

工學碩士 學位論文

디지털 TV 적용을 위한 부산지역
전파환경에 관한 연구

A Study on Radio Propagation Environment for
Digital Broadcasting in Busan Area

指導教授 趙 炯 來

2004 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

李 正 源

工學碩士 學位論文

디지털 TV 적용을 위한 부산지역
전파환경에 관한 연구

A Study on Radio Propagation Environment for
Digital Broadcasting in Busan Area

指導教授 趙 炯 來

2004 年 2 月

韓國海洋大學校 大學院

電 波 工 學 科

李 正 源

本 論 文 을 李 正 源 의 工 學 碩 士 學 位 論 文 으 로
認 准 함

委 員 長 : 工 學 博 士 鄭 智 元 (印)

委 員 : 工 學 博 士 元 榮 秀 (印)

委 員 : 工 學 博 士 趙 炯 來 (印)

2004 年 2 月

韓 國 海 洋 大 學 校 大 學 院

電 波 工 學 科

李 正 源

Abstract

Recently, the trends of broadcasting technology are transformed analog broadcasting to digital broadcasting.

This is the why digital broadcasting technology offers multimedia services such as home shopping or home banking, internet searching, telecommunication, VOD etc.

Therefore, it is necessary to analyze radio propagation environment of digital broadcasting service area.

However, it is very difficult to apply the conventional propagation models for Busan urban area where are a lot of mountain and hill.

Among the conventional propagation models, ETRI propagation model is very optimal for analyzing the radio propagation environment in Busan area.

This thesis is analyzed geographical propagation characteristics with ETRI propagation model and is measured the field strength for digital broadcasting at UHF band.

Finally, this thesis is compares simulation values based on ETRI propagation model with measured values, and analyzes radio propagation environment.

This thesis suggests suitable radio propagation model in Busan urban area.

Abbreviation

BAL	:	Base station Antenna Loss
BFS	:	Basic Field Strength
DL	:	Diffraction Loss
LOS	:	Line of Sight
NLOS	:	Non Line of Sight
RAL	:	Regional Antenna Loss

- 목 차 -

Abstract	i
Abbreviation	ii
제 1 장 서 론	1
제 2 장 전계강도 이론	3
제 3 장 여러 가지 전파모델	5
3.1 Okumura-hata 모델	6
3.2 Lee 모델	8
3.3 Bertoni - Walfisch(COST-231) 모델	10
3.4 Ibrahim-Parsons 모델	12
3.6 Carey 모델	14
3.5 Egli 모델	15
3.7 Longley-Rice 모델	16
제 4 장 적용전파모델과 실측치 비교	17
4.1 적용전파 모델	17
4.2 기본전계강도	18
4.3 지역별 수신안테나 높이 보정항	19
4.4 회절손실	20
4.5 전파환경 분석을 위한 파라미터	22

제 5 장	전계강도 측정 및 분석	24
5.1	전계강도 측정환경	24
5.2	전계강도 분석	26
5.3	시뮬레이션을 통한 전계강도 분석	31
제 6 장	결론	38
참고문헌	39

제 1 장 서 론

전파의 존재를 처음 예언한 1871년 맥스웰 이후로 전파를 이용한 무선통신은 비약적인 발전을 거듭하여 1901년 이탈리아의 마르코니가 대서양을 횡단하는 무선통신 실험에 성공하였고, 무선을 이용하여 불특정다수에게 정보를 제공하는 방송의 개념이 도입되면서 1920년 최초로 라디오방송을 시작하였으며, 이는 두 차례의 세계대전을 거치는 동안 전쟁 상황의 보도와 정책의 홍보 등으로 전 세계의 이목을 집중시켰다. 또한 영상과 음성을 동시에 보낼 수 있는 연구가 계속되면서 1930년 활상관의 발명으로 1940년 미국에서 NTSC 방식을 사용한 TV방송이 시작되었고, 이것은 1953년 컬러방송으로 이어지게 되었다.

그러나 고화질에 대한 보다 높은 요구가 증대되면서 이제 방송의 디지털화는 세계적인 흐름으로 우리에게 다가오고 있다. 이러한 디지털방송은 아날로그방송에 비해서 다양한 멀티미디어 기능을 제공하는 장점을 가지고 있는데 그 외에도 기존의 방식에 비하여 전송효율이 뛰어나 동일한 대역폭으로 HDTV의 전송이나 다채널 전송이 가능하고 수신화질의 열화가 거의 없다는 것이며, 동일한 출력으로 보다 넓은 범위의 가시청권을 확보할 수 있다는 점도 매력적이다. 이러한 지상파 디지털 TV 전파는 송신점을 중심으로 각각의 방송사들이 유효 서비스 에어리어내의 시청자들을 위하여 정보통신부의 무선국 허가사항으로 방송구역을 설정하여 공간으로 방송 전파를 발사하게 된다. 그러나 우리나라의 경우 산악지역이 많고, 오늘날의 도시형태가 고층화, 밀집화되는 경향이 많아 송신점으로부터

멀리 떨어진 산악지역 및 고층빌딩에 의한 간섭현상이 존재하게 되며, 이러한 간섭지역에서는 원하는 수신신호의 전계강도가 미약하고, 다중경로에 의한 간섭파가 나타나는 이중영상(Ghost)현상 등이 발생하게 된다.

또한 실내 안테나로 수신할 경우에도 실내 전파환경에서 벽에 의한 전파 감쇠나 반사, 굴절에 의하여 다중경로에 의한 영향을 받게 된다[1].

본 논문에서는 자유공간의 RF 전송계통에서 디지털 TV 신호가 품질을 유지할 수 있도록 하기 위하여 산악지역과 고층빌딩이 많은 부산지역을 중심으로 디지털 TV의 전계강도를 측정하고, 분석하여 전파환경 분석을 위한 전파모델을 제안하고자 한다.

부산지역을 선택한 것은 이 지역이 산악이나 구릉지대가 많으며 동시에 고층빌딩이 밀집된 전형적인 대도시 밀집지역의 형태를 띄고 있기 때문이다.

먼저 부산지역의 송신점인 황령산 송신소를 기점으로 측정기점을 약 200지점을 설정하고 실제 전계강도 측정을 실시하며, 그 결과 값을 가지고, 현재까지 발표된 전파모델을 적용하여 분석한다.

분석의 결과를 토대로 최적화된 전파모델의 제어파라미터를 도출하여 기존의 전파모델을 좀 더 정확하게 보정하고자 한다. 본 논문은 이러한 바탕위에서 제 1 장 서론에서 연구의 배경과 목적을 서술하였으며, 제 2 장에서는 전파전파공학의 기본적인 이론을 나열하고, 제 3 장에서는 기존의 전파모델을 기술하였으며, 제 4 장에서는 적용 전파모델을 정리하였으며. 제 5 장에서는 실제 측정에서의 측정환경과 적용된 ETRI 모델의 보정값을 기술하고 그에 따른 시뮬레이션 결과를 나타내었으며, 제 6 장 결론의 순으로 정리하였다.

제 2 장 전계강도 이론

전자파의 전파는 그림 2.1과 같이 지상으로부터의 높이 h_b 인 점 A에 송신안테나를 두고, 그곳에서부터 d 만큼 떨어진 곳의 높이 h_m 인 점 B에 수신안테나를 두고 수직인 송신안테나와 수신안테나로 도식 할 수 있다[2].

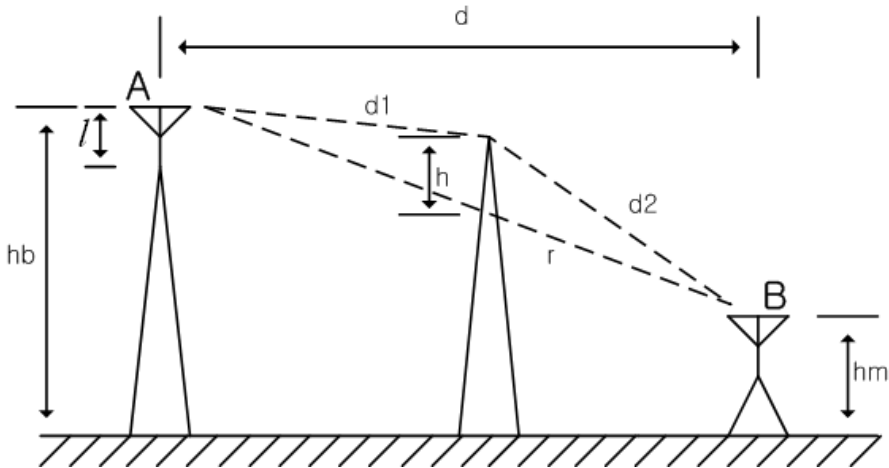


그림 2.1 평면대지상의 전파전파

Fig. 2.1 Radio propagation in plane earth

송신안테나 A에서 전류 I 가 흘러 전계가 평면대지상에서 수신안테나 B로 전파되어 가는 경우 전계강도를 살펴보면 식 (2-1)과 같다.

$$E = \frac{II}{4\pi\omega\epsilon_0} e^{-ikr} \left[\frac{jk^2}{r} + \frac{k}{r^2} + \frac{j}{r^3} \right] \quad (2-1)$$

식 (2-1)에서 거리 r 을 무한히 크게 하면 아주 먼 거리에서의 전계는 식 (2-2)와 같이 근사 시킬 수 있다.

$$E = \frac{jI l k^2 e^{-jkr}}{4\pi\omega\epsilon r} \quad (2-2)$$

식 (2-2)에서 안테나가 정현파적인 전류분포를 가지고 있다면 안테나의 길이 l 대신에 실효길이 $l = (2l/\pi)$ 를 식 (2-2)에 대입하여,

$$\frac{k}{\omega\epsilon_0} = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} = Z_0 = 120\pi \quad (2-3)$$

$$k = \frac{2\pi}{\lambda} \quad (2-4)$$

식 (2-2)에 식 (2-3), 식 (2-4)을 대입하여 평면대지상에서의 전계 강도 이론식을 나타내면 식 (2-5)와 같다.

$$E = \frac{j60\pi I l e^{-jkr}}{\lambda r} \quad (2-5)$$

제 3 장 여러 가지 전파 모델

무선전파(Radio Propagation) 모델이란 전파(電波)가 전파(傳播)하면서 발생하는 전파손실과 반사, 회절 등을 예측하는 기법으로 국내외에서 여러 가지 방법이 발표되고 있다. 그러나 전파 모델의 대다수가 실측에 의한 통계 자료임을 고려해 볼 때 측정기관, 측정지역, 측정환경 여부에 따라 다를 수 있으므로 어떤 방법이 정확하다는 판단은 적용하고자 하는 지역에서 실측하는 방법이 가장 타당하다 [3][4].

지금까지 발표된 전파예측모델은 각각 적용된 파라미터 및 가중치, 사용범위 등에 따라 장단점을 가지고 있으므로 이를 검토하여 실제 측정값과 비교하여 선택되어 질 수 있다. 먼저 여러 가지 전파예측모델의 적용파라미터들과 적용범위에 대하여 비교하여 보았다.

3.1 Okumura-Hata 모델

Okumura-Hata 모델은 측정 결과만을 이용하여 모델 식을 세운 완전한 경로손실 모델이며, Hata 함수식으로 표현된 그래프를 통하여 예측하였다. 이 방법은 측정 지역의 특징에 따라 개방, 교외, 도심지역으로 다음과 같은 기준에 의하여 분류하였다[5].

표 3.1 Okumura-Hata의 지역특징별 분류

Table 3.1 Classification by area characteristic of Okumura-Hata

분류	정의
개방지역	전파수신방향에 높은 나무나 건물들의 장애물이 없는 개활지
교외지역	이동국 주변에 장애물은 있지만 밀집되어 있지는 않은 지역으로서 숲이나 가옥이 산재된 전원지역, 교외지역 등
도심지역	2층 이상의 건축물이 밀집된 지역

Okumura는 도심과 준 평탄지역을 기준으로 예측모델을 세우고 다른 분류 지역에서 적용할 수 있도록 수정인자(factor)들을 첨가하여 예측모델을 정립하였다. Okumura는 다음과 같은 Hata 모델 식을 이용하여 경로손실을 예측하였다.

-도심지역 : $L_{dB} = A + B \log(d) - E$ (3-1)

-교외지역 : $L_{dB} = A + B \log(d) - C$ (3-2)

-개방지역 : $L_{dB} = A + B \log(d) - D$ (3-3)

여기서,

$$A = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) \quad (3-4)$$

$$B = 44.9 - 6.55 \log(h_b) \quad (3-5)$$

$$C = 2(\log(f_c/28))^2 + 5.4 \quad (3-6)$$

$$D = 4.78(\log f_c)^2 + 18.33 \log(f_c) + 40.94$$

(3-7)

$$E = 3.2(\log(11.78 h_m))^2 - 4.97 \quad \text{for large cities,}$$

$$f_c \geq 300 \text{ MHz}$$

(3-8)

$$E = 8.29(\log(1.54 h_m))^2 - 1.1 \quad \text{for large cities,}$$

$$f_c < 300 \text{ MHz}$$

(3-9)

$$E = (1.11 \log(f_c) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f_c) - 0.8)$$

for medium to small cities (3-10)

○ 적용 범위

- 사용주파수 : $150 \text{ MHz} \leq f_c \leq 1500 \text{ MHz}$
- 수신안테나높이 : $1 \text{ m} \leq h_m \leq 10 \text{ m}$
- 송수신안테나거리 : $d > 1 \text{ km}$

3.2 Lee 모델

Lee 모델은 전파가 자유공간을 통해 직접 전파되지 않고 빌딩, 나무, 언덕 등으로 인해 회절과 반사를 반복하여 수신점에 도달하는 경우 경로 손실을 구할 때 이용한다. 그림 3.1은 실효 송신 안테나 높이를 구하는 방법을 나타낸 그림이다. 송신 안테나에서 수신 안테나까지 경사가 있는 지역에서의 실효 송신 안테나의 높이를 송신 안테나로부터 수신 안테나가 있는 점까지의 경사와의 접근선을 이용하여 구하는 방법을 나타낸다. 이러한 방법에 의해서 실효 송신 안테나 높이를 구하고, 다음과 같은 식에 의하여 경로 손실을 구할 수 있다.

$$L = 10 n \log(d) - 20 \log h_{k \text{ eff}} - P_0 - 10 \log h_m + 29$$

(3-11)

$h_{k \text{ eff}}$ 는 송신안테나의 실효높이를 나타내며, h_m 은 수신안테나 높이이며, n 과 P_0 는 지역에 따른 보정계수로 표 3.2에 정의 되었다. 단, 측정은 주파수 900 MHz를 사용하였다[4].

표 3.2 Lee 모델에서의 변수

Table 3.2 The variables using on the Lee model variables

보정계수		n	P_0
자유공간		2	-45
개방지역		4.35	-49
교외지역		3.84	-61.7
도심지역	필라델피아	3.86	-70
	뉴어크	4.31	-64
	도쿄	3.05	-84
	뉴욕	4.8	-77

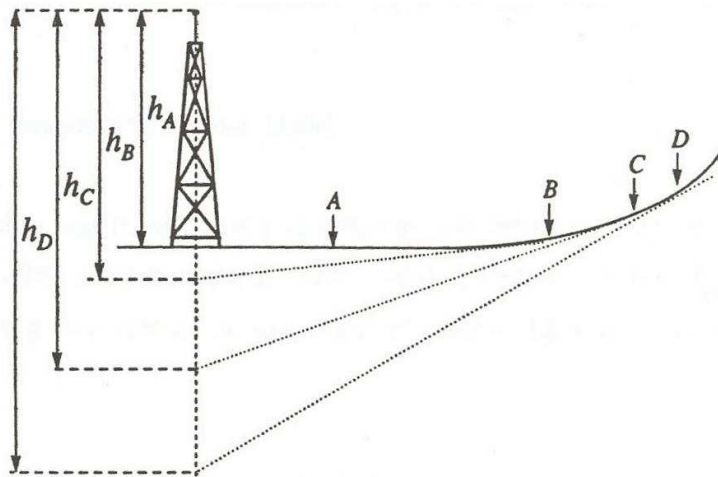


그림 3.1 Lee모델에서의 송신안테나의 실효높이

Fig. 3.1 Effective height of transmit antenna of the Lee model

3.3 Bertoni - Walfisch(COST-231) 모델

Bertoni - Walfisch 모델은 이론적인 모델에 기초를 두고 있으며 개별빌딩과 여러 개의 다중 전파경로의 효과를 고려하였다. 도심지역의 경우 높은 건물과 도로 등이 많으며 대부분 기지국 간의 거리가 매우 가깝게 매우 가깝게 위치해 있고, 도로주변은 도로를 사이에 두고 건물이 많기 때문에 건축물에 의해 전파환경이 절대적인 영향을 받게 된다. 그래서 Bertoni - Walfisch 모델은 도심지역의 다중경로를 고려하였다. 또한 COST-231 Working Group에 의해서 주파수의 영향, 거리의 진행방향효과를 고려하여 개발 보완 되었다. 또한 이 모델은 기지국의 안테나가 주변건물의 지붕높이 보다 높은 경우에 적용할 수 있다[6].

○자유공간 손실

$$32.4 + 20 \log d (km) + 20 \log f (MHz)$$

(3-12)

○Multi-Screen 분산손실

$$- 18 \log (1 + \Delta / h_b) + (54) + 18 \log d + (-4 + 0.7(f/925 - 1)) - 9 \log b$$

(3-13)

○Roof to Street 분산과 산란손실

$$- 16.9 - 10 \log w + 10 \log f + 20 \log \Delta h_m + L_{st}$$

(L_{st} is a function of street orientation)

(3-14)

○ 적용 범위

- 주파수 : 800 ~ 2,000 MHz
- 기지국 반경 : 200 ~ 5,000 m
- 기지국 안테나 높이 : 4 ~ 6 m (건물위에서의 안테나 높이)
- 단말기 안테나 높이 : 1 ~ 3 m

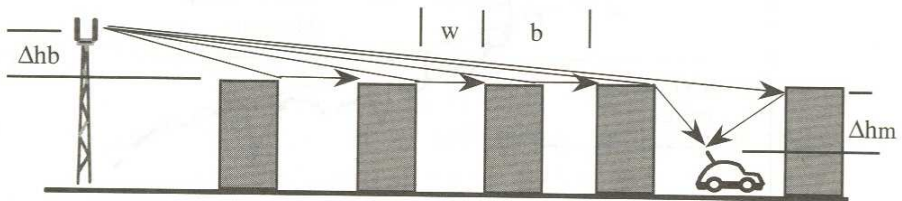


그림 3.2 Bertoni - Walfisch 모델의 구성도

Fig. 3.2 Structure of the Bertoni - Walfisch model

3.4 Ibrahim - Parsons 모델

Ibrahim - Parsons 모델은 측정에 의한 실제 데이터 및 경험적 모델과 평탄 지역 전파 경로손실 방정식을 기초로 구성된 준 경험적 모델이다. 이러한 준 경험적 모델 식은 평방 0.5 km에서 측정된 데이터로서 아래의 식(3-15)로 표현된다[6].

$$L_T = 40 \log(d) - 20 \log(h_m h_b) + \beta \quad (3-15)$$

여기서, h_b 는 송신안테나 높이이며, h_m 은 수신안테나 높이이다.

$$\beta = 20 + (f_c/40)0.18L - 0.34H + K \quad (3-16)$$

$$K = 0.094U - 5.9 \quad (3-17)$$

이며, β 는 clutter factor이고 f_c , H , U , L 의 함수로 표현된다. 변수 H , U , L 의 정의는 다음과 같다.

○ 측정지역높이 H : 각 평방 0.5 km 측정지역에서 나타나는 산, 골짜기, 고원 등의 실제 높이로 정의되며, 이러한 지형적 특징이 없는 경우에는 최소와 최대 높이의 수학적 평균값으로 나타낸다.

○ Degree of urbanization factor U : 각 측정 지역에서 4층 이상의 빌딩의 점유율을 퍼센트로서 나타낸다.

○ Land usage factor L : 각 측정 지역에 대한 모든 건물의 점유율을 퍼센트로 표현한 것으로 정의한다.

여기서 U 는 도심 지역의 특징이 현저하게 나타날 경우에만 변수로서 이용되고 이외의 지역에서는 사용되지 않으므로 $K=0$ 으로 나타난다. 하지만 $K=0$ 과 대응되는 $U=63\%$ 인 지역에서의 측정 데이터의 정확성이 현저히 떨어진다. 이 모델은 빌딩의 높이 분포에 대한 정보가 주어지지 않으면 일반적으로 $U=0$ 이기 때문에, 교외 지역 예측 모델로만 사용할 수 있다.

3.5 Carey 모델

Carey 모델은 450 ~ 1000 MHz 대역의 전송 손실을 언급한 CCIR Rcc.(Geneva, 1963)을 기본으로 작성하였으며, FCC part 22에서도 규정한 모델이다. 이 모델에서는 이동체의 안테나높이를 1.8 m로 하고 지형의 평균 높이를 기준으로 한 기지국 안테나 높이 (30 ~ 150 m 범위)와 구간거리 (130 ~ 240 km)등의 조건에 따라 지형의 평균 높이에 대한 전송 손실이 결정되어진다. 또한 기지국 위치의 선정을 위한 서비스 영역 예측 시 사용되는데 준 시가지를 대상으로 800 MHz 셀룰라 이동통신에서 평균지형 높이를 기준으로 하였다.

Carey 모델에서는 북쪽을 중심으로 45도 간격으로 각 8개 방향에 대한 16 km까지의 지형을 평균하는데 정확한 해석이라기보다는 단순한 기지국 선정을 위한 예측방법이라 할 수 있다.

900 MHz를 대상으로 하여 구간 거리에 따른 평균 전송손실을 수식으로 나타내면 아래의 식 (3-18)과 같다[5].

$$\begin{aligned} L &= 110.7 - 19.1 \log(h_b) + 55 \log(d) && (8 \leq d < 48) \\ &= 91.8 - 18 \log(h_b) + 55 \log(d) && (48 \leq d < 96) \end{aligned}$$

(3-18)

3.6 Egli 모델

Egli 모델은 평면대지 전파손실을 바탕으로 FCC에서 50 ~ 250 MHz의 주파수 대역과 288 ~ 910 MHz의 UHF 대역에서 도심 지역에서 측정한 방대한 자료를 가지고 통계적으로 세운 모델로써, 아래의 식 (3-19)을 기본으로 하여 주파수, 수신기와 송신기의 안테나 높이, 거리, 편파 등이 바뀔 때 이들 변수들이 경로 손실에 미치는 영향을 고려하였으며, 또한 기지국과 수신기의 서비스 범위에 따른 전계강도와 수신전력, 작은 지역에서의 변화, 움직이는 차량에서 발생하는 요동과 echo의 영향, 차량과 차량 사이의 수신 전력의 지형요소, 지역의 고유잡음 등을 고려하였다[5].

$$L = 139.1 - 20 \log(h_b) + 40 \log(d) \quad (3-19)$$

○ 적용범위

- 거리 : 60 km이내
- 주파수 : 40 ~ 900 MHz
- 수신안테나높이 : 1.5 m

3.7 Longley-Rice 모델

Longley-Rice 모델은 불규칙한 지형에서 20 MHz ~ 10 GHz의 주파수에 걸쳐 자유공간손실에 대한 상대적인 전파손실 예측한 모델로써, 파라미터로는 사용주파수, 대지로부터의 안테나 높이, 대지의 유전율과 도전율, 기후 등을 고려하였고, 특정파라미터로는 유효 안테나 높이, 지형의 불규칙도등이 있다.

또한 Longley-Rice 모델은 지점 대 지점모델과 지역 대 지역 모델로 구분하여 정의 하였으며, 지점 대 지점모델은 경로에 따른 정확한 지형 형태를 알고 있는 경우 특정파라미터를 지형을 통하여 결정할 수 있으며, 이에 따른 예측방법이다.

그리고 지역 대 지역 모델은 지형의 형태를 정확하게 알지 못하는 경우, 특정파라미터들을 예측기법을 통해 결정하게 되고 이러한 예측파라미터를 사용하여 전파손실을 예측하는 기법이다[5].

○적용범위

- 거리 : 1 ~ 2000 km
- 주파수 : 20 ~ 20000 MHz
- 수신안테나높이 : 0.5 ~ 3000 m

제 4 장 적용모델과 실측치 비교

4.1 적용 전파모델

ETRI 전파모델은 한국전자통신연구원에서 우리나라 환경에 알맞은 전파 모델 정립을 위해 개발한 모델이다. 이 ETRI 전파모델의 수식은 30 MHz에서 1 GHz 사이의 주파수 대역에 적용되는 모델로써, 수신안테나의 높이에 따른 영향을 포함시키기 위해 국내 지형의 특성에 따라 개발지, 중소도시, 대도시 밀집대도시 4가지형태로 지형을 분류하였다[9][10]. 회절손실로는 Knife Edge 회절을 고려하였으며 장애물이 존재할 때 수식을 달리 적용하여 신뢰성을 높였다. 또한 장거리 구간에 대하여 적용 가능하므로 본 논문에서 부산지역의 전파환경 분석을 위해 가장 적합하다고 판단하여 적용하였다.

4.1.1 ETRI 전파모델의 기본식

○ Line of Sight 조건인 경우

$$E = BFS + RAL + BAL \quad (4-1)$$

○ Non Line of Sight 조건인 경우

$$E = \min(BFS, DL) + RAL + BAL \quad (4-2)$$

E: 전계강도 예측값

BFS: 기본전계강도

RAL: 수신안테나 높이에 따른 손실 보정항

BAL: 기지국 안테나의 높이에 따른 보정항

DL: 회절손실

4.2 기본 전계강도 (BFS)

BFS는 ETRI 전파모델의 가장 기본이 되는 식으로 거리별 전계강도를 구하기 위해 사용된다. 여기서 기본적인 전계강도를 구한 후 보정값을 통해 전파의 실제 통달거리를 구하게 된다. BFS는 다음의 기본 전제조건을 만족하면서 측정된 데이터를 통계 처리한 결과를 수식으로 변환한 것이다.

○ BFS의 기본 전제조건

EIRP : 1 kW

지형 : 반평탄 지형

송신안테나 높이 : 30 m

수신안테나 높이 : 1.8 m

$$BFS = -40.15 \log(d) - 2.91 \log(f) + 112.86 + 20 \log\left(\frac{h_{te}}{30}\right)$$

(4-3)

d : 거리 km

f : 주파수 MHz

h_{te} : 송신 기지국 안테나 높이

4.3 지역별 수신 안테나 높이 보정항 (RAL)

BFS로 계산된 기본 전계강도 수신안테나 높이에 따른 영향을 포함시키기 위해 RAL을 도입하였으며 이 값은 지형 특징별로 다르게 표현된다. 즉, 국내 지형의 특성에 따라 개활지, 중소도시, 대도시, 밀집대도시 4가지 형태로 지형을 분류한 것으로 다음과 같다

○ 중소도시

$$E_1 = BFS + 10.84 \log(h_m) - 2.89 \log(f) - 16.05 \quad (4-4)$$

○ 대도시

$$E_2 = BFS + 14.74 \log(h_m) - 5.24 \log(f) - 23.48 \quad (4-5)$$

○ 밀집대도시

$$E_3 = BFS + 18.20 \log(h_m) - 5.55 \log(\mathcal{A}) - 27.11 \quad (4-6)$$

4.4 회절 손실 (DL)

ETRI 전파모델에 적용되는 회절손실은 Knife Edge 회절을 고려하였으며, ITU-R Rec. P.526에 권고된 수식을 사용하여 회절손실은 아래의 식과 같다.

$$BFS = \min(BFS, DL), \quad DL = E_F - \mathcal{A}(v)$$

(4-7)

$$\mathcal{A}(v) = 6.9 + 20 \log(\sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1)$$

(4-8)

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

(4-9)

h : 송수신 안테나를 연결하는 장애물 높이

$d_{1,2}$: 송수신 안테나로부터 장애물까지의 거리

4.4.1 Knife Edge 회절손실

전파는 진행방향에서 장애물을 만나면 장애물을 투과하지 못하고 넘어가는 성질이 있는데 이를 회절이라 한다. 이러한 회절은 주파수가 낮을수록, 또한 장애물이 좁고 날카로울수록 잘 일어난다. 일반

적으로 회절손실은 산악, 건물, 초목 등의 장애물에서 발생하는 Knife Edge형 회절을 고려한다. Knife Edge란 산악에 의한 차단 지형이 뾰족한 형태를 지칭하는 것으로 실제의 지형을 기하학적으로 단순화시킨 것이다. Knife Edge 모델은 장애물이 가시선 위에 있는 모델과 아래에 있는 모델로 분류할 수 있다. 송수신점이 가시경로 상에 위치하더라도 Clearance가 충분치 못한 경우는 수신전계 강도가 흔들려 수신신호 세력이 불안정하며, 전파가 장애지점으로 접근할수록 신호는 더욱 크게 흔들리게 되어 최종적으로 가시선과 장애점이 일치할 때 약 6 dB의 회절손실이 발생하게 된다.

장애점이 송·수신점간의 가시선보다 더욱 높아지면 회절손실이 더욱 증가하여 수신신호의 세력은 급격히 감소된다. 이러한 Knife Edge에 대한 회절손실의 이론값은 프레넬 형 적분을 통해 얻을 수 있으나 그 과정이 복잡하고 다중장애물인 경우는 정확한 이론적 해를 구하기 어려우므로 간단히 정량화한 계산식이 많이 사용된다. 이러한 계산식에는 실험에 의한 Deygout, Lee 방법 등이 있으나 보통 ITU-R에서 권고하는 수식을 많이 사용하게 되는데 ETRI 모델에서도 적용하였다[11][12].

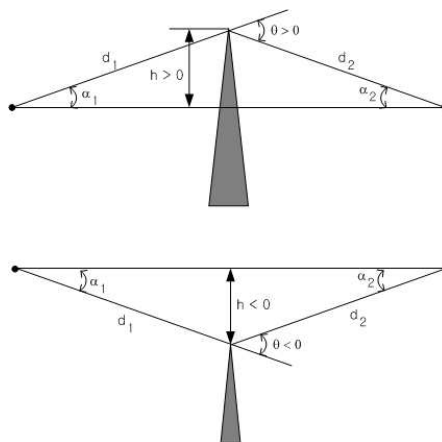


그림 4.1 나이프 에지 회절손실 모델

Fig. 4.1 Knife Edge diffraction Loss Model

4.5 전파환경 분석을 위한 파라미터

4.5.1 주파수

무선통신에 있어서 사용주파수는 통신방식과 통신의 특성을 결정하는 요소로 가장 주요한 파라미터가 된다.

4.5.2 송신출력

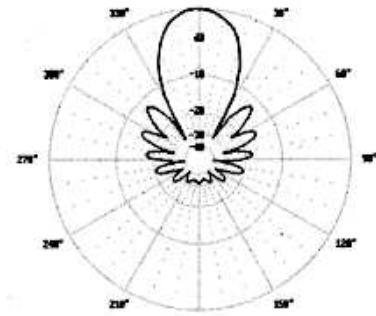
송신출력은 방송 서비스 영역을 결정짓는 중요한 요소이지만, 출력이 클 경우 전자파 장애나 다른 방송 서비스 및 무선통신 서비스에 영향을 줄 우려가 있으므로 최적의 출력을 설정하여야 한다.

4.5.3 지형조건

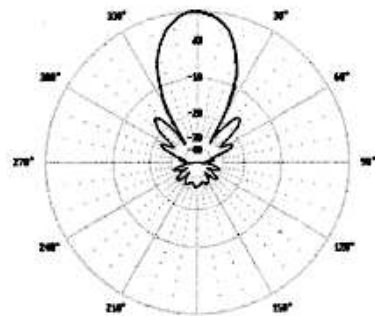
전파는 직진성이 강하므로 경로상에 있는 장애물에 의해 반사, 굴절, 산란을 하게 된다. 이러한 현상은 주파수가 높을수록 손실은 증가하게 되는데 비해 전파의 회절은 주파수가 낮을수록 잘 발생한다. 디지털 TV 방송에서 사용하는 UHF 대역의 주파수 특성은 이러한 장애물에 대해 이동전화나 PCS 서비스 혹은 무선 LAN 서비스보다 적은 회절손실을 갖게 되나, 이러한 경우에도 경로상 장애물이 존재하면 신호감쇠는 커지게 된다.

4.5.4 안테나 이득과 방사 패턴

UHF 디지털TV 수신을 위한 안테나는 야기 안테나를 대부분 사용한다. 이 안테나의 방사패턴은 그림 4.2와 같다.



(a) 수평면내 방사 패턴



(b) 수직면내 방사 패턴

그림 4.2 디지털TV 수신용 안테나 방사 패턴

Fig. 4.2 Antenna radiation pattern for digital TV reception

(a)Horizontal plane radiation pattern

(b)Perpendicular plane radiation pattern

제 5 장 전계강도 측정 및 분석

5.1 전계강도 측정환경

전계강도 측정을 위해 사용된 수신기는 그림 5.1에서와 같은 디지털TV 수신성 테스트를 위하여 10 dB의 이득을 갖는 UHF 대역 야기 안테나를 사용하였으며, 송신안테나는 그림 5.2와 같은 Anritsu사의 MP534B Dipole Antenna를 사용했다.



그림 5.1 디지털TV 수신용 안테나

Fig. 5.1 Antenna for digital TV reception

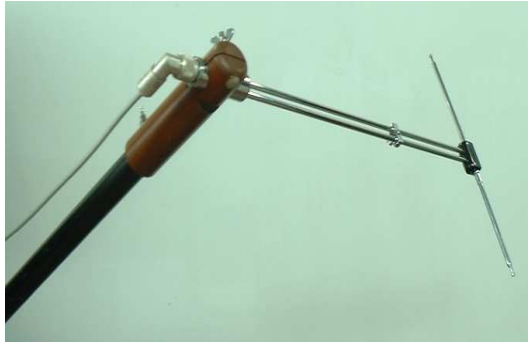


그림 5.2 디지털TV 송신용 안테나

Fig. 5.2 Antenna for digital TV transmission



그림 5.3 전계강도 측정기

Fig. 5.3 Electric field strength measuring instrument

거리별 전계강도 측정을 위하여 MP534B 다이폴 안테나를 지상으로부터 9 m 높이에 설치하고 10 m의 동축 케이블 양단의 N-type(m) 어댑터를 통해 ML521B 수신 전계강도 측정기에 연결하여 측정하였다. 이때, ML521B 수신 전계강도 측정기의 설정을 아래의 표 5.1에 나타내었다.

표 5.1 수신 전계강도 측정기 설정

Table 5.1 Establishment of electric field strength measuring instrument

설정 항목	설정	단위
Frequency	483	MHz
Pass Bandwidth	15	KHz
De-modulator	AM	-
Units	dB μ V/m	-
20dB RF Attenuation	Off	-
Calibration	On	-

5.2 전계강도 분석

디지털TV 전파환경 분석을 위한 측정에 있어서 송신 출력을 100 W로 두고 주파수를 483 MHz로 하여 전파원(Source)을 황령산 송신소로 하였다. 부산지역 전파환경 측정을 위해 제작된 지도는 그림 5.4에 나타내었다. 진북 방향을 기준으로 시계방향으로 15°의 각을 갖도록 표시된 방사선과 1 km 단위로 표시된 원과의 교차점을 측정 표본점으로 하였다. 그러나 측정이 어려운 경우에 대해서는 교차점과 가장 근접한 곳으로 대체하여 표본점을 추출하였다. 단, 강이나 바다 등 측정 차량이 진입할 수 없는 산악이나 특수한 지역에 대해서는 측정이 불가능한 지역으로 판단하여 측정 표본점에서 제외하였다.



그림 5.4 부산지역의 전파환경 측정을 위한 지도

Fig. 5.4 Map for radio propagation environment measurement of
Busan area

5.2.1 적용 자유공간에서의 전계강도

전파의 진행공간을 자유공간이라 가정하고 감쇠 및 회절손실 등이 없는 이상적인 경우라고 가정하여 전계강도를 산출하는 수식은 식 (5-1)에 나타내었다.

$$E_F = 7 \frac{\sqrt{PG_b}}{r} \quad (5-1)$$

또한, 실제 측정치와 비교하기 위해서는 $20 \log E_F$ 를 통해 얻을 수 있다. 위 식에서 G_b 은 안테나의 상대이득이며, P 는 송신출력이며, r 은 송신점에서 수신점까지의 거리이다.

5.2.1 적용 기본 전계강도

$$\begin{aligned} BFS = & -48.15 \log_{10}(d) - 2.91 \log_{10}(f) + 112.86 \\ & + 20 \log_{10}(h_{tel}/30) - 10 \end{aligned} \quad (5-2)$$

ETRI 전파 모델에서는 EIRP가 1 kw일때를 기본 전제조건이었으나 실제 측정에 있어서 100 W로 하였기 때문에 기본 전계강도 식에서 -10 dB를 보정하였다.

5.2.2 적용 수신안테나 높이 보정항

본 논문에서는 ETRI 전파모델의 밀집대도시에서의 모델을 기본으로 시뮬레이션을 하였고 그림 5.5에서는 실제 전계강도 측정시의 측정값과 ETRI 전파모델에 의해 적용된 이론값을 비교한 결과 전체적인 패턴은 유사하게 나타나지만, 오차를 분석한 결과 이론값에 비해 측정값이 평균적으로 23.40 dB정도 낮게 나타났다.

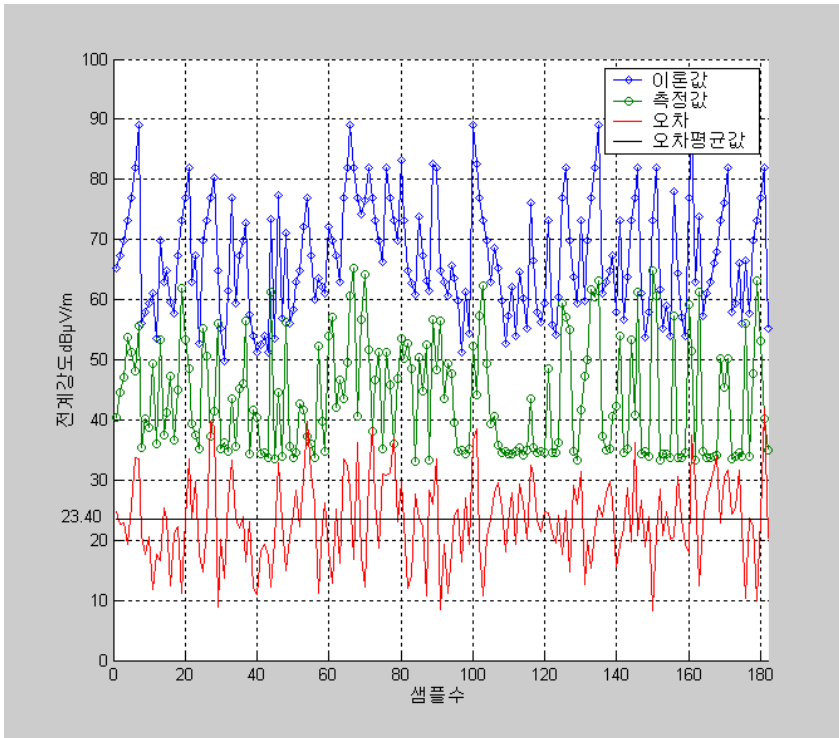


그림 5.5 이론값과 측정값의 오차분석

Fig. 5.5 Analysis of error between simulation and measurement values

본 논문에서는 이러한 오차를 보정하기 위해 수신안테나 높이 보정항을 식 (5-3)과 같이 적용하였다.

$$E_3 = BFS + 18.20 \log_{10}(hm) - 5.55 \log_{10}(f) - 50.51 \quad (5-3)$$

5.2.3 적용 회절손실

부산지역에는 백양산, 구덕산, 수정산 등 도시전체에 산악과 구릉지대가 많아 회절 손실이 많이 일어난다. 그리하여 본 논문에서는 실제 지형을 파악하여 산악과 구릉지대에 의한 회절손실을 포함하여 시뮬레이션 하였으며, 적용 수식은 아래의 식과 같다. 회절손실에서도 EIRP가 100 W이므로 -10 dB 보상하였다.

$$BFS = \min(BFS, DL), \quad DL = E_F - \mathcal{A}(v) - 10 \quad (5-4)$$

$$\mathcal{A}(v) = 6.9 + 20 \log(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1) \quad (5-5)$$

$$v = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)} \quad (5-6)$$

5.3. 시뮬레이션을 통한 전계강도 분석

디지털TV 전파환경 분석을 위해 부산지역에서 황령산 송신소를 중심으로 진북 방향에 대해 15° 간격으로 24방향에 대해 수신 전계강도를 측정하였다. 이들 24 방향에서 금정구 방향(0°), 철마면 방향(30°), 해운대구 방향(75°), 영도구 방향(195°), 사하구 방향(225°), 강서구 방향(300°)에 대해서 프로파일을 작성하였다. 이러한 방향을 선정한 것은 우선 금정구 방향은 도심을 가로지르며 가시거리(LOS)의 조건을 갖추고 있으므로 이론치와 측정치를 쉽게 비교할 수 있으며, 거의 평탄함으로 쉽게 전파환경에 대해 파악하기 쉽기 때문이다. 그리고 사하구와 강서구 및 철마면 방향은 처음 도심을 거치고 산악지역을 거쳐 도심지나 평야 혹은 분지로 전파가 전파됨으로 부산지역의 전파환경을 파악하기에 적합하기 때문에 선정하였다. 그리고 영도구 방향은 부산지역이 바다와 접해 있기 때문에 해양의 영향을 파악하고 영도구 내에 산악이 형성되어 있으므로 부산지역에 대한 전파환경을 파악하기에 적절할 것으로 판단하여 선정하였다.

또한 그림 5.6에서 그림 5.11까지 이상적인 평탄지형에서의 수신안테나높이 보정항을 적용하여 실제 지형에서와의 차이를 비교하였으며, 실제지형에서의 높이 보정항은 각 그림의 아래 지형도에 나타낸 높이를 적용하였고, 비가시거리 (NLOS)에 대해서는 회절손실을 고려하여 수식을 달리 적용하였다.

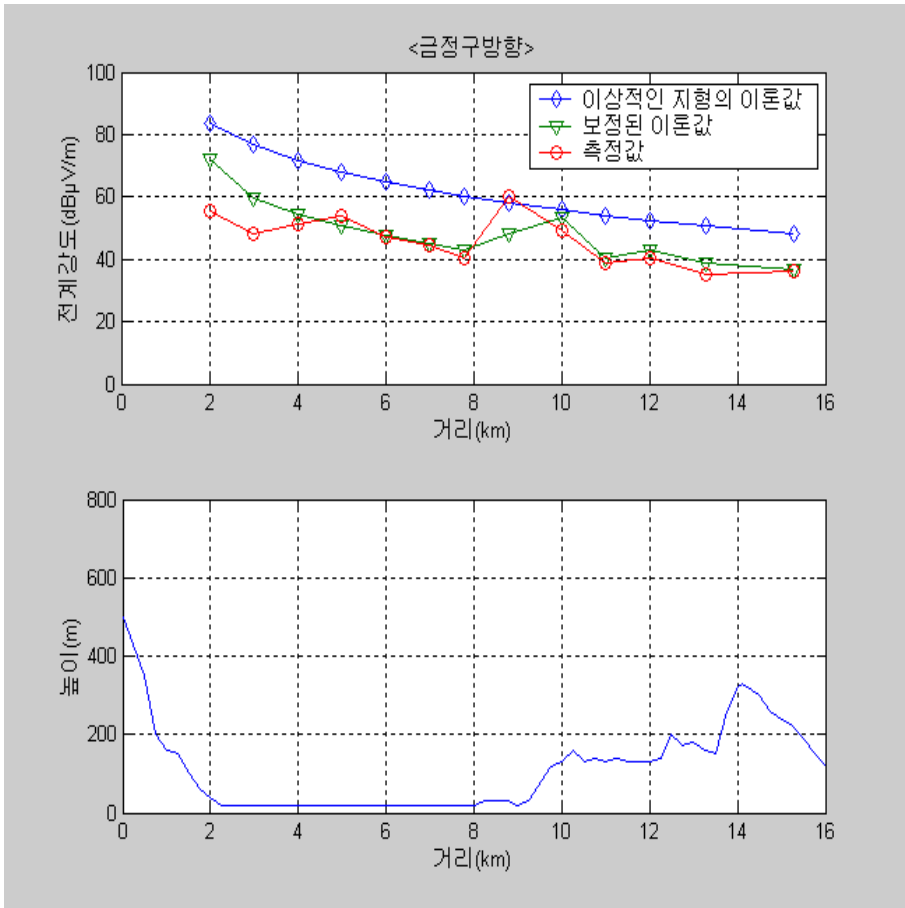


그림 5.6 금정구 방향 (진북기준 0°)

Fig. 5.6 Kumjunggu direction

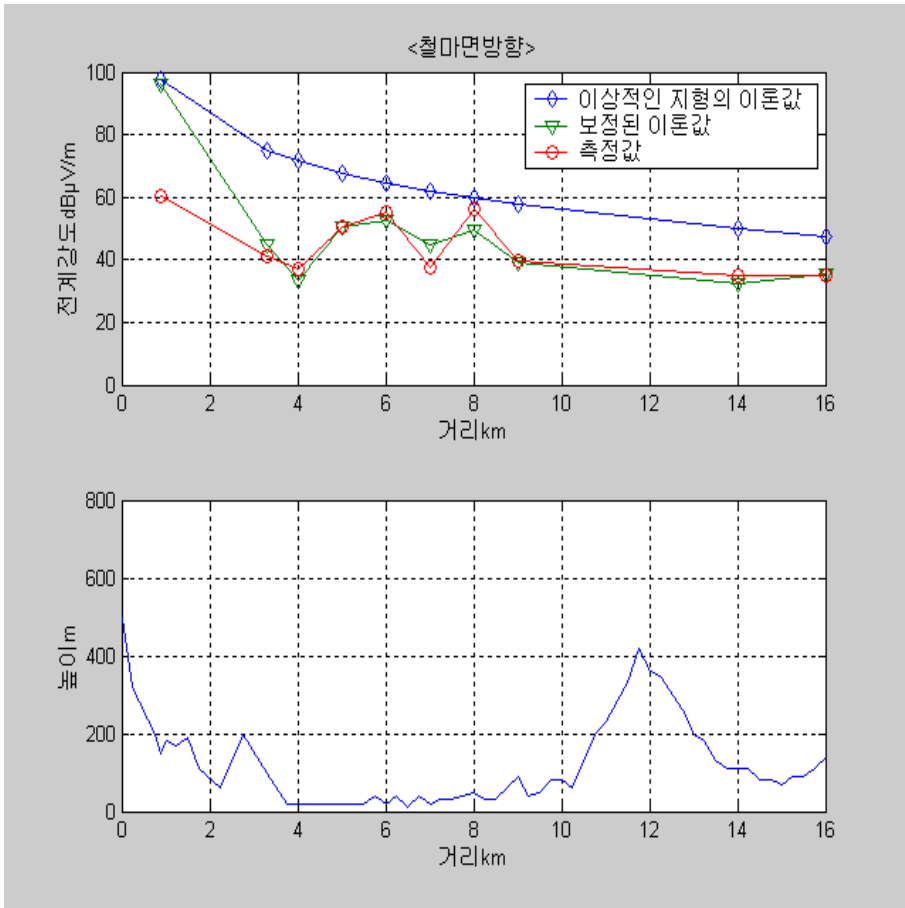


그림 5.7 철마면 방향 (진북기준 30°)

Fig. 5.7 Chulmamyun direction

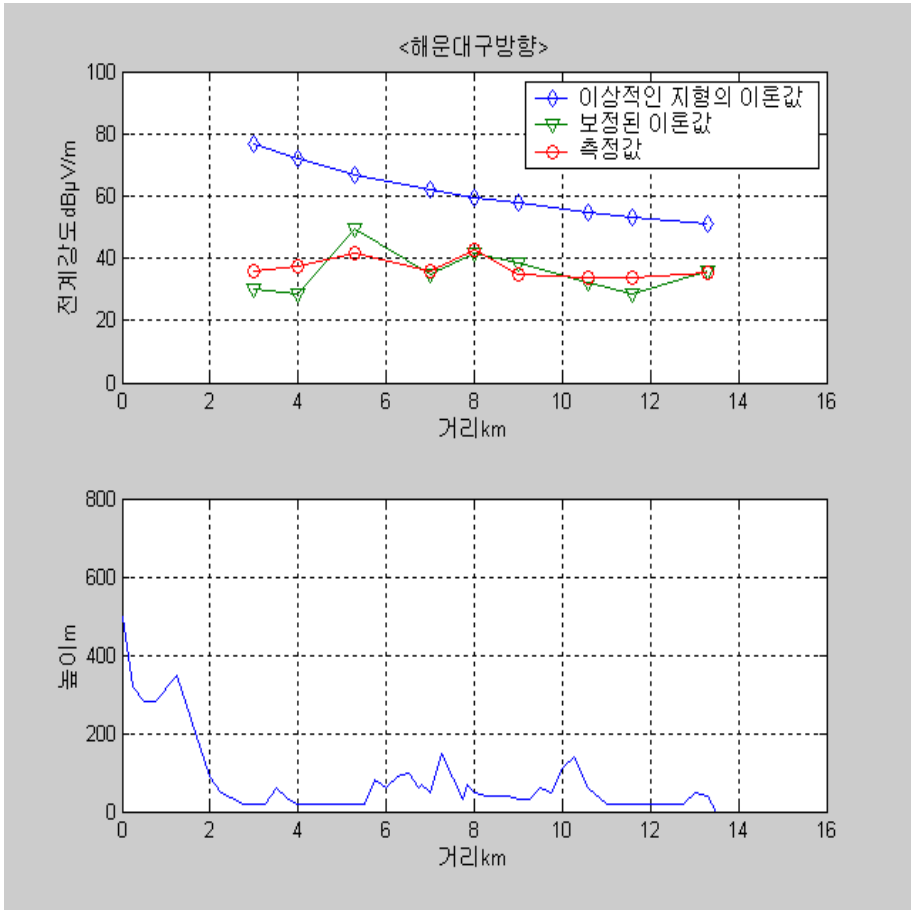


그림 5.8 해운대구 방향 (진북기준 75°)

Fig. 5.8 Heundeagu direction

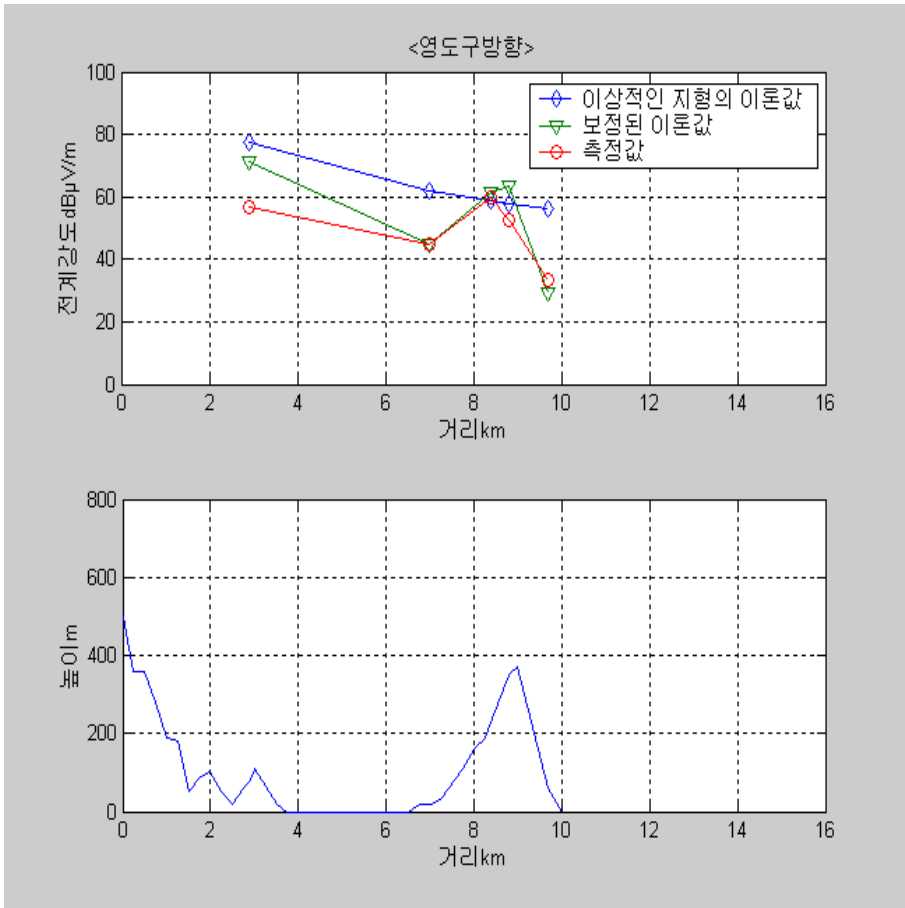


그림 5.9 영도구 방향 (진북기준 195°)

Fig. 5.9 Yungdogu direction

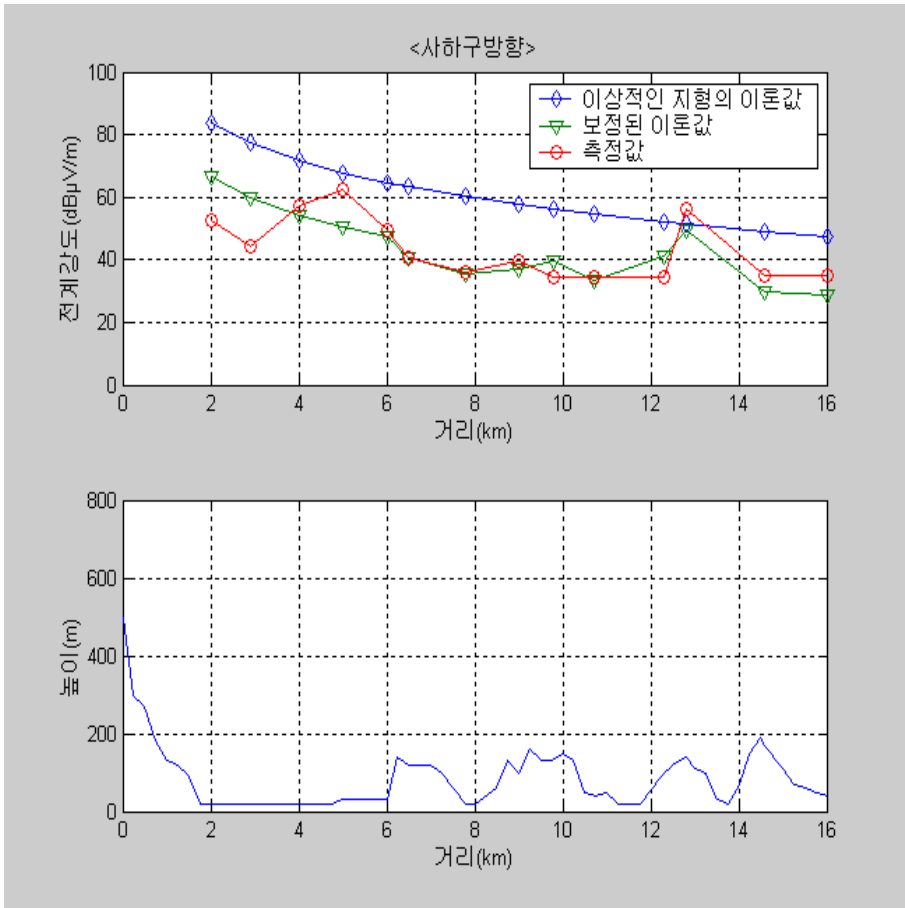


그림 5.10 사하구 방향 (진북기준 225°)

Fig. 5.10 Sahagu direction

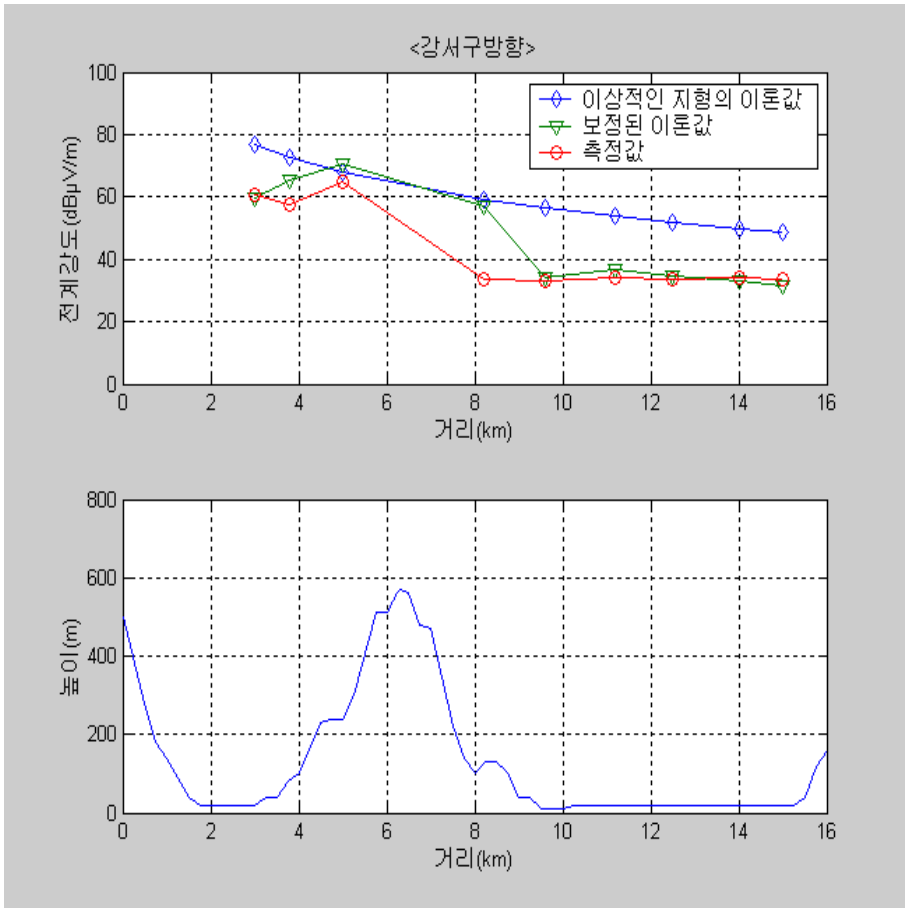


그림 5.11 강서구 방향 (진북기준 300°)

Fig. 5.11 Kangsugu direction

제 6 장 결론

본 논문에서는 부산지역의 전파환경을 분석하기 위하여 황령산 송신소를 기점으로 200여개의 표본점을 추출하여 전계강도를 측정하였으며, 이러한 측정값을 예측할 수 있는 이론적 모델로 ETRI 전파모델을 적용하여 측정값과 이론값을 비교하였다.

측정값과 이론값을 비교하기 위해서 먼저 장애물이 없는 이상적인 지형에서의 이론적 모델링과 실제 지형에서의 수신안테나의 높이 보정항과 회절손실을 고려한 ETRI 전파모델을 통한 이론값을 산출하였다. 실제 지형에서의 측정값과 ETRI 전파모델에 의한 이론값을 비교한 결과 이론값과 실제 측정한 측정값은 전체적으로 유사한 패턴을 가진다. 그러나 부산지역에서는 도심 밀집지역 및 산악과 구릉지대에 의해 전파환경이 열악하여 전체적으로 ETRI 전파모델에 의한 시뮬레이션 값보다 평균적으로 23.40 dB정도 낮게 나타나고 있다.

본 논문에서는 수신안테나 높이 보정항을 23.40 dB 보정함으로써 부산지역에 좀 더 근사하는 값을 도출하였다.

이렇게 부산지역에서의 정확한 전파환경을 분석함으로써 디지털 TV 적용시 적절한 송신출력의 예측과 정확한 서비스 지역을 분석할 수 있다.

참 고 문 헌

- [1] 박지형, 디지털방송, 세종출판사, 1999. 9.
- [2] 이상설, 안테나 및 전자파전파, 형설출판사, 1997. 2.
- [3] Yasuhiro Oda, Reiko Tsuchihashi, Kouichi Tsunekawa, and asaharu Hata, "Measured Path Loss and Multipath Propagation Characteristics in UHF and Microwave Frequency Bands for Urban Mobile Communications," *Proceedings of the IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference - Volume1*, P.52, 1991.
- [4] W. C. Y. Lee, *Mobile Communication Engineering*, New York, McGraw-Hill, Inc, 1982.
- [5] T.S Rappaport, *Wireless Communications Principles and Practice*, Prentice Hall Inc., New Jersey, 1996.
- [6] 김충남, 차세대이동통신실무, 진한도서, 1993. 5.
- [7] Sakagami, S., and Kuboi, K., "Mobile Propagation Loss Prediction for Arbitrary Urban Environments," *Electron. commun. Jpn.*, Part 1, Vol. 74 No.10, P.87, 1991.
- [8] Shuiji Sakagami, and Kiyoshi Kuboi, "Mobile Propagation Loss Prediction for Arbitrary Urban Environments," *Electron. commun. Jpn.*, Part 1, Vol. 74, Jan 1991.

- [9] Ao Tang, JiXian Sun, and Ke Gong, "Mobile Propagation Loss with a Low Base Station Antenna for NLOS Street Microcells in Urban Area," *Proceedings of the IEEE VTS 53rd Vehicular Technology Conference - Volume 1*, P.24, 1994.
- [10] DAB산업동향보고서, 전자부품연구원, Mar. 2002.
- [11] 이광직, "국내 지상파 디지털방송 전환 계획의 기본 환경," 방송공학회지, 제3권, 제3호, pp. 11-23, Aug. 1998.
- [12] 지상파 디지털 TV 방송의 표준화 동향, ETRI 연구보고서, 1999.
- [13] Gary Sgrignoli, "Preliminary DTV Field Test Results And Their Effects on VSB Receiver Design," *ICCE '99 Conference*, 1999.

감사의 글

힘든 2년동안 많은 가르침을 주신 조형래 교수님께 진심으로 감사드립니다.

그리고 저의 부족한 논문을 논문의 모습으로 틀을 잡아주신 원영수 국장님과 정지원 교수님께 깊이 고개 숙여 감사를 드리며, 항상 저를 지켜봐 주시고 가르침을 주신 김동일 교수님, 민경식 교수님, 김기만 교수님, 강인호 교수님께도 진심으로 감사드립니다.

무엇보다도 어려울 때 멀리서나마 항상 힘을 주신 성태경 선배님과 옆에서 항상 도와주신 손준영 선배님, 최동한 선배님, 이외형 선배님께도 감사드리며, 1년동안 같이 생활하고 동고동락하며 옆에서 많이 도와주었던 순영이, 앞으로도 실험실에서 고생하며 지켜나갈 동식이와 수홍에게도 감사드립니다.

마지막으로 항상 열심히 하라고 격려를 아끼지 않았던 가족들과 멀리서 항상 걱정해 주시던 선배님 그리고 나의 동기들에게도 감사드립니다.