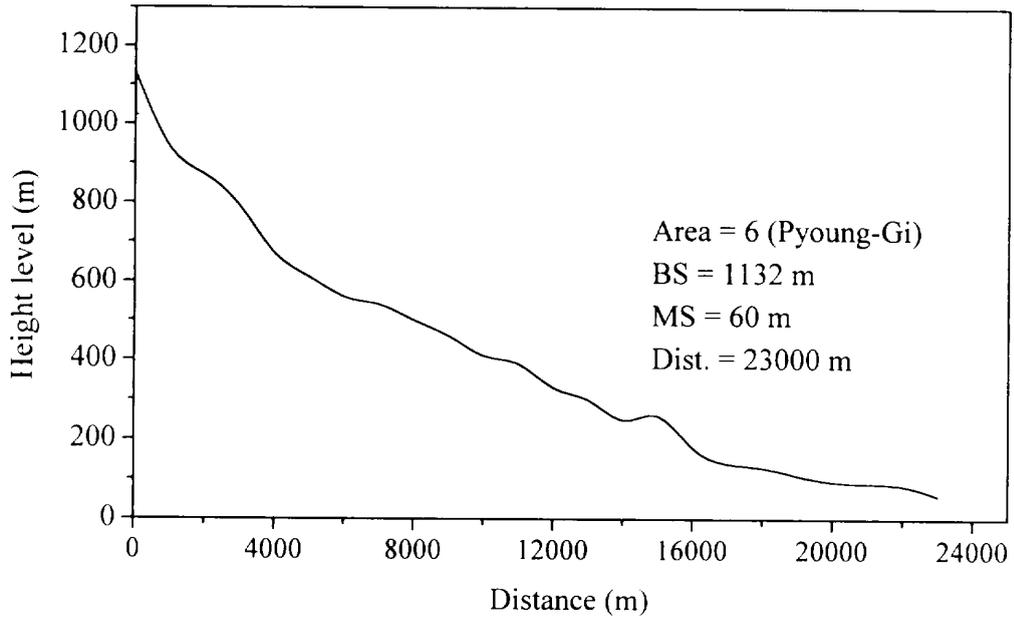


(a)

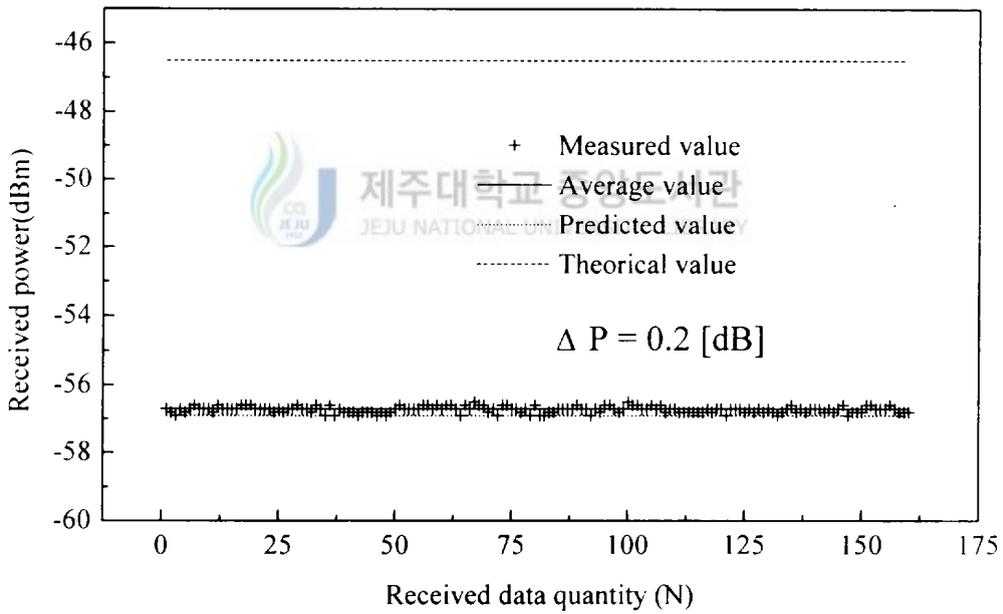


(b)

Fig. 14. Seo-Dong area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value



(a)



(b)

Fig. 15. Pyeong-Gi area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

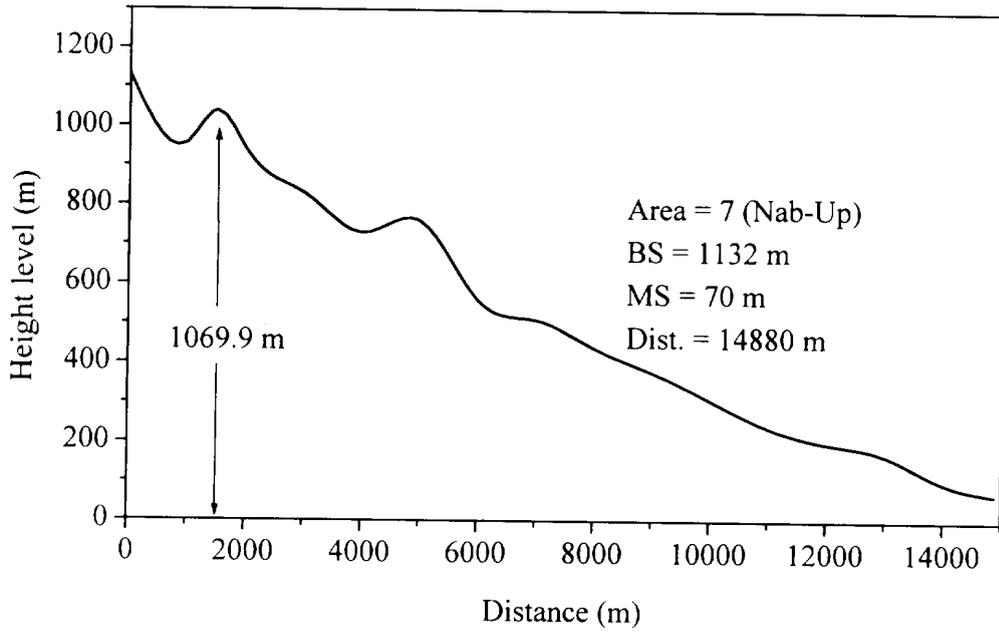
직접파, 반사파 모델을 적용할 수 있는 표본지역에 대한 예측식의 적합성을 확인하기 위해 12번도로에서 애월, 창천삼거리, 1111번도로에서 1115번 도로와 교차점, 16번도로에서 1116번 도로와 교차점, 16번도로에서 평지동 지역을 표본지역으로 선정하여 측정치와 비교, 분석하였다. Fig. 10,11,12는 12번 도로 상에서 애월, 창천삼거리 대한 프로파일과 측정치와 예측치간의 결과 그래프이다. 측정치와 예측치 간의 오차 ΔP 는 3dB이내이다. Fig. 13은 1111번 도로의 광평에 대한 결과 그래프이고 측정치와 예측치간의 오차 ΔP 는 4.1dB이며 전파 경로상 주변환경은 산림으로 둘러싸여 있다. Fig. 14, 15는 16번 도로에서 서동, 평지동에 대한 결과 그래프이고 측정치와 예측치 간의 오차 ΔP 는 2dB이내이다. 이러한 결과 그래프로 부터 수신전계강도는 주변환경이 건물이나 가로수등이 존재하는 12, 16번 도로 보다는 침엽수가 많은 1111번 도로에서 더 큰 오차가 발생하였다.

2. 회절파 모델

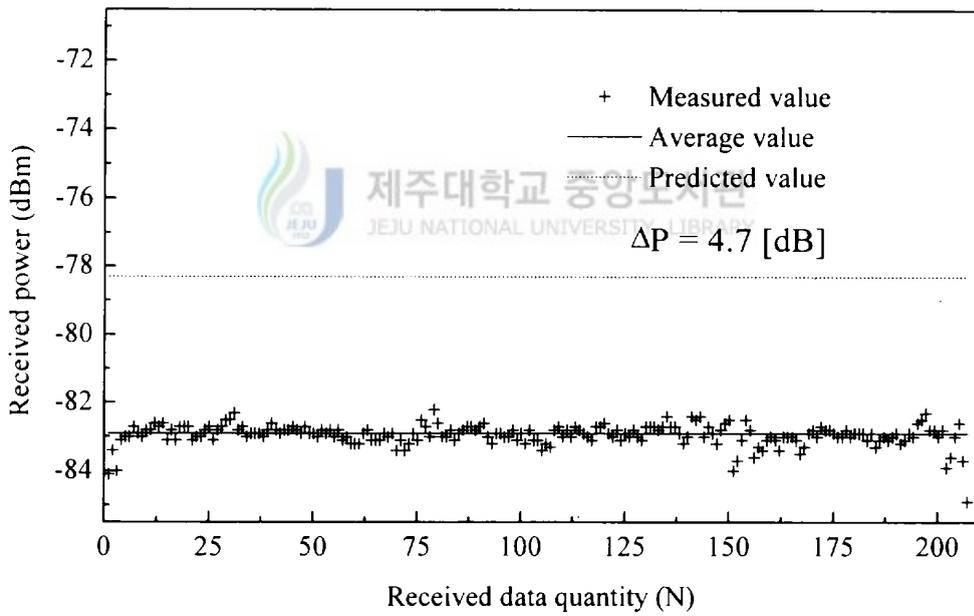
Table 5는 전파경로상 오름이 존재하는 4개의 표본지역에 대하여 회절파의 영향을 고려한 측정치, 예측치를 비교한 도표이다. 측정치와 예측치간의 오차 ΔP 는 최대 4.7에서 최소 0.1 이다.

Table 5. Predicted and measured value of received power for measurement area

No.	Measurement area	Road No.	Received power (dBm)		ΔP
			Measured value	Predicted value	
⑦	Nab-Up	12	-83.0	-78.3	4.7
⑧	Eo-Eum	12	-76.7	-76.6	0.1
⑨	Kum-Ak	16	-72.0	-71.9	0.1
⑩	Sa-Gae	16	-81.7	-81.1	0.6



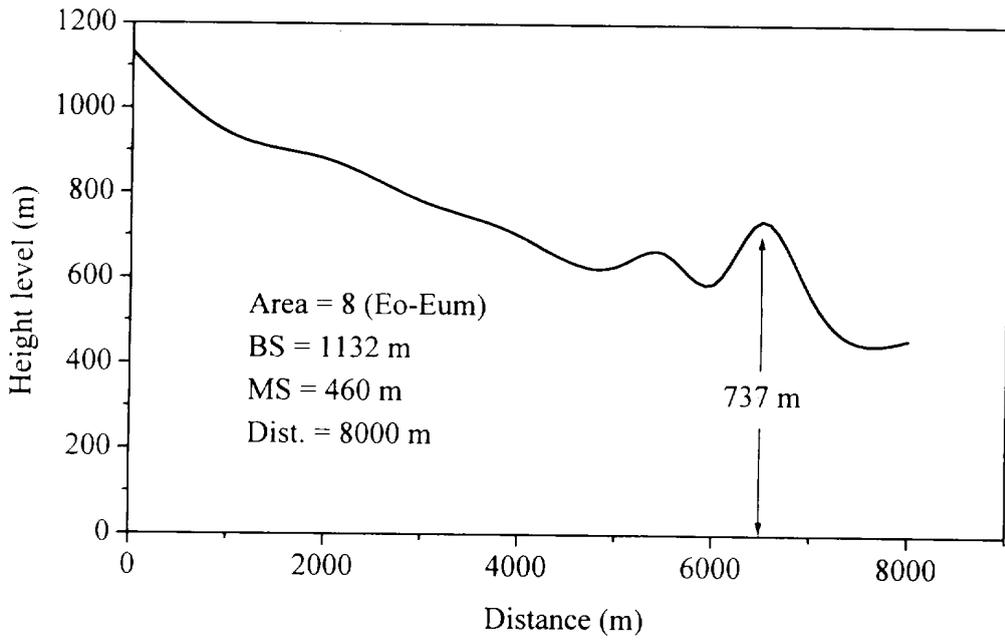
(a)



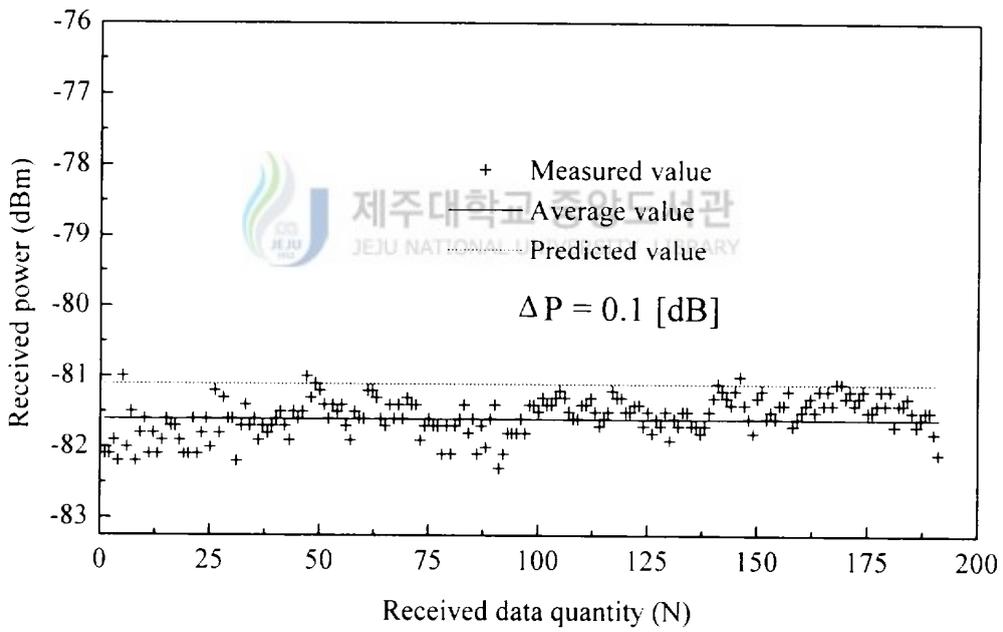
(b)

Fig. 15. Nab-Up area

(a) Terrain profile (b) Predicted and measured value



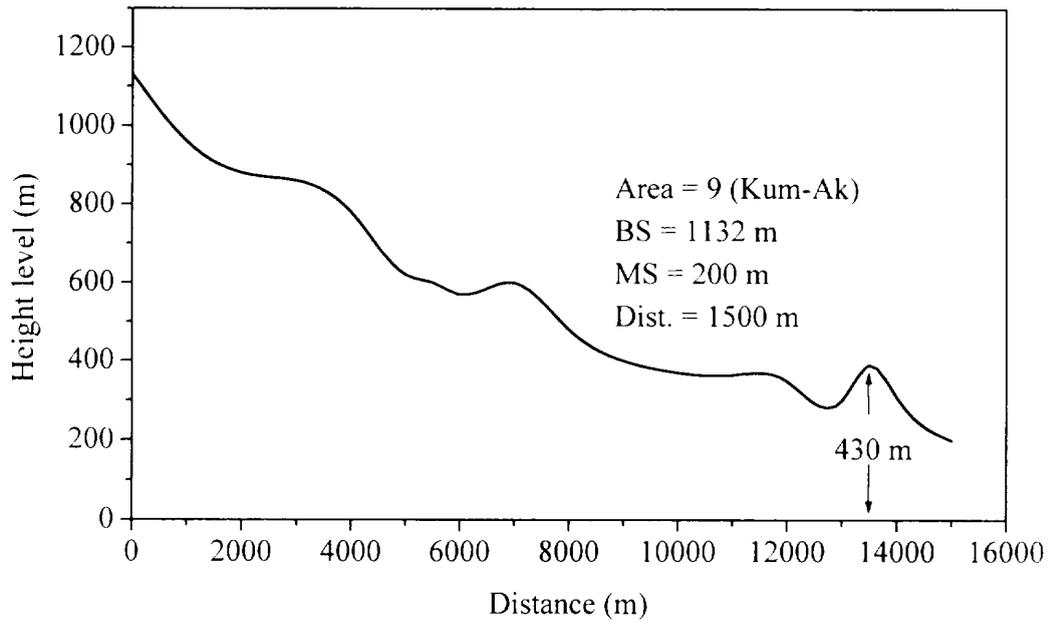
(a)



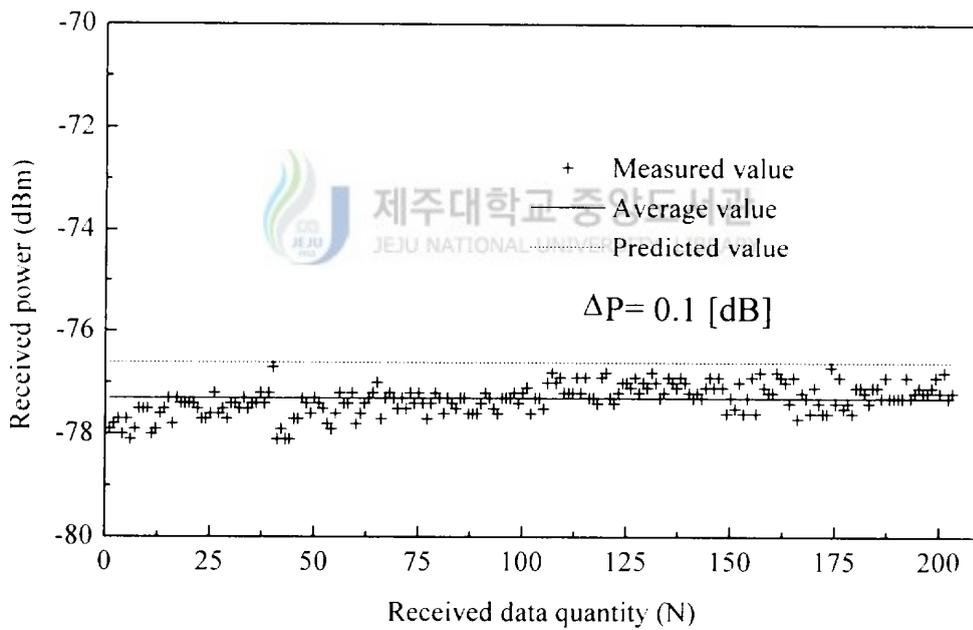
(b)

Fig. 16. Eo-Eum area

(a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

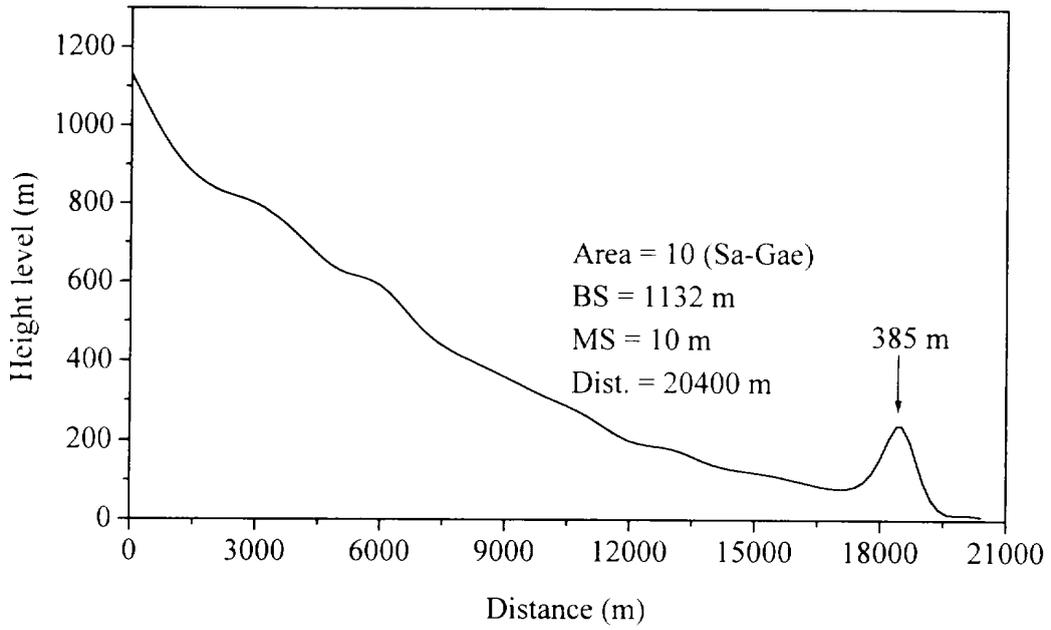


(a)

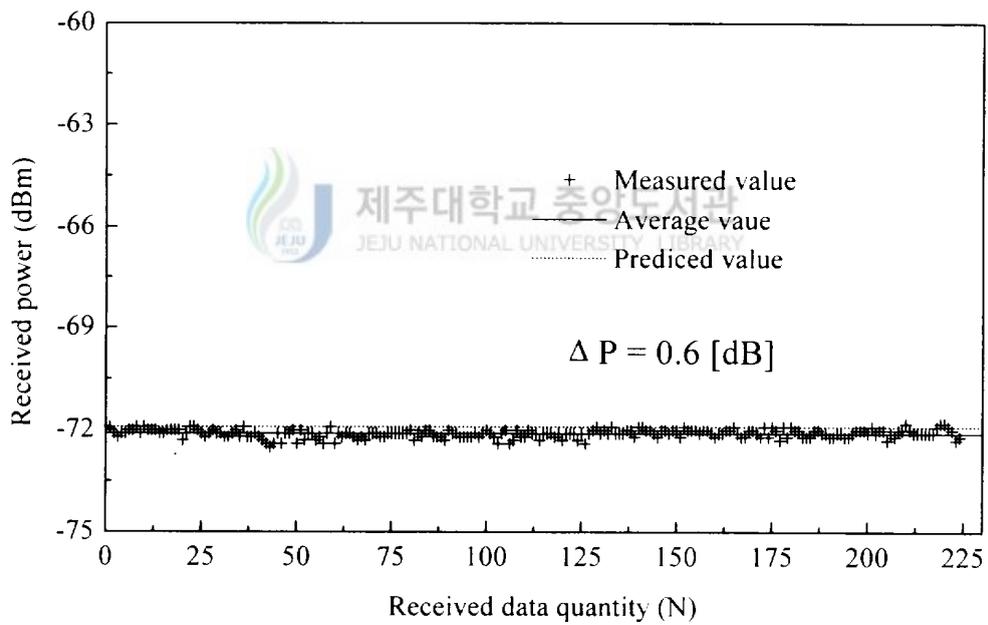


(b)

Fig. 17. Kum-Ak area
(a) Terrain profile (b) Predicted and measured value



(a)



(b)

Fig. 19. Sa-Gae area
 (a) Terrain profile (b) Predicted and measured value

Fig. 16, 17, 18, 19는 회절과 모델의 표본지역에 대한 결과 그래프이다. Fig. 16은 남읍에서의 결과 그래프이며 프로파일에서 송신점으로부터 1.5Km 떨어진 곳에 노로오름(1069.9m)에 대하여 회절현상을 고려하였을 때 측정치와 예측치간의 오차는 ΔP 는 4.7dB이다. Fig. 17은 12번도로의 어음에서 수신점으로부터 1.6Km 떨어진 큰오름(737m)을 고려하였을 때 측정치와 예측치간의 오차 ΔP 는 0.1dB이다. Fig. 18은 16번 도로의 금악에서 수신점으로부터 1.5Km 떨어진 금오름(430m)을 고려하였을 때 측정치와 예측치 간의 오차 ΔP 는 0.1dB이다. Fig. 19는 16번 도로의 사계에서 수신점으로부터 1.9Km 떨어진 산방산(385m)을 고려하였을 때 측정치와 예측치 간의 오차 ΔP 는 0.6dB이다. Fig. 16과 17, 18, 19를 비교해 보면 Fig. 16에서의 전파 경로상 오름은 송신점 부근에 위치해 있는 반면 Fig. 17, 18, 19는 수신점 부근에 오름이 위치해 있어 어음, 금악, 사계에서 회절손실량이 더 많이 적용되어 오차를 더 줄일 수 있었다.



V. 결 론

이 논문에서는 평면대지 모델로부터 제주 서부지역 지형의 대지면 반사 계수를 고려함으로써 수신 전계 강도를 구하였고 실제 지형의 특성을 고려하기 위하여 지형 특성상 경사진 경로에 적합한 지형 반사 모델을 적용하여 수신 전계 강도를 구하였다.

이 논문에서 제시한 지형 반사 모델의 경우는 송·수신점간 거리의 변화, 송·수신 안테나 높이, 전파경로상 기울기와 대지면 반사계수의 영향을 적절하게 고려할 수 있어 정확한 수신 전계 강도 예측을 가능하게 하였다. 그리고 제주지역에 산재해 있는 오름들로 인한 회절 전파 현상을 해석하기 위해 제주 서부지역에 회절 현상이 발생할 수 있는 4개의 표본 지역을 선정하였고 지형 프로파일 상에 존재하는 장애물을 썬기형 장애물로 가정하여 이 썬기형 장애물에 의한 회절 손실을 구함으로써 표본 지역에 대한 수신 전계강도를 계산하였다. 측정치와 예측치를 비교한 결과 직접파와 반사파만을 고려한 모델일때는 4dB이내의 오차가 발생하였고 회절파 모델의 경우도 5dB이내의 오차를 나타내었다. 일반적으로 수신전계강도의 측정치와 예측치와의 허용오차는 8dB이내로 규정하고 있는 것과 비교할 때 예측치 오차를 좀더 줄일 수 있었다.

참 고 문 헌

- Clarke R. H. & Brown J., 1980, Diffraction Theory And Antennas, Ellis Horwood, New York, pp. 11-17.
- Hata, M., 1980, Empirical formula for propagation loss in land-mobile radio services, *IEEE Trans. Vehicular Tech.*, VT-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 a topographical and environmental data base", *Proc. ICC83. Conference Record*, pp. A2.5.1-A2.5.4.
- IEEE Vehicular Tehnology Society Committee on Radio Propagation, 1988, Coverage prediction for mobile radio systems optertion in the 800/900 MHz frequency range. *IEEE Trans. Vehicular Technology*, Vol.37,No.1. pp. 1-70.
- Jakes W. C., 1974, Microwave Mobile Communication, John Wiley & Sons, New york, pp. 79-90.

- 김경재, 윤영중, 박한규, 1995, 터널에서의 전파경로손실 분석, 한국통신학회
논문지, Vol.20, No.6, pp.1723-1729.
- Lee W. C. Y., 1982, *Mobile Communications Engineering*,
McGraw-Hill, New York, pp. 122-128.
- 이형수, 조삼모, 정진욱, 1995, 무선호출 주파수 전파환경측정 및 외국환경
과의 비교, 전자과학회지, Vol.6, No.3, pp.15-23.
- Okumura Y., Ohmori E., Kawano T. and Fukuda K. , 1968,
Field strength and Its variability in VHF and UHF Land
Mobile Radio Service, *Elec. Commun. Lab.*, Vol. 16, pp.
825-873.
- Parsons D., 1992, *The Mobile Radio Propagation Channel*,
John Wiley & Sons, New York, pp.16-63.
- Shibuya S., 1987, *A Basic Atlas of Radio-wave Propagation*,
John Wiley & Sons, New York, pp.36-40.
- 송기홍, 이동두, 감영권, 이혁재, 1995, 대도시 지역에서의 이동전파신호에
대한 수신전력 예측모델, 한국통신학회논문지, Vol. 20, No. 3, pp.
193-204.
- 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).

본 논문과 관련된 저자의 발표 논문

1. 학술대회 논문집

- 1) 이권익, 홍성욱, 강부식, 김홍수, “제주 서부지역의 지형특성을 고려한 전파 전파 예측”, 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문집(上), pp. 192-195, 1996.

感謝의 글

본 論文이 完成되기까지 끊임없는 사랑과 열정을 갖고 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 鞭撻하여 주신 李鎔鶴 教授님, 文建 教授님, 林載允 教授님, 梁斗榮 教授님, 康鎭植 教授님께 感謝를 드립니다. 그리고 항상 곁에서 激勵을 해주신 高京生 先生님, 金貞住 先生님께 感謝를 드립니다.

大學院 先輩로서 항상 저의 發展을 위해 激勵해주신 李起台 先輩님, 康富植 先輩님, 洪性旭 先輩님께 感謝를 드립니다. 學文의 同伴者로서 또는 助言者로서 도움을 준 在信과 後輩 守德에게 고마움을 전하며, 研究室에서 잡다한 일을 도와준 京杓에게 고마움을 전합니다.

그리고 오늘이 있기까지 獻身的인 사랑으로 보살피 주신 父母님, 丈人 丈母님 그리고 곁에서 힘이 되어준 兄弟들, 누님, 어려움 속에서도 사랑으로 뒷바라지를 해준 아내 明花와 함께 이 論文이 完成된 기쁨을 나누고 싶습니다. 끝으로 지금은 고인이 되셨지만 碩士科程 1년여 동안 物心兩面으로 指導해 주신 故 張宰成 教授님께 이 論文을 바칩니다.