

# 제 출 문

본 보고서를 「국내 전파환경 특성에 기반한 전파예측모델 개선방안 연구」 과제의 최종보고서로 제출합니다.

2012. 11. 23.

연구책임자 : 강 영 홍(군산대 정보통신공학과)

연구보조원 : 나 종 찬(군산대 정보통신공학과)

이 대 영(군산대 정보통신공학과)

김 정 호(군산대 정보통신공학과)

정 진 기(군산대 정보통신공학과)

김 소 하(군산대 정보통신공학과)

## 요 약 문

1. 과제명 : 국내 전파환경 특성에 기반한 전파예측모델 개선방안 연구

2. 연구 기간 : 2012. 3. 28 - 2012. 11. 23

3. 연구책임자 : 강 영 홍

4. 계획 대 진도

가. 월별 추진내용 (계획: → 진도: .....→ )

세부내용	연구자	월별 추진계획												비 고
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	
1. 자료수집		→	→											
2. ITU-R 전파전달 특성 관련 주요 권고(P.1546, P.530, P.452)조사 분석	강영홍	→	→											
3. 300MHz~3GHz 대역에 서의 다양한 환경요소에 서 장거리 송수신 특성 측정 및 분석	나종찬 이대영 김정호 정진기 김소하	→	→											
4. 중간보고서					→	→								
5. 측정결과와 ITU-R 권 고 P.1546, P.530, P.452에 기초한 주파수자원분석시스템(SMIS) 시뮬레이션 결과와 비교 분석			→	→	→	→								
6. 국내 주파수자원분석시스템(SMIS)검토 및 개선						→	→							
7. 최종보고서								→	→					
분기별 수행진도(%)		35			35			30						

#### 나. 세부 과제별 추진사항

- 1) ITU-R 전파전달 특성관련 주요 권고(P.1546, P.530, P.452) 조사 분석 완료
- 2) 300MHz~3GHz 대역에서의 다양한 환경요소에서 장거리 송수신 특성 측정 및 분석과 관련하여 방송서비스에 대한 측정완료
- 3) 측정결과와 ITU-R 권고 P.1546, BCAST에 기초한 주파수 자원분석 시스템(SMIS) 시뮬레이션 결과와 비교 분석 완료
- 4) 국내 주파수자원분석시스템(SMIS)검토 및 개선을 위해 SMIS 개선 실무연구반 회의 개최

### 5. 연구결과

#### 1) 전파예측모델 분석

##### o ITU-R P.1546 전파모델

- 본 권고안은 30~3000MHz 주파수 범위에서 지상 서비스를 위한 점대 지역(point-to-area) 전파예측을 위한 방법을 설명
- 3000m 이하의 유효 송신 안테나 높이에서 1~1000km 길이의 육상, 해상 및/또는 육상-해상 복합경로에 대한 대류권 무선회로(tropospheric radio circuits)에서 사용
- 예측방법은 거리, 안테나 높이, 주파수 및 % 시간의 함수의 전계강도 곡선으로부터 내삽법/외삽법(interpolation/extrapolation)에 근거
- 계산과정은 terrain clearance 및 terminal clutter obstructions를 보상하기 위해 내삽법/외삽법으로 얻어진 결과에 대한 보정을 포함

##### o BCAST 모델

- 방송통신위원회 고시 제2009-27호
- 방송구역 전계강도의 기준 제공
- 방송서비스에 대한 예측모델로서 표준방송을 하는 방송국 및 초단파방송, 텔레비전방송을 하는 방송국으로 구분
- 안테나의 특성을 고려하였으며, 혼성전파로에 대한 전계강도 계산방법, 산악지형에 대한 단일 모서리형 및 다중 모서리형 등을 이용하여 전계강도 계산에 의한 전파 예측

○ ITU-R P.530 전파모델

- 디지털 고정 LOS 링크 설계 시 clear-air 및 rainfall 조건에서 고려해야 할 전파 영향에 대한 예측방법 및 경감기법을 포함하여 단계별 절차상의 링크설계 지침을 제공
- LOS 무선 중계 시스템 설계에서 지형 장애물에 의한 회절 페이딩, 대기 가스에 의한 감쇠, 대기 다중경로 또는 빔 확산에 의한 페이딩, 표면반사로부터 발생하는 다중경로 페이딩, 대기 강우에 의한 감쇠, 굴절에 의한 수신기상의 도래각 변동 및 송신기상의 방사각 변동, 다중전파에서 주파수선택성 페이딩 및 지연에 기인하는 신호 왜곡 등의 전파영향을 고려함

○ ITU-R P.452 전파모델

- 0.1GHz 이상의 주파수에서 clear-air 및 hydrometeor 산란간섭 메커니즘을 고려한 지표면상의 무선국간의 간섭계산을 고려한 예측 모델
- Clear-air 방법은 세 가지 모델로 구현되어 있지만, LOS, 회절, 대류권 산란, 덕팅 및 레이어 반사/회절, 클러스터 변동 등 전파 메커니즘을 고려

## 2) 전파측정 및 분석

○ 측정 데이터 확보

- 중앙전파감시소에서 수행되고 있는 관악산 중계소에 대한 서울지역의 전파측정 데이터를 확보하여 SMIS 시스템을 이용하여 분석
- 관악산 중계소 주변의 측정된 데이터를 BCAST 모델과 P.1546 모델에 대한 비교결과는 LOS(line of sight) 가시경로에서는 비슷한 결과를 보이거나 NLOS(Non LOS)에서는 BCAST 모델은 P.1546 모델보다 경로손실이 크게 나타남
- 대도시/중소도시, 밀집지역/교외지역, 개방지역/숲-나무/강-호수에 대한 실측과 예측 데이터를 비교하였다. 대도시보다는 중소도시, 밀집지역보다는 교외지역, 숲-나무 또는 강-호수 보다는 개방지역에서 실측 데이터와 예측 데이터의 분포가 유사함

○ 전파측정 및 분석

- NARDA-STS사의 휴대용 전파측정 시스템을 이용하여 6월 10일부터 7월 10일까지 모악산 중계소에서 변산반도에 이르는 약 45km에 이르는 전파경로를 따라 1차 측정을 수행



- 10월 5일부터 25일까지 서울 코엑스 일원, 전주시 전북도청 일원, 모악산에서 변산 새만금에 이르는 50km 전과경로에 대해 2차 측정을 수행
- 1차 측정에서는 측정루트에서 산악지형과 평야, 호수와 해안 등의 7개 지역으로 구분하여 이동 가능한 지점을 측정 지점으로 선택하였으며, 한 지점 당 3분 단위의 평균 전계강도 값을 기록하였다. 선택된 주파수및 서비스는 195MHz MBC ATV, 213MHz KBS ATV, 551MHz KBS 제1 DTV, 587MHz JTV DTV, 635MHz MBC DTV, 653MHz KBS2 DTV, 665MHz EBS DTV의 7개 방송서비스에 대해 측정
- 2차 측정에서는 지향성 LP 안테나를 사용하였으며, GPS 외부입력을 동시에 수신하여 측정위치를 동시에 저장함
- 코엑스 지역에서는 관악산 중계소로부터 수신되는 473MHz MBC DTV, 479MHz KBS 제1 DTV, 485MHz SBS DTV, 491MHz KBS 제2 DTV, 전주지역 및 모악산에서 변산반도 새만금까지는 모악산 중계소로부터 수신되는 5개 DTV 방송서비스에 대해 측정
- BCAST 예측모델은 LOS에서는 거의 일치하나, NLOS에서 실측과 예측 데이터 간에 오차가 크게 나타나고 있지만, P.1546 모델은 LOS 및 NLOS에서 실측과 예측 데이터 간에 거의 일치함
- 주파수가 낮은 ATV 서비스에서 경로에 따른 분산값이 큰 반면 DTV 서비스와 같은 높은 주파수에서는 경로에 따른 분산값이 적음
- 건물이 포함될 때와 포함되지 않을 때의 비교분석을 보면 BCAST 모델에서는 큰 차이가 없지만, P.1546 모델에서는 665MHz 및 653MHz 주파수에서 현격한 차이를 보임
- 코엑스지역에서는 P.1546 모델은 실측과 예측치가 거의 일치하고 있지만, BCAST 모델의 예측치는 실측치보다 상하로 상당한 오차범위를 보이며, 건물에 의한 회절손실 등에 대한 추가적인 검토가 필요함
- 전주지역에서는 LOS 및 NLOS 전과환경에 대한 분석도 수행하였으며, P.1546 모델의 예측치는 실측치와 거의 겹치고 있으나, BCAST 모델에 의 한 예측치는 실측치보다 아주 높게 예측되어 GIS 지형 및 건물데이터의 현실적인 업그레이드 문제점이 나타남
- 모악산에서 변산반도에 이르는 전과경로에서는 LOS 및 NLOS 전과환경에 대한 분석도 이루어졌으며, P.1546 모델은 실측치에 유사하게 예측되고 있지만, BCAST 모델은 높게 예측되어, LOS 전과환경에서의 나무 및 숲에 의한 페이딩과 해안에서의 반사파/덕팅 등에 의한 영향을 고려한 모델 개선 및 보완이 요구됨

### 3) SMIS 개선방안 연구

#### o 전파측정 및 분석에 의한 SMIS 개선방안

- 서울 대도심, 전주 중소도시, 모악산에서 변산반도에 이르는 산악 및 개방지역의 방송서비스에 대해 세 가지 전파환경에 대해 측정을 수행하여 SMIS 방송망과의 예측분석을 수행
- 현재 SMIS 시스템은 전파업무용도로만 되어 있어 대학 및 연구기관이 소스 코드에 접근이 불가능하여 실측/예측간의 오차 원인분석 및 이의 개선에 어려운 점이 있으므로 별도의 연구용 SMIS 서버구축을 통해 전파업무 및 전파모델 개선 등 관련연구에 효율적으로 이용할 수 있는 연구가 필요함
- P.1546 및 BCAST 모델에 나무와 숲에 의한 페이딩 영향을 고려한 전파모델의 개선 및 이의 국제적인 반영을 위한 연구가 필요
- SMIS 지형 및 건물 GIS 데이터의 업그레이드 시기가 최단 1년 최장 10년의 차이를 보이고 있어 현실적인 GIS 데이터 확보를 위한 별도의 연구가 필요함
- 전파환경과 조화를 이루는 GIS 및 3D 지형지물의 데이터 확보 및 이의 적용방안 연구필요
- 방송서비스에서는 9m의 안테나 높이로 측정기준을 두고 있어 현재 SMIS 시스템은 9m 방송전파 환경을 분석하고 있지만, 본 측정에 사용된 4m 안테나 또는 1m 안테나 수신환경을 고려한 전파자원분석시스템 개발 연구가 요구됨
- 국제적으로 해안/강 바다지역에서의 전파예측 모델개발이 이루어지고 있는 바, 국내에서도 장기적인 해안 도서지역에서의 측정시스템 구축 및 데이터 확보를 통한 분석이 필요함

#### o P.1546 모델 개선 연구

- 최근에 업데이트된 P.1546-14 버전은 육상과 해상 전파경로가 혼합된 경로의 전계강도를 평가할 수 있는 새로운 접근법을제공하고 있지만, 호수, 강과 같은 fresh-water 상의 부분적인 무선링크를 취급하고 있지 않으며, fresh-water 혼합경로는 전적으로 육상경로로 취급되어 왔음
- 주요 개념은 ITU-R P.1546-2에 서술된 송신기와 수신기 간 전체 프로파일을 사용하는 것이 아니라 등가 평면 프로파일과 타원의 교차점내에 놓

여 있는 water의 비율을 구함

- 새로운 방법을 평가하기 위해 1809MHz 주파수에서 지배적으로 교외지역인 브라질의 Belo Horizonte 내의 Pampulha Lagoon 주위 및 856.039MHz에서 Paranoa Lake에서 측정이 수행됨
- P.1546-2에 의한 예측된 경로 손실은 혼합경로에서 측정된 데이터 보다 과평가 되고 있지만, 새로운 접근법에 의한 예측은 다른 모델들에 비해 보다 정확한 일치를 보여 주고 있음

#### o SMIS 개선 실무연구반 회의 개최

- SMIS에 국내 강우특성을 반영하는 것이 필요함
- 국내 M/W 운영 실태 및 운영 규정상의 문제점 지적
- 보수적 차원의 전파전달특성 예측 및 분석 필요
- 측정, 분석 연구결과의 활용(시스템 반영) 및 한국형 모델 개발 필요

## 6. 기대효과

- o ITU-R 전파전달 특성관련 주요 권고(P.1546, P.530, P.452)조사 분석을 통한 전파자원관리 연구에 필요한 이론정립
- o 대도시, 중소도시, 산악 및 개방지역의 전파환경 측정 및 분석을 통한 다양한 데이터 확보 및 SMIS 예측시스템 개선을 위한 기본 데이터 확보
- o 향후 국내 전파환경에 적합한 전파모델 개발 및 이의 적용을 통한 SMIS 개선 연구에 필요한 데이터 제공

## 7. 기자재 사용 내역

시설·장비명	규격	수량	용도	보유현황	확보방안	비고
스펙트럼 분석기	~2GHz	1	측정용	있음		
SRM-TS	~3GHz	1	측정용	없음	임차	
N9915A FieldFox	~3GHz	1	측정용	없음	임차	
RF 분석기						
SMIS		1	분석용	없음	전파연구원	

## 최종보고서 초록

국문 초록		
<p>본 연구에서는 전파예측 모델로서 ITU-R 권고 P.1546, P.530, P.452 및 국내에서 개발된 BCAST 모델을 분석하여 전파자원분석시스템(SMIS)을 이용한 전파예측에 이해를 도모하였다. 또한, SMIS 시스템 개선을 위해 대도시지역으로 서울 코엑스, 중소도시 지역으로 전주시 전북도청, 산악 및 개방지역으로 모악산-변산반도에 이르는 전파경로에서 방송서비스에 대해 1차 및 2차 전계강도 측정을 수행하였으며, 측정된 데이터와 SMIS 예측모델 P.1546 및 BCAST에 대한 실측/예측 비교분석 및 이의 오차분석을 수행하였다. 그 결과로서 P.1546 모델은 세 가지 전파환경에 대해 적절한 예측값을 제공하고 있지만, BCAST 모델은 코엑스 지역에서 상하 편차가 매우 크고, 전주 및 모악산-변산 전파경로에서 실측치보다 매우 높게 예측되는 문제점 등을 도출하여 SMIS 향후 개선연구 방안을 제시하였다.</p>		
영문 초록		
<p>In this study, we have analyzed ITU-R Recommendations P.1546, P.530, P.452, and Korean BCAST which are used in SMI system to compare the predicted and the measured data. Also, in order to improve the SMI system, we had measured the field strengths of broadcasting services in COEX area, Seoul as a dense urban, Jonbuk Provincial Office area, Jonju as a urban, Moaksan-Byunsan area, as a rural, estimated differences between the measured and the predicted data. As a result, P.1546 model provides the valid predicted data similar to measured data in above three environments, but BCAST model has some problems of large deviation and higher prediction to measured data. Therefore, some future studies for improving SMI system has been proposed to solve urgent problems in utilizing and developing the system.</p>		
색 인 어	한글	전파자원분석시스템, ITU-R 권고안, 전계강도측정
	영문	SMI system, ITU-R Recommendation, Field strength measurement

# SUMMARY

The prediction of field strength in a various terrestrial environment is a complex task when obstruction by terrain and/or scattering from buildings or mountains objects are improved. RRA has developed and utilized SMI system from several years ago, but some requirements of improvements in this system have been raised. Therefore, in this study, we draw the problems from SMI system, and propose some future studies for improving the system to solve the problems by analyzing the ITU-R Recommendations P.1546, P.530, P.452 and Korean BCAST which are used in the system to compare the measured and the predicted data. Also we have measured field strength in three environments, e.g. COEX area, Jonbuk provincial office area, Moaksan-Byunsan propagation route, and analysed the differences between the measured and the predicted data using SMI system.

In Chapter 2, ITU-R Recommends ITU-R Recommendations P.1546, P.530, P.452 and Korean BCAST has been analysed to understand the prediction methods, that is, a method for point-to-area radio propagation predictions for terrestrial services in frequency 30MHz to 3000MHz such as P.1546, prediction methods for propagation effects that should be taken into account in the design of digital fixed line-of-sight links, both in clear-air and rainfall conditions such as P.530, a prediction method for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above 0.1GHz, and a Korean method for evaluating and measuring the field strength in broadcasting services.

In Chapter 3, the field strength data of broadcasting services measured along the Moaksan-Byunsan path has been analysed using SMI system. From the results, BCAST prediction values are nearly identical to the measured values in LOS, but has large differences between them in NLOS environment, while P.1546 prediction values are similar to the

measured them. Lower frequency ATV services has wider deviation, and there is no difference between prediction data with and without buildings in BCAST model. However, P.1546 model shows the considerable differences between prediction data with and without buildings in 665MHz and 653MHz.

In Chapter 4, the second measurements of field strength have been carried out in three environments to fill the shortage of data numbers in first measurements, and to analyse various propagation profiles. These data have been analysed and compared to the predicted data by P.1546 and BCAST models using SMI system. As a result, P.1546 model provides the valid predicted data similar to measured data in above three environments, but BCAST model has some problems of large deviation and higher prediction to measured data.

In Chapter 5, we propose some future studies for improving SMI system, which are the needs of another version to open source codes for university and research institutes, the rapid upgrade of GIS data to fit real world, the consideration of fading effects due to trees and ducting effects over the sea surface, etc.

# 목 차

제 1 장 서 론 .....	24
제 1 절 연구의 목표 .....	24
제 2 절 연구의 필요성 .....	25
제 3 절 연구내용 및 범위 .....	28
제 2 장 전파 예측 모델 .....	30
제 1 절 ITU-R P.1546-14 .....	30
제 2 절 BCAST 모델 .....	62
제 3 절 ITU-R P.530-14 .....	65
제 4 절 ITU-R P.452-14 .....	80
제 3 장 1차 전파측정 및 분석 .....	95
제 1 절 측정 데이터 .....	95
제 2 절 전파 측정 .....	100
제 4 장 2차 전파측정 및 분석 .....	112
제 1 절 측정 시스템 구성 .....	112
제 2 절 전파 측정 환경 .....	113
제 2 절 전파 측정 분석 .....	115
제 5 장 SMIS 개선 방안 .....	179
제 1 절 SMIS 전파모델 개선 연구 .....	179
제 2 절 P.1546 모델 개선 연구 .....	180
제 3 절 SMIS 개선 실무연구반 회의 .....	186
제 6 장 결 론 .....	191
[참고문헌] .....	195

## 표 목 차

표 2-1 Step-by-step 실행 절차 .....	32
표 2-2 입력 파라미터 및 제한 값 .....	39
표 2-3 전계강도 표에 사용된 거리 값(km) .....	40
표 2-4 근사 역보완 누적 정규 분포함수 값 .....	48
표 2-5 무선 서비스 planning에 사용되는 variability 값 .....	56
표 2-6 기본 입력 데이터 .....	81
표 2-7 Radio-climatic zones .....	83
표 2-8 경로 프로파일로부터 유도되어야 할 파라미터 값 .....	84
표 2-9 공칭 클러터 높이 및 거리 .....	87
표 3-1 측정 데이터 저장 형식 .....	102
표 4-1 코엑스지역 실측/예측 오차 평균 및 표준편차 .....	123
표 4-2 전주지역 실측/예측 오차 평균 및 표준편차 .....	150
표 4-3 모악산-변산 실측/예측 오차 평균 및 표준편차 .....	177
표 5-1 MVE 및 STD 값 .....	182
표 5-2 경로거리 및 육상/해상 비율 .....	184
표 5-3 측정 데이터 및 예측 데이터 .....	186
표 5-4 측정 전계강도에 대한 P,1546 예측의 비율 .....	186



## 그 립 목 차

그림 1-1 장기 간섭전파 메커니즘 .....	26
그림 1-2 단기 간섭전파 메커니즘 .....	26
그림 2-1 100MHz, 육상경로, 50% 시간율 .....	33
그림 2-2 100MHz, 해상경로, 50% 시간율 .....	34
그림 2-3 600MHz, 육상경로, 10% 시간율 .....	35
그림 2-4 600MHz, 냉해(cold sea) 경로, 10% 시간율 .....	36
그림 2-5 2000MHz, 육상경로, 1% 시간율 .....	37
그림 2-6 2000MHz, 온해(warm sea) 경로, 1% 시간율 .....	38
그림 2-7 $h_1 < 0$ 에 대한 실효 clearance angle .....	45
그림 2-8 혼합경로를 위한 기본 내삽계수, $A_0$ .....	50
그림 2-9 수신/이동 안테나 높이 정정을 위한 플로우 차트 .....	54
그림 2-10 실효 안테나 높이, $h_{eff}$ 정의 .....	58
그림 2-11 Land categories에 따른 수신/이동 안테나 높이 정정곡선 .....	59
그림 2-12 수직편파 등방성 안테나, flat ground, $h_1 = 35m$ , 상대 유전율 $\epsilon_r = 15$ , 도전율 $\sigma = 0.005$ 에서 수신/이동 안테나 높이에 따른 상대 수신전력 .....	60
그림 2-13. $\theta$ 의 정의 ( $d \geq 16km$ ) .....	61
그림 2-14 공칭주파수에 대한 TCA 정정 .....	61
그림 2-15 단일 모서리형 회전손실 .....	65
그림 2-16 다중 모서리형 회전손실 .....	65
그림 2-17 P.530-12와 P.530-13과의 비교 .....	78
그림 2-18 예측과 측정 비교 .....	80
그림 2-19 Height-gain 정정 적용을 위한 방법 .....	87
그림 2-20 P.452에서 가정한 전파환경 .....	91
그림 2-21 Knife-edge 모델 .....	91
그림 2-22 다른 빌딩, $i, j$ 에 의한 클러터 손실 비교 .....	91

그림 2-23 발생확률을 계산하기 위한 전파 환경 .....	93
그림 2-24 클러터 손실에 대한 발생확률 .....	94
그림 3-1 BCAST 모델과 P.1546 모델간의 비교 .....	95
그림 3-2 BCAST LOS 및 NLOS에 대한 실측/예측 데이터 분포 ·	96
그림 3-3 BCAST 전파환경에 따른 실측/예측 데이터 분포 .....	97
그림 3-4 P.1546 LOS 및 NLOS에 대한 실측/예측 데이터 분포 ....	98
그림 3-5 P.1546 전파환경에 따른 실측/예측 데이터 분포 .....	99
그림 3-6 휴대용 측정시스템 .....	100
그림 3-7 측정 루트 .....	101
그림 3-8 측정 지점 .....	101
그림 3-9 모악산 -> 변산반도 경로 프로파일 .....	102
그림 3-10 635MHz BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	103
그림 3-11 635MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	104
그림 3-12 653MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	105
그림 3-13 653MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	105
그림 3-14 665MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	106
그림 3-15 665MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	106
그림 3-16 195MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	107
그림 3-17 195MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	107
그림 3-18 213MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	108
그림 3-19 213MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	108
그림 3-20 551MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	109
그림 3-21 551MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	109
그림 3-22 587MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교 .....	110
그림 3-23 587MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교 .....	110
그림 4-1 안테나 특성 .....	112
그림 4-2 측정 시스템 .....	113
그림 4-3 대도심 지역 .....	113
그림 4-4 중소도시 지역 .....	114

그림 4-5 산악 및 개방지 지역 .....	114
그림 4-6 코엑스지역 측정 루트 .....	115
그림 4-7 코엑스지역 측정 스펙트럼 예 .....	115
그림 4-8 473MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교 ..	116
그림 4-9 473MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	116
그림 4-10 473MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포	117
그림 4-11 473MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	117
그림 4-12 479MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교	118
그림 4-13 479MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	118
그림 4-14 479MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포	118
그림 4-15 479MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	119
그림 4-16 485MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교	119
그림 4-17 485MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	120
그림 4-18 485MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포	120
그림 4-19 485MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	121
그림 4-20 491MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교	121
그림 4-21 491MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	122
그림 4-22 491MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포	122
그림 4-23 491MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포 .....	122
그림 4-24 전주지역 측정 루트 .....	124
그림 4-25 전주지역 측정 스펙트럼 예 .....	124
그림 4-26 551MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	125
그림 4-27 551MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	125

그림 4-28 551MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포	126
그림 4-29 551MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포	126
그림 4-30 551MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교	127
그림 4-31 551MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포	127
그림 4-32 551MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포	127
그림 4-33 551MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포	128
그림 4-34 551MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교	128
그림 4-35 551MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포	129
그림 4-36 551MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포	129
그림 4-37 551MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포	129
그림 4-38 587MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교	130
그림 4-39 587MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포	130
그림 4-40 587MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포	131
그림 4-41 587MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포	131
그림 4-42 587MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교	132
그림 4-43 587MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포	132
그림 4-44 587MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포	

.....	133
그림 4-45 587MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포 ..	133
그림 4-46 587MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	134
그림 4-47 587MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	134
그림 4-48 587MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	134
그림 4-49 587MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포	135
그림 4-50 635MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	135
그림 4-51 635MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	136
그림 4-52 635MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	136
그림 4-53 635MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 ..	136
그림 4-54 635MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	137
그림 4-55 635MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강 도 분포 .....	137
그림 4-56 635MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	138
그림 4-57 635MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포 ..	138
그림 4-58 635MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	139
그림 4-59 635MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전 계강도 분포 .....	139
그림 4-60 635MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	139

그림 4-61 635MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포	140
그림 4-62 653MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	140
그림 4-63 653MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	141
그림 4-64 653MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	141
그림 4-65 653MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 ..	141
그림 4-66 653MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	142
그림 4-67 653MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	142
그림 4-68 653MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	143
그림 4-69 653MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포 ..	143
그림 4-70 653MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	144
그림 4-71 653MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	144
그림 4-72 653MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분 포 .....	144
그림 4-73 653MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포	145
그림 4-74 665MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	145
그림 4-75 665MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	146
그림 4-76 665MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	146
그림 4-77 665MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포 ..	146

그림 4-78 665MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	147
그림 4-79 665MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	147
그림 4-80 665MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	148
그림 4-81 665MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포 ..	148
그림 4-82 665MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	149
그림 4-83 665MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	149
그림 4-84 665MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	149
그림 4-85 665MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포	150
그림 4-86 모악산-변산 측정 루트 .....	151
그림 4-87 모악산-변산 측정 스펙트럼 예 .....	152
그림 4-88 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	152
그림 4-89 551MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	153
그림 4-90 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	153
그림 4-91 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	153
그림 4-92 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	154
그림 4-93 551MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	154
그림 4-94 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도	

오차 분포 .....	155
그림 4-95 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	155
그림 4-96 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	156
그림 4-97 551MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	156
그림 4-98 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	156
그림 4-99 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	157
그림 4-100 587MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	157
그림 4-101 587MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	158
그림 4-102 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	158
그림 4-103 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	158
그림 4-104 587MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	159
그림 4-105 587MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	159
그림 4-106 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	160
그림 4-107 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	160
그림 4-108 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	161



그림 4-109 587MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	161
그림 4-110 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	161
그림 4-111 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	162
그림 4-112 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	162
그림 4-113 635MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	163
그림 4-114 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	163
그림 4-115 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	163
그림 4-116 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	164
그림 4-117 635MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	164
그림 4-118 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	165
그림 4-119 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	165
그림 4-120 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	166
그림 4-121 635MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	166
그림 4-122 635Hz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	166
그림 4-123 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도	

분포 .....	167
그림 4-124 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	167
그림 4-125 653MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	168
그림 4-126 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	168
그림 4-127 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	168
그림 4-128 653MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	169
그림 4-129 653MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	169
그림 4-130 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	170
그림 4-131 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	170
그림 4-132 653MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	171
그림 4-133 653MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	171
그림 4-134 653Hz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	171
그림 4-135 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	172
그림 4-136 665Hz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교 .....	172
그림 4-137 665MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	173

그림 4-138 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포 .....	173
그림 4-139 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포 .....	173
그림 4-140 665MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교 .....	174
그림 4-141 665MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	174
그림 4-142 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포 .....	175
그림 4-143 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포 .....	175
그림 4-144 665MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교 .....	176
그림 4-145 665MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	176
그림 4-146 665Hz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포 .....	176
그림 4-147 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포 .....	177
그림 5-1 등가 혼합경로 프로파일 및 Fresnel ellipsoid .....	181
그림 5-2 Pampulha 측정 사이트 .....	181
그림 5-3 1809MHz에서의 전파손실 결과 .....	182
그림 5-4 Paranoa Lake 측정 사이트 .....	183
그림 5-5 교외지역에서 856MHz에 대한 경로손실 .....	183
그림 5-6 전파경로 선택 .....	184
그림 5-7 측정에 의한 히스토그램 .....	185

# 제 1 장 서 론

## 제 1 절 연구의 목표

### 1. ITU-R 전파전달 권고안 조사 분석

- o 고정망 관련 최신 ITU-R 권고(P.1546, P.530, P.452) 등을 조사 분석하여 현재 주파수자원분석시스템(SMIS)에서 사용되고 있는 기존의 예측모델과 비교 분석
- o 주파수자원분석시스템(SMIS)에서 사용되고 있는 ITU-R 권고안들의 이전 버전과 개정모델의 차이점 분석 및 개정사유 분석

### 2. 300MHz~3GHz 장거리 송수신 특성측정 및 분석

- o 지상망, 방송망과 같은 고정서비스에 있어 국내 다양한 환경요소를 고려한 장거리 송수신 특성 측정 및 이의 분석
- o 기존의 방송국 및 중앙전파감시소에서 수행되고 있는 전파측정 데이터의 확보 및 이의 분석
- o 측정결과와 ITU-R 권고 P.1546, P.530, P.452 등에 기초한 주파수자원분석시스템(SMIS) 시뮬레이션 결과와 비교 분석

### 3. 고정망 관련 주파수자원분석시스템(SMIS) 개선

- o 주파수자원분석시스템(SMIS)이 구축된 후 4~7년이 경과함에 따라 ITU-R 전파전달 예측모델 제·개정에 따른 현행화 및 이의 반영
- o 현재 주파수자원분석시스템(SMIS)에서 사용되고 있는 알고리즘 및 파라미터 정의들이 국내 전파환경에 적합하지 않으므로 국내 전파환경에 따른 새로운 파라미터 값 도출
- o 고정망 주파수 대역에 대한 전파간섭분석시스템(SMIS)을 현행화하고 신뢰성 높은 분석결과를 제공할 수 있도록 개선

## 제 2 절 연구의 필요성

### 1. 전파전파특성예측의 중요성

- o 고주파 무선기술의 급속한 발전으로 인해 복잡한 전파환경에서의 전파전파 특성 예측이 중요한 연구 과제임
- o 유한한 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해서 무선국 설계 시 지역별 전파환경 특성을 반영하여 전파전달 특성을 정확히 예측하고, 무선국의 송신출력 및 서비스 범위 등을 설계하는 것이 필요함
- o ITU-R P.530 모델은 지상 LOS(line-of-sight) 시스템 설계에 필요한 전파 예측 모델이며, 다음과 같은 여러 전파 영향들이 LOS 무선중계 시스템 설계에 고려되어야 한다.
  - 역 전파 조건하의 지형 방해물에 의한 회절 페이딩
  - 대기가스에 기인하는 감쇠
  - 비정상 굴절층과 관련된 대기 다중경로 또는 빔 확산에 기인하는 페이딩
  - 표면반사로부터 발생하는 다중경로 페이딩
  - 대기내의 낙진 또는 고체입자에 의한 감쇠
  - 회절에 의한 수신기 단자에서의 도래각 및 송신기 단자에서의 진수각의 변동
  - 다중경로 또는 낙진 조건에서의 교차편파변별(XPD)의 열화
  - 다중경로전파에 의한 주파수 선택성 페이딩 및 지연에 근거하는 신호왜곡
- o ITU-R P.452 모델은 혼신전파의 전파전파 메커니즘에 있어 LOS, 회절, 대류권 산란, 덕팅, 강수 산란, 혼잡손실 등이 있으며, 두 무선국간의 경로 단면 분석을 통해 적절한 전파 메커니즘을 적용한 후, 전체적인 손실 계산 등 간섭에 따른 전파전파 예측절차를 포함한다.
  - 전파전파 메커니즘 고려사항
    - . LOS, 다중경로 및 초점효과에 의한 신호향상 포함
    - . 회절, 평활(매끄러운) 지구, 불규칙 지형 및 부 경로의 경우 포함
    - . 대류권 산란
    - . 이상 전파전파, 덕팅 및 층 반사

. 클러터(산란)내의 높이 이득변화, 이득변동에 관련이 있는 경우

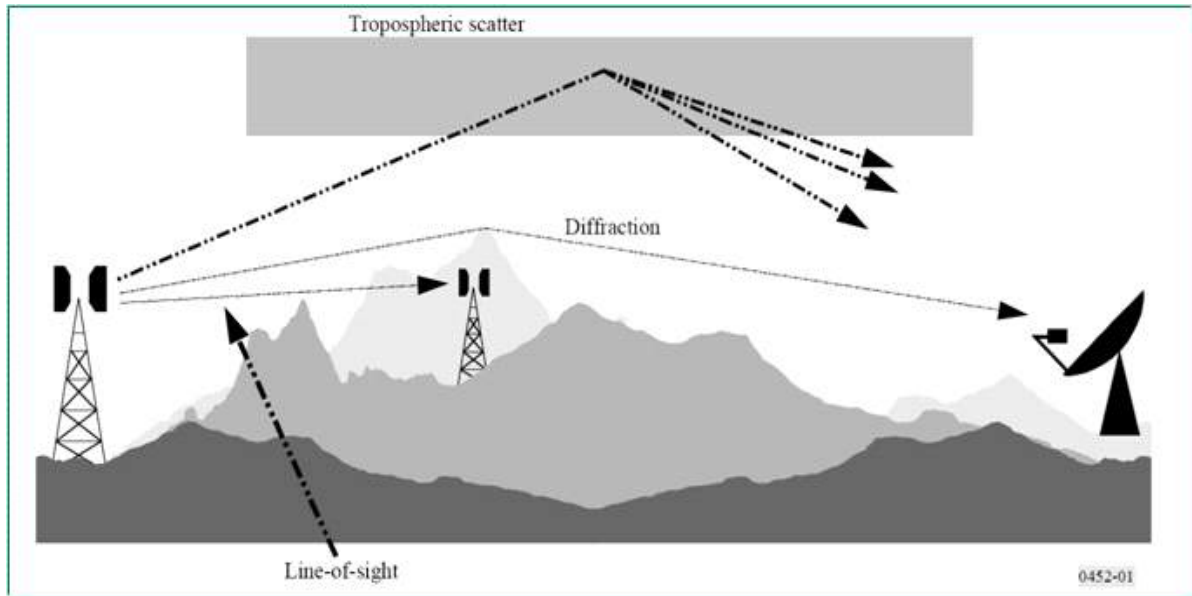


그림 1-1 장기 간섭전파 메커니즘

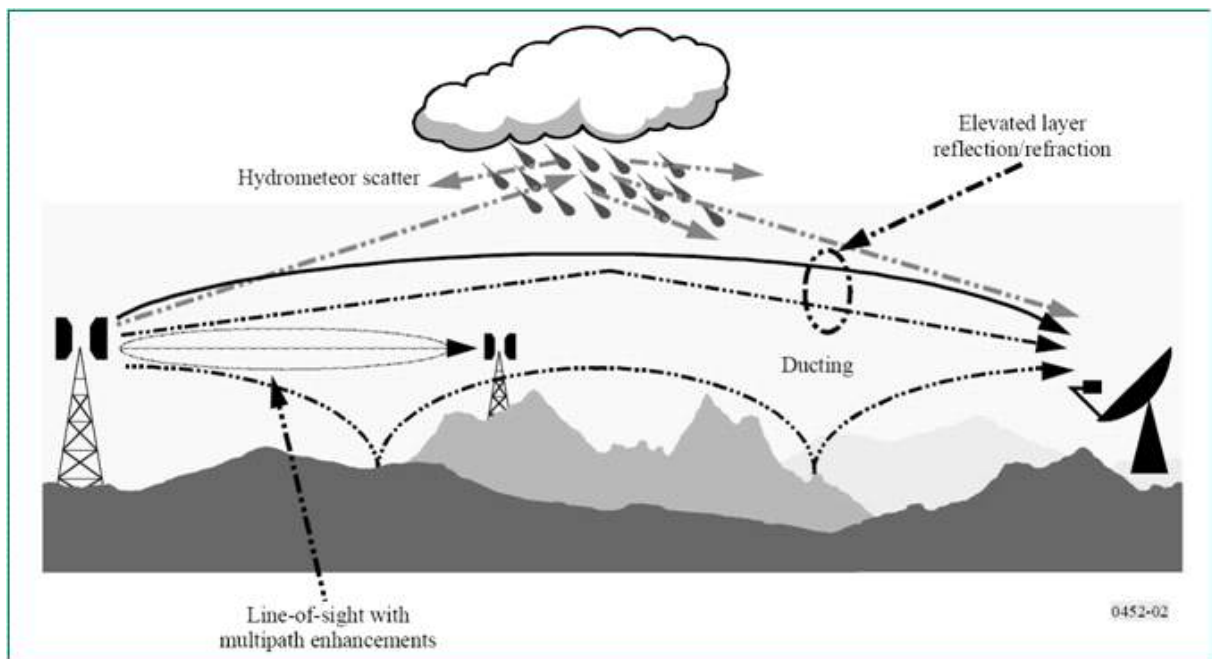


그림 1-2 단기 간섭전파 메커니즘

## 2. 주파수자원분석시스템(SMIS) 문제점 분석 필요성

- 전파연구의 허브를 지향하는 우리원에서는 '05~'08년까지 ITU 전파전달 예측 모델과 국내 전파환경 특성 등을 반영하여 주파수자원분석시스템(SMIS)을 구축하였으며, 현재 무선국 허가 등의 업무에 활발히 이용하고 있으나,
  - 본 시스템이 구축된 후 4~7년이 경과함에 따라 그동안 ITU-R 전파전달 예측모델 제·개정에 따른 현행화 및 반영이 필요함
  - 신규 권고 내용을 반영하여 SMIS 신뢰성을 향상시키기 위한 노력이 필요함
- 국내 위성 신호에 대한 강우감쇠 특성은 많은 연구가 되어 있는 편이나 상대적으로 지상링크에서의 강우에 따른 유효경로 보정 등, 국내 강우특성에 대한 분석 결과는 부족한 실정이며, 국내 강우율, 최악월 분포 등에 따라 ITU-R 권고 모델과는 상당한 차이가 있으므로 국내 강우 특성을 분석한 자료를 SMIS 시스템에서 이용하도록 하는 것이 필요함
- 국내 13km 이하의 M/W 링크에서는 12 GHz 이상을 이용하도록 하고 있으나, 실제 6km정도의 M/W 링크에서도 집중 호우시 M/W 링크가 끊어지는 현상이 발생하고 있으므로 이를 해결하기 위한 지상 링크에서의 강우감쇠 특성 연구와 함께 거리 기준 제한에 대한 개선이 필요

## 3. 주파수자원분석시스템(SMIS) 현행화 및 개선의 필요성

- 보수적 차원의 전파전달특성 예측 및 분석 필요
  - 우리나라는 산이 많은 지형이므로 산봉우리에 의한 회절 특성을 보다 보수적으로 해석하여 통신 서비스 범위를 설계하도록 할 필요 있음
  - 예를 들어 산과 산간에 통신이 이루어질 경우 LOS가 확보되었더라도 그 중간에 낮은 산들이 1, 2차 프레즈넬 존에 포함될 경우 통신에 상당한 영향을 줄 수 있으므로 이러한 장애물들은 어떠한 방식으로 고려해야 할지 검토하여 시스템에 반영하는 것이 필요함
- 측정, 분석 연구결과의 활용(시스템 반영) 및 한국형 모델 개발 필요
  - 국내 환경에 가장 근사한 시스템을 만들어 무선국 허가시 얼마만큼의 수치에 대한 정확도를 줄 것인지가 관건임. 시스템 가용율을 고려하여 페이드 마진을 설계하는데, ITU 권고 대부분은 유럽환경에 근거하기 때문에 실제 우리나라 환경과 차이가 날 수 있음. 따라서 국내 환경에서 분석한 통계치가

없으면 링크버짓 설계에 어려움이 있음.

- 두 링크간 마이크로웨이브 설계나 방송구역 설정시 적용 모델에 따라 달라질 수 있음. 따라서 분석결과가 실제 측정결과간 큰 차이발생으로 업체에서 피해를 입었을 경우 그에 따른 손실보상 문제도 발생할 여지가 있음
- 우리나라 환경에 맞게 시스템에 적용된 변수(파라미터) 보정이 필요함. 전파관리소에서는 방송 전계강도에 대한 측정데이터를 확보하고 있으므로 각 모델별 예측치와 실측치간 차이를 검토하여 국내 환경에 맞도록 변수(파라미터) 보정을 수행함
- 셀 커버리지 개선시 기존에 측정해온 수신레벨(지역요건에 따라)을 수집하여 이의 활용. 이동통신의 경우 -110dB 정도면 이론상 통화가 가능하나 단말에 따라 수신 불가능한 경우가 발생하므로 특정 통신사의 경우, 최대 -90dB에서 통화가 되도록 셀 설계를 하고 있음. 고정시스템에서의 강도에 의한 특성을 분석하여 모델링이 필요하며, 10~30km 링크를 통신사나 연구원에서 설계하여 강우패턴과 링크간 손실을 측정하여 국내 환경에서의 강우에 따른 모델 개선 필요
- 연안은 고도 100m까지로 본다는 ITU 권고가 우리나라 현실에는 맞지 않는 등 우리나라와의 괴리가 심함
- 한국형 모델 개발 및 시스템에 적용하기 위한 측정, 연구자료 확보 필요

### 제 3 절 연구내용 및 범위

#### 1. ITU-R 전파전달 특성관련 주요 권고(P.1546, P.530, P.452 등)조사 분석

- o 지상망, 방송망의 전파예측모델로 ITU-R에서 권고되고 있는 P.1546, P.530, P.452에 대한 최신 버전 조사 및 분석
- o 주파수자원분석시스템(SMIS)에서 전파예측모델로 사용되고 있는 ITU-R 권고들에 대한 조사 및 이의 문제점 분석
- o ITU-R 전파예측모델의 최신 버전과 이전 버전과의 차이점 분석
- o 국내 전파환경과 다르게 운용되고 있는 주파수자원분석시스템(SMIS) 전파예측모델 내의 메커니즘 및 파라미터 도출



## 2. 300MHz~3GHz 대역에서의 다양한 환경요소에서 장거리 송수신 특성 측정 및 분석

- 현재 방송국 및 중앙전파감시소에서 수행되고 있는 전파측정 데이터의 수집 및 분석
- 국립전파연구원 및 충남대에서 측정된 강우데이터의 수집 및 분석
- 국내 다양한 지형특성에 따른 전파예측모델 개선을 위한 방송서비스 또는 점대점 측정 장치 구성하여 측정 데이터 수집 및 분석

## 3. 측정결과와 ITU-R 권고 P.1546, P.530, P.452 등에 기초한 주파수 자원분석시스템(SMIS) 시뮬레이션 결과와 비교 분석

- 수집 및 측정된 데이터에 근거하여 전파예측모델 내의 비교분석이 가능한 메커니즘 및 파라미터들의 도출
- 측정된 국내전파환경과 주파수자원분석시스템(SMIS)에서의 전파환경을 비교분석할 수 있는 예측모델의 선택 및 이의 운용상의 문제점 도출
- 측정결과와 주파수자원분석시스템(SMIS)에서의 전파예측모델의 메커니즘 및 파라미터 변화에 대한 시뮬레이션 결과값과의 비교 분석

## 4. 국내 주파수자원분석시스템(SMIS)검토 및 개선

- 주파수자원분석시스템(SMIS)의 국내전파환경과 다르게 사용되고 있는 메커니즘 및 파라미터들의 도출 및 이의 개선방안 제시
- ITU-R 전파전달 예측모델 제·개정에 따른 주파수자원분석시스템(SMIS)의 현행화를 위한 개선방안 도출
- 기존의 측정 데이터의 수집 및 실제 측정 데이터 등을 활용하여 주파수자원분석시스템(SMIS)의 현행화를 위한 개선방안 도출

## 제 2 장 전파 예측 모델

### 제 1 절 ITU-R P.1546-14

30~3000MHz 주파수 범위에서 지상 서비스를 위한 점 대 지역(point-to-area) 전파예측을 위한 방법

#### 1. 범위

- 본 권고안은 30~3000MHz 주파수 범위에서 지상 서비스를 위한 점 대 지역(point-to-area) 전파예측을 위한 방법을 설명
- 3000m 이하의 유효 송신 안테나 높이에서 1~1000km 길이의 육상, 해상 및/또는 육상-해상 복합경로에 대한 대류권 무선회로(tropospheric radio circuits)에서 사용
- 예측방법은 거리, 안테나 높이, 주파수 및 % 시간의 함수로서 실험적으로 유도된 전계강도 곡선으로부터 내삽법/외삽법(interpolation/extrapolation)에 근거
- 계산과정은 terrain clearance 및 terminal clutter obstructions를 보상하기 위해 내삽법/외삽법으로 얻어진 결과에 대한 보정을 포함

#### 2. 구성

- Annex 1 Introduction : Annex 2, 3, 4에 수록된 전파예측 곡선에 대한 일반적 설명, 최대 전계 강도, 컴퓨터 기반의 표(table)화, step-by-step 예측방법, 안테나 명칭, 송수신 안테나 높이, 전파예측 곡선에 사용된 송수신 안테나 높이, 시간 변이성(variability), 복합경로 방법, 수신 이동 안테나 높이, TAC(terrain clearance angle) 보정, 위치 변이성, 등가 기본 전송 손실, ARI(atmospheric refractive index) 변이성, Okumura-Hata 방법과의 호환성에 대해 설명
- Annex 2 Frequency range 30~300MHz :
  - 100MHz 주파수에서 거리에 대한 전계강도를 나타냄.
  - 이를 토대로 30~300MHz 범위의 주파수에서 사용될 수 있지만, 개선된 정확도를 얻기 위해 Annex 5, §6에 주어진 절차가 사용되어야 함.
  - 그림 1에서 그림 3의 곡선들은 육상 경로에서 시간의 50%, 10%, 1%에 대한 약500m x 500m 지역의 50% 위치에서 초과하는 전계강도 값을 표현
  - 그림 4에서 그림 8의 곡선들은 북해와 지중해에서 관측된 cold sea 및

warm sea의 해상 경로에 대해 시간의 50%, 10%, 1%에 대한 50% 위치에서 초과하는 전계강도 값을 표현

o Annex 3 Frequency range 300~1000MHz :

- 600MHz 주파수에서 거리에 대한 전계강도를 나타냄.
- 이를 토대로 300~1000MHz 범위의 주파수에서 사용될 수 있지만, 개선된 정확도를 얻기 위해 Annex 5, §6에 주어진 절차가 사용되어야 함.
- 그림 9에서 그림 11의 곡선들은 육상 경로에서 시간의 50%, 10%, 1%에 대한 약 500m x 500m 지역의 50% 위치에서 초과하는 전계강도 값을 표현
- 그림 12에서 그림 16의 곡선들은 북해와 지중해에서 관측된 cold sea 및 warm sea의 해상 경로에 대해 시간의 50%, 10%, 1%에 대한 50% 위치에서 초과하는 전계강도 값을 표현

o Annex 4 Frequency range 1000~3000MHz :

- 2000MHz 주파수에서 거리에 대한 전계강도를 나타냄.
- 이를 토대로 1000~3000MHz 범위의 주파수에서 사용될 수 있지만, 개선된 정확도를 얻기 위해 Annex 5, §6에 주어진 절차가 사용되어야 함.
- 그림 17에서 그림 19의 곡선들은 육상 경로에서 시간의 50%, 10%, 1%에 대한 약 500m x 500m 지역의 50% 위치에서 초과하는 전계강도 값을 표현
- 그림 20에서 그림 24의 곡선들은 북해와 지중해에서 관측된 cold sea 및 warm sea의 해상 경로에 대해 시간의 50%, 10%, 1%에 대한 50% 위치에서 초과하는 전계강도 값을 표현

o Annex 5 Additional information and methods for implementing the prediction method :

- §2절에서 §7절은 거리,  $h_1$ , % 시간에 대해 어떻게 전계강도가 내삽법으로 관련 곡선들로부터 유도되는지를 설명
- §8절은 어떻게 전계강도가 복합 육상-해상 경로에서 합성이 되는지를 설명
- §9절에서 §13절은 추가 정확도를 위한 전계강도 예측에 추가될 수 있는 정정을 나타냄
- §14절에서 §17절은 보조의 정보를 제공

o Annex 6 Procedure for the application of this Recommendation :

- 주어진 step-by-step 절차는 Radiocommunication Bureau에서 가능한 거리

대 전계강도 표들로부터 유도된 값들에 적용

- 이 절차는 또한 Step 8.1.5의 거리 내삽법 절차가 필요하지 않은 경우에 곡선들로부터 얻어진 값들에 적용
- 표 2-1은 거리 대 전계강도 표들로부터 값들을 유도하기 위해 기본적으로 제공되는 입력 파라미터들의 최소 리스트를 포함

표 2-1 Step-by-step 실행 절차

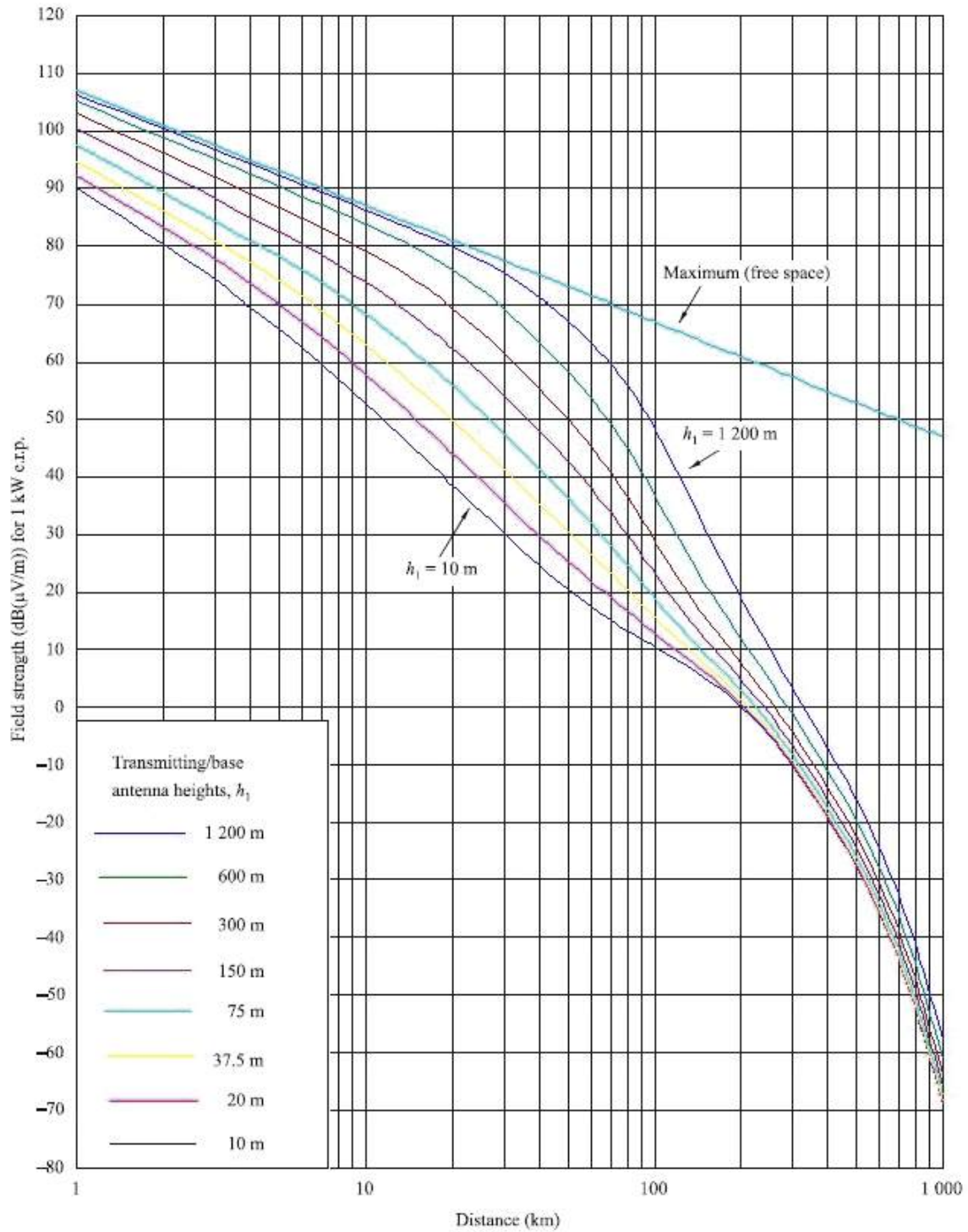
항목	구현내용
Step 1	경로에 대한 판별(육상 경로, 해상 경로 또는 혼합된 육상-해상 경로)
Step 2	시간율에 대한 결정
Step 3	원하는 주파수에 대한 결정
Step 4	원하는 거리에 대한 결정
Step 5	제1 전파경로에 대해 Step 6 - Step 11 수행
Step 6	하위 근접 시간율에 대해 Step 7 - Step 10 수행
Step 7	하위 근접 주파수에 대해 Step 8 - Step 9 수행
Step 8	근접 주파수, 거리, 송수신 안테나 높이, 시간율에 대한 전계강도 결정
Step 9	주파수에 대한 보간
Step 10	시간율에 대한 보간
Step 11	혼합 경로에 대한 결정
Step 12	TCA(terrain clearance angle)에 대한 결정
Step 13	Tropospheric scattering에 대한 전계강도 계산
Step 14 - Step 16	수신/이동 안테나에 대한 보정
Step 17	최대 전계강도에 대한 계산
Step 18	전계강도를 기본 전송손실로 변환

o Annex 7 Adjustment for different climatic regions :

- Annex 2, 3, 4에 주어진 곡선들은 온대성 기후에서의 측정에 기반
- 수직 ARG(atmospheric refractivity gradient)가 매우 다른 세계 지역에서의 전계강도는 일반적으로 정확히 예측이 불가능
- 주어진 방법은 세계의 어느 지역에서 사용가능하도록 Annex 2, 3, 4의 곡선들을 보정하기 위해 Rec. ITU-R P.453으로부터의 ARG 정보를 적용하는데 사용

o Annex 8 Comparison with the Okumura-Hata method : 본 권고안의 절차는  $h_2 = H_2 = 1.5m, R = 15$ 일 때, 10km까지의 거리에서 Okumura-Hata 모델과의 결과가 유사함

o 주파수 100MHz, 600MHz, 2000MHz에서 시간율 50%, 10%, 1%에 대해 육상 경로 및 해상경로상의 대표적인 전계강도 곡선은 그림 2-1에서 그림 2-6임



50% of locations

$h_2$ : representative clutter height

1546-01

그림 2-1 100MHz, 육상경로, 50% 시간율

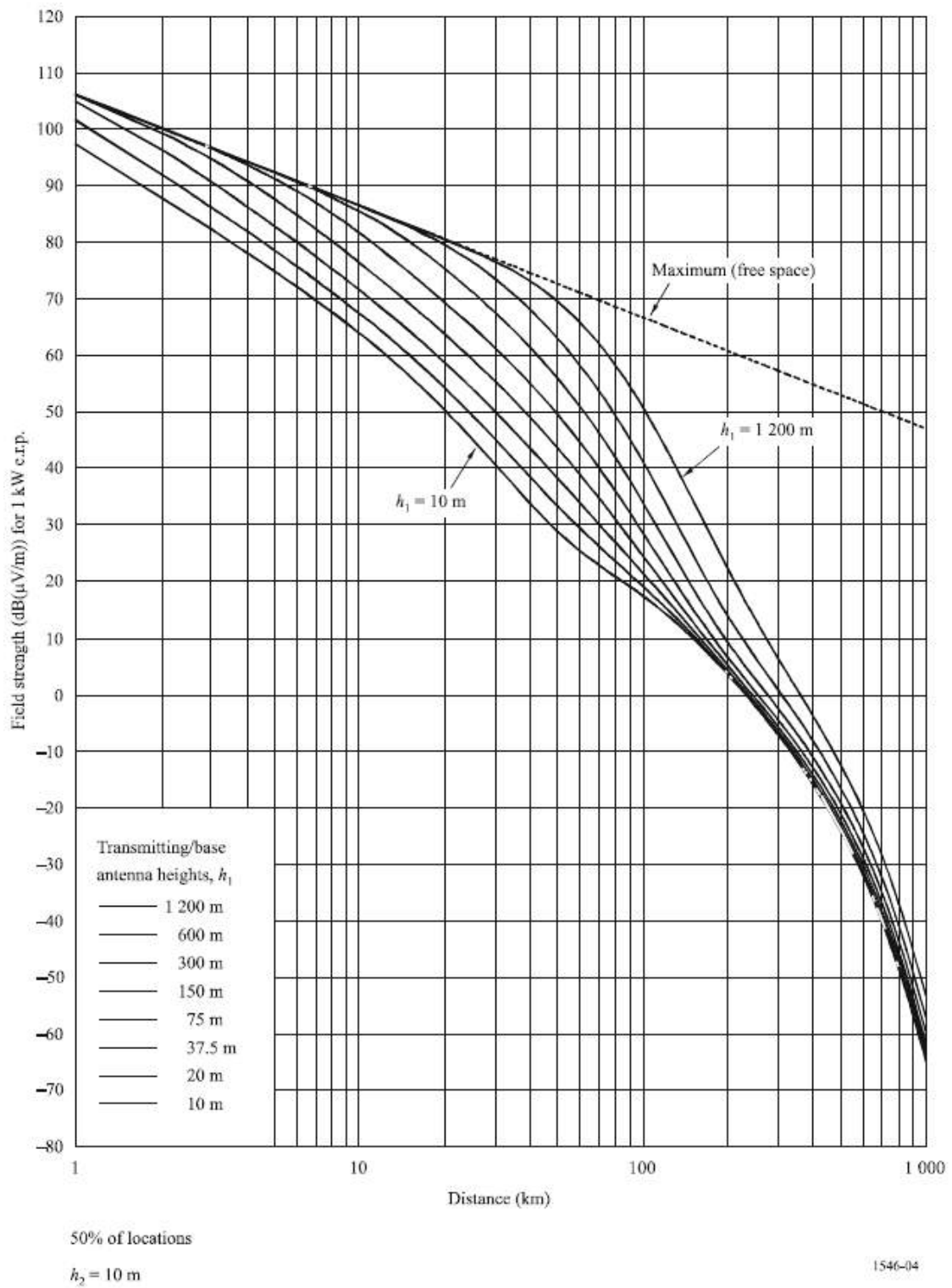
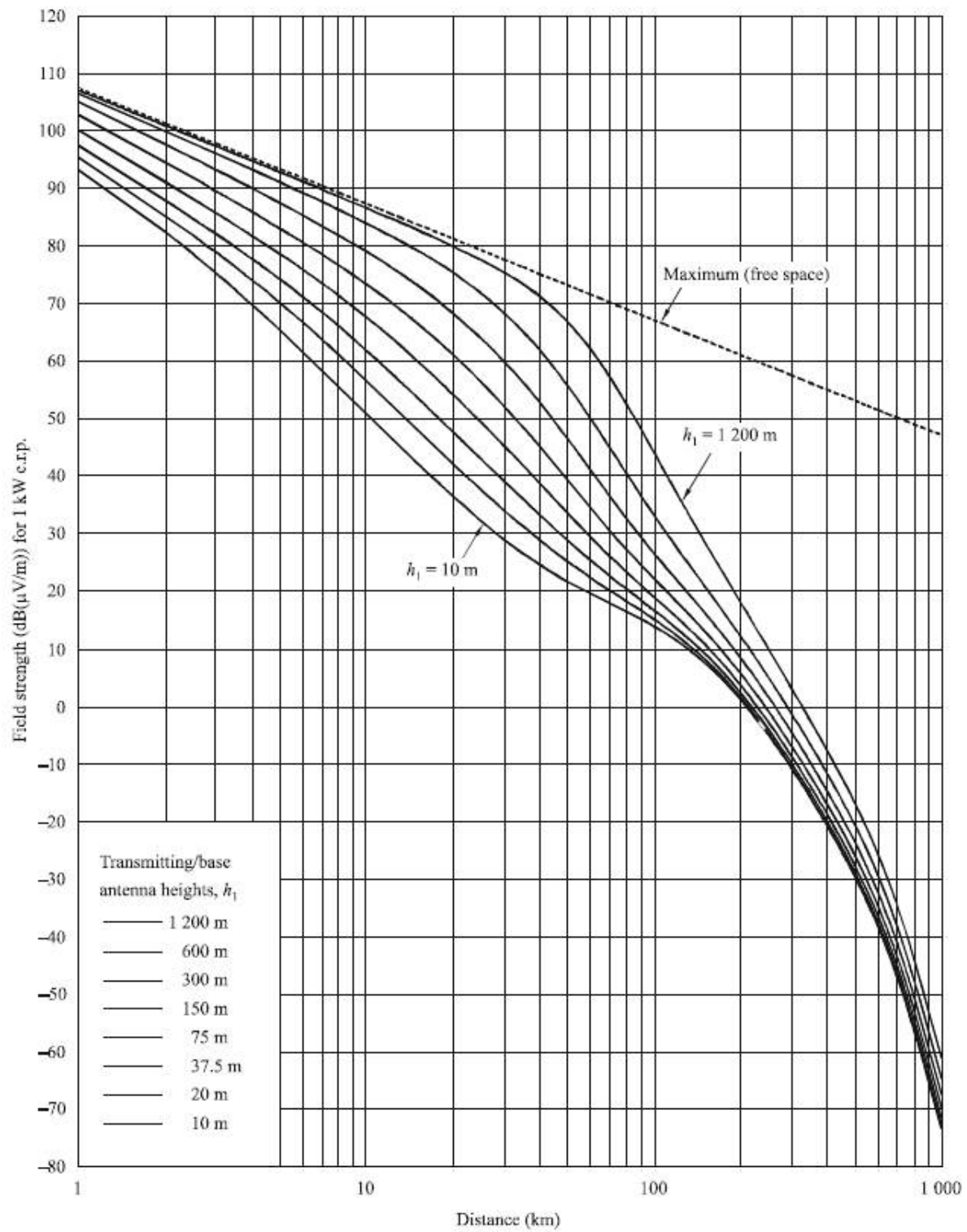


그림 2-2 100MHz, 해상경로, 50% 시간율



50% of locations

$h_2$ : representative clutter height

1546-10

그림 2-3 600MHz, 육상경로, 10% 시간율

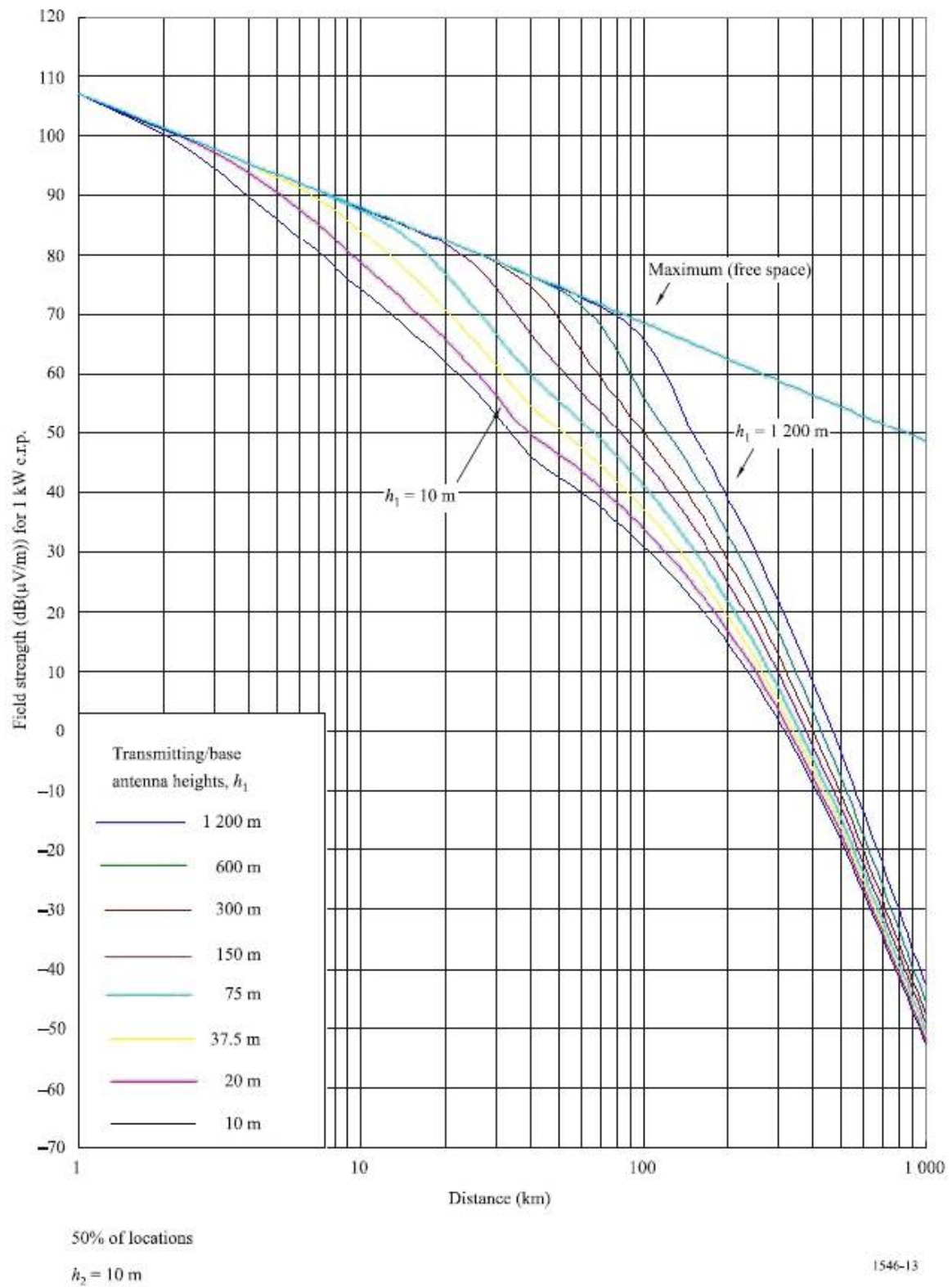
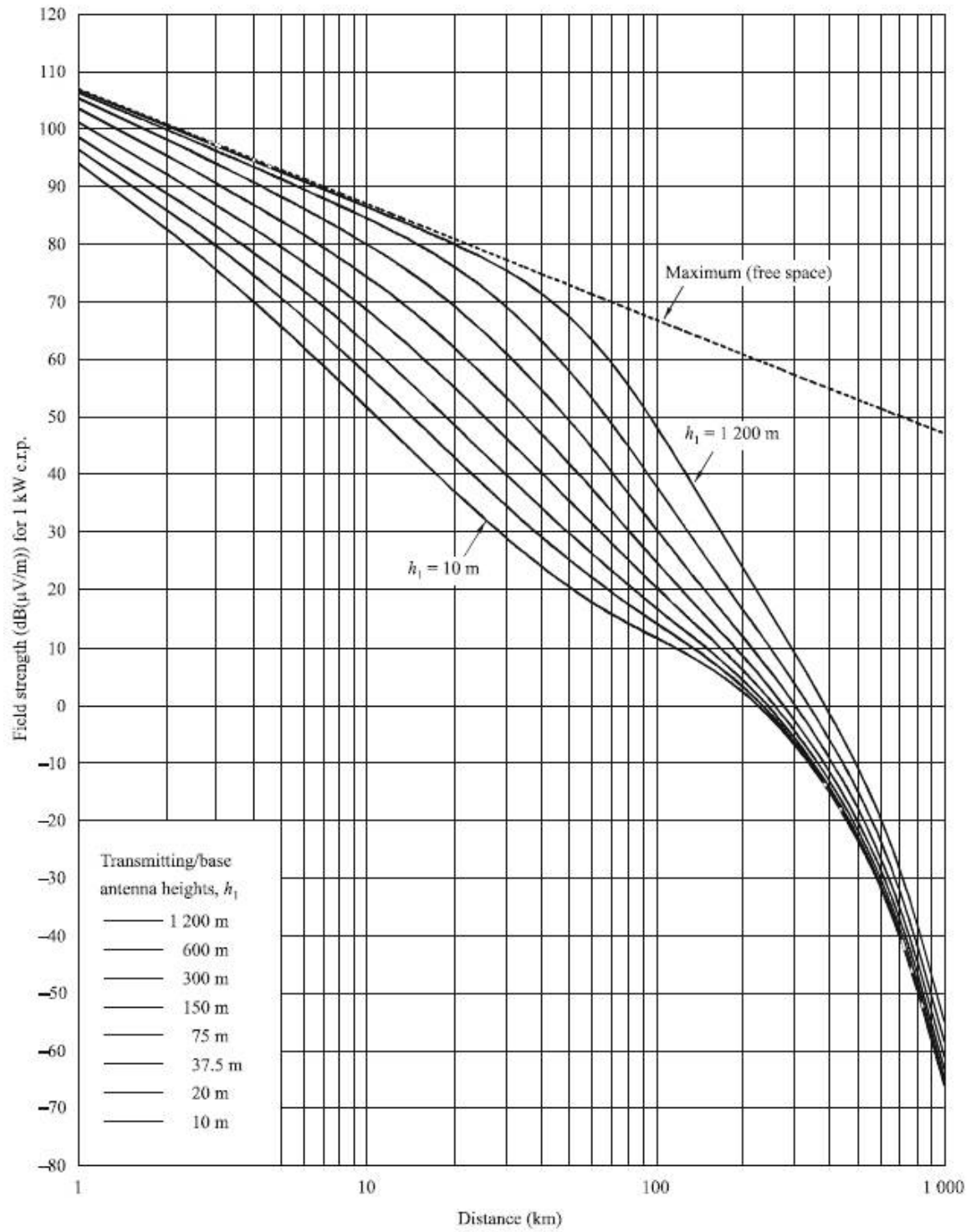


그림 2-4 600MHz, 냉해(cold sea) 경로, 10% 시간율





50% of locations

$h_2$ : representative clutter height

1546-19

그림 2-5 2000MHz, 육상경로, 1% 시간을

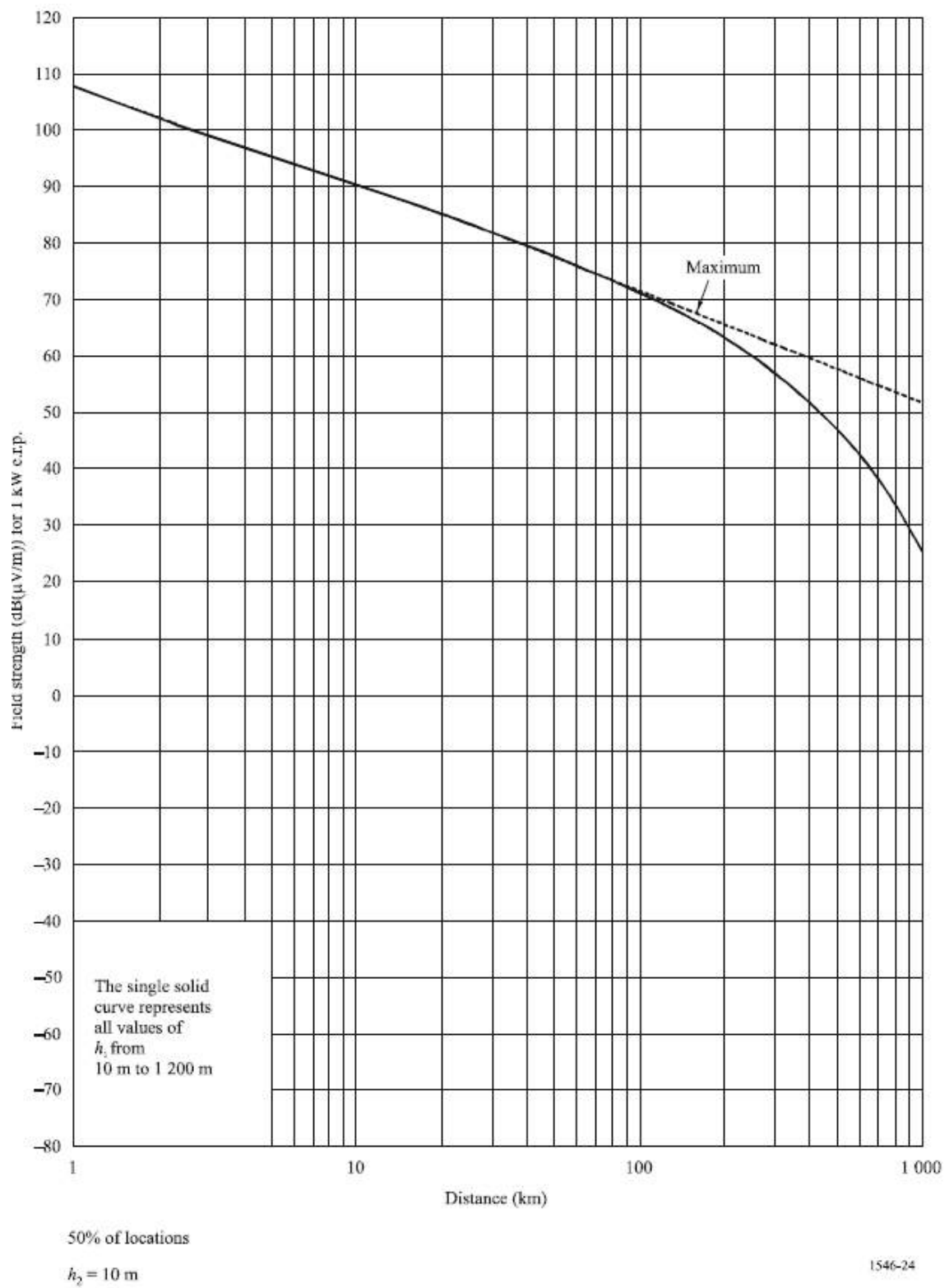


그림 2-6 2000MHz, 온해(warm sea) 경로, 1% 시간율

### 3. 수신신호 예측과정

ITU 권고 P.1546-4 모델을 이용한 수신신호의 세기 예측과정은 다음과 같다. 표 2-2는 거리 대 전계강도 표들로부터 값들을 유도하기 위해 기본적으로 제공되는 입력 파라미터들의 최소 리스트를 포함하고 있다. Step-by-step 과정은 다음과 같다.

표 2-2 입력 파라미터 및 제한 값

Parameter	Units	Definition	Limits
$f$	MHz	운용 주파수	30-3000MHz
$d$	km	경로길이	1-1000km
$p$	%	Annex 1, §8에 정의된 % 시간(시간율)	1-50%
$h_1$	m	곡선에 기준이 되는 송신/기지 안테나 높이, Annex 5, §3의 식(4)-(7)에 정의됨. 그 제한은 §4.1에 정의됨	육상: 하한 없음, 상한 3000m 해상: 1-3000m
$h_a$	m	송신기 안테나 지상 높이. Annex 5, §3.1.1에 정의됨. 그 제한은 Annex 5, §3에 정의됨	로컬 클러터 높이 이상
$h_b$	m	$0.2d$ 와 $d$ km로 평균된 지형상의 기지 안테나 높이, 여기서 $d$ 는 15km이하이고 지형정보는 가능함	없음, 그러나 이 파라미터는 $d < 15\text{km}$ 인 육상경로에만 적용
$h_2$	m	수신/이동 안테나 지상 높이. Annex 1 §10에 정의됨	육상: 1-3000m 해상: 3-3000m
Clutter height surrounding transmitter	m	대표적인 클러터 높이(송신기 주변)	없음
$R$	m	대표적인 클러터 높이(수신기 주변)	없음
$\theta_{tca}$	degrees	TCA(terrain clearance angle)	$0.55-40^\circ$
$\theta_{eff} \theta_{eff1} \theta_{eff2}$	degrees	송신기/기지 실효 TCA. Annex5, §9	양의 정수이어야 함

**Step 1 :** 전파경로의 타입을 land, cold sea, warm sea로서 결정. 만일 경로가 혼합경로(mixed-path)라면 제 1 및 제 2 전파종류로 간주되는 두 가지 타입(type)을 결정한다. 만일 그 경로가 단일 타입으로 표현된다면 이는 제 1 전파타입으로 간주되어 Step 11에 주어진 혼합경로 방법은 필요하지 않다.

**Step 2 :** 주어진 시간율(1% ~ 50% time)에 대해 다음의 두 가지 공칭(nominal) 시간율을 결정

- 원하는 시간율이 1 이상이고 10 미만이면, 상 하위 공칭 퍼센트(%)는 각각 1과 10이다.
- 원하는 시간율이 10 이상이고 50 미만이면, 상 하위 공칭 퍼센트(%)는

각각 10과 50이다.

**Step 3 :** 원하는 주파수(30~3000MHz)에 대해 두 가지 공칭 주파수는 다음과 같다.

- 주파수 대역이 600MHz 미만일 경우, 상 하위 공칭 주파수는 각각 100MHz와 600MHz가 된다.
- 주파수 대역이 600MHz 이상일 경우, 상 하위 공칭 주파수는 각각 600MHz와 2000MHz가 된다.

만일 원하는 주파수가 100MHz 또는 600MHz 또는 2000MHz와 같을 때, 이 값은 하위 공칭 주파수로 간주되어 Step 9의 내삽(interpolation)/외삽(extrapolation)과정이 필요 없다.

**Step 4 :** 표 2-3으로부터 원하는 거리에 가장 가까운 상 하위 공칭 거리를 결정한다. 만일 원하는 거리가 표 2-3의 값과 일치한다면 이는 하위 공칭 거리로 간주되며 Step 8.1.5의 내삽과정이 필요 없다.

표 2-3 전계강도 표에 사용된 거리 값(km)

1	14	55	140	375	700
2	15	60	150	400	725
3	16	65	160	425	750
4	17	70	170	450	775
5	18	75	180	475	800
6	19	80	190	500	825
7	20	85	200	525	850
8	25	90	225	550	875
9	30	95	250	575	900
10	35	100	275	600	925
11	40	110	300	625	950
12	45	120	325	650	975
13	50	130	350	675	1000

**Step 5 :** 제 1 전파타입에 대해 Step 6 ~ 11을 수행한다.

**Step 6 :** 하위 공칭 시간율에 대해 Step 7 ~ 10을 수행한다.

**Step 7 :** 하위 공칭 주파수에 대해 Step 8 ~ 9를 수행한다.

**Step 8 :** 지상 대표 클러스터 높이,  $R$ 에서 수신/이동 안테나, 원하는 거리 및 송신/

기지 안테나 높이에서 수신위치의 50% 이상에 해당하는 전계강도를 구한다.

**Step 8.1** : 10m 이상의 송신/기지 안테나 높이  $h_1$ 에 대해 다음의 Step 8.1.1 ~ 8.1.6을 수행한다.

송신/지상 안테나 높이,  $h_1$ 은 경로의 타입과 길이, 높이 정보의 여러 아 이템들에 관련되어 계산된다.

해상경로에서  $h_1$ 는 해발고도의 안테나 높이이다.

육상경로에서 송신/기지 안테나의 실효높이,  $h_{eff}$ 는 수신/이동 안테나 방 향의 송신/기지 안테나로부터 3~15km 거리의 지상 평균 레벨상의 높이로 정의 된다.

송신/기지 안테나 높이,  $h_1$ 은 먼저 15km 이내의 육상경로에서 지형정보를 이용 할 수 없는 경우, 다음의 식을 이용한다.

$$h_1 = \begin{cases} h_a & m, \text{ for } d \leq 3km \\ h_a + (h_{eff} - h_a)(d-3)/12 & m, \text{ for } 3km < d < 15km \end{cases} \quad (2-1)$$

여기서,  $h_a$ 는 지상 안테나 높이이다.

다음으로 15km 이내의 육상경로에서 지형정보를 이용할 수 있는 경우는 다음 식을 이용한다.

$$h_1 = h_b \quad m \quad (2-2)$$

여기서,  $h_b$ 는  $0.2d \sim d$  km의 지형의 평균높이를 초과하는 안테나 높이이다.

한편, 15km 이상의 육상경로에 대해서는 다음과 같다.

$$h_1 = h_{eff} \quad m \quad (2-3)$$

**Step 8.1.1** : 상 하위 공칭  $h_1$  값을 결정한다. 만일  $h_1$ 이 공칭 값, 10, 20, 37.5, 75, 150, 300, 600, 1200m 중의 하나와 일치한다면, 이는  $h_1$ 의 하위 공칭 값 으로 간주되며 Step 8.1.6의 내삽 과정은 필요하지 않다.

**Step 8.1.2** :  $h_1$  하위 공칭값에 대해 Step 8.1.3 ~ 8.1.5를 수행한다.

**Step 8.1.3** : 거리의 하위 공칭값에 대해 Step 8.1.4를 수행한다.

**Step 8.1.4** : 지상 대표 클러스터 높이,  $R$ 에서 수신/이동 안테나, 원하는 거리  $d$  및 송신/기지 안테나 높이  $h_1$ 에서 수신위치의 50% 이상에 해당하는 전계강도를 구한다.

**Step 8.1.5** : 만일 원하는 거리와 일치하는 하위 공칭값이 없을 경우, 상위 공칭 거리에 대해 전계강도를 구하고, 식(2-4)를 이용하여 거리에 대한 전계강도를 보정한다.

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log(d/d_{inf})}{\log(d_{sup}/d_{inf})} \quad \text{dB}(\mu V/m) \quad (2-4)$$

여기서,  $d$ 는 예측에 필요한 거리

$d_{inf}$ 는  $d$ 보다 작은 표 2-3의 근접거리

$d_{sup}$ 는  $d$ 보다 큰 표 2-3의 근접거리

$E_{inf}$ 는  $d_{inf}$ 에 대한 전계강도 값

$E_{sup}$ 는  $d_{sup}$ 에 대한 전계강도 값

**Step 8.1.6** : 만일 원하는 송신/기지 안테나 높이  $h_1$ 이 공칭값들과 일치하지 않는다면 Step 8.1.3 ~ 8.1.5를 반복하고, 식(2-5)를 이용하여 안테나 높이에 대한 전계강도를 보정한다.

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log(h_1/h_{inf})}{\log(h_{sup}/h_{inf})} \quad \text{dB}(\mu V/m) \quad (2-5)$$

여기서,  $E_{inf}$ 와  $E_{sup}$ 는 각각 원하는 거리에서  $h_{inf}$ 와  $h_{sup}$ 에 대한 전계강도를 의미하며,  $h_{inf}$ 와  $h_{sup}$ 는 다음과 같다.

$$h_{inf} = \begin{cases} 600m & , \text{if } h_1 > 1200m \\ h_1 \text{의 유효높이에 가장 근접한 값, } otherwise \end{cases}$$

$$h_{sup} = \begin{cases} 1200m & , \text{if } h_1 > 1200m \\ h_1 \text{의 유효높이에 가장 근접한 값, } otherwise \end{cases}$$

$h_1$ 이 1200m 보다 클 경우에는 외삽법(extrapolation)을 사용하여 전계강도를 구하고,  $h_1$ 의 최대값은 3000m로 제한한다.

만일 필요하다면 전계강도의 값을 식(2-6)과 같이 최대치로 제한해야 한다.

$$E_{\max} = \begin{cases} E_{fs} & dB(\mu V/m), \text{ for landpaths} \\ E_{fs} + E_{se} & dB(\mu V/m), \text{ for seapaths} \end{cases} \quad (2-6)$$

여기서,  $E_{fs}$ 는 자유공간에서 1kW e.r.p.의 송신신호에 대한 전계강도를,  $E_{se}$ 는 해상경로에서의 증가된 전계강도를 의미하며, 각각 식(2-7) 및 식(2-8)로부터 구할 수 있다.

$$E_{fs} = 106.9 - 20\log(d) \quad dB(\mu V/m) \quad (2-7)$$

$$E_{se} = 2.38\{1 - \exp(-d/8.94)\}\log(50/t) \quad dB \quad (2-8)$$

여기서,  $d$ 는 거리(km)를,  $t$ 는 시간비율을 의미한다.

**Step 8.2** 송신/기지 안테나 높이가 10m 미만일 경우 다음 방법을 사용하여 원하는 높이와 거리에서의 전계강도를 정한다.

#### [육상경로]

육상경로의 경우  $0 \leq h_1 < 10m$ , 원하는 거리에서의 전계강도는 식(2-9)를 이용하여 구한다.

$$E = E_{zero} + 0.1h_1(E_{10} - E_{zero}) \quad dB(\mu V/m) \quad (2-9)$$

여기서,

$$E_{zero} = E_{10} + 0.5(C_{1020} + C_{h1neg10}) \quad dB(\mu V/m)$$

$$C_{1020} = E_{10} - E_{20} \quad dB$$

$C_{h1neg10}$  :  $h_1 = -10m$ 일 때 원하는 거리에서 식(2-14)를 이용해 계산된 correction  $C_{h1}$ [dB] 이다.

$E_{10}$  and  $E_{20}$  : 각각  $h_1 = 10m$  및  $h_1 = 20m$ 일 때 원하는 거리에서 식(2-5)에 의해 계산된 전계강도 [ $dB(\mu V/m)$ ]이다.

#### [해상경로]

해상경로에서는  $h_1$ 은 1m 이하는 아니다. 그 경로는 해수표면에 의해 방해받지 않는 제1 프레넬 존(Fresnel zone)의 0.6을 갖는 거리  $D_{h1}$ 이 필요하며 다음과 같다.

$$D_{h1} = D_{06}(f, h_1, 10) \quad km \quad (2-10)$$

여기서,  $f$ 는 공칭주파수(MHz) 및 함수  $D_{06}$ 은 주어진 주파수 및 안테나 높이  $h_1$  및  $h_2$ 에서 smooth curved Earth상의 제1 프레넬 존의 0.6 clearance를 얻기 위한 경로길이를 다음과 같이 주어진다.

$$D_{06} = \frac{D_f \cdot D_h}{D_f + D_h} \quad km \quad (2-11)$$

여기서,  $D_f$  : 주파수 의존 항

$$= 0.0000389fh_1h_2 \quad km$$

$D_h$  : 수평거리로 정의된 근사 항

$$= 4.1(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \quad km$$

$f$  : 주파수(MHz)

$h_1, h_2$  : 평평한 지상(above smooth Earth) 안테나 높이(m)

만일  $d > D_{h1}$ 이면, 마찬가지로 송신/기지 안테나 높이 20m일 때의 해상경로에 대한 0.6 Fresnel clearance 거리를 다음 식에 의해 계산할 필요가 있다.

$$D_{20} = D_{06}(f, 20, 10) \quad km \quad (2-12)$$

원하는 거리  $d$  및  $h_1$  값에 대한 전계강도는 다음과 같이 주어진다.

$$E_{\max} = \begin{cases} E_{\max} & dB(\mu V/m), \text{ for } d \leq D_{h1} \\ E_{Dh1} + (E_{D20} - E_{Dh1})\log(d/D_{h1})/\log(D_{20}/D_{h1}) & dB(\mu V/m), \text{ for } D_{h1} < d < D_{20} \\ E'(1 - F_S) + E''F_S & dB(\mu V/m), \text{ for } d \geq D_{20} \end{cases} \quad (2-13)$$

여기서,  $E_{\max}$  : 식(2-6)으로 주어지는 원하는 거리에서의 최대 전계강도

$E_{Dh1}$  : 식(2-6)에서 거리  $D_{h1}$ 에 대한  $E_{\max}$

$$E_{D20} = E_{10}(D_{20}) + (E_{20}(D_{20}) - E_{10}(D_{20}))\log(h_1/10)/\log(20/10)$$

$E_{10}(x)$  :  $h_1 = 10m$ 에서 거리  $x$ 에 대한 전계강도

$E_{20}(x)$  :  $h_1 = 20m$ 에서 거리  $x$ 에 대한 전계강도

$$E' = E_{10}(d) + (E_{20}(d) - E_{10}(d))\log(h_1/10)/\log(20/10)$$

$E''$  : 식(2-9)에 의해 계산된 거리  $d$ 에서의 전계강도

$$F_S = (d - D_{20})/d$$



**[ $h_1 \leq 0m$ 인 경우]**

육상경로에서 실효 송신/기지 안테나 높이  $h_{eff}$ 는 음의 값을 가질 수도 있는데, 이는 안테나 높이가 3km에서 15km 거리의 평균 지형고도에 근거하기 때문이다. 따라서  $h_1$ 은 음수일수도 있으며, 이 경우 인접한 지형 장애물에 의한 회절의 영향을 고려해야 한다.  $h_1$ 의 음의 값에 대한 절차는 위에서 설명한  $h_1 = 0$ 에 대한 전계강도를 얻는 것으로 다음의 correction  $C_{h1}$ 을 추가해야 한다.

a) 지형 데이터를 이용할 수 있는 경우, 송신/기지 안테나로부터의 TCA(terrain clearance angle),  $\theta_{eff1}$ 은 수신/이동 안테나의 방향에서의 송신/기지 안테나로부터 15km까지 모든 장애물이 없는 양각(elevation angle)으로서 계산된다. 이 값은 양의 값을 가지게 되며,  $C_{h1}$ 을 얻기 위해 TCA  $\theta_{tca}$  대신에 사용된다.

b) 지형 데이터를 이용할 수 없는 경우, 그림 2-7과 같이 송신/기지 안테나로부터 9km 떨어진 거리에  $h_1$  높이의 장애물이 있다고 가정하고 유효 TCA  $\theta_{eff2}$ 를 측정한다. 여기서 3km~15km 내의 지형을 썰기(irregular wedge) 모양으로 가정한다.

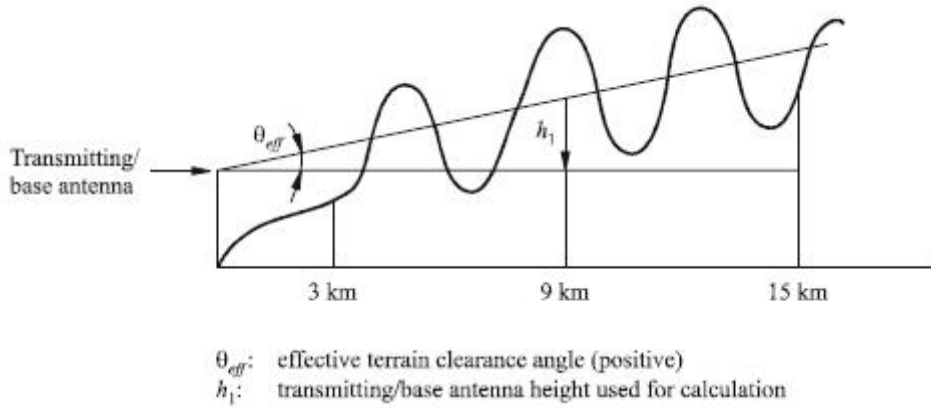


그림 2-7  $h_1 < 0$ 에 대한 실효 clearance angle

전계강도에 추가될 correction  $C_{h1}$ 은 다음 식을 이용하여 계산한다.

$$C_{h1} = 6.03 - J(v) \quad dB \quad (2-14)$$

여기서,

$$J(v) = [6.9 + 20 \log(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1)] \quad (2-14a)$$

$$v = K_v \theta_{eff2} \quad (2-14b)$$

$$\theta_{eff2} = \arctan(-h_1/9000) \quad (2-14c)$$

$$K_v = \begin{cases} 1.35, & \text{for } 100MHz \\ 3.31, & \text{for } 600MHz \\ 6.00, & \text{for } 1200MHz \end{cases}$$

**Step 9** : 원하는 주파수가 하위 공칭 주파수와 일치하지 않는다면 상위 공칭 주파수에 대해 Step 8을 반복하고 다음의 방법을 사용하여 두 개의 전계강도의 내삽 또는 외삽법을 통해 보정한다.

#### [육상경로 및 100MHz 이상의 해상경로]

육상경로 및 100MHz 이상의 해상경로에 대해서 전계강도는 다음 식으로 얻어진다.

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log(f/f_{inf})}{\log(f_{sup}/f_{inf})} \quad dB(\mu V/m) \quad (2-15)$$

여기서,  $E_{inf}$ 와  $E_{sup}$ 는 각각  $f_{inf}$ 와  $f_{sup}$ 에 대한 전계강도를 의미하며,  $f_{inf}$ 와  $f_{sup}$ 는 다음과 같다.

$$f_{inf} : \text{하위 공칭주파수} \begin{cases} 100MHz, & \text{if } f < 600MHz \\ 600MHz, & \text{otherwise} \end{cases}$$

$$f_{sup} : \text{상위 공칭주파수} \begin{cases} 600MHz, & \text{if } f < 600MHz \\ 2000MHz, & \text{otherwise} \end{cases}$$

#### [100MHz 이하의 해상경로]

100MHz 이하의 해상경로에 대해서는 0.6 제1 Fresnel zone이 해수표면에 장애물이 없다는 경로길이에 근거하여 다른 방법이 사용된다. 이 방법은 다음의 조건에서 사용된다.

- 경로는 해상경로
- 원하는 주파수는 100MHz 이하
- 원하는 거리가 600MHz 대역에서  $D_{06}(600, h_1, 10)$ 으로 주어지는 0.6 Fresnel clearance 해상경로 거리보다 작을 경우

만일 위 조건에 해당되지 않은 경우는 식(2-15)로 주어진 내삽/외삽법이 사용되며, 위의 조건에 맞는다면 다음 식을 이용하여 전계강도가 계산된다.

$$E = E_{max} \quad dB(\mu V/m) \quad \text{for } d \leq d_f \quad (2-16)$$

$$= E_{df} + (E_{d_{600}} - E_{df}) \frac{\log(d/d_f)}{\log(d_{600}/d_f)} \quad dB(\mu V/m) \quad \text{for } d > d_f$$

여기서,  $E_{max}$  : 식(3)으로 정의된 원하는 거리에서의 최대 전계강도

$E_{df}$  : 거리  $d_f$ 에서의 전계강도

$d_{600}$  :  $D_{06}(600, h_1, 10)$ 로 계산된 600MHz에서 0.6 Fresnel clearance 경로길이

$d_f$  :  $D_{06}(f, h_1, 10)$ 로 계산된 원하는 주파수에서 0.6 Fresnel clearance 경로길이

$E_{d_{600}}$  : 식(2-15)를 이용하여 계산된 거리  $d_{600}$  및 원하는 주파수에서의 전계강도

**Step 10** : 원하는 시간율과 일치하는 하위 공칭 시간율이 없다면, 상위 공칭 시간율에 대해 Step 7~9를 반복하고 다음의 방법을 이용하여 두 전계강도를 내삽하여 보정한다.

$$E = \frac{E_{sup}(Q_{inf} - Q_t)}{Q_{inf} - Q_{sup}} + \frac{E_{inf}(Q_t - Q_{sup})}{Q_{inf} - Q_{sup}} \quad (2-17)$$

여기서,  $t$  : 원하는 시간율

$t_{inf}$  : 하위 공칭 시간율

$t_{sup}$  : 상위 공칭 시간율

$$Q_t = Q_i(t/100)$$

$$Q_{inf} = Q_i(t_{inf}/100)$$

$$Q_{sup} = Q_i(t_{sup}/100)$$

$E_{inf}$  : 시간율  $t_{inf}$ 에서의 전계강도

$E_{sup}$  : 시간율  $t_{sup}$ 에서의 전계강도

여기서  $Q_i(x)$ 는 역보완 정규분포함수(inverse complementary cumulative normal distribution)로서 다음과 같이 얻어진다. 단,  $0.01 \leq x \leq 0.99$ 에서만 유효하다.

$$Q_i(x) = \begin{cases} T(x) - \xi(x), & \text{if } x \leq 0.5 \\ -\{T(1-x) - \xi(1-x)\}, & \text{if } x > 0.5 \end{cases} \quad (2-18)$$

여기서  $T(x)$  및  $\xi(x)$ 는 다음과 같이 구해진다.

$$\begin{aligned} T(x) &= \sqrt{-2\ln(x)} \\ \xi(x) &= \frac{[(C_2 \cdot T(x) + C_1) \cdot T(x)] + C_0}{[(D_3 \cdot T(x) + D_2) \cdot T(x) + D_1] \cdot T(x) + 1} \\ C_0 &= 2.515517 \\ C_1 &= 0.802853 \\ D_1 &= 1.432788 \\ D_2 &= 0.189269 \end{aligned}$$

$$D_3 = 0.001308$$

위의 식(2-18)로부터 얻어진 값은 표 2-4와 같다.

표 2-4 근사 역보완 누적 정규 분포함수 값

$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$	$q\%$	$Q_i(q/100)$
1	2.327	26	0.643	51	-0.025	76	-0.706
2	2.054	27	0.612	52	-0.050	77	-0.739
3	1.881	28	0.582	53	-0.075	78	-0.772
4	1.751	29	0.553	54	-0.100	79	-0.806
5	1.645	30	0.524	55	-0.125	80	-0.841
6	1.555	31	0.495	56	-0.151	81	-0.878
7	1.476	32	0.467	57	-0.176	82	-0.915
8	1.405	33	0.439	58	-0.202	83	-0.954
9	1.341	34	0.412	59	-0.227	84	-0.994
10	1.282	35	0.385	60	-0.253	85	-1.036
11	1.227	36	0.358	61	-0.279	86	-1.080
12	1.175	37	0.331	62	-0.305	87	-1.126
13	1.126	38	0.305	63	-0.331	88	-1.175
14	1.080	39	0.279	64	-0.358	89	-1.227
15	1.036	40	0.253	65	-0.385	90	-1.282
16	0.994	41	0.227	66	-0.412	91	-1.341
17	0.954	42	0.202	67	-0.439	92	-1.405
18	0.915	43	0.176	68	-0.467	93	-1.476
19	0.878	44	0.151	69	-0.495	94	-1.555
20	0.841	45	0.125	70	-0.524	95	-1.645
21	0.806	46	0.100	71	-0.553	96	-1.751
22	0.772	47	0.075	72	-0.582	97	-1.881
23	0.739	48	0.050	73	-0.612	98	-2.054
24	0.706	49	0.025	74	-0.643	99	-2.327
25	0.674	50	0.000	75	-0.674		

**Step 11** : 혼합경로라면 다음의 단계별 절차에 따라 모든 육상과 해상경로의 값들 사이에 대하여 선형 보정법을 이용하여 전계강도를 구한다. 이는 Step 6~10을 필요로 한다.

먼저 냉해(cold sea) 와 온해(warm sea)가 공존한다면, 모든 해상경로는 온해로 간주한다.

혼합경로 전계강도는 다음식으로 주어진다.

$$E = (1 - A) \cdot E_{land}(d_{total}) + A \cdot E_{sea}(d_{total}) \quad (2-19)$$

여기서,  $A$ 는 혼합경로 내삽(interpolation) 계수로서 다음과 같이 구해진다.

$N_s$  : 해상 존과 해안 육상 존들의 총 수  
 $n$  : 해상경로 또는 해안 육상경로 존 수;  $n = 1, 2, \dots, N_s$   
 $M_l$  : 육상 존의 총 수  
 $m$  : 육상경로 존 수;  $m = 1, 2, \dots, M_l$   
 $d_{sn}$  : 해상 또는 해안 육상 존  $n$ 을 횡단하는 거리 (km)  
 $d_{lm}$  : 육상 존  $m$ 을 횡단하는 거리 (km)

위의 계수들을 이용하면 다음과 같다.

$$d_{sT} = \sum_{n=1}^{N_s} d_{sn} : \text{해상과 해안 육상경로를 횡단하는 총 길이}$$

$$d_{lT} = \sum_{m=1}^{M_l} d_{lm} : \text{육상경로를 횡단하는 총 길이}$$

$$d_T = d_{sT} + d_{lT} : \text{전파경로의 총 길이}$$

또한, 다음의 전계강도 값들이 필요하다.

$E_{sn}(d_T)$  : 해상 또는 해안 육상 존  $n$ 에서 거리  $d_T$ 에 대한 전계강도

$E_{lm}(d_T)$  : 육상 존  $m$ 에서 거리  $d_T$ 에 대한 전계강도

내삽계수,  $A$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$A = A_0(F_{sea})^V \quad (2-20)$$

여기서,  $A_0(F_{sea})$ 는 그림 2-8에 나타내는 기본 내삽계수로서 다음과 같이 주어진다.

$$A_0(F_{sea}) = 1 - (1 - F_{sea})^{2/3} \quad (2-21)$$

해상의 경로의 fraction,  $F_{sea}$ 는 다음과 같다.

$$F_{sea} = \frac{d_{sT}}{d_T}$$

또한,  $V$ 는 다음과 같다.

$$V = \max \left[ 1.0, 1.0 + \frac{\Delta}{40.0} \right]$$

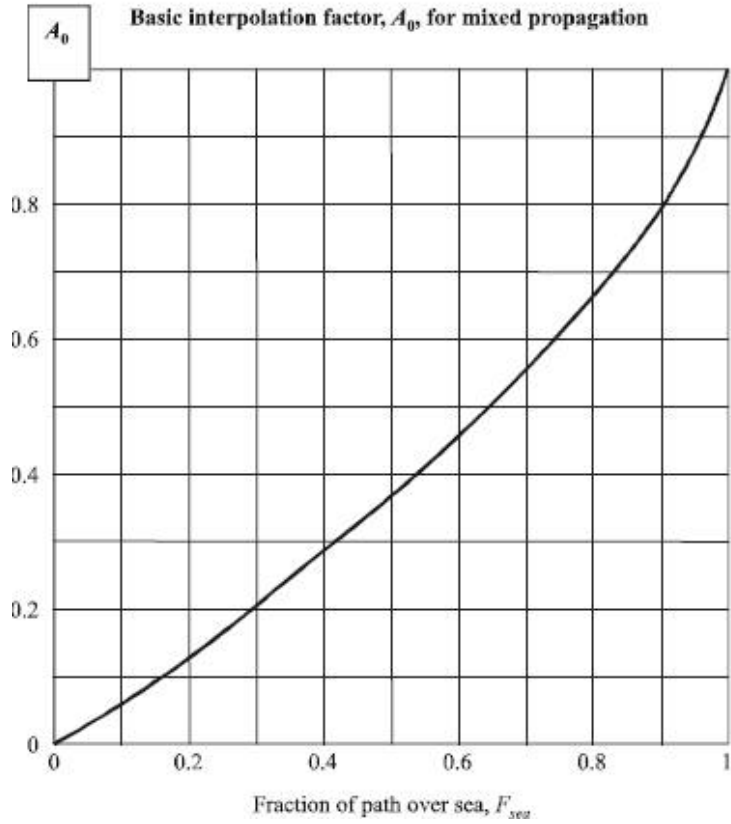


그림 2-8 혼합경로를 위한 기본 내삽계수,  $A_0$

여기서,

$$\Delta = \sum_{n=1}^{N_s} E_{sn}(d_T) \frac{d_{sn}}{d_{sT}} - \sum_{m=1}^{M_l} E_{lm}(d_T) \frac{d_{lm}}{d_{lT}}$$

한편, 두 이상의 다른 전파 존들을 횡단하는 혼합경로에 대한 전계강도는 다음의 세 가지 경우로 나뉘어 계산된다.

a) 어떠한 육상/해상 또는 육상/해안육상 천이(transition)를 포함하지 않는 전파 존의 조합에 대해 전계강도는 다음과 같이 계산된다.

$$E = \sum_i \frac{d_i}{d_{total}} E_i(d_{total}) \quad dB(\mu V/m) \quad (2-22)$$

여기서,

$E_i(d_{total})$  : 혼합경로 길이와 동일한 존  $i$  경로에 대한 전계강도  
 $d_i$  : 존  $i$ 에 대한 경로길이  
 $d_{total}$  : 총 경로길이

b) 단일 육상 전파 범주 및 단일 해상 또는 해안육상 전파범주를 포함하는 전파 존들의 조합에 대해서는 위의 식(2-22)를 사용한다.

c) 적어도 하나의 육상/해상 또는 육상/해안육상 경계를 포함하는 3개 이상의 전파 존들의 조합에 대해서는 다음 식으로 전계강도가 구해진다.

$$E = (1 - A) \cdot \frac{\sum_{i=1}^{n_l} d_i E_{land,i}}{d_{lT}} + A \cdot \frac{\sum_{j=1}^{n_s} d_j E_{sea,j}}{d_{sT}} \quad (2-23)$$

여기서,

$E_{land,i}$  : 육상경로  $i$ 에 대한 전계강도,  $i = 1, \dots, n_l$ ;  $n_l$ 은 횡단된 육상 존의 수  
 $E_{sea,j}$  : 육상경로  $j$ 에 대한 전계강도,  $j = 1, \dots, n_s$ ;  $n_s$ 은 횡단된 해상 및 해안 육상 존의 수

$A$  : 식(2-20)의 내삽계수

$d_i, d_j$  : 존  $i, j$ 의 경로길이

$d_{lT}$  : 육상경로의 총 길이 =  $\sum_{i=1}^{n_l} d_i$

$d_{sT}$  : 해상 및 해안육상 경로의 총 길이 =  $\sum_{j=1}^{n_s} d_j$

**Step 12** : 육지에 인접한 수신/이동 안테나에서 TCA에 대한 정보가 가능하다면 다음의 방법을 이용하여 수신기/이동에서의 TCA에 대한 전계강도를 정정한다.

육상경로에서나 혼합경로에서 수신/이동 안테나가 육상 부분에 있을 때, TCA에 근거하여 전계강도에 정정이 이루어져야 한다. TCA(terrain clearance angle)는 다음과 같다.

$$\theta_{tca} = \theta \quad (2-24)$$

여기서,  $\theta$ 는 16km까지의 거리상에 송신기/기지 안테나의 방향에서 모든 지형

장애물이 없는 수신/이동으로부터의 양각이다.

$0.55^\circ \leq \theta_{tca} \leq 40.0^\circ$ 의 범위를 갖는다.

상대 TCA 정보가 가능하다면 전계강도 정정은 다음의 식을 이용한다.

$$Correction = J(v') - J(v) \quad dB \quad (2-25a)$$

여기서,  $J(v)$ 는 식(2-14a)로 주어진다.

$$v' = 0.036 \sqrt{f} \quad (2-25b)$$

$$v = 0.065 \theta_{tca} \sqrt{f} \quad (2-25c)$$

**Step 13** : 다음의 방법을 이용하여 대류권 산란(tropospheric scattering)에 기인하는 전계강도를 계산한다. 만일 지형정보가 가능하다면 대류권 산란에 대한 정정은 다음의 절차를 통해 계산된다.

경로 산란각,  $\theta_s$ 는 다음 식으로 주어진다.

$$\theta_s = \frac{180d}{\pi ka} + \theta_{eff} + \theta \quad (2-26)$$

여기서,

$\theta_{eff}$  : 식(2-14c)로 주어지는  $h_1$  터미널의 TCA

$\theta$  : 식(2-24)에서 주어지는  $h_2$  터미널의 TCA

$d$  : 경로길이 (km)

$a$  : 지구 반경, 6370km

$k$  : 4/3, median refractivity condition에서의 지구반경

$f$  : 원하는 주파수 (MHz)

만일  $\theta_s$ 가 0보다 작으면 0으로 놓는다.

대류권 산란에 대한 전계강도 보정은 다음 식으로 이루어진다.

$$E_{ts} = 24.4 - 20\log(d) - 10\theta_s - L_f + 0.15N_0 + G_t \quad dB(\mu V/m) \quad (2-27)$$

여기서,

$L_f$  : 주파수 함수의 손실  $(= 5\log(f) - 2.5(\log(f) - 3.3)^2)$

$N_0 = 325$ , median surface refractivity

$G_t$  : time-dependent enhancement  $(= 10.1(-\log(0.02t))^{0.7})$

$d$  : 경로길이 또는 원하는 거리 (km)



$f$  : 원하는 주파수 (MHz)

$t$  : 원하는 시간율

**Step 14** : 다음의 방법을 이용하여 수신/이동 안테나 높이  $h_2$ 에 대한 전계강도를 정정한다.

본 권고안의 land curve 및 관련 tabulation으로 주어진 전계강도 값들은 수신/이동 안테나 주위의 지상 고도의 최소 높이가 10m로 가정하여  $R(m)$ 의 기준 수신/이동 안테나에 대한 것이다. 예를 들어, 그 기준 높이는 도시지역에서 20m, 밀집 도시에서 30m, 교외지역에서 10m이며, 해상경로에서  $R$ 의 값은 10m이다.

먼저 수정된 클러터(clutter) 높이,  $R'(m)$ 을 다음 식을 이용하여 구한다.

$$R' = \begin{cases} R & m, \text{ for } h_1 \leq 6.5d + R \\ (1000dR - 15h_1)/(1000d - 15) & m, \text{ for } h_1 > 6.5d + R \end{cases} \quad (2-28)$$

수신/이동 안테나가 도시환경에 놓일 때, 정정은 다음과 같이 주어진다.

$$Correction = \begin{cases} 6.03 - J(v) & dB & \text{for } h_2 < R' \\ K_{h_2} \log(h_2/R') & dB & \text{for } h_2 \geq R' \end{cases} \quad (2-29)$$

여기서,  $J(v)$ 는 식(2-14a)로 주어진다.

$$v = K_\nu \sqrt{h_{dif} \theta_{clut}}$$

$$h_{dif} = R' - h_2 \quad m$$

$$\theta_{clut} = \arctan(h_{dif}/27)$$

$$K_{h_2} = 3.2 + 6.2 \log(f)$$

$$K_\nu = 0.0108 \sqrt{f}$$

$f$  : 원하는 주파수 (MHz)

도시(urban) 환경에서  $R'$ 이 10m 이하인 경우 식(2-29)로 주어지는 정정은  $K_{h_2} \log(10/R')$ 로 감소한다.

수신/이동 안테나가 시골(rural) 또는 개방 환경의 육상에 놓일 때, 식(2-29)의  $h_2 = R' = 10m$ 로 한다.

수신/이동 안테나가 해상에 인접하여  $h_2 \geq 10m$ 일 때, 식(2-29)에서  $R' = 10m$ 로

계산한다.

수신/이동 안테나가 해상에 인접하여  $h_2 < 10m$  일 때, 식(2-10)에 근거한 해수표면에 의해 방해받지 않는 제1 프레넬 존(Fresnel zone)의 0.6을 갖는 경로길이에 근거하여 다른 방법이 사용된다. 그 거리는  $h_2 = 10m$ 로 놓고 원하는  $h_1$  값에 대한 0.6 Fresnel clearance 를 갖는 경로로서  $D_{06}(f, h_1, 10)$ 으로 계산된다.

만일 원하는 거리가  $d_{10}$  보다 크거나 같으면, 식(2-29)에서  $R' = 10m$ 로 놓고 원하는  $h_2$  값에서 정정이 이루어져야 한다.

만일 원하는 거리가  $d_{10}$  보다 작으면 다음과 같은 보정인자를 사용한다.

$$Correction = \begin{cases} 0.0 & dB & \text{for } d \leq d_{h_2} \\ C_{10} \log(d/d_{h_2}) / \log(d_{10}/d_{h_2}) & dB & \text{for } d_{h_2} < d < d_{10} \end{cases} \quad (2-30)$$

여기서,

$C_{10}$  : 식(2-29)에서  $R' = 10m$ 로 놓고 거리  $d_{10}$ 에서 원하는  $h_2$  값에 대한 정정

$d_{10}$  :  $h_2 = 10m$ 로 놓고  $D_{06}(f, h_1, 10)$ 으로 계산된 0.6 Fresnel clearance를 갖는 경로 길이

$d_{h_2}$  :  $h_2$ 에서  $D_{06}(f, h_1, 10)$ 으로 계산된 0.6 Fresnel clearance를 갖는 경로 길이

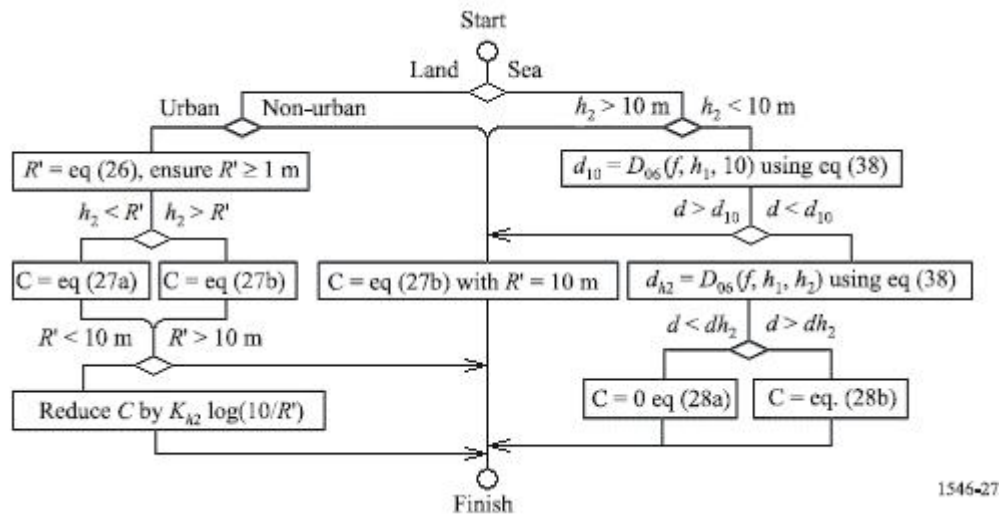


그림 2-9 수신/이동 안테나 높이 정정을 위한 플로우 차트

그림 2-9에 수신/이동 안테나 높이에 대한 완전한 정정을 위한 플로우차트를 보인다.

**Step 15** : 만일 가능하다면 다음의 방법을 이용하여 단거리 도시/교외 경로에 대

한 전계강도 보정을 행한다.

만일 15km 이하의 경로가 평평한 지형 상에 일정 크기의 빌딩들로 덮여 있다면, 빌딩 clutter에 기인하는 전계강도 감쇠를 나타내는 정정이 이루어져야 하며 다음 식으로 주어진다.

$$Correction = -3.3(\log(f))(1 - 0.85\log(d))(1 - 0.46\log(1 + h_a - R)) \quad (2-31)$$

여기서,  $h_a$  : 지상의 안테나 높이 (m)

$R$  : 식(2-28)로 주어지는 수신/이동 안테나(또는 송신/기지 안테나) 주위를 커버하는 대표적 지상 높이

이 정정은  $d$ 가 15km 이내,  $h_1 - R$ 이 150m 이내에만 적용 가능하다.

**Step 16** : 육지에 인접하는 수신/이동 안테나에서의 전계강도가 위치 비율이 50% 이상 초과하는 값을 구하기 위해서는 다음에 주어지는 방법을 이용하여 원하는 %의 위치에 대한 전계강도의 정정이 이루어져야 한다.

Area-coverage 예측 방법은 특정 포인트 보다 주어진 지역에서 통계적 수신조건을 제공하게 된다. 이와 같은 통계적 내삽은 고려하는 지역의 크기에 의존한다.

무선 경로의 한 터미널이 고정이고, 다른 터미널이 이동일 때, 경로손실은 위치에 따라 연속적으로 변하게 될 것이고, 전적으로 경로손실에 영향을 미치게 될 것이다. 이러한 영향은 세 가지 범주, *Multipath variation, Local ground over variation, Path variation*으로 나뉜다.

육상 수신/이동 안테나 위치에 대한  $q\%$  초과하는 전계강도는 다음과 같이 주어진다.

$$E(q) = E(\text{median}) + Q_i(q/100)\sigma_L(f) \quad dB(\mu V/m) \quad (2-32)$$

여기서,

$Q_i(x)$  : 확률함수로서 역보완 정규분포함수(inverse complementary cumulative normal distribution)

$\sigma_L$  : 원하는 영역에서의 지역평균의 Gaussian 분포의 표준편차

표준편차 값은 주파수와 환경에 의존하며, 500m x 500m의 지역에 대한 대표적 인 값은 다음과 같다.

$$\sigma_L = K + 1.3\log(f) \quad dB \quad (2-33)$$

여기서,

$$K = \begin{cases} 1.2, & clutter \text{ 높이가 } 1 \text{ 미만의 안테나} \\ 1.0, & clutter \text{ 높이가 } 1 \text{ 근방의 rooftop 안테나} \\ 0.5, & \text{시골지역의 수신기} \end{cases}$$

$f$  : 원하는 주파수 (MHz)

어떤 planning 목적을 위해 다중경로 페이딩을 포함한 “location variability”의 정의 사용을 필요로 한다. 표 2-5에 일련의 무선 서비스 planning을 위한 적절한 값들이 주어진다.

표 2-5 무선 서비스 planning에 사용되는 variability 값

	Standard deviation (dB)		
	100 MHz	600 MHz	2 000 MHz
Broadcasting, analogue	8.3	9.5	—
Broadcasting, digital	5.5	5.5	5.5

**Step 17** : 혼합경로 계산이 50% 미만의 시간율에 대하여 이루어 졌다면, 모든 육상과 해상의 값 들 사이에 대하여 선형 보정법을 이용하여 다음과 같이 최대 전계강도를 계산한다.

$$E_{\max} = E_{fs} + d_s E_{se} / d_{total} \quad dB(\mu V/m) \quad (2-34)$$

여기서,

$E_{fs}$  : 식(2-7)로 주어지는 자유공간 전계강도

$E_{se}$  : 식(2-8)로 주어지는 해상경로에 대한 작은 시간율에서의 증가

$d_s$  : 총 해상 거리 (km)

$d_{total}$  : 총 경로 거리 (km)

**Step 18** : 필요하다면 다음 식을 이용하여 경로에 대하여 전계강도를 기본 전송 손실식으로 변환한다.

$$L_b = 139.3 - E + 20\log(f) \quad dB \quad (2-35)$$

여기서,

$L_b$  : 기본 전송 손실 (dB)

$E$  : 1kW e.r.p.에 대한 전계강도 ( $dB(\mu V/m)$ )

$f$  : 주파수 (MHz)

## 4. ITU-R P.1546 버전 비교

### 4.1 개요

지형에 의한 방해 및 장애물에 의한 산란 등이 포함될 때 지상 환경에서의 전계강도 예측은 매우 복잡한 작업이다. ITU 권고안 P.1546은 다른 factor 들 중 1) 송신/기지(transmitting/base) 안테나의 실효 높이, 2) 수신/이동(receiving/mobile) 안테나 함수에 의한 정정(correction), 3) terrain clearance angle(TCA) 함수에 의한 정정 등을 고려하여 예측을 하고 있다. 각 factor에 대한 여러 방법들이 다른 여러 권고안 versions 내의 방법들을 참조하여 제안되었다.

본 논문에서는 우선 권고안의 세 가지 factor에 대해 검토하게 되며, 시골지역(rural area)에서 수신/이동 안테나 높이에 대한 정정의 적용 가능성을 2-ray 모델을 이용하여 분석한다. 권고안을 flat 지형에 적용함으로서 TCA 정정의 영향이 강조된다. 호주의 시골지역에서 상용 CDMA 파일럿(pilot) 신호를 이용하여 얻어진 측정결과와 세 가지 version 들을 비교하여 version 들의 장단점을 부각시킨다.

### 4.2 ITU-R P.1546

P.370, P.529 및 P.1146과 같은 이전의 ITU-R 권고안들은 유사하거나 동일한 적용에서도 다른 결과를 제공해 왔다. 그러므로 P.1546 모델은 알려진 제약사항을 극복하면서 여러 방법들을 하나의 단일 방법으로 집약시키기 위해 개발되었다. ITU-R P.1546 모델은 지표의 대표 높이(the representative height of ground cover)와 같은 수신/이동 안테나 높이에서 주파수의 함수(100MHz, 600MHz, 2000MHz), 거리(1km ~ 1000km), 송신/기지 안테나 높이(10m ~ 1200m), 초과 시간율(50%, 10%, 1%), 경로 타입(육상, cold sea 및 warm sea)의 함수로서 전계강도 및 표의 세트를 제공하고 있다. 특정 범위내의 어떠한 입력 값에서도 일관된 예측을 가능하도록 엄격한 내삽/외삽(interpolation/extrapolation) 절차가 주어진다. 전계강도 예측은 다른 수신/이동 안테나 높이에 대해 정정될 수 있으며, 예측의 정확도가 TCA 정정을 적용함에 의해 보장될 수 있다. 계산에서 Geoscience Australia 사가 제공하는 9초 resolution grid(약 250m)를 갖는 DEM(digital elevation map)을 사용하여 모델이 구축되었다. 본 논문에서 비교된 version들은 P.1546-0, P.1546-1 및 P.1546-2 모델이다.

### 4.3 Transmitting/Base Antenna Height, $h_1$

송신/기지 안테나 높이에 대한 정의는 P.1546 versions에 따라 약간씩 다르다. 본 절에서는 P.1546-2에 있는 정의가 예로서 사용된다. Okumura 및 P.370 모델에서처럼 기지 안테나의 실효 높이,  $h_{eff}$ 를 고려하며, 이동 안테나 방향으로 3km ~ 15km 사이에 평균 지표레벨(ground level) 위의 m 단위의 기지국(BS) 안테나 높이로서 계산된다(그림 2-10 참조).

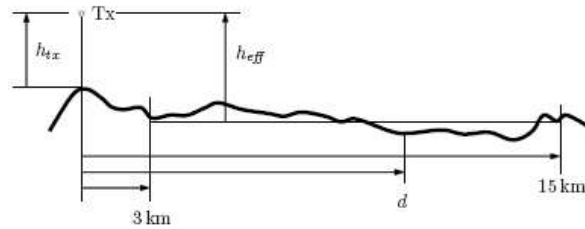


그림 2-10 실효 안테나 높이,  $h_{eff}$  정의

#### 4.3.1 $h_1$ 의 P.1546-0 정의

경로길이  $d$ 가 15km 이상이면,  $h_1$ 은 간단히  $h_{eff}$  이다. 15km 이하의 경로길이라면,  $h_b$ 는 0.2d ~ d km 사이의 평균 지형높이 위의 송신안테나 높이[m]로 정의된다. 송신/기지 안테나 높이는 다음 식으로 계산된다.

$$h_1 = h_a + \frac{(h_b - h_a)d}{15} \quad (2-36)$$

여기서,  $h_a$ 는 안테나 근처의 clutter 위의 송신/기지 안테나의 notional 높이이다. 만일 클러터 상의 높이가 불가능하다면,  $h_a$ 는 지상 안테나 높이, 즉 mast의 높이,  $h_{tx}$ (m)로서 정의된다.  $h_a$ 와  $h_b$ 간의 선형적인 내삽의 방법(15km까지)은 수신안테나가 송신안테나에 다가갈 때 송신안테나의 실질적 높이가 더욱 크게 고려되는 방법이다. 이 접근법은 실제로 P.1546-1에 사용된 단순 방법보다 음의  $h_1(<0)$  값에 대해 더욱 강하다.

#### 4.3.2 $h_1$ 의 P.1546-1 정의

송수신안테나간의 거리가 15km 이상이면, 계산에 사용되는 송신안테나 높이,  $h_1$ 은  $h_{eff}$ 이다. 15km 이하인 경로길이에 대해서는  $h_1$ 은  $h_b$ 와 같다. 이와 같은 송신/기지 안테나 높이에 대한 정의를 수정한 것은 권고안을 간단히 하기 위한 노력이다.

#### 4.3.3 $h_1<0$ 에 대한 P.1546-2 정정

P.1546-2에서  $h_1$  정의는 P.1546-1에서와 동일하지만,  $h_1 < 0$ 에 대해 회절 및 대류권 산란을 모두 고려한 정정(correction) 방법을 사용하고 있다. 이 방법은  $h_1 = 0\text{m}$  천이에서 예측된 전계강도에 불연속성을 가져올 수 있다.

#### 4.4 수신/이동 안테나 높이에 대한 정정

P.1546 예측 커브들은 수신기 주변의 지상 높이(m)를 대표하는 높이  $R$ 에서의 reference 수신안테나에 대한 전계강도 값들을 제공하고 있다. Reference 높이에 대한 예는 다음과 같다.

■ 30m for dense urban areas

■ 20m for urban areas

■ 10m for suburban and rural areas

최소 reference 높이는 10m이다. 만일 수신 안테나 높이,  $h_2$ 가  $R$ 과 다르다면, 지표면(ground cover)에 기인하는 정정이 더해져야 한다. 그림 2-11에 나타난 정정 곡선은 호주의 CDMA 파일럿 캐리어 주파수  $f = 881.52\text{MHz}$ , 경로길이  $d = 10\text{km}$ , 송신안테나  $h_1 = 35\text{m}$ 에서 얻어진 값이다. 그림 2-11로부터 수신안테나 높이가 약 1.44m일 때, 정정곡선은 rural 및 suburban area가 만나고(-18.66dB),  $h_2 = 1\text{m}$ 일 때, suburban 보다 rural에 대한 정정 값이 크다. 이는 개방 rural 지역에 대한 좀 더 정확한 정정 값을 얻기 위한 조사가 필요하다는 점을 말한다. 이에 대한 문제를 더욱 조사하기 위해 ITU-R P.370-7 및 2-ray 모델에 사용된 수신안테나 정정을 소개한다.

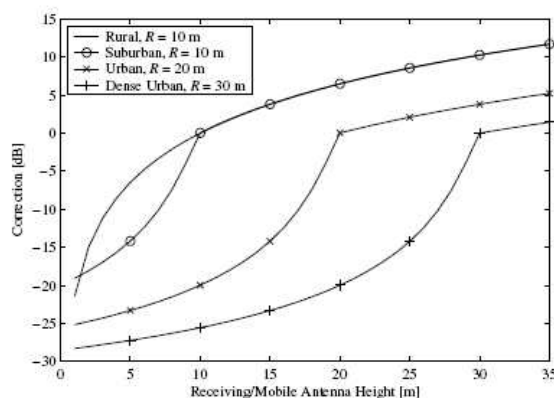


그림 2-11 Land categories에 따른 수신/이동 안테나 높이 정정곡선

##### 4.4.1 P.370-7

ITU-R 권고안은 10m에 대한 상대적인 다른 수신안테나 높이(1.5 ~ 40m)에 대한 이득 정정,  $c(\text{dB})$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$c = \frac{k}{6} \cdot 20 \log_{10} \left( \frac{h_2}{10} \right) \quad (2-37)$$

여기서,  $k$ 는 UHF 대역 및 rural 지역에서 4dB이다. 예를 들어,  $h_2 = 1.7m$ 에서  $c$ 는 약 -10dB로 동일 시나리오 수신/이동 안테나에 대한 P.1546-2 정정 값보다 약 6.5dB 적은 값이다.

#### 4.4.2 2-Ray 모델

P.1546은 경험적 결과에 근거하여 개발이 되었지만, 수신/이동 안테나 높이 (RAH; receiving/mobile antenna height) 정정에 대한 좀 더 나은 이해를 위해 flat ground에 대한 2-ray 모델을 사용한 해석이 수행되었다. 특정 주파수 (881.52MHz) 및 5km 이상의 거리에서 수신/이동 안테나 높이에 대한 정정 곡선은 그림 2-12(a)과 같이 합리적으로 거의 일치하고 있다. 여기서 P.1546 정정 값이 개방 flat ground에서의 2-ray 모델에서 얻어진 정정 값보다 항상 크다는 점이다. 이는 수신/이동 안테나 주변의 전형적인 vegetation 및 clutter에 기인하는 전파손실이 추가되었기 때문이다. 동일 시나리오에서 2km 이하에서 2-ray 모델에 의한 수신 전계강도는 수신안테나를 낮게 해도 그림 2-12(b)와 같이 전혀 감소하지 않고 있다. 이는 거리에 따른 수신/이동 안테나 높이 정정에 대한 개발이 필요하다는 점을 시사하고 있다.

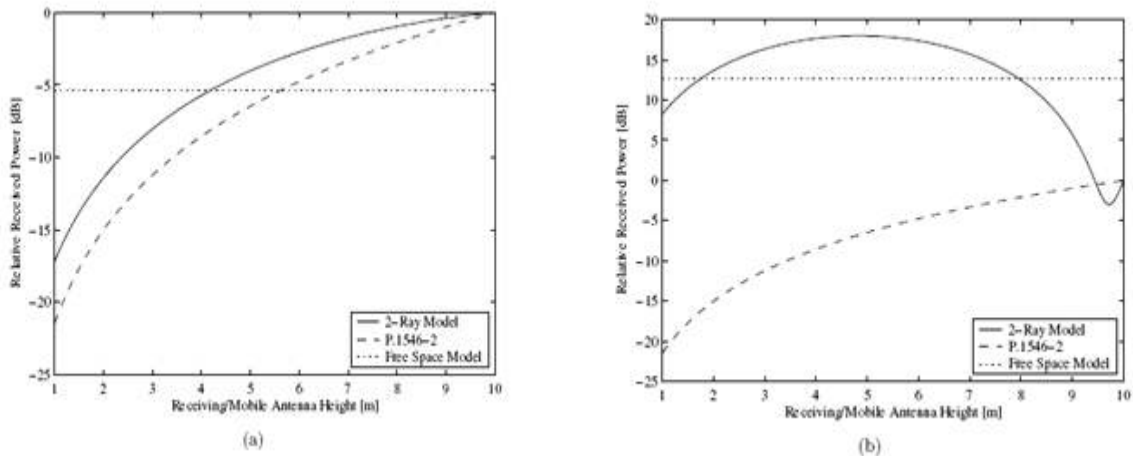


그림 2-12 수직편파 등방성 안테나, flat ground,  $h_1 = 35m$ , 상대 유전율  $\epsilon_r = 15$ , 도전율  $\sigma = 0.005$ 에서 수신/이동 안테나 높이에 따른 상대 수신전력. (a)  $d = 5km$   
(b)  $d = 2km$

#### 4.5 Terrain Clearance Angle 정정

육상경로에서 TCA 정정은 수신기 사이트 근처 장애물을 고려하여 예측 정확도



를 높이는 것이다. 그 정정은 다음 식으로 주어지는 TCA에 근거한다.

$$\theta_{tca} = \theta - \theta_r \quad (2-38)$$

여기서,  $\theta$ 는 수신안테나 수평선상으로부터 측정된 상대 값이며, 16km까지 거리 상에 모든 지형 장애물을 clear 시키지만, 송신안테나 이상으로 가면 안된다(그림 2-13 참조).

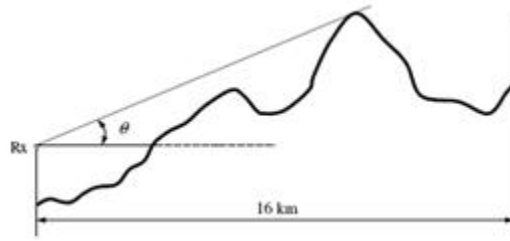


그림 2-13.  $\theta$ 의 정의 ( $d \geq 16km$ )

Reference 각,  $\theta_r$ 은 다음과 같이 주어진다.

$$\theta_r = \arctan\left(\frac{h_{1s} - h_{2s}}{1000d}\right) \quad (2-39)$$

여기서,  $h_{1s}$  및  $h_{2s}$ 는 각각 송수신안테나의 해발(sea level) 높이(m)이며, 거리  $d$ 는 km 단위이다.

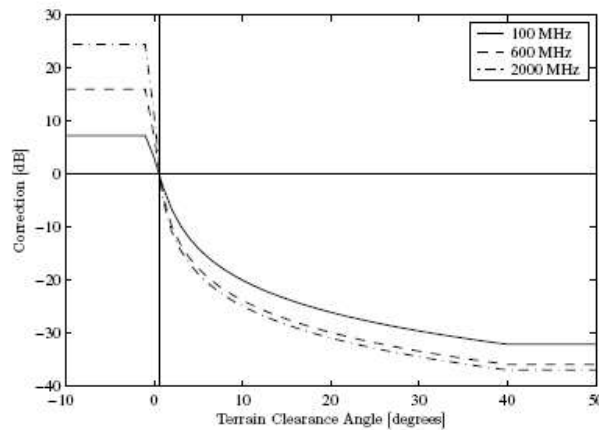


그림 2-14 공칭주파수에 대한 TCA 정정

P.1546-0 및 P.1546-1에서 TCA 정정의 상하한 값은  $\theta_{tca} = -0.8^\circ$  및  $\theta_{tca} = 40^\circ$ 에서 얻어진 값으로 제한된다. P.1546-2에서  $\theta_{tca}$  하한이  $-0.8^\circ$ 에서  $0.55^\circ$ 로 변경되어 그 결과  $\theta_{tca} < 0.55^\circ$ 에서 TCA 정정이 추가되지 않는다(그림 2-14 참조). 그러므로

P.1546-2에서 flat rural 시나리오에 대한 전계강도 예측은 P.1546-0 및 P.1546-1에서 예측된 값보다 비관적이다. 그림 2-14에서 100MHz와 600MHz에 대한 곡선은 P.370-7에 의해 지원되었으며, 2000MHz TCA 정정에 대한 곡선은 그 출처가 알려져 있지 않다. 또한, P.370-7에서 UHF대 TCA 정정은 P.1546-1에서처럼 +18dB를 초과할 수 없지만, 그 곡선은 10~1000km 범위 내에서만 적용 가능하다. 따라서 10km 미만의 거리에 대한 TCA 정정을 위한 목적으로 하는 모델개발이 필요하다. 더욱이 수신/이동안테나 높이가 그 reference 높이로부터 변화할 때, TCA와 수신/이동 안테나 높이 정정 모두 영향을 받는다. TCA 정정이 수신/이동 안테나 높이로부터 측정되고 있지만, 수신/이동 안테나가 클러터에 의해 둘러싸일 때, 수신/이동 안테나로부터 방해 지형으로의 LOS(line-of-sight)가 클러터에 의해 차단되므로 TCA는 reference 높이로부터 측정되어야 한다는 견해도 있다. TCA 정정과 수신/이동 안테나 높이 정정이 서로 어떻게 상호작용하는 지를 고려하여 TCA가 개방 rural 지역에서 어떻게 측정되어야 하는 문제는 더 분석되어야 한다.

## 제 2 절 BCAST 모델

### 1. 표준방송을 하는 방송국

- (1) 전계강도의 계산은 지상파에 한하며 전리층 및 대류권에 의한 영향은 고려하지 않는다.
- (2) 대지 정수가 균일한 전파로(電播路)의 전계강도는 다음식에 의하여 계산한다.

$$E = E_o \sqrt{P_e} \text{ (mV/m)} \quad (2-40)$$

여기서,  $P_e = (G_n), D(\theta), P_t(\text{kW})$

$E$  : 수신점의 전계강도(mV/m)

$E_o$  :  $P_t$ 가 1kW 때의 균일한 대지 정수에 대한 전계강도

$P_e$  : 유효복사전력

$G_n$  : 공중선 비교효율

$D(\theta)$  : 공중선 지향성 계수

- (3) 대지의 도전율( $\sigma$ ) 및 유전율( $\epsilon$ )은 다음 값을 기준으로 한다.

구 분	도전율( $\sigma$ mV/m)	비유전율( $\epsilon_r$ )
산 약 지 대	1	15
구 룡 지 대	2	15
평 야 지 대	5	15
해 상	5,000	80

(4) 공중선의 비교효율( $G_n$ )

임의의 접지공중선과 그 공중선의 위치에 있어서 완전도체 대지상에 설치된 사용주파수의 파장에 비해 충분히 짧은 접지 공중선과의 동일한 값의 공중선전력을 공급한 경우에 있어서 당해 공중선으로부터 1km 떨어진 동일지점에 미치는 두 전계강도의 제공의 비를 백분율로 표시한 것이며 그 값은 공중선전력에 따라 다음과 같다.

공 중 선 전 력	$G_n$
50kW 이상	130 %
10kW 이상 50kW 미만	120 %
3kW 이상 10kW 미만	100 %
1kW 이상 3kW 미만	90 %
1kW 미만	70 %

(5) 혼성전파로인 경우의 전계강도는 다음 식에 의하여 계산한다.

$$E = E_m \sqrt{P_e} \quad (\text{mV/m}) \quad (2-41)$$

$E_m$  : 공중선전력  $P_t$ 가 1kW때 혼성전파로에 있어서의 전계강도

## 2. 초단파방송, 텔레비전방송을 하는 방송국

(1) 산악회절등을 고려하지 않고 간이한 방법에 의해 방송구역을 계산하고자 할 경우에는 다음식에 의하여 구한다.

$$E = E_o + P_e - PL - S \quad (2-42)$$

여기서  $E_o$  :  $P_e$ 가 1kW인 때의 자유공간 전계강도(dB)

$E$  : 구하고자 하는 수신점의 전계강도(dB)

$P_e$  : 공중선 실효복사전력(dBk)

$PL$  : 공중선 지향손실(dB)

$S$  : 감쇄교정계수(dB)

(2) 산악지형 등 특수한 지형에 있어 방송구역을 계산하고자 할 경우에는 다음식에 의하여 구한다.

(가) 송·수신점간 차폐물이 없는 자유공간에 의한 방송구역은 다음식에 의하여 구한다.

$$E_o = \frac{\sqrt{30P}}{D} \text{ [V/m]} \quad (2-43)$$

여기서  $E_o$  : 자유공간 전계강도[V/m]

$P$  : 공중선 실효복사전력[W]

$d$  : 송신점으로부터의 이격거리[m]

(나) 자유공간에서의 전계강도  $E_o$ 에 대한 구면지구에 의한 회절전계강도(dB)는 다음식에 의하여 구한다.

$$20\log\frac{E}{E_o} = F(X) + G(Y_1) + G(Y_2)\text{dB} \quad (2-44)$$

$$X = \beta\left(\frac{\pi}{\lambda a^2 \epsilon}\right)^{1/3} \cdot d$$

$$Y = 2\beta\left(\frac{\pi}{\lambda^2 a \epsilon}\right)^{1/3} \cdot h$$

여기서  $h$  : 안테나의 높이(m)

$F(X)$  : 정규화 거리함수

$G(Y)$  : 정규화 안테나높이 이득

(다) 자유공간에서의 산악에 의한 모서리형 회절손실은 다음식에 의하여 구한다.

① 그림 2-10과 같은 지형조건의 단일 모서리형인 경우의 회절손실은 다음과 같으며

$$v = -h_p \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{r_1} + \frac{1}{r_2} \right)} \quad (2-45)$$

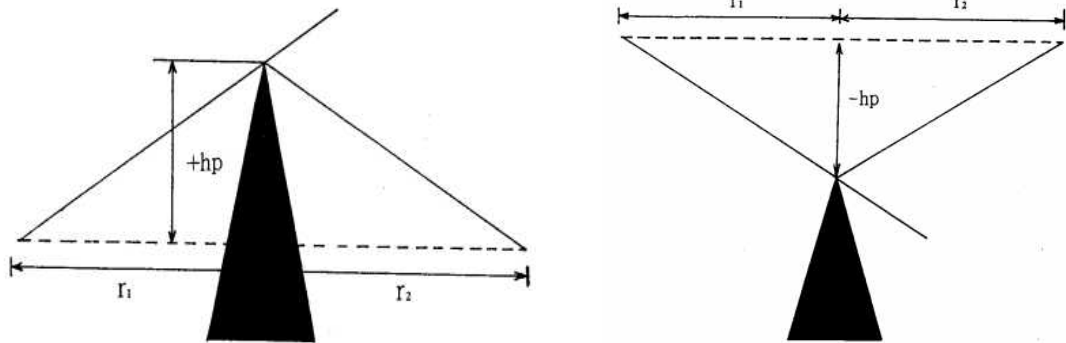


그림 2-15 단일 모서리형 회전손실

② 그림 2-11과 같은 지형조건의 다중모서리형인 경우의 회절손실은 다음과 같다.

$$r = 548 \sqrt{\frac{d_a \cdot d_b}{f(d_a + d_b)}} \quad (2-46)$$

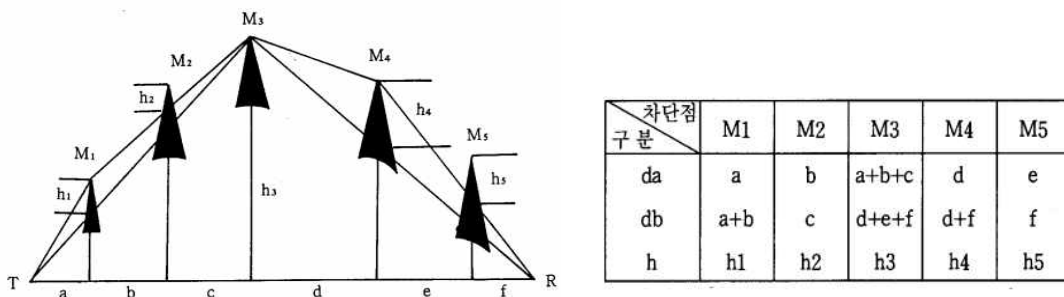


그림 2-16 다중 모서리형 회전손실

### 제 3 절 ITU-R P.530-14

#### 1. 개요

본 권고안은 디지털 고정 LOS 링크 설계 시 clear-air 및 rainfall 조건에서 고려해야 할 전파 영향에 대한 예측방법뿐만 아니라 전파손실을 최소화하기 위한 경감기법을 포함하여 단계별 절차상의 링크설계 지침을 제공하고 있다.

LOS 무선 중계 시스템 설계에서 고려해야 할 여러 전파영향은 다음과 같다.

- 지형 장애물에 의한 회절 페이딩
- 대기가스에 의한 감쇠
- 대기 다중경로 또는 빔 확산에 의한 페이딩
- 표면반사로부터 발생하는 다중경로 페이딩
- 대기 강우에 의한 감쇠
- 굴절에 의한 수신기상의 도래각 변동 및 송신기상의 방사각 변동
- 다중전파에서 주파수 선택성 페이딩 및 지연에 기인하는 신호 왜곡

## 2. 전파손실

### 2.1 대기가스에 의한 감쇠

수증기에 의한 흡수손실은 10GHz 이상의 주파수에서 전파계산에 포함되어야 하며, 경로길이  $d(\text{km})$ 에서 다음과 같이 주어진다.

$$A_a = \gamma_a d \quad \text{dB} \quad (2-47)$$

여기서, 감쇠  $\gamma_a(\text{dB/km})$ 는 ITU-R P.676 권고안에 주어진다.

### 2.2 회절 페이딩

Path clearance에서 회절손실은 단일 knife-edge 장애물에 대한 최소값으로부터 smooth 구형 지구에 대한 최대값까지 변한다. 이 두 가지 경우 및 불규칙 지형 경로에 대한 회절계산방법은 ITU-R P.526에 주어진다. 평균 지형상의 회절손실은 15dB 이상의 손실에 대해 다음과 같이 간략화 된다.

$$A_d = -20h/F_1 + 10 \quad \text{dB} \quad (2-48)$$

여기서,  $h$ 는 가장 중요한 경로 차단과 경로 궤적간의 높이 차(m)이며,  $F_1$ 은 제1 프레넬 반경으로 다음과 같이 주어진다.

$$F_1 = 17.3 \sqrt{\frac{d_1 d_2}{fd}} \quad \text{m} \quad (2-49)$$

여기서,

$f$  : 주파수(GHz),  $d$  : 경로길이(km)

$d_1, d_2$  : 단말로부터 경로 장애물까지의 거리(km)

## 2.3 다중경로 페이딩 및 관련 메카니즘

빔 확산, 안테나 디커플링, 표면 다중경로 및 대기 다중경로와 같은 대기 굴절층에 의한 다양한 clear-air 페이딩 메카니즘은 수 km 이상의 링크를 설계하는데 고려되어야 한다.

### 2.3.1 작은 % 시간에 대한 방법

**Step 1** :  $K$ 에 대해 측정 데이터가 불가능하다면, 상세 링크 설계는 평균 최악월에 대한 geoclimatic factor를 다음과 같이 평가해야 한다.

$$K = 10^{-4.4 - 0.0027dN_1}(10 + s_a)^{-0.46} \quad (2-50)$$

여기서,

$dN_1$  : ITU-R P.453 권고에서 위도 및 경도의  $1.5^\circ$  grid 사에 주어지는 값

$s_a$  : 30s resolution으로 110km x 110km 지역내의 지형고 표준편차로 정의 설계에서  $K$ 의 값이 계산이 필요하다면 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$K = 10^{-4.6 - 0.0027dN_1} \quad (2-51)$$

**Step 2** : 안테나 높이  $h_e$  및  $h_r$ (해발고(m))로부터 경로 기울기 절대값은 다음과 같다.

$$|\epsilon_p| = |h_r - h_e|/d \quad (2-52)$$

여기서,  $d$ 는 경로길이(km)이다.

**Step 3** : 상세설계에서 fade depth  $A$ (dB)가 평균 최악월을 초과하는 시간 %는 다음과 같이 주어진다.

$$p_w = Kd^{3.4}(1 + |\epsilon_p|)^{-1.03}f^{0.8} \times 10^{-0.00076h_L - A/10} \quad \% \quad (2-53)$$

여기서,

$f$  : 주파수 (GHz)

$h_L$  : 낮은 안테나 고도( $h_e$ 와  $h_r$ 중의 작은 값)

간이설계에서는 식(2-51)을 이용하여 다음과 같이 시간 %를 구한다.

$$p_w = Kd^{3.1}(1 + |\epsilon_p|)^{-1.29}f^{0.8} \times 10^{-0.00089h_L - A/10} \quad \% \quad (2-54)$$

### 2.3.2 모든 시간 %에 대한 방법

**Step 1 :** 2.3.1절의 방법을 사용하여 다중경로 발생 인자,  $p_0$ 를 상세 링크설계에서는 식(2-55)로 간이설계에서는 식(2-56)으로 계산한다.

$$p_0 = Kd^{3.4}(1 + |\epsilon_p|)^{-1.03}f^{0.8} \times 10^{-0.00076h_L} \quad \% \quad (2-55)$$

$$p_0 = Kd^{3.1}(1 + |\epsilon_p|)^{-1.29}f^{0.8} \times 10^{-0.00089h_L} \quad \% \quad (2-56)$$

**Step 2 :** 깊은 페이딩 분포와 얇은 페이딩 분포간의 천이 발생점에서의 fade depth를 다음과 같이 계산한다.

$$A_t = 25 + 1.2\log p_0 \quad \text{dB} \quad (2-57)$$

**Step 3a :** 만일 요구되는 fade depth,  $A$ 가  $A_t$ 보다 크거나 같다면,  $A$ 가 평균 최악 월에서 초과하는 시간 %,  $p_w$ 는 다음과 같다.

$$p_w = p_0 \times 10^{-A/10} \quad \% \quad (2-58)$$

**Step 3b :** 만일 요구되는 fade depth,  $A$ 가  $A_t$ 보다 작다면,  $A_t$ 가 평균 최악월에서 초과하는 시간 %,  $p_t$ 는 다음과 같다.

$$p_t = p_0 \times 10^{-A/10} \quad \% \quad (2-59)$$

### 2.3.3 비선택성 outage 예측

디지털 링크설계에서 비선택성 페이딩에 의한 outage 확률  $P_{ns}$ 는 다음과 같이 계산된다.

$$P_{ns} = p_w/100 \quad (2-60)$$

여기서,  $p_w(\%)$ 는 특정 BER에 해당하는 flat 페이딩 마진  $A = F(\text{dB})$ 이 평균 최악 월에서 초과하는 시간 %이다.

## 2.4 대기수상에 의한 감쇠

강수, 강우, 해일 또는 안개 등과 같은 대기수상(hydrometers)에 의한 흡수 및 산란의 결과로서 감쇠가 발생할 수 있다. 강수이외의 대기수상 감쇠에 대한 자세한



한 정보는 ITU-R P.840에서 얻을 수 있다.

#### 2.4.1 강우감쇠의 장기간 통계

강우감쇠의 long-term 통계 평가에 사용되는 간단한 기법은 다음과 같다.

**Step 1** : 시간의 0.01%를 초과하는 강우율  $R_{0.01}$ 을 얻는다.

만일 어느 지역에 대한 장기간 측정 데이터가 불가능하다면 ITU-R P.837 권고를 이용한다.

**Step 2** : ITU-R P.838 권고를 이용하여 특정 주파수, 편파 및 강우율에 대한 감쇠,  $\gamma_R$ (dB/km)를 계산한다.

**Step 3** : 실제 경로길이,  $d$ 에 거리인자,  $r$ 을 곱한 링크의 실효 경로길이,  $d_{eff}$ 를 계산한다.

$$r = \frac{1}{0.477d^{0.633}R_{0.01}^{0.073\alpha}f^{0.123} - 10.579(1 - \exp(-0.024d))} \quad (2-61)$$

여기서,  $f$ (GHz)는 주파수,  $\alpha$ 는 Step 2로부터 특정 감쇠모델에서의 지수이다.

**Step 4** : 시간 0.01%에서 초과하는 경로감쇠에 대한 계산은 다음과 같다.

$$A = \gamma_R d_{eff} = \gamma_R dr \quad \text{dB} \quad (2-62)$$

**Step 5** : 0.001%에서 1% 범위에서 시간 %  $p$ 를 초과하는 감쇠는 다음과 같이 간략화될 수 있다.

$$\frac{A_p}{A_{0.01}} = C_1 p^{-(C_2 + C_3 \log_{10} p)} \quad (2-63)$$

여기서,

$$C_1 = (0.07^{C_0} \lfloor 0.12^{(1-C_0)} \rfloor) \quad (2-64a)$$

$$C_2 = 0.855 C_0 + 0.546(1 - C_0) \quad (2-64b)$$

$$C_3 = 0.139 C_0 + 0.043(1 - C_0) \quad (2-64c)$$

$$C_0 = \begin{cases} 0.12 + 0.4 [\log_{10}(f/10)^{0.8}] & f \geq 10 \text{ GHz} \\ 0.12 & f < 10 \text{ GHz} \end{cases} \quad (2-65)$$

**Step 6** : 만일 최악월 통계를 원한다면 ITU-R P.841 권고에 규정된 특정 기후정보를 사용하여 최악월 시간 %,  $p_w$ 에 해당하는 년 시간 %,  $p$ 를 계산한다.

### 2.4.2 강우감쇠 장기간 통계의 주파수 scaling

한 주파수에서 신뢰성 장기간 감쇠통계가 가능하다면, 7~50GHz 주파수, 동일 홉(hop) 길이 및 동일 기후영역에서 다음의 경험적 방법이 감쇠통계를 평가하는데 사용된다.

$$A_2 = A_1(\Phi_2/\Phi_1)^{1-H(\Phi_1, \Phi_2, A_1)} \quad (2-66)$$

여기서,

$$\Phi(f) = \frac{f^2}{1 + 10^{-4}f^2} \quad (2-67)$$

$$H(\Phi_1, \Phi_2, A_1) = 1.12 \times 10^{-3}(\Phi_2/\Phi_1)^{0.5}(\Phi_1 A_1)^{0.55} \quad (2-68)$$

여기서,  $A_1$  및  $A_2$ 는 주파수  $f_1$  및  $f_2$ (GHz)에서의 초과 강우감쇠의 유사값이다.

### 2.4.3 강우감쇠 장기간 통계의 polarization scaling

주어진 링크상에 하나의 편파(수직( $V$ ) 또는 수평( $H$ ))에 장기간 감쇠통계가 얻어졌다면, 동일 링크상에서 다른 편파는 다음의 공식으로부터 구해진다.

$$A_V = \frac{300A_H}{335 + A_H} \quad \text{dB} \quad (2-69)$$

또는

$$A_H = \frac{300A_V}{335 + A_V} \quad \text{dB} \quad (2-70)$$

## 3. 도래각/방사각의 변동

경로에 따른 clear-air 굴절지수의 비정상적 기울기가 송수신파의 도래각 및 방사각의 변동을 야기한다. 이러한 변동은 기본적으로 주파수 독립이며 안테나의 수직평면에서 나타난다.

## 4. 교차편파(XPD) 감소

### 4.1 Clear-air 영향에 의한 XPD outage 예측

다중경로 전파 및 안테나의 교차편파 패턴의 결합영향은 작은 시간 %에서 XPD 감소발생을 좌우한다. 링크성능에서 이러한 감소의 영향을 계산하기 위해서는 다음의 절차에 따라 행한다.

**Step 1 :** 다음을 계산한다.

$$XPD_0 = \begin{cases} XPD_g + 5 & \text{for } XPD_g \leq 35 \\ 40 & \text{for } XPD_g > 35 \end{cases} \quad (2-71)$$

여기서,  $XP D_g$ 는 송수신 안테나 보어사이트에서 제조업자가 보장하는 최소 XPD 이다.

**Step 2** : 다중경로 activity 파라미터를 계산한다.

$$\eta = 1 - e^{-0.2(P_0)^{0.75}} \quad (2-72)$$

여기서,  $P_0 = p_w/100$ 는 식(2-53) 또는 식(2-54)의 평균 최악월에서  $A = 0\text{dB}$ 를 초과하는 시간 %  $p(\%)$ 에 해당하는 다중경로 발생 인자이다.

**Step 3** : 다음을 결정한다.

$$Q = -10\log\left(\frac{k_{XP}\eta}{P_0}\right) \quad (2-73)$$

여기서,

$$k_{XP} = \begin{cases} 0.7 & \text{one transmit antenna} \\ 1 - 0.3\exp\left[-4 \times 10^{-6}\left(\frac{s_t}{\lambda}\right)^2\right] & \text{two transmit antenna} \end{cases} \quad (2-74)$$

다른 안테나로부터의 두 직교 편파전송인 경우, 수직분리는  $s_t(\text{m})$ 이며, 캐리어 파장은  $\lambda(\text{m})$ 이다.

**Step 4** : 파라미터  $C$ 를 유도한다.

$$C = XP D_0 + Q \quad (2-75)$$

**Step 5** : Clear-air 교차편파에 의한 outage 확률  $P_{XP}$ 를 계산한다.

$$P_{XP} = P_0 \times 10^{-\frac{M_{XP D}}{10}} \quad (2-76)$$

여기서,  $M_{XP D}(\text{dB})$ 는 기준 BER에 대한 등가 XPD 마진으로서 다음과 같이 주어진다.

$$M_{XP D} = \begin{cases} C - \frac{C_0}{I} & \text{without XPIC} \\ C - \frac{C_0}{I} + XP IF & \text{with XPIC} \end{cases} \quad (2-77)$$

여기서,  $C/I_0$ 는 기준 BER에 대한 캐리어 대 간섭비이며, XPIF는 cross polar interference canceller(XPIC) 유무에 따른 시스템 특정 BER 및 충분히 큰 CNR (전형적으로 35dB)에서 cross polar isolation(XPI)의 차를 가져오는 실험실 측정의 교차편파 개선 인자이다.

## 4.2 강수에 의한 XPD outage 예측

### 4.2.1 강수조건하의 XPD 통계

강한 강우는 작은 시간 %에서 측정된 XPD의 감소를 가져온다. 상세한 예측 및 측정이 불가능한 경로에서는 강우에 대한 co-polar attenuation(CPA)의 누적분포로부터 XPD의 비조건적 분포에 대한 대략적인 계산이 다음과 같이 가능하다.

$$XPD = U - V(f) \log CPA \quad (2-78)$$

여기서,

$$U = U_0 + 30 \log f \quad (2-79)$$

$$V(f) = \begin{cases} 12.8f^{0.19} & \text{for } 8 \leq f \leq 20 \text{ GHz} \\ 22.6 & \text{for } 20 < f \leq 35 \text{ GHz} \end{cases} \quad (2-80)$$

또한, 모든 측정에서 하한 9dB로 평균 15dB의  $U_0$  값이 15dB 이상의 감쇠에서 얻어진다.

### 4.2.2 강수영향에 의한 outage 예측 절차

**Step 1** : 식(2-62)으로부터 시간의 0.01%에서 초과하는 경로감쇠,  $A_{0.01}$ (dB)를 결정한다.

**Step 2** : 등가 경로감쇠,  $A_p$ (dB)를 결정한다.

$$A_p = 10^{((U - C_0/I + XPIF)/V)} \quad (2-81)$$

**Step 3** : 다음의 파라미터를 결정한다.

$$m = \begin{cases} 23.26 \log [A_p / 0.12 A_{0.01}] & \text{if } m \leq 40 \\ 40 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-82)$$

그리고,

$$n = (-12.7 + \sqrt{161.23 - 4m})/2 \quad (2-83)$$

**Step 4** : 다음 식에서 outage 확률을 정한다.

$$P_{XPR} = 10^{(n-2)} \quad (2-84)$$

## 5. 비보호 디지털 시스템에서 outage 예측

Outage 확률은 BER이 주어진 기준치보다 클 확률로 정의된다.

**Step 1** : 평균 시간지연을 계산한다.

$$\tau_m = 0.7 \left( \frac{d}{50} \right)^{1.3} \quad \text{ns} \quad (2-85)$$

여기서,  $d(\text{km})$ 이다.

**Step 2** : 4.1절의 Step 2에 주어진 다중경로 activity 파라미터,  $\eta$ 를 계산한다.

**Step 3** : 선택적 outage 확률을 계산한다.

$$P_s = 2.15\eta \left( W_M \times 10^{-B_M/20} \frac{\tau_m^2}{|\tau_{r,M}|} + W_{NM} \times 10^{-B_{NM}/20} \frac{\tau_m^2}{|\tau_{r,NM}|} \right) \quad (2-86)$$

여기서,

$W_x$ : signature width(GHz),  $B_x$ : signature depth(dB)

$\tau_{r,x}$ : signature를 얻는데 사용된 기준 지연(ns)으로  $x$ 는 최소위상( $M$ )이나 비 최소위상( $NM$ ) 페이드를 나타낸다.

Signature를 어떻게 얻는지에 대한 signature 파라미터 정의 및 규정은 ITU-R F.1093에 주어진다.

## 6. 다이버시티 기법

페이드 깊이,  $A$ 에 대해 다이버시티 개선인자,  $I$ 는 다음과 같이 정의된다.

$$I = p(A)/p_d(A) \quad (2-87)$$

여기서,  $p_d(A)$ 는  $A$  보다 큰 페이드 깊이를 갖는 합성 다이버시티 branch에서의 시간 %이며,  $p(A)$ 는 비보호 경로에 대한 %이다.

육상경로에서 협대역 신호에 대한 수직 공간 다이버시티 개선인자는 다음과 같이 계산된다.

$$I = \left[ 1 - \exp(-0.04 \times S^{0.87} f^{-0.12} d^{0.48} p_0^{-1.04}) \right] 10^{(A-V)/10} \quad (2-88)$$

여기서,

$$V = |G_1 - G_2| \quad (2-89)$$

또한,  $A$ : 비보호 경로에 대한 페이드 깊이(dB)

$p_0$ : 식(2-55) 및 식(2-56)으로 얻어지는 다중경로 발생인자(%)

$S$ : 수신안테나의 수직분리(m),  $f$ : 주파수(GHz),  $d$ : 경로길이(km)

$G_1, G_2$ : 두 안테나의 이득(dBi)

## 6.1 공간 다이버시티 사용하는 outage 예측

**Step 1**: 4.1절의 Step 2에 주어진 다중경로 activity 파라미터,  $\eta$ 를 계산한다.

**Step 2**: 비 선택적 상관계수,  $k_{ns}$ 의 자승을 계산한다.

$$k_{ns}^2 = 1 - \frac{I_{ns} \times P_{ns}}{\eta} \quad (2-90)$$

여기서, 개선,  $I_{ns}$ 는 flat 페이드 마진  $F$ (dB)에 해당하는 페이드 깊이  $A$ (dB)에 대해 식(2-88)로부터,  $p_{ns}$ 는 식(2-59)로부터 얻어진다.

**Step 3**: 선택적 상관계수,  $k_s$ 의 자승을 계산한다.

$$k_s^2 = \begin{cases} 0.8238 & \text{for } r_w \leq 0.5 \\ 1 - 0.195(1 - r_w)^{0.109 - 0.13 \log(1 - r_w)} & \text{for } 0.5 < r_w \leq 0.9628 \\ 1 - 0.3957(1 - r_w)^{0.5136} & \text{for } r_w > 0.9628 \end{cases} \quad (2-91)$$

상대 진폭의 상관계수,  $r_w$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$r_w = \begin{cases} 1 - 0.9746(1 - k_{ns}^2)^{2.170} & \text{for } k_{ns}^2 \leq 0.26 \\ 1 - 0.6921(1 - k_{ns}^2)^{1.034} & \text{for } k_{ns}^2 > 0.26 \end{cases} \quad (2-92)$$

**Step 4**: 비 선택적 outage 확률,  $P_{dns}$ 를 계산한다.

$$P_{dns} = \frac{P_{ns}}{I_{ns}} \quad (2-93)$$

여기서,  $P_{ns}$  는 식(2-59)로 주어지는 비보호 outage 확률이다.

**Step 5** : 선택적 outage 확률,  $P_{ds}$  를 계산한다.

$$P_{ds} = \frac{P_s^2}{\eta(1-k_s^2)} \quad (2-94)$$

여기서,  $P_s$  는 식(2-86)으로 주어지는 비보호 outage 확률이다.

**Step 6** : 총 outage 확률,  $P_d$  를 계산한다.

$$P_d = (P_{ds}^{0.75} + P_{dns}^{0.75})^{4/3} \quad (2-95)$$

## 6.2 주파수 다이버시티를 사용하는 outage 예측

공간 다이버시티와 동일한 절차를 적용하지만, Step 2에서 다음을 사용한다.

$$I_{ns} = \frac{80}{fd} \left( \frac{\Delta f}{f} \right) 10^{F/10} \quad (2-96)$$

여기서,

$\Delta f$ : 주파수 분리(GHz). 만일  $\Delta f > 0.5\text{GHz}$  이면,  $\Delta f = 0.5$ 를 사용한다.

$f$ : 캐리어 주파수(GHz),  $F$ : flat 페이드 마진(dB)

## 6.3 각 다이버시티를 사용하는 outage 예측

**Step 1** : 평균 도래각,  $\mu_\theta$  를 계산한다.

$$\mu_\theta = 2.89 \times 10^{-5} G_m d \quad \text{degrees} \quad (2-97)$$

여기서,  $G_m$  은 굴절 기울기의 평균 값( $N$ -unit/km)이다.

**Step 2** : 비 선택적 감쇠 파라메타,  $r$  을 계산한다.

$$r = \begin{cases} 0.113\sin[150(\delta/\Omega) + 30] + 0.963 & \text{for } q > 1 \\ q & \text{for } q \leq 1 \end{cases} \quad (2-98)$$

여기서,

$$q = 2505 \times 0.0437^{(\delta/\Omega)} \times 0.593^{(\epsilon/\delta)} \quad (2-99)$$

그리고,

$\delta$ : 두 패턴간의 각 분리,  $\epsilon$ : upper 안테나의 양각,

$\Omega$ : 안테나 패턴의 1/2 전력 빔폭

**Step 3:** 비 선택적 상관 파라미터,  $Q_0$ 를 계산한다.

$$Q_0 = r \left( 0.9399^{\mu_\theta} \times 10^{-24.58\mu_\theta^2} \right) \left[ 2.469^{1.879(\delta/\Omega)} \times 3.615^{[(\delta/\Omega)^{1.978}(\epsilon/\delta)]} \times 4.601^{[(\delta/\Omega)^{2.125}(\epsilon/\delta)^2]} \right] \quad (2-100)$$

**Step 4:** 4.1절의 Step 2에 주어진 다중경로 activity 파라미터,  $\eta$ 를 계산한다.

**Step 5:** 비 선택적 outage 확률을 계산한다.

$$P_{dns} = \eta Q_0 \times 10^{-F/6.6} \quad (2-101)$$

**Step 6:** 선택적 상관계수,  $k_s$ 의 자승을 계산한다.

$$k_s^2 = 1 - \left( 0.0763 \times 0.694^{\mu_\theta} \times 10^{23.3\mu_\theta^2} \right) \delta \left( 0.211 - 0.188\mu_\theta - 0.638\mu_\theta^2 \right)^\Omega \quad (2-102)$$

**Step 7:** 선택적 outage 확률,  $P_{ds}$ 를 계산한다.

$$P_{ds} = \frac{P_s^2}{\eta(1 - k_s^2)} \quad (2-103)$$

여기서,  $P_s$ 는 식(2-86)으로 주어지는 비보호 outage 확률이다.

**Step 6:** 총 outage 확률,  $P_d$ 를 계산한다.

$$P_d = \left( P_{ds}^{0.75} + P_{dns}^{0.75} \right)^{4/3} \quad (2-104)$$



## 7. 총 outage 예측

위에서 주어진 방법들을 이용하여 clear-air 영향에 의한 총 outage 확률은 다음과 같이 계산된다.

$$P_t = \begin{cases} P_{ns} + P_s + P_{XP} \\ P_d + P_{XP} \end{cases} \quad \text{다이버시티 사용} \quad (2-105)$$

## 8. ITU-R P.530 모델 개선

### 8.1 개요

링크설계에 사용된 마이크로웨이브 예측방법은 수 십년 동안 개발되어 왔음에도 불구하고 전파의 예측 불가능한 변화가 도전의 과제로 남아 있으며, 여러 기후 및 환경 파라미터를 고려한 예측 방법의 제안들이 이루지고 있다. ITU SG3은 ITU-R P.530 권고에 정의된 마이크로웨이브 예측방법을 제안하고 개선해 왔다. 이 권고안은 여러 geoclimatic 지역에서 251 링크들의 페이딩 측정에 근거를 둔 지침을 제공하고 있다. 1978년부터 14번의 개정이 이루어졌으며, 여기서는 최근에 개선된 방법을 비교하고 실험적 유효화 예를 제공한다.

### 8.2 ITU-R P.530 개정

1978년 원본으로부터 다른 버전의 개선에 있어 중요한 변화를 보면, 버전 7에서 버전 13까지 개정 내용은 버전 7과 8 및 버전 11과 12간에 단지 마이너 개정이 이루어졌다.

- 버전 7/8로부터 버전 9에는 geoclimatic  $K$  인자에 관한 중요한 개정이 이루어져 결과적으로 최악월 불용 계산이 이루어졌다. 대기수상(hydrometeors)에 의한 감쇠는 강우감쇠의 장기간 통계로 규정되었으며, event의 지속기간 및 수를 포함하고 있다.
- 버전 9로부터 10에는 다중경로 전파의 영향을 감소시키는 기법들(다이버시티 사용 및 비사용)이 도입되었으며, 불용 확률의 계산이 포함되었다.
- 버전 10으로부터 버전 11/12에는 강우와 wet snowdml 결합 영향을 고려한 방법의 개발에 관련된 주요개선이 이루어졌다.
- 버전 12으로부터 13에는 geoclimatic  $K$  인자 및 최악월 불용 확률의 표현에서 기본적인 변경이 이루어졌다.

버전 13에서는 두 가지 geoclimatic  $K$  인자의 표현과 최악월 outage 확률,  $P_w$ 에서 주요 수정이 이루어졌으며, 버전 12에서의 표현과 비교하면 다음과 같다.

[ITU-R P.530-12]

$$K = 10^{-3.9 - 0.003dN_1} S_a^{-0.42} \quad (2-106)$$

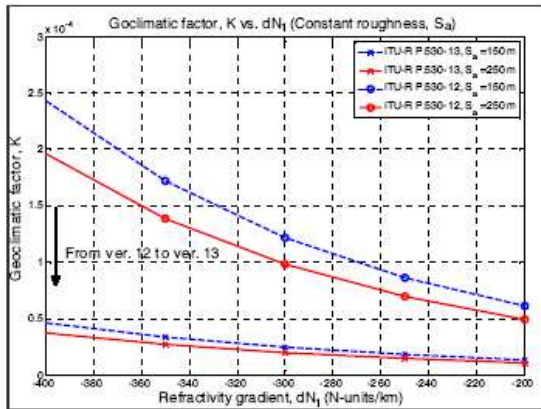
$$p_w = K d^{3.2} (1 + |\epsilon_p|)^{-0.97} \times 10^{-0.032f - 0.00085h_L - A/10} \quad (2-107)$$

[ITU-R P.530-13]

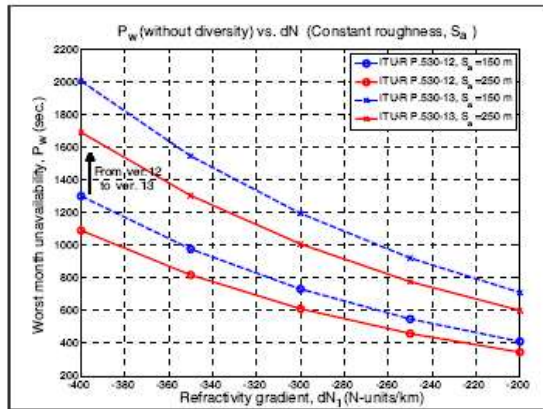
$$K = 10^{-4.4 - 0.0027dN_1} (10 + S_a)^{-0.46} \quad (2-108)$$

$$p_w = K d^{3.4} (1 + |\epsilon_p|)^{-1.03} f^{0.8} \times 10^{-0.00076h_L - A/10} \quad (2-109)$$

식(2-106)~식(2-109)의 수정은  $K$  인자의 주요 감소를 반영하고 있으며, 그림 2-17(a)에서  $K$ -factor 감소가 크지만, 최악월 불용 확률은 그림 2-17(b)에서와 같이 증가한다.



(a)  $dN_1$ 에 따른  $K$ -factor



(b)  $dN_1$ 에 따른 불용 확률

그림 2-17 P.530-12와 P.530-13과의 비교

## 8.3 파라미터 분석 및 측정 유효성

### 8.3.1 Geoclimatic 파라미터의 영향

파라미터 분석은 단일 파라미터 또는 파라미터 그룹의 영향을 이해하는데 유용하다. 예를 들어,  $dN_1, S_a, |\epsilon_p|, h_L$  등의 결합 영향은 고려하는 링크의 전반적 성능을 나타내는 다중경로 페이드 발생 인자,  $P_0$ 에 포함된다. 위에서 언급한 어느 파라미터라도 단독으로 outage 확률의 변화를 설명할 수 없으며, 가장 대표적인 것으로 간주될 수 없다. 사실 각각 하나의 영향은 다른 파라미터들에 의해 무시될 수도 있다. 예를 들어, high roughness는  $K$ -factor를 감소시켜 결과적으로 불용 확률을 감소시킨다. 그러나 만일 링크가 낮은 고도에 있어 낮은 경로 기울기를 갖는다면, 이러한 감소 가능성은 없어지거나 완전의 반대의 결과를 가져 온다.

### 8.3.2 Radio signature의 영향

최근까지 주파수 선택성 페이딩은 실효 페이드 마진(EFM)을 얻기 위해 flat 페이드 마진(FFM)에 추가적인 경감 계수를 부가하는 것으로 고려되었다. 이러한 경감계수는 무선장비 dispersive 페이드 마진을 사용하여 계산되었다. ITU-R P.530-7에 radio signature에 의한 다른 방법을 도입하였다.

기대되는 바와 같이 radio signature의 고려는 다이버시티 기법이 적용되지 않을 때, 총 outage 확률을 상당히 열화시키지만, 다이버시티 기법을 적용하면 효율적으로 선택적 페이딩을 감소시킨다. Radio signatures는 광대역 시스템에서 선택적 페이딩의 영향을 정량화 시키는데 유용하다.

### 8.3.3 XPD의 영향

최악월 outage에 XP outage 확률이 더해지므로 교차편파는 outage 확률에 직접 영향을 미친다. 세 가지 주요 파라미터는 보장된 최대 교차편파, XPDg, 교차편파 개선 인자, XPIF 및 캐리어대 잡음비, C/I이다. 만일 XPDg가 35를 초과하면, XP outage에 영향을 주지 않는다. 이 값은 보통 안테나 제조업자에 의해 규정된다. XPIF 및 C/I의 함수에 의해서만 outage를 표현하며, clear-airdp 대한 XP outage 확률은 C/I 증가에 따라 감소하며 XPIF에 따라 감소한다. 이러한 결과는 두 파라미터가 반대의 영향을 미치게 되어 장비선택에 있어 XP 영향을 최소로 하는데 tradeoff가 필요하다.

### 8.3.4 예측과 측정의 비교

5 링크의 2년(2009년 4월~2010년 8월) 동안 캐나다 퀘벡에서 측정된 데이터를 분석하여 ITU-R P.530-13과 비교했을 때 그림 2-18과 같이 거의 일치함을 보인다. 사용된 파라미터는  $dN_1 = 297.96N$ -units/km,  $S_a = 140.63$ m,  $|\epsilon_p| = 0.285$ rad,  $h_L = 399$ m이다.

- 측정과 예측곡선은 매우 유사한 경향을 보인다. 이론적인 예측곡선은 링크 측정동안 유효한 상한을 보여준다.
- 월에 따라 페이딩 분포에 아주 큰 분산을 보여주며, 그 값은 1~20dB이다.
- 최악월 outage 예측에 대한 예러는 2009년 약 14dB, 2010년 11dB이며, 이 결과는 ITU-R P.530-8 권고에 사용된 239 링크 통계에 근거한다.
- 다이버시티 개선인자에 대한 분석결과 두 개의 수신기를 사용하는 주파수 및 공간 다이버시티에 대한 측정 및 예측간에 양호한 일치를 보이지만, 4개의 수신기가 사용될 때의 개선인자는 ITU 예측에 비해 낮게 나타난다.

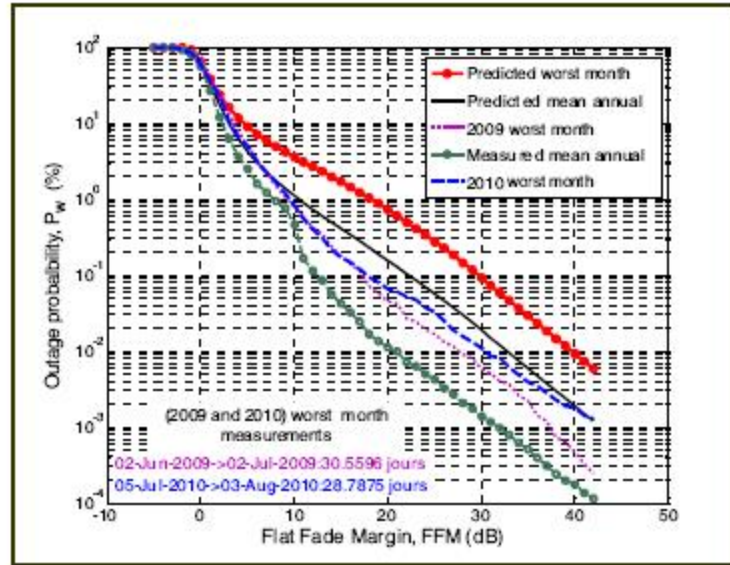


그림 2-18 예측과 측정 비교

## 제 4 절 ITU-R P.452-14

### 1. 개요

본 권고안은 0.1GHz 이상의 주파수에서 clear-air 및 hydrometeor 산란간섭 메카니즘을 고려한 지표면상의 무선국간의 간섭계산을 고려한 예측을 포함하고 있다.

무선 스펙트럼의 혼잡으로 인해 다른 지상 서비스간, 동일 서비스내의 시스템간, 지상과 지구 공간내의 시스템간에 주파수 대역을 공유해야한다. 동일 주파수대역을 공유하는 시스템의 공존을 만족하기 위해서는 운영상의 정확도 및 신뢰성을 갖추고 모든 관련 기관에서 수용할 수 있는 간섭 전파 예측절차가 필요하다. 또한 간섭 전파예측은 최악월 성능 및 가용성 목표치를 만족시키기 위해 필요하며, 그 예측방법은 세계의 모든 지역에서 모든 종류의 경로에 적요할 수 있어야 한다.

## 2. Clear-air 간섭 예측

### 2.1 일반사항

Clear-air 방법은 세 가지 모델로 구현되어 있지만, 그 절차는 다음의 5 종류의 전파 메카니즘을 고려한다.

- line-of-sight (다중경로 및 focusing 영향에 의한 신호 증대를 포함)
- diffraction (smooth-earth, 불규칙 지형 및 sub-path 경우를 포함)

- tropospheric scatter
- anomalous propagation (ducting 및 layer 반사/회절)
- height-gain variation in clutter

## 2.2 예측의 유도

### 2.2.1 프로시저의 개요

#### Step 1 : 입력 데이터

프로시저에 필요한 기본 입력 데이터가 표 2-6에 주어진다.

표 2-6 기본 입력 데이터

Parameter	Preferred resolution	Description
$f$	0.01	Frequency (GHz)
$p$	0.001	Required time percentage(s) for which the calculated basic transmission loss is not exceeded
$\phi_t, \phi_r$	0.001	Latitude of station (degrees)
$\psi_t, \psi_r$	0.001	Longitude of station (degrees)
$h_{tg}, h_{rg}$	1	Antenna centre height above ground level (m)
$h_{ts}, h_{rs}$	1	Antenna centre height above mean sea level (m)
$G_t, G_r$	0.1	Antenna gain in the direction of the horizon along the great-circle interference path (dBi)

NOTE 1 – For the interfering and interfered-with stations:

$t$ : interferer

$r$ : interfered-with station.

#### Step 2 : 평균 년 또는 worst-month 예측의 선택

전파 예측 모델은 기본 전송손실의 연간 분포를 예측한다. 평균 년 예측에 있어서는 기본 전송의 어떤 특정값이 초과하지 않는 시간 %,  $p$ 가 예측 프로시저에 직접 사용된다. 만일 worst-month 예측이 필요하다면, worst-month 시간 %,  $p_w$ 의 연간 등가시간 %,  $p$ 가 경로 중간 위도  $\phi$ 에 대해 다음과 같이 계산된다.

$$p = 10^{\left( \frac{\log(p_w) + \log(G_L) - 0.186w - 0.444}{0.186 + 0.078w} \right)} \% \quad (2-110)$$

여기서,

$w$ : 해상경로의 fraction (<표 3>을 참조)

$$G_L = \begin{cases} \sqrt{1.1 + |\cos 2\phi|^{0.7}} & \text{for } |\phi| \leq 45^\circ \\ \sqrt{1.1 - |\cos 2\phi|^{0.7}} & \text{for } |\phi| > 45^\circ \end{cases} \quad (2-110a)$$

**Step 3** : Radio-meteorological 데이터

예측 프로시저는 세계의 다른 위치에서 background의 변동성 및 이례적인 전파 조건을 표현하기 위해 세 가지 radio-meteorological 파라미터를 적용한다.

- $\Delta N$ (N-units/km), 대기상의 최저 1km를 통해 평균 전파 굴절지수 체감률 (laps-rate)로서 경로 프로파일 및 회절 장애물 분석을 위해 계산되어지는 적절한 지구반경에 대한 데이터 제공
- $\beta_0$ (%), 100N-units/km를 초과하는 굴절지수 체감률이 더 낮은 대기의 최초 100m에서 예측될 수 있는 시간 %로서 고려하는 위도에서 완전히 개발된 이례적인 전파의 상대 입사각을 평가하는데 사용된다.
- $N_0$ (N-units), 해수면 굴절로서 troposcatter 산란 메카니즘의 위치 변동성의 측정으로서 단지 troposcatter 모델에 사용된다.

경로 중심위치에서 이례적인 전파 입사점,  $\beta_0$ (%)는 다음 식을 사용해 정해진다.

$$\beta_0 = \begin{cases} 10^{-0.015|\phi|+1.67}\mu_1\mu_4 & \text{for } |\phi| \leq 70^\circ \\ 4.17\mu_1\mu_4 & \text{for } |\phi| > 70^\circ \end{cases} \quad (2-111)$$

여기서,  $\phi$ : 경로 중심 위도

파라미터  $\mu_1$ 은 육상 및 해상의 경로에 대한 degree에 의존하며 다음과 같이 주어진다.

$$\mu_1 = \left[ 10^{\frac{-d_{tm}}{16-6.6\tau}} + [10^{-(0.496+0.354\tau)}]^5 \right]^{0.2} \quad (2-112)$$

여기서,

$$\tau = \left[ 1 - e^{-(4.12 \times 10^{-4} \times d_{lm}^{2.41})} \right] \quad (2-112a)$$

또한,

$d_{tm}$ : great-circle 경로의 가장 긴 연속 육상(inland + coastal)부분 (km)

$d_{lm}$ : great-circle 경로의 가장 긴 연속 inland 부분 (km)

$d_{tm}$  과  $d_{lm}$  의 유도에 사용되는 radio-climatic zone은 표 2-7에 정의된다.

$$\mu_4 = \begin{cases} 10^{(-0.935+0.0176|\phi|)\log\mu_1} \\ 10^{0.3\log\mu_1} \end{cases} \quad (2-113)$$

표 2-7 Radio-climatic zones

Zone type	Code	Definition
Coastal land	A1	Coastal land and shore areas, i.e. land adjacent to the sea up to an altitude of 100 m relative to mean sea or water level, but limited to a distance of 50 km from the nearest sea area. Where precise 100 m data are not available an approximate value, i.e. 300 ft, may be used
Inland	A2	All land, other than coastal and shore areas defined as "coastal land" above
Sea	B	Seas, oceans and other large bodies of water (i.e. covering a circle of at least 100 km in diameter)

[실효 지구 반경]

경로에 대한 median 실효 지구반경 계수,  $k_{50}$ 은 다음과 같이 정해진다.

$$k_{50} = \frac{157}{157 - \Delta N} \quad (2-114)$$

지구반경을 6371km라 가정하면 실효 지구반경의 중앙값,  $a_e$ 는 다음과 같이 정해진다.

$$a_e = 6371 \cdot k_{50} \quad \text{km} \quad (2-114a)$$

$\beta_0\%$  시간을 초과하는 실효 지구반경,  $a_\beta$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$a_\beta = 6371 \cdot k_\beta \quad \text{km} \quad (2-114b)$$

여기서,  $k_\beta = 3.0$ 으로  $\beta_0\%$  시간에 대해 초과하는 실효 지구 반경 계수의 평가이다.

#### Step 4 : 경로 프로파일 분석

표 2-8에 나타낸 바와 같이 계산에 필요한 일련의 경로 관련 파라미터들 값은 식(2-114a)에 주어진  $a_e$ 의 값에 근거하여 경로 프로파일의 최초 분석을 통해 유도되어야 한다.

### 3. Clear-air 전파 모델

#### 3.1 LOS 전파

자유공간전파에 의한 기본 전송손실 및 대기가스에 의한 감쇠는 다음과 같다.

$$L_{bfsg} = 92.5 + 20\log f + 20\log d + A_g \quad \text{dB} \quad (2-115)$$

여기서,

$$A_g: \text{총 가스 흡수손실(dB)} = [\gamma_o + \gamma_w(\rho)]d \quad (2-116)$$

또한,

표 2-8 경로 프로파일로부터 유도되어야 할 파라미터 값

Parameter	Description
$d$	Great-circle path distance (km)
$d_{it}, d_{ir}$	For a transhorizon path, distance from the transmit and receive antennas to their respective horizons (km). For a LoS path, each is set to the distance from the terminal to the profile point identified as the principal edge in the diffraction method for 50% time
$\theta_{it}, \theta_r$	For a transhorizon path, transmit and receive horizon elevation angles respectively (mrad). For a LoS path, each is set to the elevation angle of the other terminal
$\theta$	Path angular distance (mrad)
$h_{it}, h_{ir}$	Antenna centre height above mean sea level (m)
$h_{ie}, h_{re}$	Effective heights of antennas above the terrain (m) (see Appendix 2 for definitions)
$d_b$	Aggregate length of the path sections over water (km)
$\omega$	Fraction of the total path over water: $\omega = d_b/d \quad (7)$ where $d$ is the great-circle distance (km) calculated using equation (138). For totally overland paths: $\omega = 0$
$d_{ct,cr}$	Distance over land from the transmit and receive antennas to the coast along the great-circle interference path (km). Set to zero for a terminal on a ship or sea platform

$\gamma_o, \gamma_w(\rho)$ : 각각 dry air 및 water vapour에 의한 특정 감쇠로서 ITU-R P.676 권고내의 식으로부터 구해진다.

$$\rho: \text{water vapour density} = 7.5 + 2.5\omega \quad \text{g/m}^3 \quad (2-116a)$$

$\omega$ : 전체 해상경로의 fraction

$p$ 와  $\beta_0\%$  시간에서 다중경로 및 focusing 영향에 대한 정정은 다음과 같다.

$$E_{sp} = 2.6[1 - \exp(-0.1\{d_{it} + d_{ir}\})]\log(p/50) \quad \text{dB} \quad (2-117a)$$

$$E_{s\beta} = 2.6[1 - \exp(-0.1\{d_{it} + d_{ir}\})]\log(\beta_0/50) \quad \text{dB} \quad (2-117b)$$

시간 %,  $p\%$ 를 초과하지 않는 LOS 전파에 의한 기본 전송손실은 다음과 같다.

$$E_{b0p} = L_{bfsg} + E_{sp} \quad \text{dB} \quad (2-118)$$



시간 %,  $\beta_0\%$ 를 초과하지 않는 LOS 전파에 의한 기본 전송손실은 다음과 같다.

$$E_{b0\beta} = L_{bfsg} + E_{s\beta} \quad \text{dB} \quad (2-119)$$

### 3.2 회절

회절손실은 Deygout 구성과 경험적 정정에 근거한 하이브리드 방법을 사용하여 전 경로에 대해 계산된다. 이 방법은 파라미터  $\nu$ 의 함수로서 단일 knife-edge 회절손실에 대해 근사법을 사용하며, 다음과 같이 주어진다.

$$J(\nu) = 6.9 + 20\log(\sqrt{(\nu - 0.1)^2 + 1} + \nu - 0.1) \quad (2-120)$$

### 3.3 대류권 산란

대류권 산란에 의해 50% 이하의 시간 %,  $p$ 를 초과하지 않는 기본 전송손실은 다음과 같이 주어진다.

$$L_{bs} = 190 + L_f + 20\log d + 0.573\theta - 0.15N_0 + L_c + A_g - 10.1[-\log(p/50)]^{0.7} \quad \text{dB} \quad (2-121)$$

여기서,

$$L_f: \text{주파수에 따른 손실} = 25\log f - 2.5[\log(f/2)]^2 \quad \text{dB} \quad (2-121a)$$

$$L_c: \text{매질 결합손실에 대한 aperture} = L_c = 0.051e^{0.005(G_t + G_r)} \quad \text{dB} \quad (2-121b)$$

$N_0$ : 경로 중심 해수면 굴절

$A_g$ : 전 경로 길이에 식(2-116)에서  $\rho = 3\text{g/m}^3$ 일 때 얻어진 가스 흡수

### 3.4 Ducting/layer 반사

이레적 전파(ducting 및 layer 반사)동안 발생하는 기본 전송손실,  $L_{ba}$ 의 예측은 다음 식에 근거한다.

$$L_{ba} = A_f + A_d(p) + A_g \quad \text{dB} \quad (2-122)$$

여기서,

$A_f$ : 안테나와 대기중의 이레적 전파구조간의 총 고정 결합손실

$$A_f = 102.45 + 20\log f + 20\log(d_{lt} + d_{lr}) + A_{lf} + A_{st} + A_{sr} + A_{ct} + A_{cr} \quad \text{dB} \quad (2-123)$$

$A_{lf}$ : 덕팅전파에서 파장에 따라 증가하는 감쇠에 대한 경험적 정정

$$A_{lf}(f) = \begin{cases} 45.375 - 137.0f + 92.5f^2 & \text{if } f < 0.5\text{GHz} \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad \text{dB} \quad (2-123a)$$

$A_{st}, A_{sr}$ : 각각 간섭 및 피간섭 무선국에서의 사이트 차폐 회절손실

$$A_{st, sr} = \begin{cases} 20 \log [1 + 0.361 \theta_{t,r}'' (f d_{lt,lr})^{1/2}] + 0.246 \theta_{t,r}'' f^{1/3} & \text{for } \theta_{t,r}'' > 0 \\ 0 & \text{for } \theta_{t,r}'' \leq 0 \end{cases} \quad (2-124)$$

$$\theta_{t,r}'' = \theta_{t,r} - 0.1 d_{lt,lr} \quad \text{mrad} \quad (2-124a)$$

$A_{ct}, A_{cr}$ : 각각 간섭 및 피간섭 무선국에서의 해수면 덕트 결합

$$A_{ct, cr} = \begin{cases} -3e^{-0.25d_{ct,cr}^2} [1 + \tanh(0.07(50 - h_{ts,rs}))] & \text{for } \omega \geq 0.75 \\ 0 & \text{otherwise} \end{cases} \quad (2-125)$$

$A_d(p)$ : 이례적 전파 메카니즘내의 시간 % 및 angular-distance에 따른 손실

$$A_d(p) = \gamma_d \theta' + A(p) \quad \text{dB} \quad (2-126)$$

$$\gamma_d: \text{특정 감쇠} = \gamma_d = 5 \times 10^{-5} a_e f^{1/3} \quad \text{dB/mrad} \quad (2-127)$$

$$\theta': \text{angular distance} = \frac{10^3 d}{a_e} + \theta'_t + \theta'_r \quad (2-128)$$

$$\theta'_{t,r} = \begin{cases} \theta_{t,r} & \text{for } \theta_{t,r} \leq 0.1 d_{lt,lr} \\ 0.1 d_{lt,lr} & \text{for } \theta_{t,r} > 0.1 d_{lt,lr} \end{cases} \quad (2-128a)$$

$A(p)$ : 시간 % 변동성(누적분포)

$$= -12 + (1.2 + 3.7 \times 10^{-3} d) \log\left(\frac{p}{\beta}\right) + 12\left(\frac{p}{\beta}\right)^{\Gamma} \quad \text{dB} \quad (2-129)$$

$$\Gamma = \frac{1.076}{(2.0058 - \log \beta)} \times e^{-(9.51 - 4.8 \log \beta + 0.198 (\log \beta)^2) \times 10^{-6} d^{1.13}} \quad (2-129a)$$

$$\beta = \beta_0 \mu_2 \mu_1 \quad (2-130)$$

$$\mu_2: \text{경로 geometry 정정} = \left[ \frac{500}{a_e} \frac{d^2}{(\sqrt{h_{te}} + \sqrt{h_{re}})^2} \right]^{\alpha} \quad (2-131)$$

$$\alpha = -0.6 - 10^{-9} \epsilon d^{3.1} \tau \quad (2-131a)$$

$\epsilon = 3.5$ ,  $\tau$ : 식(2-112a)로 정의

$\mu_3$ : 지형 roughnessdp 대한 정정

$$= \begin{cases} 1 & \text{for } h_m \leq 10m \\ \exp[-4.6 \times 10^{-5} (h_m - 10)(43 + 6d_I)] & \text{for } h_m > 10m \end{cases} \quad (2-132)$$

$$d_I = \min(d - d_{lt} - d_{lr}, 40) \quad (2-132a)$$

### 3.5 부가적인 클러터 손실

표 2-9는 height-gain 정정이 적용되는 ITU-R P.1058 권고에 정의된 클러터 범주를 나타낸다. 로컬 클러터 차단에 의한 부가적인 손실은 다음과 같이 표현된다.

$$A_h = 10.25 F_{fc} e^{-d_k} \left( 1 - \tanh \left[ 6 \left( \frac{h}{h_a} - 0.625 \right) \right] \right) - 0.33 \quad \text{dB} \quad (2-133)$$

여기서,

$$F_{fc} = 0.25 + 0.375 \{ 1 + \tanh [ 7.5 (f - 0.5) ] \} \quad (2-134a)$$

또한,

$d_k$ : 공칭 클러터 점에서 안테나까지의 거리(km) (그림 2-19 참조)

$h$ : 로컬 지상 안테나 높이(m),  $h_a$ : 로컬 지상 공칭 클러터 높이(m)

표 2-9 공칭 클러터 높이 및 거리

Clutter (ground-cover) category	Nominal height, $h_s$ (m)	Nominal distance, $d_s$ (km)
High crop fields	4	0.1
Park land		
Irregularly spaced sparse trees		
Orchard (regularly spaced)		
Sparse houses		
Village centre	5	0.07
Deciduous trees (irregularly spaced)	15	0.05
Deciduous trees (regularly spaced)		
Mixed tree forest		
Coniferous trees (irregularly spaced)	20	0.05
Coniferous trees (regularly spaced)		
Tropical rain forest	20	0.03
Suburban	9	0.025
Dense suburban	12	0.02
Urban	20	0.02
Dense urban	25	0.02
High-rise urban	35	0.02
Industrial zone	20	0.05

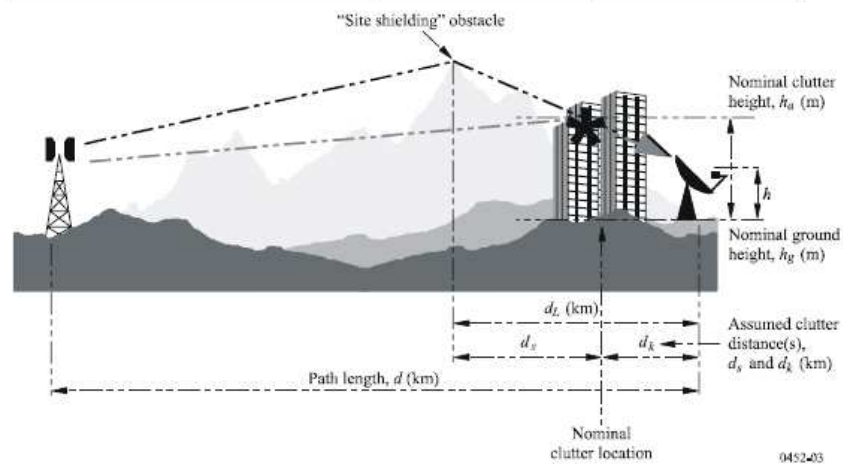


그림 2-19 Height-gain 정정 적용을 위한 방법

### 3.6 종합 예측

다음의 프로시저가 모든 경로에서 예측에 적용될 수 있다.

경로 angular 거리를 고려하여 내삽(interpolation) 계수,  $F_j$ 를 계산한다.

$$F_j = 1.0 - 0.5 \left( 1.0 + \tanh \left[ 3.0 \xi \frac{(\theta - \Theta)}{\Theta} \right] \right) \quad (2-135)$$

여기서,

$\Theta = 0.3$ ,  $\xi = 0.8$ ,  $\theta$ : 경로 angular 거리(mrad)

Great circle 경로길이를 고려한 내삽(interpolation) 계수,  $F_j$ 를 계산한다.

$$F_j = 1.0 - 0.5 \left( 1.0 + \tanh \left[ 3.0 K \frac{(d - d_{sw})}{d_{sw}} \right] \right) \quad (2-136)$$

여기서,

$d$ : great circle 경로길이(km) (표 2-8에 정의)

$d_{sw}$ : 고정 파라미터 (= 20),  $K$ : 고정 파라미터 (= 0.5)

LOS 전파 및 해상 sub-path 회절에 관련된 최소 기본 전송손실,  $L_{minb0p}$ 를 계산한다.

$$L_{minb0p} = \begin{cases} L_{b0p} + (1 - \omega)L_{dp} & \text{for } p < \beta_0 \\ L_{bd50} + (L_{b0\beta} + (1 - \omega)L_{dp} - L_{bd50})F_1 & \text{for } p \geq \beta_0 \end{cases} \text{ dB} \quad (2-137)$$

여기서,

$L_{b0p}$ : 식(2-118)로 주어지는  $p\%$  시간을 초과하지 않는 LOS 기본 전송 손실

$L_{b0\beta}$ : 식(2-119)로 주어지는  $\beta\%$  시간을 초과하지 않는 LOS 기본 전송 손실

$L_{dp}$ :  $p\%$  시간을 초과하지 않는 회절 손실

LOS와 trans-horizon 신호증강에 관련된 최소기본 전송손실,  $L_{minbap}$ 를 계산한다.

$$L_{minbap} = \eta \ln \left[ \exp \left( \frac{L_{ba}}{\eta} \right) + \exp \left( \frac{L_{b0p}}{\eta} \right) \right] \text{ dB} \quad (2-138)$$

여기서,

$L_{ba}$ : 식(14)로 주어지는  $p\%$  시간을 초과하지 않는 ducting/layer 반사 기본 전송손실

$\eta = 2.5$

회절과 LOS 또는 ducting/layer 반사 증강에 관련된 기본 전송손실,  $L_{bda}$ 을 계산한다.

$$L_{bda} = \begin{cases} L_{bd} & \text{for } L_{minbap} > L_{bd} \\ L_{minbap} + (L_{bd} - L_{minbap})F_k & \text{for } L_{minbap} \leq L_{bd} \end{cases} \text{ dB} \quad (2-139)$$

여기서,

$L_{ba}$ :  $p\%$  시간을 초과하지 않는 회절에 대한 기본 전송손실

$F_k$ :  $p$ 와  $\beta_0$ 에 따른 식(2-121)로 얻어지는 내삽계수

회절과 LOS 또는 ducting/layer 반사 증강을 고려한 수정된 기본 전송손실,  $L_{bam}$ 을 계산한다.

$$L_{bam} = L_{bda} + (L_{minb0p} - L_{bda})F_j \quad \text{dB} \quad (2-140)$$

$p\%$  시간을 초과하지 않는 최종 기본 전송손실,  $L_b$ 를 계산한다.

$$L_b = -5\log(10^{-0.2L_{bs}} + 10^{-0.2L_{bam}}) + A_{ht} + A_{hr} \quad \text{dB} \quad (2-141)$$

여기서,

$A_{ht,hr}$ : 송수신기 클러터 차폐를 고려한 추가적인 손실

## 4. 클러터 손실 계산을 위한 방법

### 4.1 개요

스펙트럼 공유는 무선통신시스템을 위한 가장 중요한 목표 중의 하나이다. 스펙트럼의 배타적 사용은 오랜 원리이며, 다른 무선 시스템은 서로간의 치명적인 간섭을 피하기 위해 적절한 스펙트럼 마스크를 사용해야 한다. 적절한 마스크를 결정하기 위해서는 경로손실을 예측에 적합한 전파모델이 필요하다.

많은 채널 모델들, 예를 들어 Cost 231-hata, ITU-R M.1225, Walfish-Bertoni 등이 제안되어 왔으며, 이들 중 대부분이 무선통신시스템의 용량을 계산하는데 사용되어 왔다. 이와 달리, ITU-R P.452는 시스템간 간섭을 계산하기 위해 개발되었다. 그 중요한 개념은 피간섭 수신기에 치명적 간섭을 피하기 위해 손실들이 과대평가되어서는 안된다는 점이다.

P.452 모델은 두 geographical 점간에 경로손실을 계산하기 위해 경로 프로파일을 사용한다. LOS 또는 NLOS와 같은 경로상태를 결정하고 회절손실 및 기타 손실 성분을 계산하기 위해 이 방법은 ground level 정보를 이용하지만, 빌딩 및 나무들과 같은 주변 장애물의 높이를 고려하지 않는다. 이 모델은 송수신기 주변의 장애물 영향을 클러터(clutter) 손실 항목으로 처리하고 있다. 클러터 손실 값은 클러터 높이, 해당 안테나로부터 클러터까지의 거리, 기지국(BS) 높이로부터 계산된다. P.452는 이러한 파라미터 값들을 dense urban, urban, suburban과 같은 지역에 따라 규정하고 있다.

P.452에 규정된 클러터 손실 계산을 위해서는 좀 더 개선의 여지가 남아 있다. 첫 번째 문제는 현재의 P.452는 조사하려고 하는 지역의 클러터 카테고리를 어떻게 확인하는지에 대해 언급이 없다. 이로 인해 불일치 결과를 가져 오게 되며, 스

펙트럼 공유연구, 즉 통신 서비스에 새로운 스펙트럼이 할당된다면 시스템간 간섭을 조사하는데 클러터 손실의 고려를 제외하는 한 이유로 되고 있다. 두 번째는 클러터 손실을 결정할 때는 발생확률을 고려하고 있지 않지만, 덕팅손실 또는 layer 회절과 같은 손실에는 고려한다는 점이다. 세 번째는 P.452-14가 주파수에 따른 클러터 손실을 계산하는데 파라미터들을 도입하고 있지만, 700MHz 이상의 주파수에서 P.452에 의해 계산된 클러터 손실이 일정하며, 어떻게 그 식이 유도되었는지 명확하지 않다.

여기서는 knife-edge 모델에 근거한 클러터 손실 계산의 새로운 방법을 도입한다. 이 방법은 어느 주어진 주파수에서도 클러터 손실을 계산할 수 있으며, 주어진 발생확률에 대해 클러터 손실이 계산 가능하도록 지수분포를 가정한다면 클러터 손실을 빌딩 높이의 분포 또는 평균 빌딩 높이로부터 직접 평가할 수 있다.

## 4.2 제안된 클러터 계산 방법

그림 2-20은 전파환경의 한 예를 나타내며, 그림 2-21은 클러터 손실 분석에 사용되는 knife-edge 모델과 가정한 전파환경과의 관계를 보여 주고 있다.

Knife-edge 모델에 의한 회절손실은 다음과 같이 계산된다. 우선  $\nu$ 는 다음과 같다.

$$\nu = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_a} + \frac{1}{d_d} \right)} \quad (2-142)$$

여기서,  $\lambda$ (m)는 파장이다.  $h$ (m),  $d_a$  및  $d_d$ (m)의 정의는 그림 2-21을 참조한다. 그 다음 식(2-120)을 이용하여 회절손실,  $J(\nu)$ 를 구한다. 이처럼 클러터 손실 평가에 knife-edge 모델을 적용한다면, 주변 빌딩 이외의 장애물 정보들이 클러터와 안테나간의 장애물에 부가적으로 필요하다. 이와는 달리 P.452는 클러터 손실 계산에 단지 안테나 주변의 장애물 정보만을 사용하고 있다. 여기서는 단지 안테나 주변의 빌딩을 이용하여 각 사이트에 독립적으로 클러터 손실이 얻어질 수 있는 근사법을 도입한다.

$$\frac{1}{d_a} \gg \frac{1}{d_d} \quad (2-143)$$

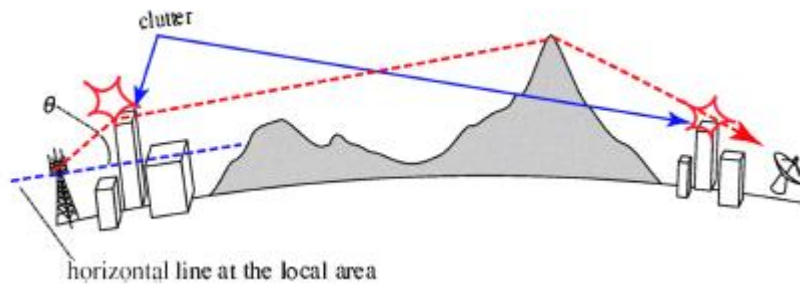


그림 2-20 P.452에서 가정한 전파환경

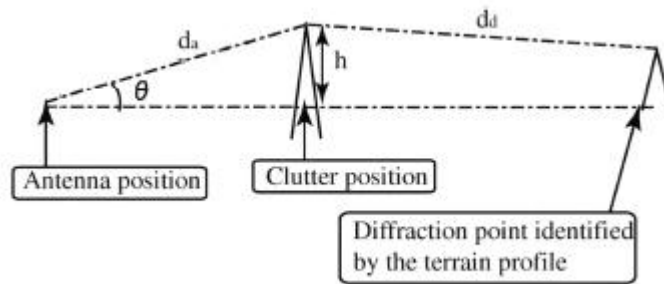


그림 2-21 Knife-edge 모델

이 경우,  $\nu$ 는 다음과 같이 근사화된다.

$$\nu' = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_a} \right)} \quad (2-144)$$

더구나  $h = d_a \sin \theta$  관계를 이용하여 식(2-144)는 다음과 같이 표현된다.

$$\nu' = d_a \sin \theta \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left( \frac{1}{d_a} \right)} = \sqrt{\frac{2}{\lambda}} d_a \sin \theta \quad (2-145)$$

이 식으로부터  $\nu'$ 는  $\theta$ 뿐만 아니라  $h$  및  $d_a$ 에 의존한다는 사실을 알 수 있다.

다음으로 두 개의 다른 빌딩,  $i, j$ 가 동일 클러터 손실을 가져 오는 경우(그림 2-22 참조)  $\theta_i$  및  $\theta_j$ 에 의해 만족하는 조건을 유도한다.

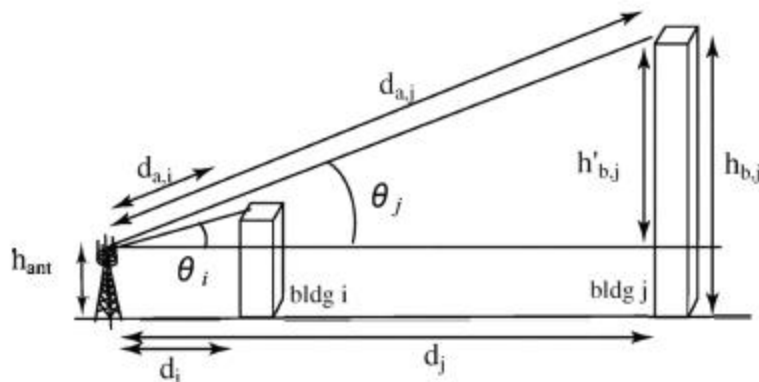


그림 2-22 다른 빌딩,  $i, j$ 에 의한 클러터 손실 비교

이 경우 빌딩  $i, j$ 에 대한  $\nu_i'$  및  $\nu_j'$ 는 같게 된다. 즉,

$$\nu_i' = \nu_j' \quad (2-146)$$

여기서,  $\nu_i' = \sqrt{\frac{2}{\lambda} d_{a,i} \sin \theta_i}$  및  $\nu_j' = \sqrt{\frac{2}{\lambda} d_{a,j} \sin \theta_j}$ 이므로, 식(2-146)으로부터 다음을 얻는다.

$$\sqrt{d_{a,i}} \sin \theta_i = \sqrt{d_{a,j}} \sin \theta_j \quad (2-147)$$

다음의 관계식을 고려하면

$$h_{b,j} = d_{a,j} \sin \theta_j \quad \text{및} \quad d_{a,j} = \frac{d_j}{\cos \theta_j} \quad (2-148)$$

식(2-147)은 다음과 같이 다시 표현할 수 있다.

$$\sqrt{d_{a,i}} \sin \theta_i = h_{b,i} \sqrt{\frac{1}{d_{a,i}}} \quad \text{및} \quad \sqrt{d_{a,j}} \sin \theta_j = \sqrt{\frac{1 - \cos^2 \theta_j}{\cos \theta_j}} \sqrt{d_j} \quad (2-149)$$

식(2-147), 식(2-149)로부터 다음의 관계를 얻는다.

$$\sqrt{\frac{1 - \cos^2 \theta_j}{\cos \theta_j}} = h_{b,i} \sqrt{\frac{1}{d_{a,i} \times d_j}} \quad (2-150)$$

간단히  $h_{b,i} \sqrt{\frac{1}{d_{a,i} \times d_j}} = B$  및  $\cos \theta_j = X$ 로 놓으면, 식(2-150)은 다음과 같다.

$$\sqrt{\frac{1 - X^2}{X}} = B \quad (2-151)$$

이 방정식으로부터  $X^2 + B^2 X - 1 = 0$ ,  $X$ 의 값은 다음과 같다.

$$X = \frac{-B^2 \pm \sqrt{B^4 + 4}}{2} \quad (2-152)$$

조건  $0 < \theta_j < 90$ 으로부터,  $X > 0$ , 그래서  $X$ 는 다음에 국한된다.



$$X = \frac{-B^2 + \sqrt{B^4 + 4}}{2} \quad (2-153)$$

그리고,  $\theta_j$ 는  $\theta_i$ 에 의해 다음과 같이 얻어진다.

$$\theta_j = \cos^{-1}(X) \quad (2-154)$$

세 번째는 빌딩 높이 분포가 주어질 때, 발생확률과 가정의 클러터 손실간의 관계를 유도한다. 빌딩 높이 분포를 지수분포로서 모델화 한다. 그러나, 어떤 분포라도 본 클러터 손실계산에 사용될 수 있다. 평균 높이  $h_{ave}$ 를 갖는 빌딩의 누적분포는 다음과 같이 표현된다.

$$F(h_b) = 1 - e^{-\frac{1}{h_{ave}}h_b} \quad (2-155)$$

마지막으로 클러터 손실  $P_{cl}$ 이 주어졌을 때 발생확률  $p_d$ 를 유도하는 것이 목적이다. 이 확률은 빌딩 1에서  $X$ 에 발생하는 모든 클러터 손실이  $P_{cl}$ 보다 작거나 같은 경우의 확률을 계산하면 얻어진다. 클러터 손실  $P_{cl}$ 을 가져오는 빌딩 높이  $h_x$  및 빌딩과 안테나간의 거리  $d_x$ 는 식(2-120) 및 식(2-142)로부터 얻어진다. 빌딩을 빌딩  $x$ 로 표기하면, 확률  $p_{cl}$ 은 다음과 같이 표현된다.

$$p_{cl} = \prod_j F(h'_{b,j}) \quad (2-156)$$

여기서,

$$h'_{b,j} = \tan(\theta'_j) \times (d_{road} \times j + d_{bldg} \times (j-1)) + h_{ant} \quad (2-157)$$

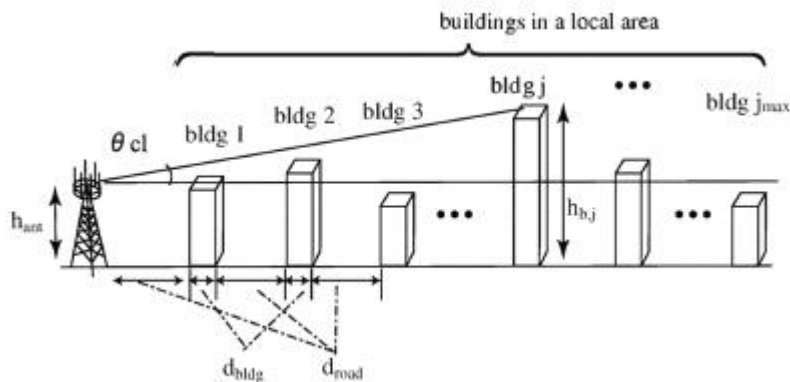
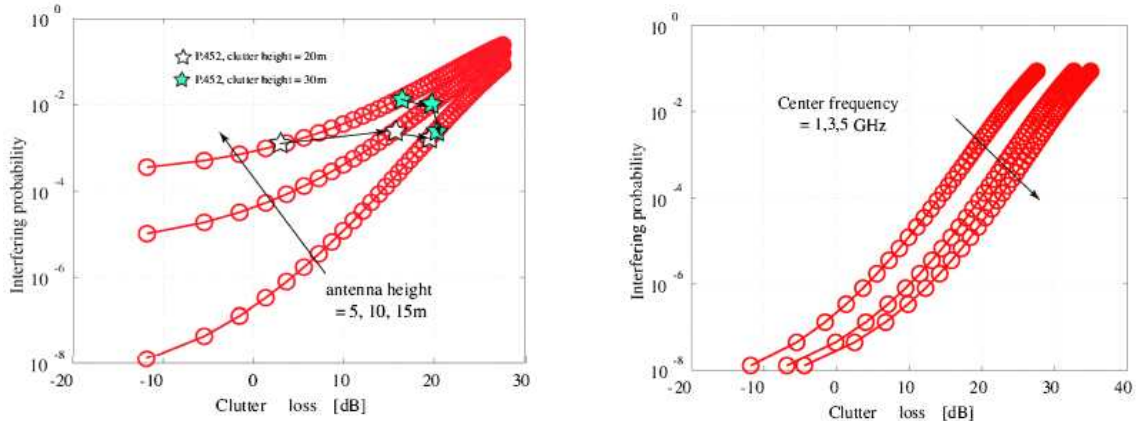


그림 2-23 발생확률을 계산하기 위한 전파 환경

### 4.3 수치계산

본 절에서는 발생확률과 가정의 클러터 손실간의 관계에 대한 수치 예를 보인다. 더구나, 제안된 방법에 의해 계산된 클러터 손실을 p.452 프로시저에 의해 계산된 결과와 비교한다. 가정된 파라미터 값은  $h_{ave} = 20\text{m}$ ,  $d_{road} = 20\text{m}$ ,  $d_{bldg} = 20\text{m}$ 이다.



(a) 1GHz, 안테나 높이: 5, 10, 15m      (b) 1, 3, 5GHz, 안테나 높이: 5m

그림 2-24 클러터 손실에 대한 발생확률

그림 2-24(a)는 1GHz 주파수에서 가정의 클러터 손실에 대한 발생확률을 나타낸다. 파라미터는 안테나 높이이다. P.452 방법에 의해 계산된 클러터 손실은 ★으로 나타낸다. P.452는 평균 빌딩 높이와 클러터 높이간의 관계를 규정하고 있지 않아 여기서는 20m를 사용했을 때, 이는 평균 빌딩높이와 같고, 30m(클러터 높이)를 사용하면 이는 평균 빌딩높이보다 10m 높은 수치이다. 이 결과로부터 클러터 높이를 P.452 방법에서 사용된 평균 빌딩높이로 놓았을 때, P.452에서 계산된 클러터 손실은  $10^{-3}$ 의 발생확률을 갖는 제안된 방법에 의해 얻어진 손실과 일치한다. 더구나, 클러터 높이를 평균 빌딩높이보다 10m 높게 놓았을 때, 발생확률은 약  $10^{-2}$ 이다. 그림 2-24(b)는 제안된 방법에서 나타내듯이 1, 3, 5GHz 중심주파수에서의 가정의 클러터 손실에 대한 발생확률을 보인다. 주어진 주파수에서 얻어진 클러터 손실은 knife-edge 모델의 결과와 잘 일치하고 있다.

## 제 3 장 1차 전파측정 및 분석

### 제 1 절 측정 데이터

본 연구에서는 중앙전파감시소에서 수행되고 있는 관악산 중계소에 대한 서울 지역의 전파측정 데이터를 확보하여 SMIS 시스템을 이용하여 분석하였다.

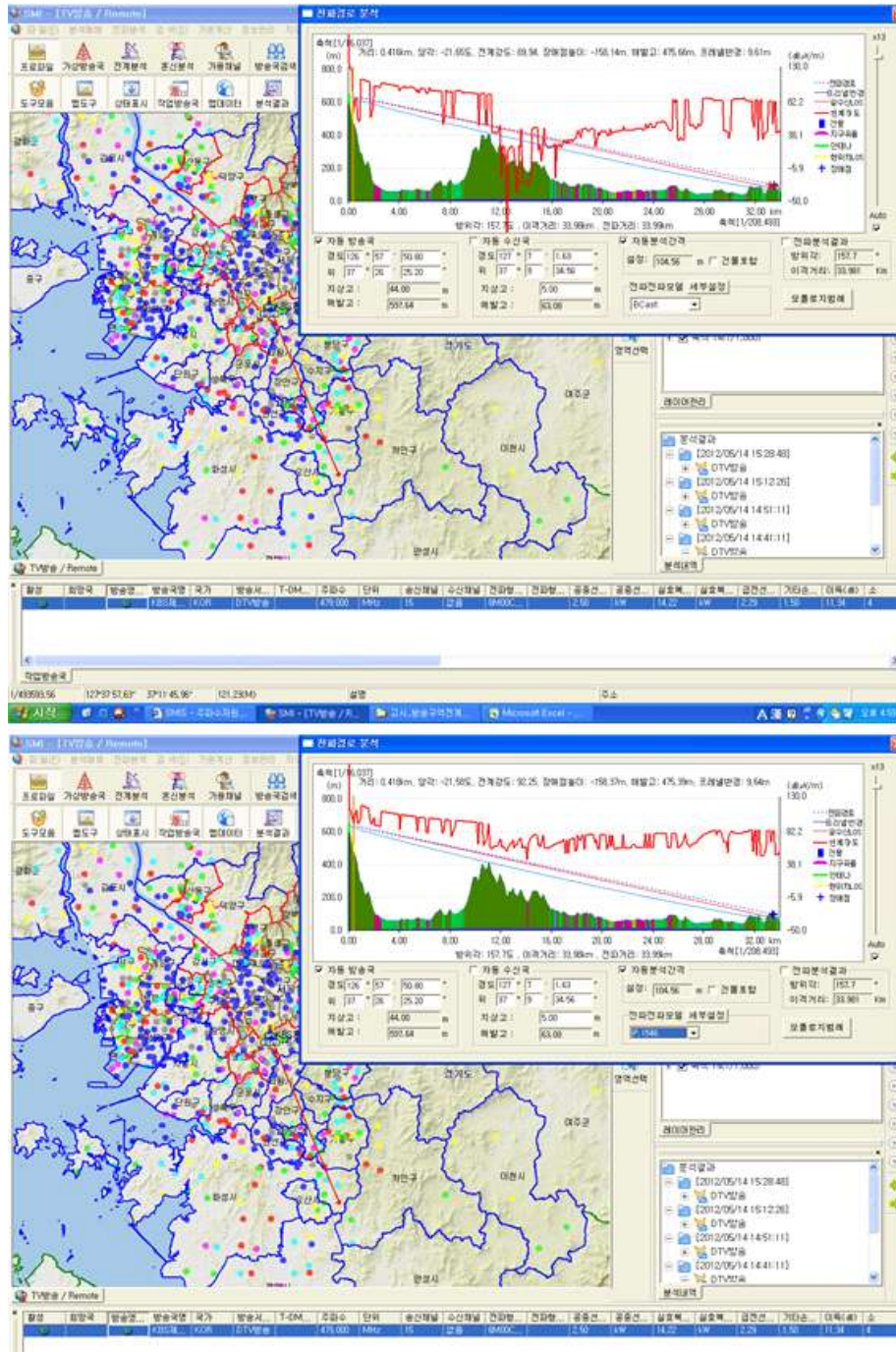
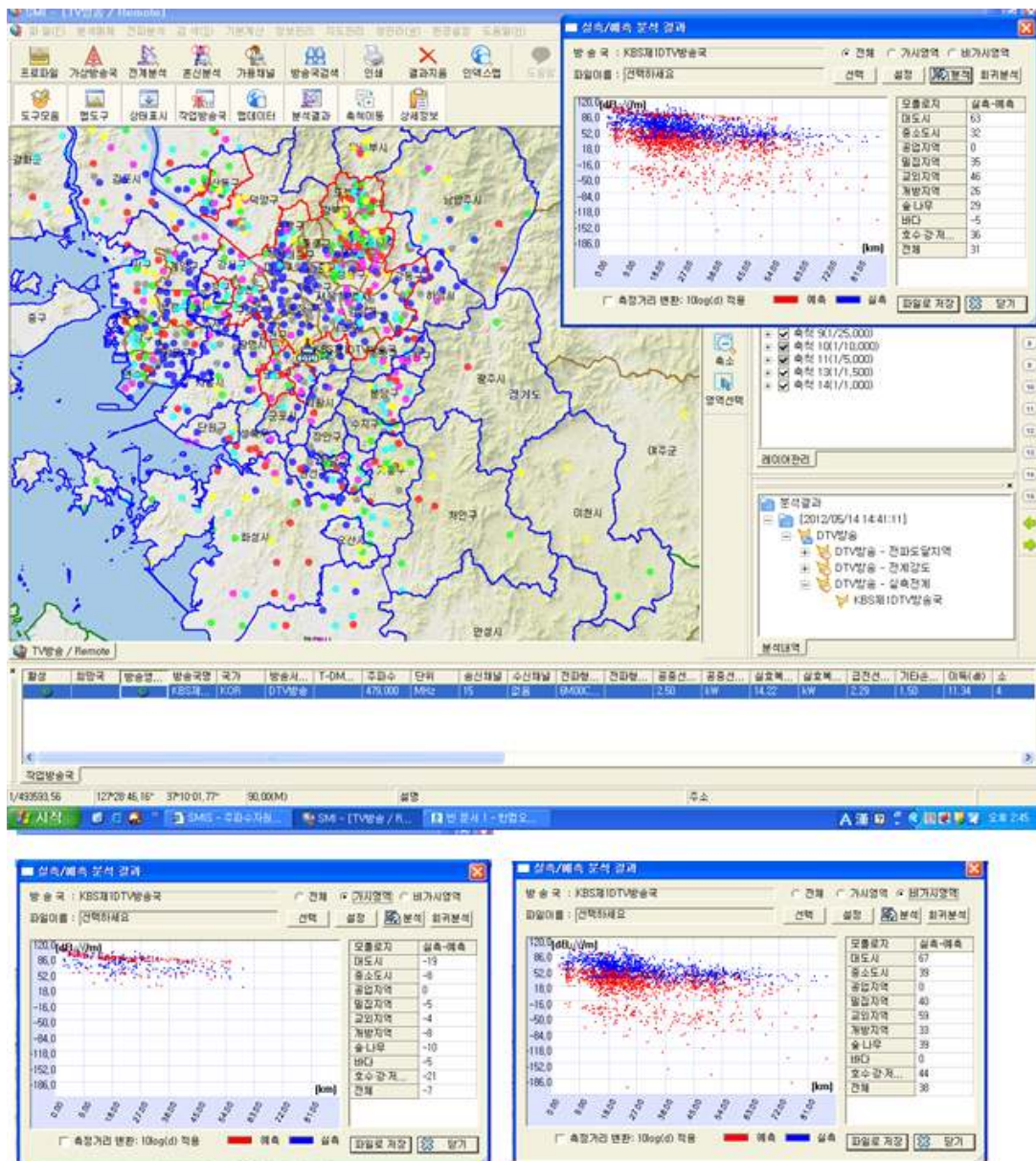


그림 3-1 BCAST 모델과 P.1546 모델간의 비교



그림 3-1로부터 관악산 중계소 주변의 측정된 데이터를 BCAST 모델과 P.1546 모델에 대한 비교결과는 LOS(line of sight)에서는 비슷한 결과를 보이거나 NLOS(Non LOS)에서는 BCAST 모델은 P.1546 모델보다 경로손실이 크게 나타나고 있다.



## 가시경로

## 비가시경로

그림 3-2 BCAST LOS 및 NLOS에 대한 실측/예측 데이터 분포

구체적으로 BCAST 모델에 대한 LOS 및 NLOS를 구분하여 측정된 데이터와 실측 데이터의 분포도를 그림 3-2에 나타낸다. LOS에서는 실측데이터와 예측데이터의 분포가 거의 일치하지만, NLOS에서는 실측 데이터보다 예측 데이터가 손실에 대해 크게 평가되고 있다.

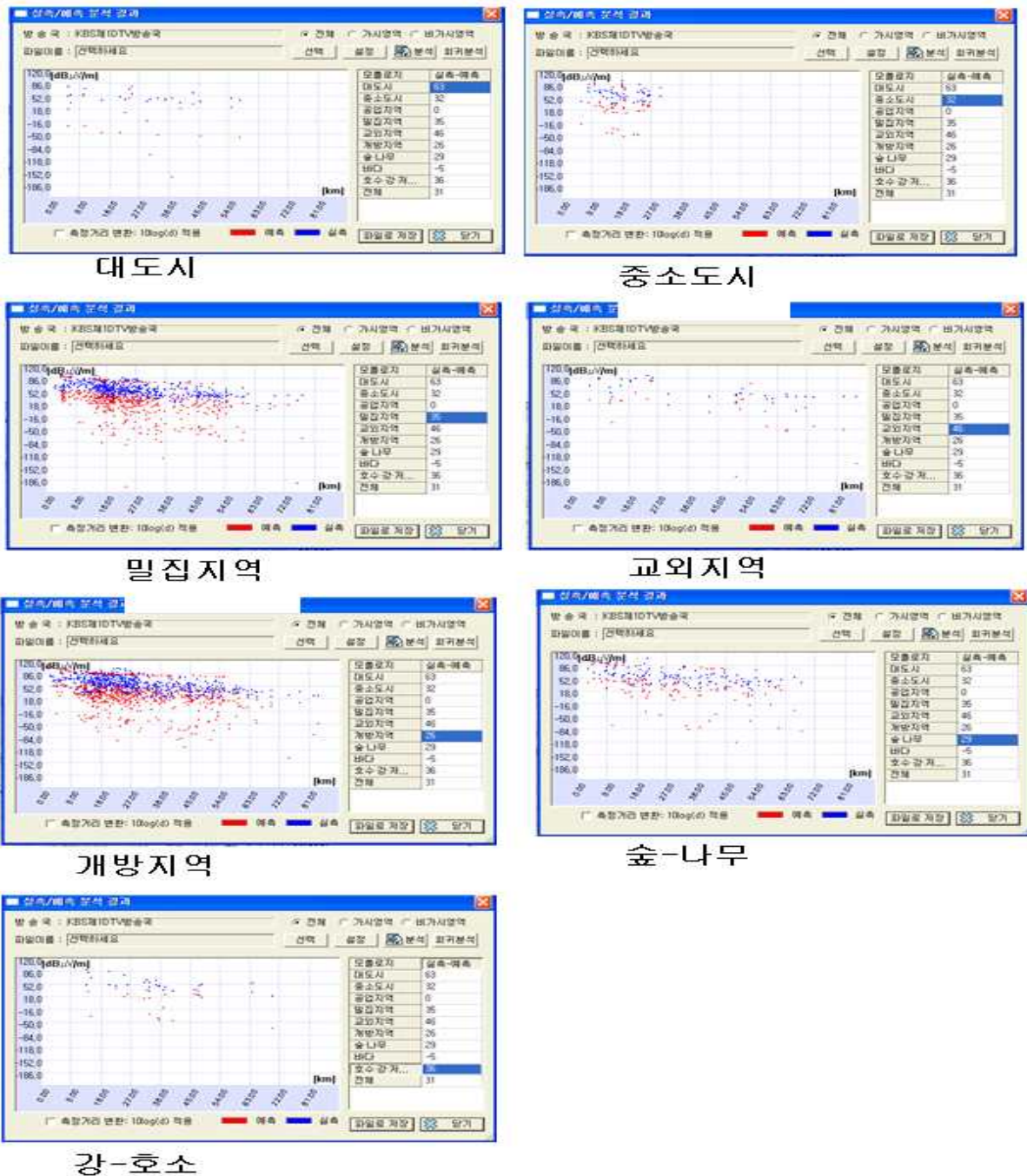
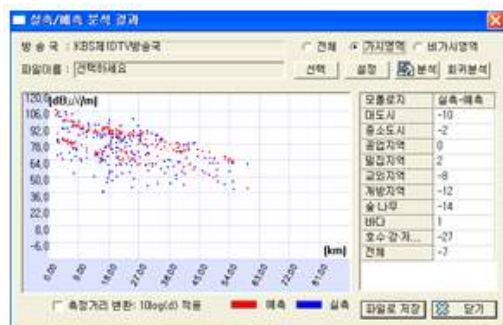
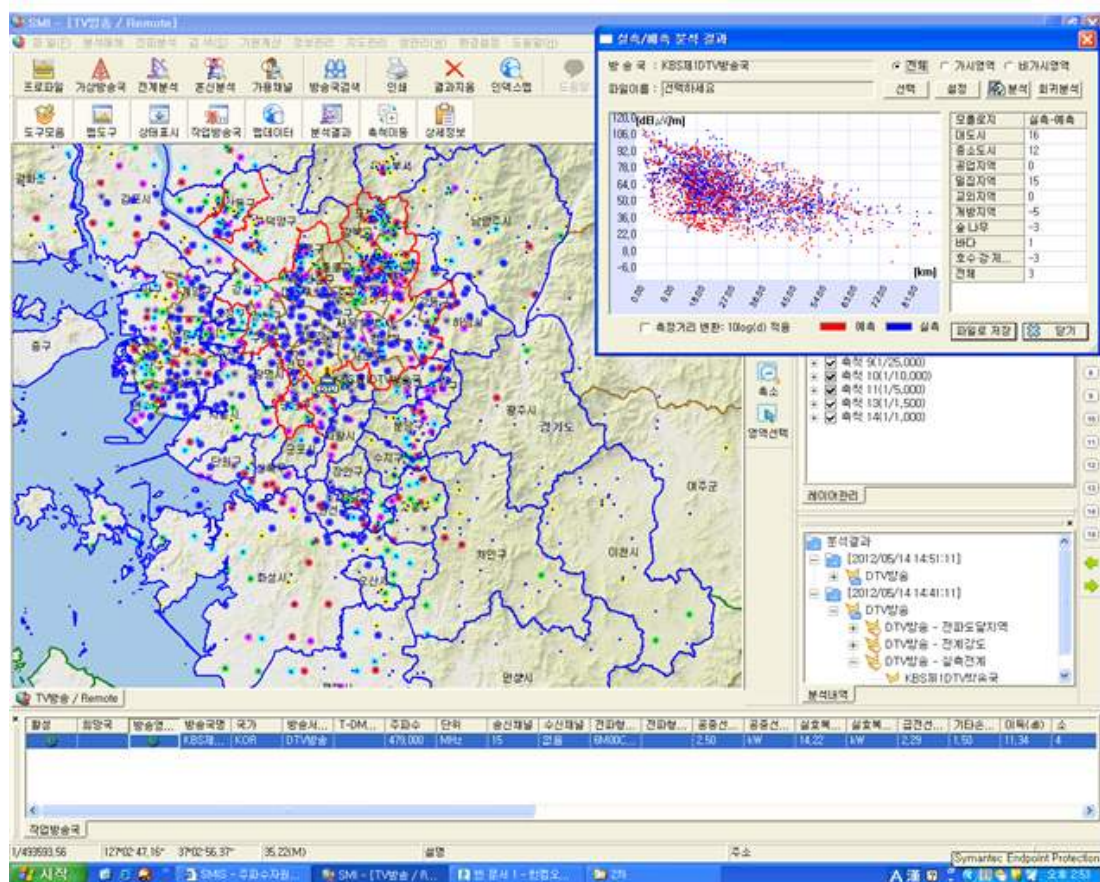


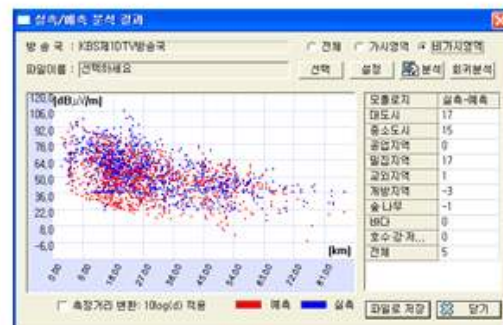
그림 3-3 BCAST 전파환경에 따른 실측/예측 데이터 분포



그림 3-3에 대도시/중소도시, 밀집지역/교외지역, 개방지역/숲-나무/강-호수에 대한 실측과 예측 데이터를 비교하였다. 대도시보다는 중소도시, 밀집지역보다는 교외지역, 숲-나무 또는 강-호수 보다는 개방지역에서 실측 데이터와 예측 데이터의 분포가 유사함을 알 수 있다.



가시경로



비가시경로

그림 3-4 P.1546 LOS 및 NLOS에 대한 실측/예측 데이터 분포

그림 3-4로부터 P.1546 모델은 BCAST 모델과 다르게 LOS 및 NLOS에서도 실측 데이터와 예측 데이터의 분포가 거의 일치함을 알 수 있다.

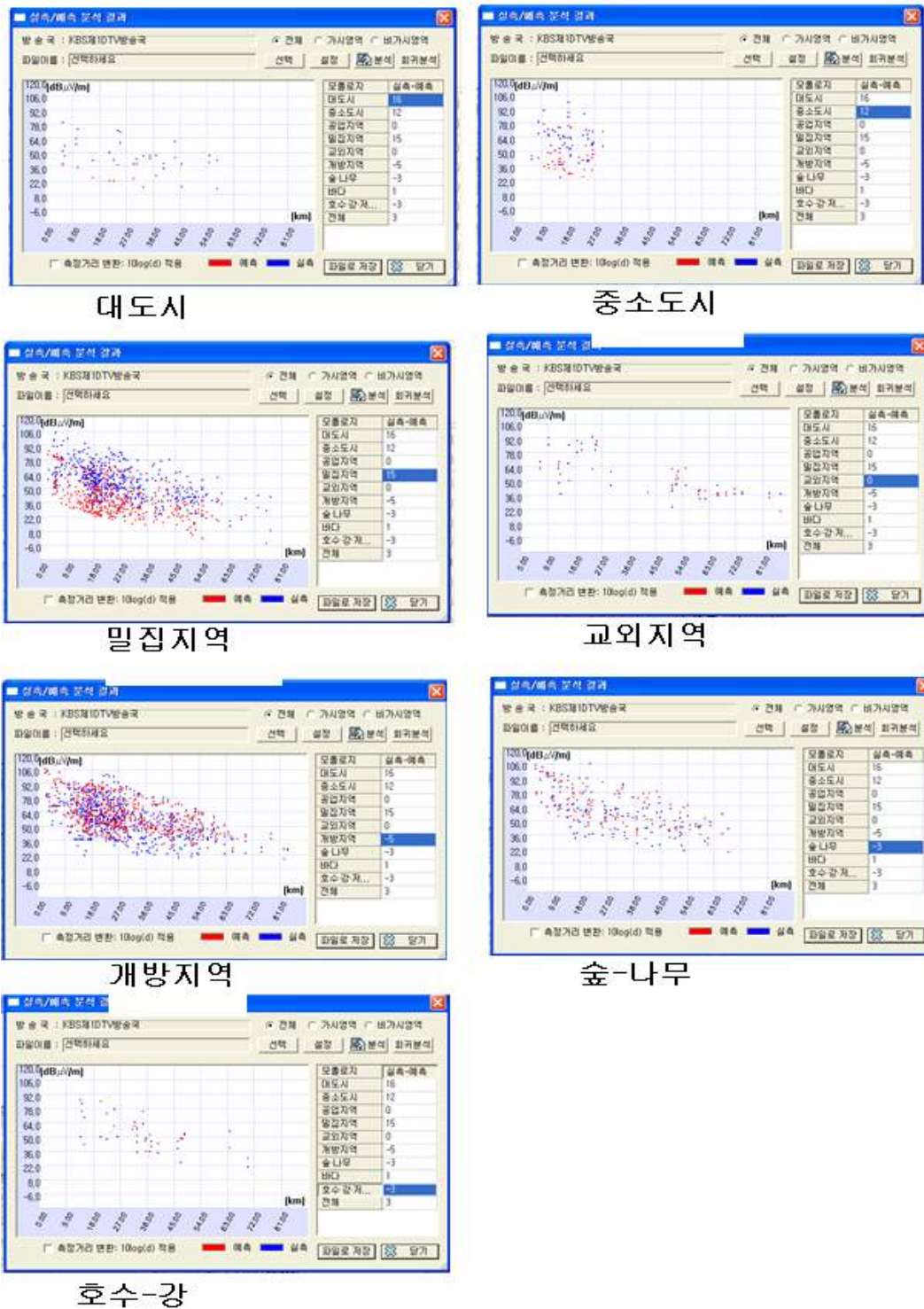


그림 3-5 P.1546 전파환경에 따른 실측/예측 데이터 분포

그림 3-5에 대도시/중소도시, 밀집지역/교외지역, 개방지역/숲-나무/강-호수에 대한 실측과 예측 데이터를 비교하였다. 실측 데이터와 예측 데이터의 분포가 거의 일치함으로써 P.1546의 전파모델이 우수한 성능을 보임을 알 수 있다.

## 제 2 절 전파 측정

### 1. 측정 개요

그림 3-6에 보이는 NARDA-STS사의 휴대용 전파측정 시스템을 이용하여 6월 10일부터 7월 10일까지 모악산 중계소에서 변산반도에 이르는 약 45km에 이르는 그림 3-7의 전파경로를 따라 측정을 수행하였다.



그림 3-6 휴대용 측정시스템

### 2. 측정 지점 및 서비스

그림 3-7의 측정루트에서 산악지형과 평야, 호수와 해안 등의 그림 3-8과 같은 특이 환경의 7개 지역으로 구분하여 이동 가능한 지점을 측정 지점으로 선택하였으며, 한 지점 당 3분 단위의 평균 전계강도 값을 기록하였다. 선택된 주파수 및 서비스는 195MHz MBC ATV, 213MHz KBS ATV, 551MHz KBS DTV, 587MHz JTV DTV, 635MHz MBC DTV, 653MHz KBS2 DTV, 665MHz EBS DTV의 7개 방송서비스에 대해 측정하였다.



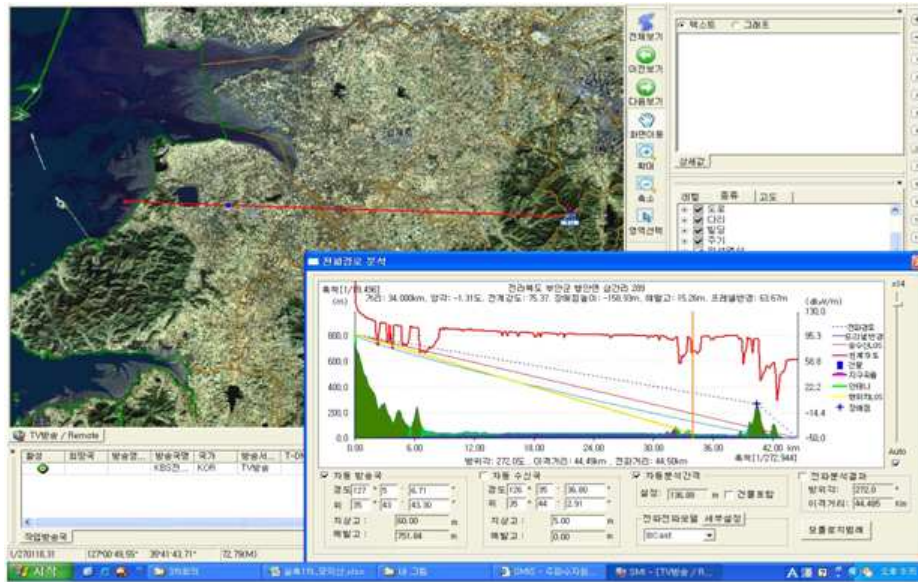


그림 3-7 측정 루트

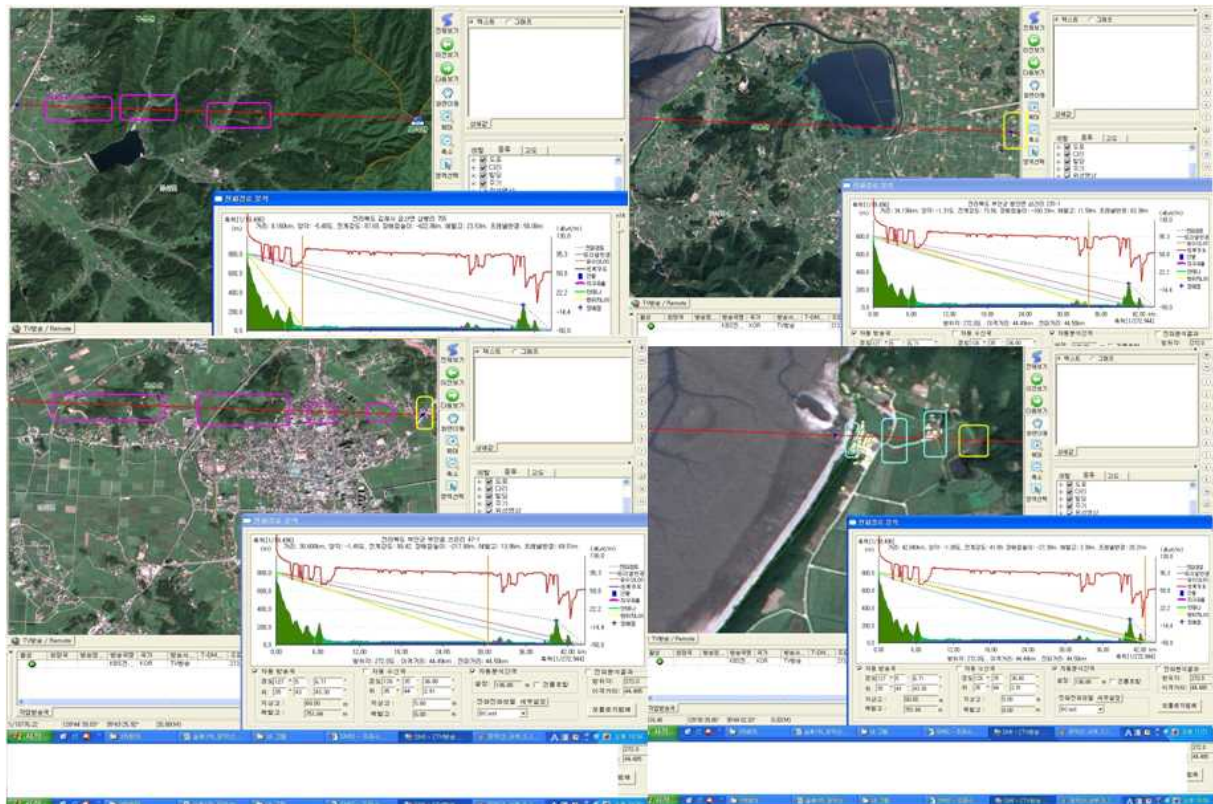


그림 3-8 측정 지점

### 3. 측정 데이터 저장

측정된 데이터는 표 3-1과 같은 형식으로 엑셀 파일로 저장을 하여 SMIS 시스템에 적용 가능하도록 하였다.

표 3-1 측정 데이터 저장 형식

경도	위도	전계강도 (dBuV/m)						
		195MHz	213MHz	551MHz	587MHz	635MHz	653MHz	665MHz
127.02.34	35.43.45.13	69.81	67.63	54.92	53.64	55.19	57.28	59.44
127.02.14	35.43.45.25	68.68	68.16	56.87	58.4	60.05	59.74	59.04
127.02.04	35.43.45.36	72.04	76.71	56.21	56.67	56.25	59.55	58.75
127.01.54	35.43.45.57	61.11	67.62	60.65	59.62	61.4	58	58.13
127.01.44	35.43.45.68	72.52	75.69	61.7	60.25	59.48	61.41	58.61
127.01.34	35.43.45.79	71.78	82.04	64.37	64.96	68.52	71.53	70.03

### 4. 측정 데이터 분석

측정된 데이터를 SMIS 시스템에 적용하여 BCAST 및 P.1546 예측모델에 의한 예측 데이터와의 분포도를 비교하여 분석하였다. 그림 3-9는 모악산 중계소에서 변산반도에 이르는 BCAST 전파 경로 프로파일을 보인다.

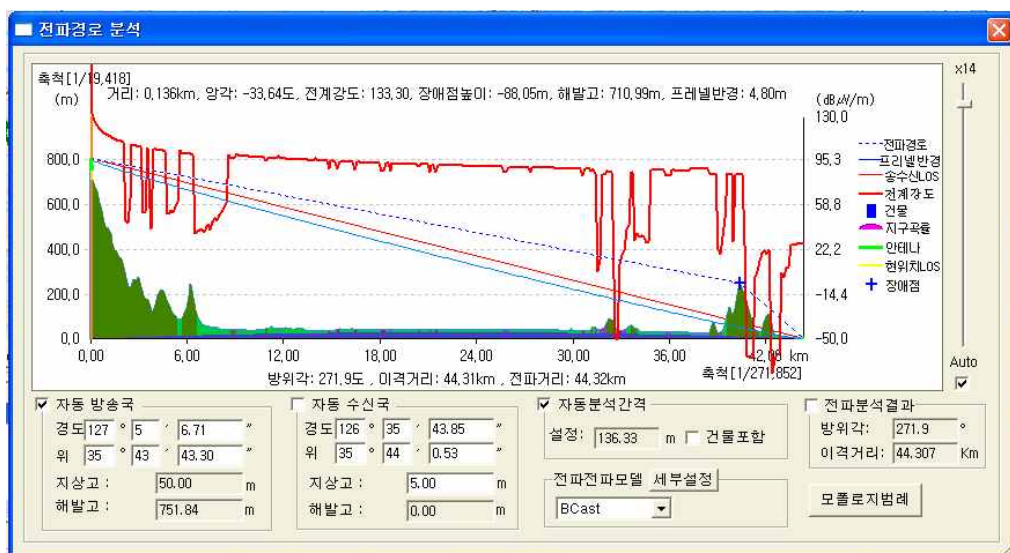


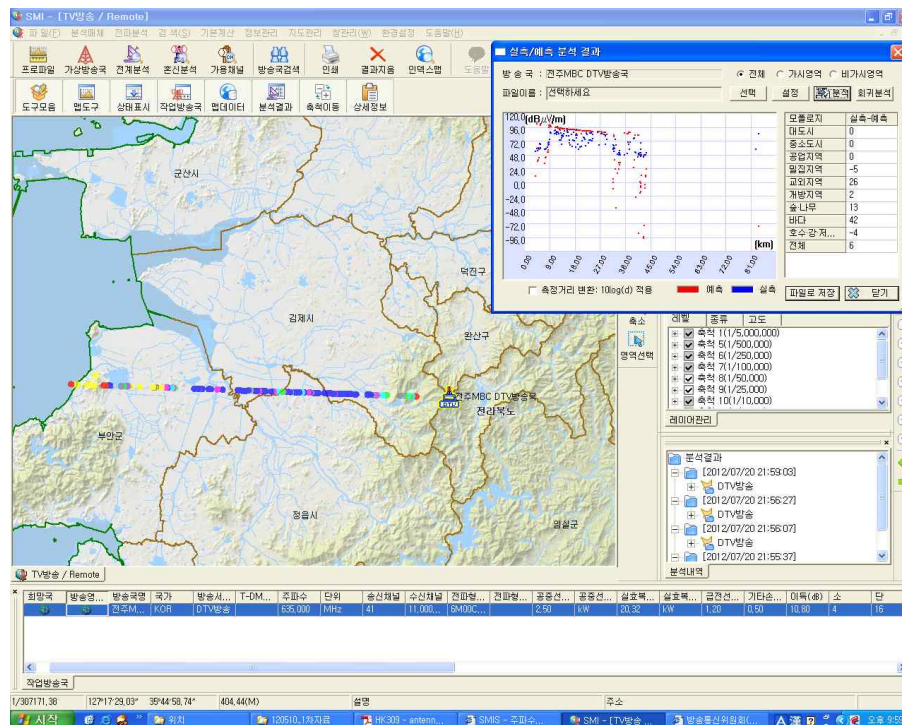
그림 3-9 모악산 -> 변산반도 경로 프로파일



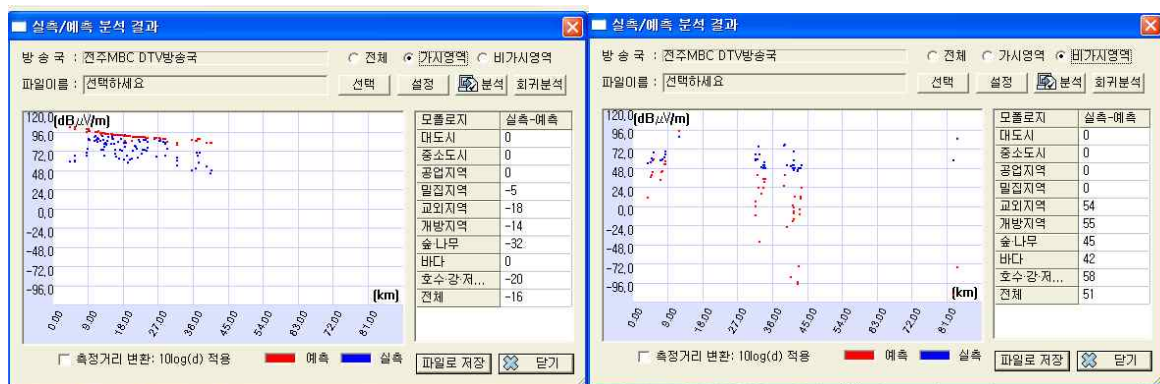
#### 4.1 635MHz MBC DTV 서비스

주파수	서비스	공중선전력[KW]	실효전력 [KW]
635	MBC DTV	2.5	20.32

그림 3-10은 635MHz에서 BCAST 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) LOS 및 NLOS

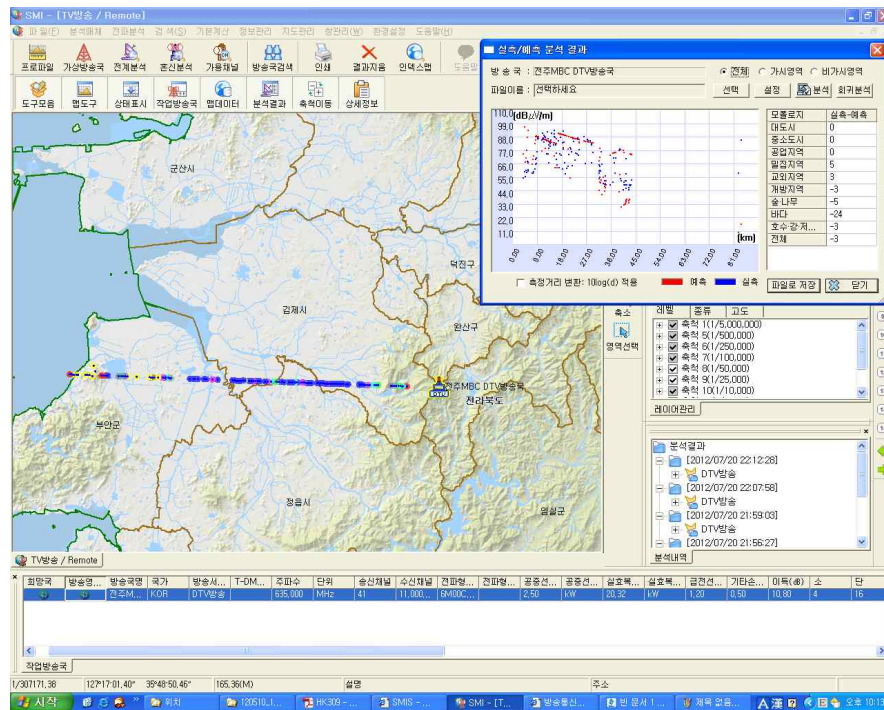


(b) LOS

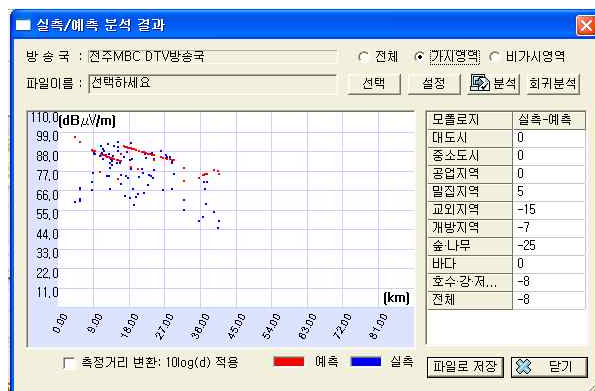
(c) NLOS

그림 3-10 635MHz BCAST 실측/예측 데이터 비교

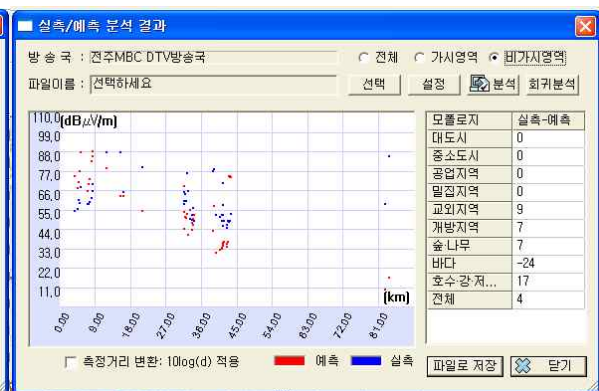
그림 3-11은 635MHz에서 P.1546T 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) LOS 및 NLOS



(b) LOS



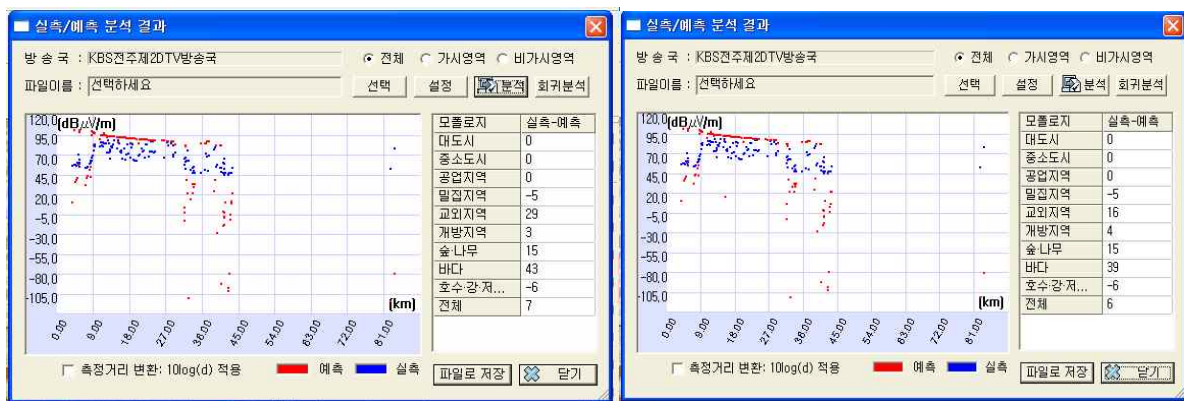
(c) NLOS

그림 3-11 635MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교

## 4.2 653MHz KBS2 DTV 서비스

주파수	서비스	공중선전력[KW]	실효전력 [KW]
653	KBS2 DTV	2.5	19.27

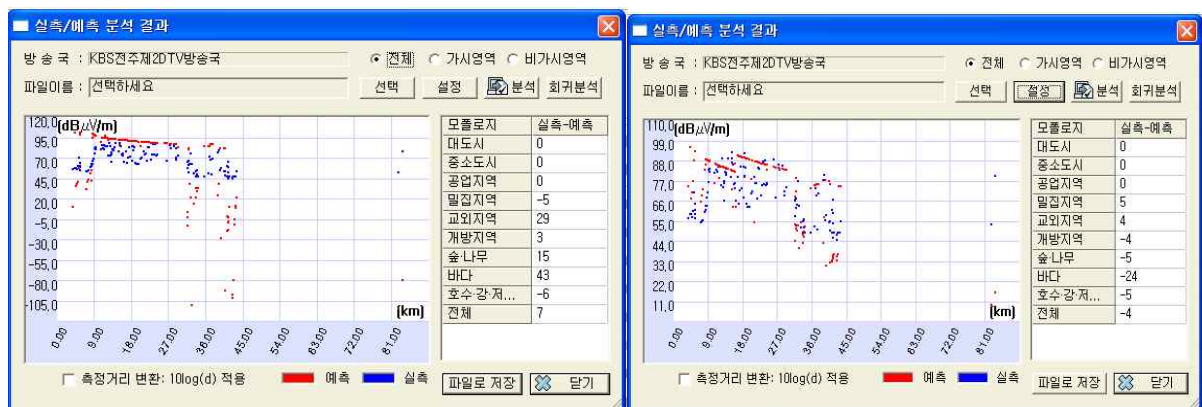
그림 3-12 및 그림 3-13은 653MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때와 미포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

그림 3-12 653MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

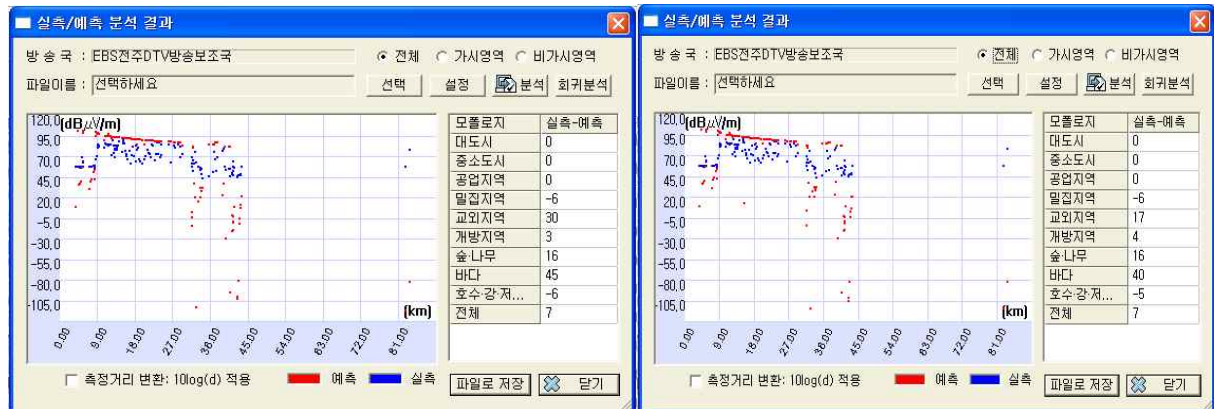
그림 3-13 653MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교



### 4.3 665MHz EBS DTV 서비스

주파수	서비스	공중선전력[KW]	실효전력 [KW]
665	EBS DTV	2.5	19.32

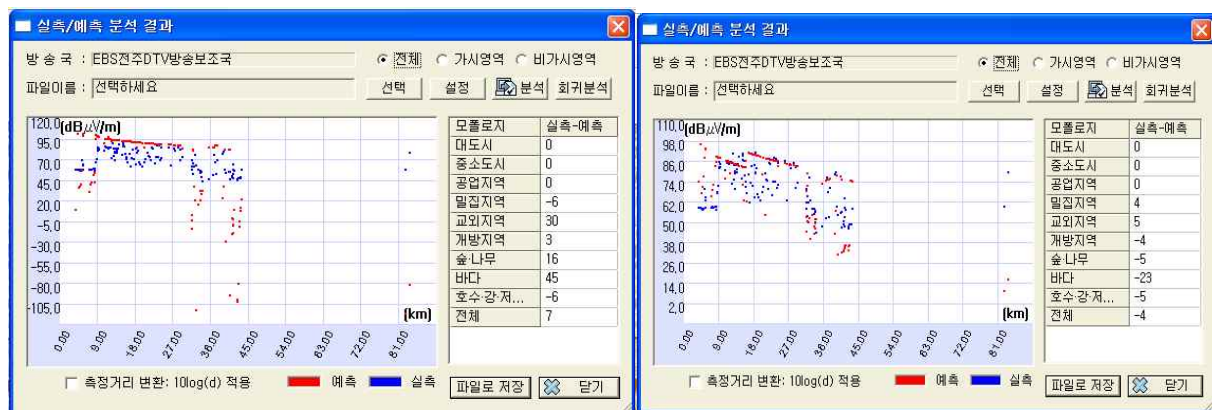
그림 3-14 및 그림 3-15는 653MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때와 미포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

그림 3-14 665MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교



(a) 건물 미포함

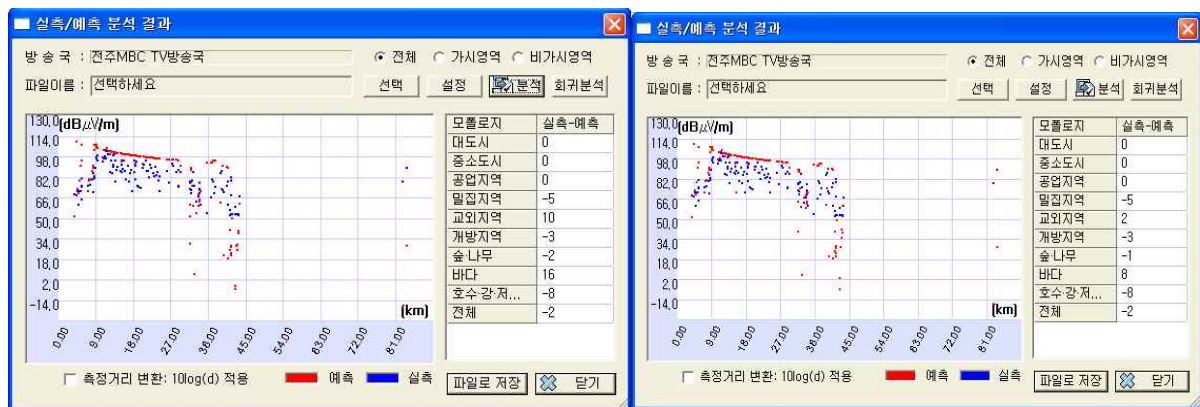
(b) 건물 포함

그림 3-15 665MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교

#### 4.4 195MHz MBC ATV 서비스

주파수	서비스	공중선전력[KW]	실효전력 [KW]
195	MBC ATV	10	104

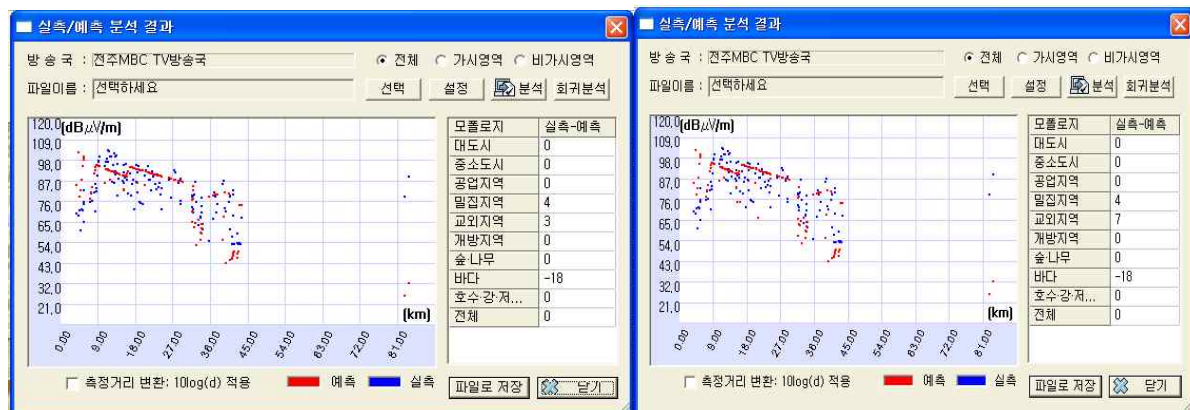
그림 3-16 및 그림 3-17은 195MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때와 미포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

그림 3-16 195MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교



(a) 건물 미포함

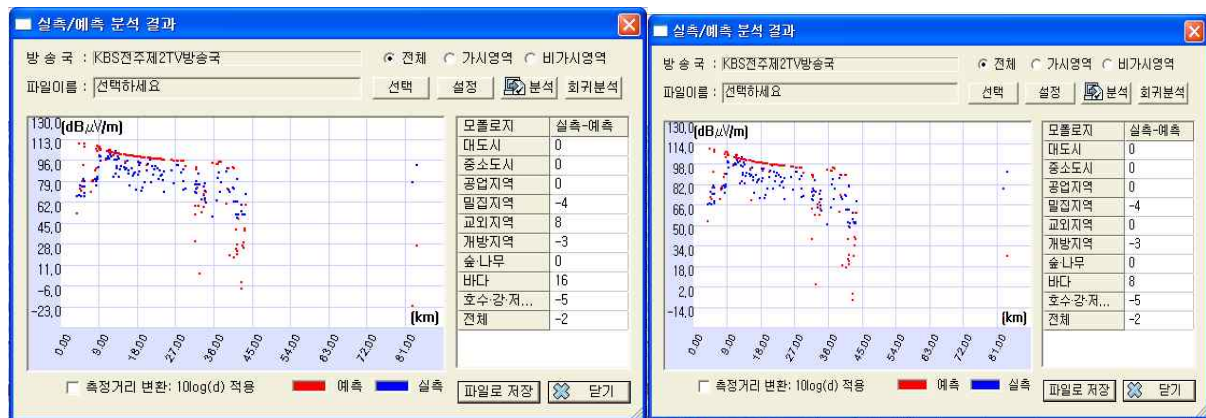
(b) 건물 포함

그림 3-17 195MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교

#### 4.5 213MHz KBS ATV 서비스

주파수	서비스	공준선전력[KW]	실효전력 [KW]
213	KBS ATV	10	103

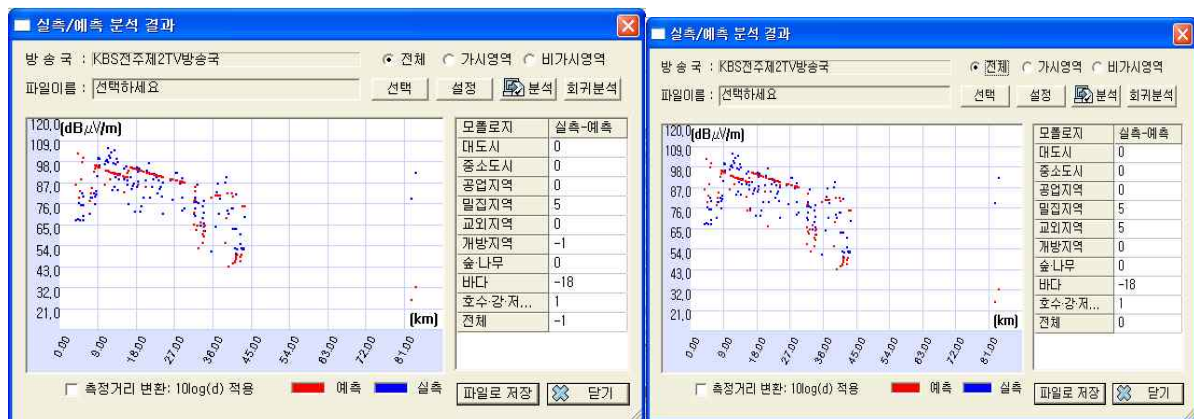
그림 3-18 및 그림 3-19는 213MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때와 미포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

그림 3-18 213MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

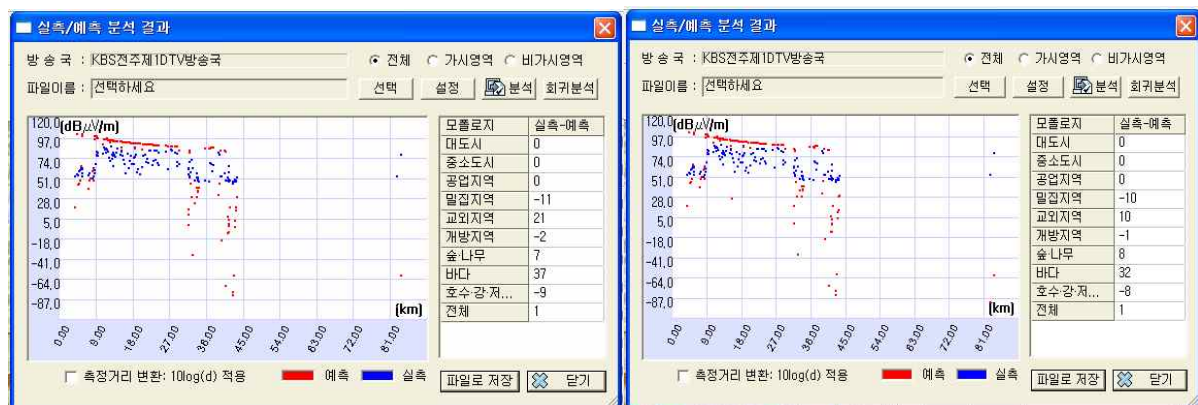
그림 3-19 213MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교



#### 4.6 551MHz KBS DTV 서비스

주파수	서비스	공중선전력[KW]	실효전력 [KW]
551	KBS DTV	2.5	19.27

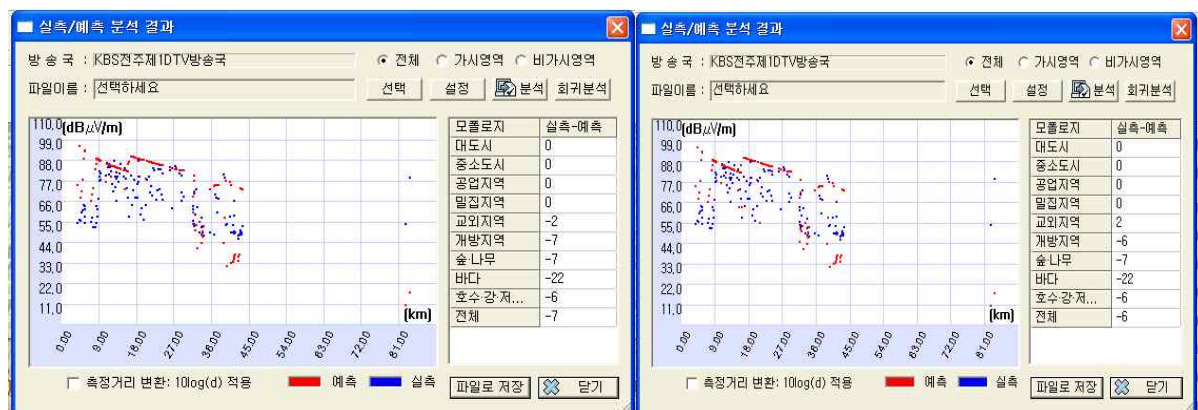
그림 3-20 및 그림 3-21은 551MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때와 미포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

그림 3-20 551MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교



(a) 건물 미포함

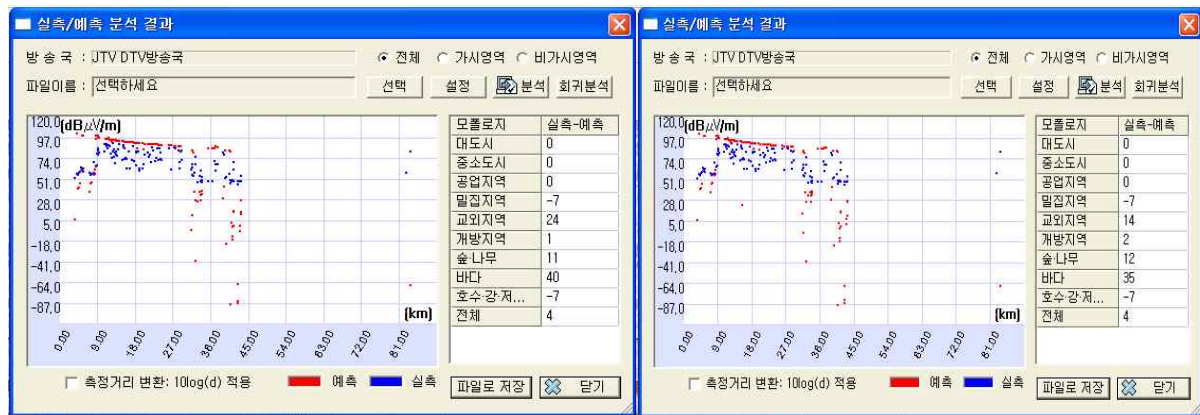
(b) 건물 포함

그림 3-21 551MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교

#### 4.7 587MHz JTV DTV 서비스

주파수	서비스	공중선전력[KW]	실효전력 [KW]
587	JTV DTV	2.5	19.81

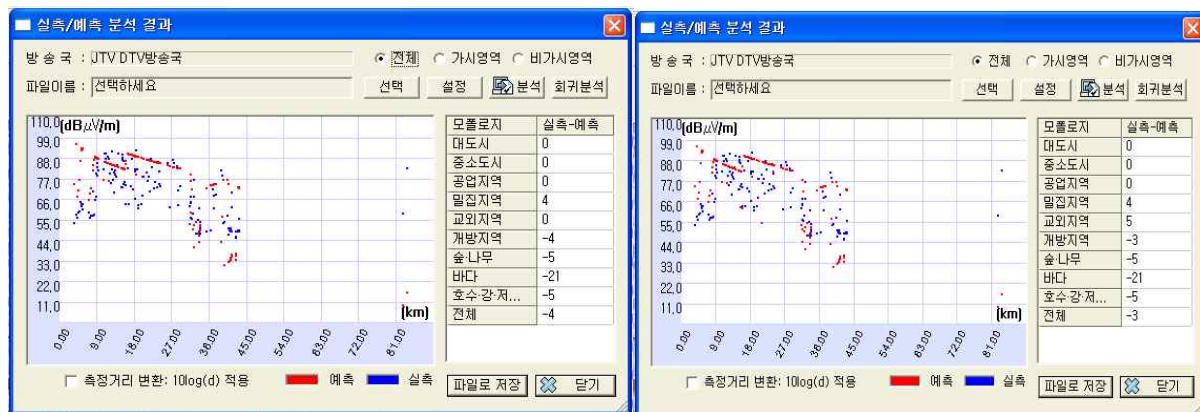
그림 3-22 및 그림 3-23은 587MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 적용하여 시간/공간을 50%, 수신기 높이 1.5m에서 건물을 포함 시켰을 때와 미포함 시켰을 때의 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다.



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

그림 3-22 587MHz에서 BCAST 실측/예측 데이터 비교



(a) 건물 미포함

(b) 건물 포함

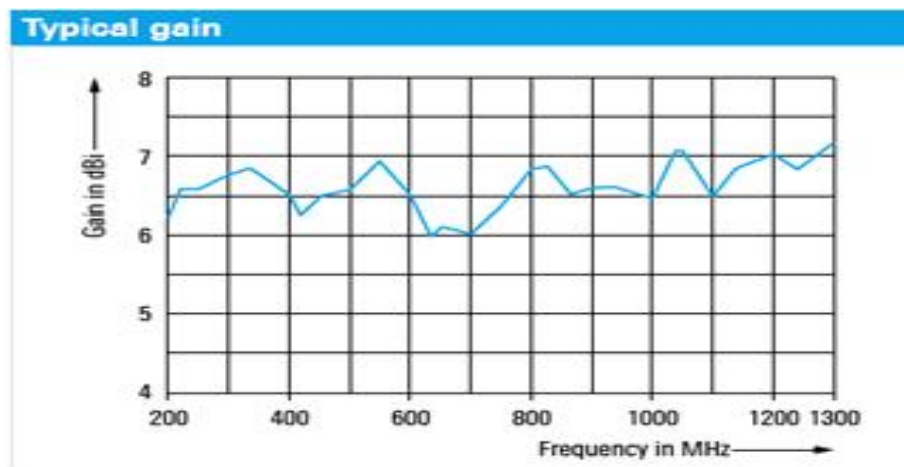
그림 3-23 587MHz에서 P.1546 실측/예측 데이터 비교

그림 3-10~그림 3-23에 보인 결과로부터 BCAST 예측모델은 가시경로에서는 거의 일치하나, NLOS에서 실측과 예측 데이터 간에 오차가 크게 나타나고 있지만, P.1546 모델은 가시경로 및 NLOS에서 실측과 예측 데이터 간에 거의 일치함을 볼 수 있다. 주파수가 낮은 ATV 서비스에서 경로에 따른 분산값이 큰 반면 DTV 서비스와 같은 높은 주파수에서는 경로에 따른 분산값이 적음을 알 수 있다. 또한, 건물이 포함될 때와 포함되지 않을 때의 비교분석을 보면 BCAST 모델에서는 큰 차이가 없지만, P.1546 모델에서는 665MHz 및 653MHz 주파수에서 현격한 차이를 보이고 있다.

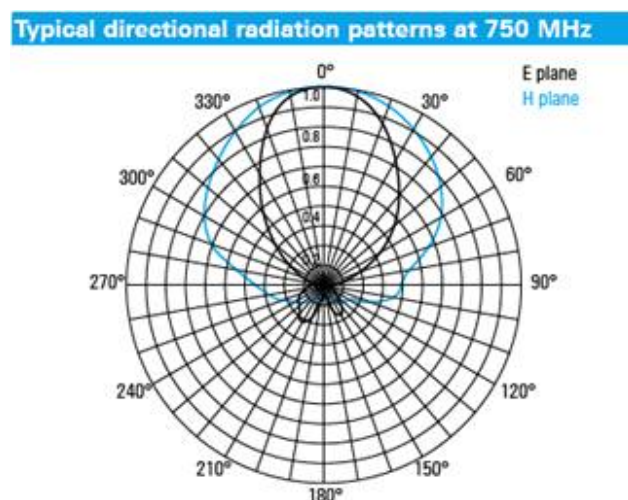
## 제 4 장 2차 전파측정 및 분석

### 제 1 절 측정 시스템 구성

1차 측정과는 달리 그림 4-1의 이득특성을 갖는 방향성 그림 4-2(a)의 Log-Periodic 안테나 및 그림 4-2(b)의 에질런트사의 N9915A FieldFox RF 분석기를 사용하여 서울의 대도심지역으로 코엑스 일원, 중소도시 지역으로 전주의 전북도청 일원, 산악 및 개방지역의 모악산에서 변산반도에 이르는 50km 전파경로에 대해서 10월 5일~10월 25일 약 20일간 측정을 수행하였다.



(a) 이득



(b) 지향성

그림 4-1 안테나 특성



(a) LP 안테나



(b) RF 분석기

그림 4-2 측정 시스템

안테나를 4m 높이로 구성하여 서울의 대도심지역에서는 도보로 직접 이동하면서, 전주지역 및 모악산-변산반도 지역은 차량을 이용하여 측정을 수행하여 1차 측정 때보다 다양한 전파환경 및 측정 데이터의 양을 최대한 많이 확보하는 방향으로 정하였다. 이에 서울 및 전주지역에서는 약 1000포인트, 모악산-변산반도에서는 3,300 포인트에서 DTV 방송국 주파수에 대한 전파측정을 수행하였다. 또한 RF 분석기는 GPS 신호를 외부입력으로 하여 측정위치를 기록하도록 하였다.

## 제 2 절 전파 측정 환경

### 1. 대도심 지역

그림 4-3과 같이 관악산 중계소로부터 약 11km 거리에 위치한 서울의 코엑스 부근의 0.8km x 1.0km 지역을 도보로 이동하면서 대도시 밀집지역의 건물에 의한 NLOS 전파환경을 고려하였다.

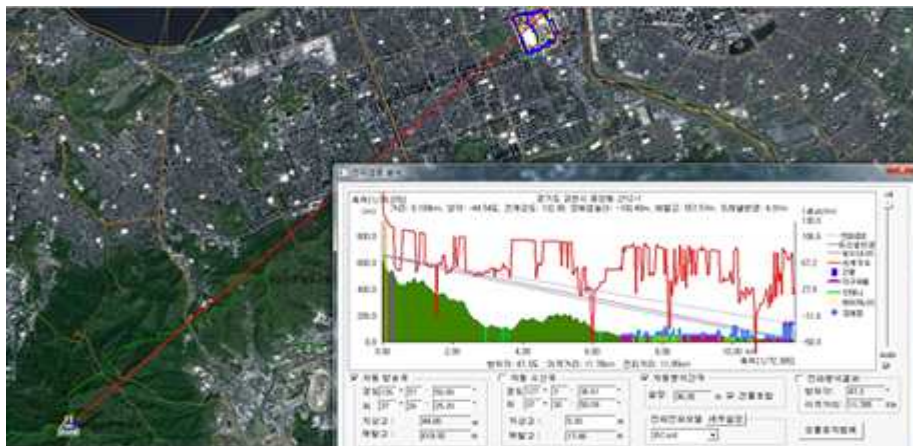


그림 4-3 대도심 지역



## 2. 중소도시 지역

그림 4-4와 같이 모악산 중계소로부터 약 11km 거리에 위치한 전주시 전북도청 부근의 1.0km x 1.5km 지역을 차량으로 이동하면서 중소도시의 주택지 건물에 의한 LOS 및 NLOS 전파환경을 고려하였다.

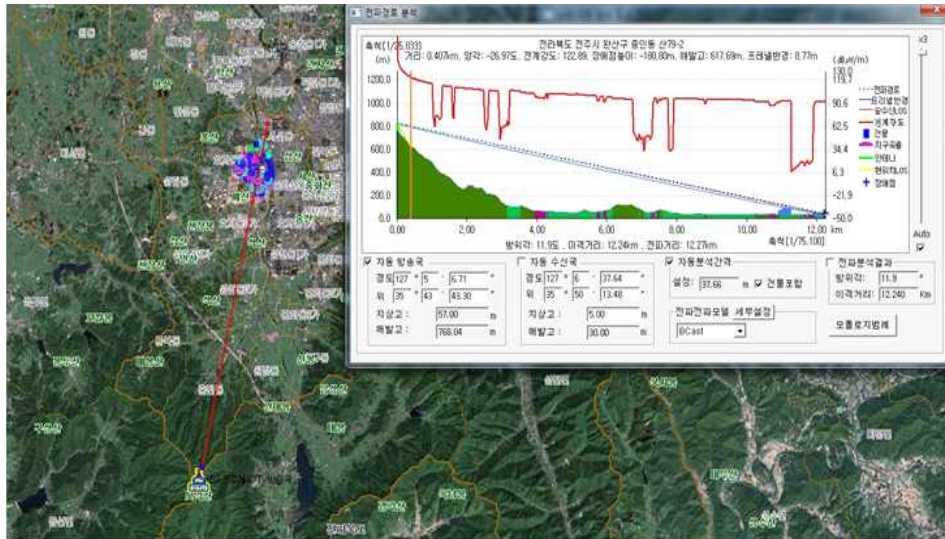


그림 4-4 중소도시 지역

## 3. 산악 및 개방지역

그림 4-5와 같이 모악산 중계소에서 변산반도에 이르는 50km 전파경로를 차량으로 이동하면서 산악 및 숲, 가로수 등에 의한 NLOS 환경 및 논, 밭 등과 같은 개방지 LOS 전파환경을 고려하였다.

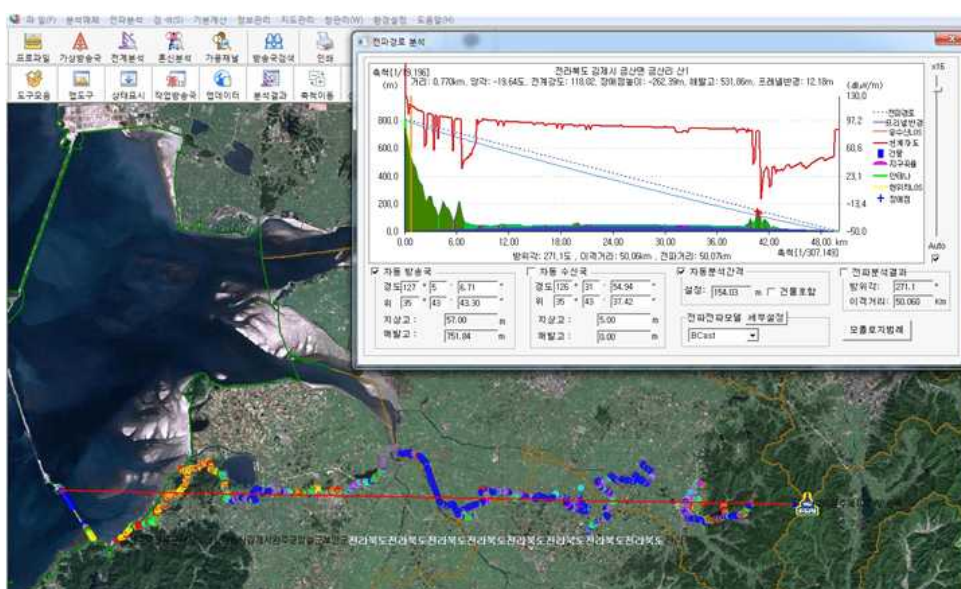


그림 4-5 산악 및 개방지 지역

## 제 2 절 전파 측정 분석

### 1. 대도심 지역

#### 1.1 측정루트 및 스펙트럼

그림 4-6에는 GPS 수신에 의한 서울 코엑스 부근의 측정루트를 표시하고 있으며, 그림 4-7에는 관악산 및 남산 중계소로부터 수신되는 전계강도 측정의 예를 보인다. 관악산 중계소나 남산 중계소로부터 들어오는 전파의 전계강도는 높은 건물에 의한 NLOS 전파환경으로 감쇠가 심해 약  $50\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 의 낮은 스펙트럼을 보이고 있다. 따라서 이 지역에서는 NLOS 전파환경에 대해서만 측정 데이터 분석을 수행하였다. 본 측정에서는 관악산 중계소로부터 수신되는  $473\text{MHz}$  MBC DTV,  $479\text{MHz}$  KBS 제1 DTV,  $485\text{MHz}$  SBS DTV,  $491\text{MHz}$  KBS 제2 DTV의 4개 방송서비스와 관련된 주파수에 대해 측정하였다.

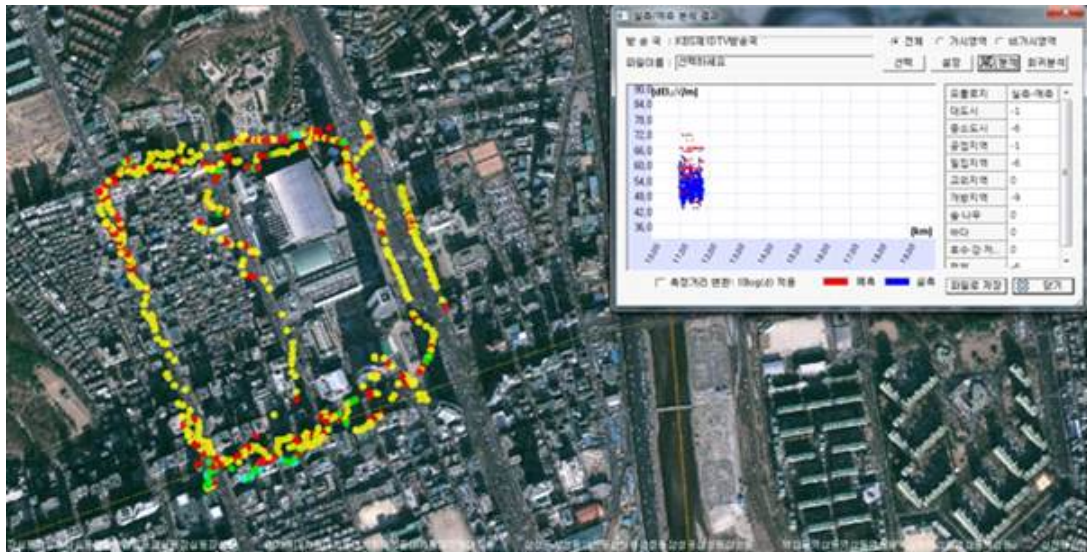
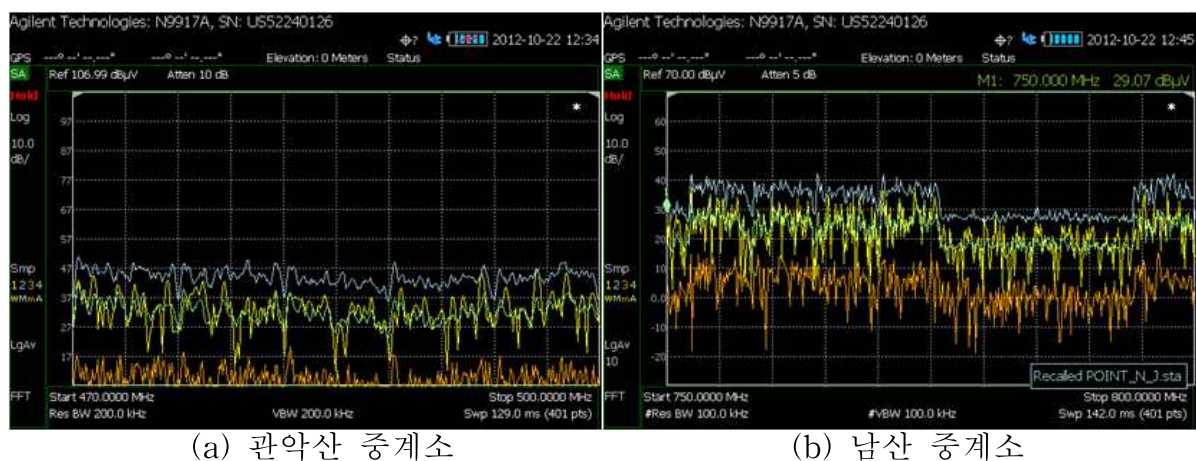


그림 4-6 코엑스지역 측정 루트



(a) 관악산 중계소

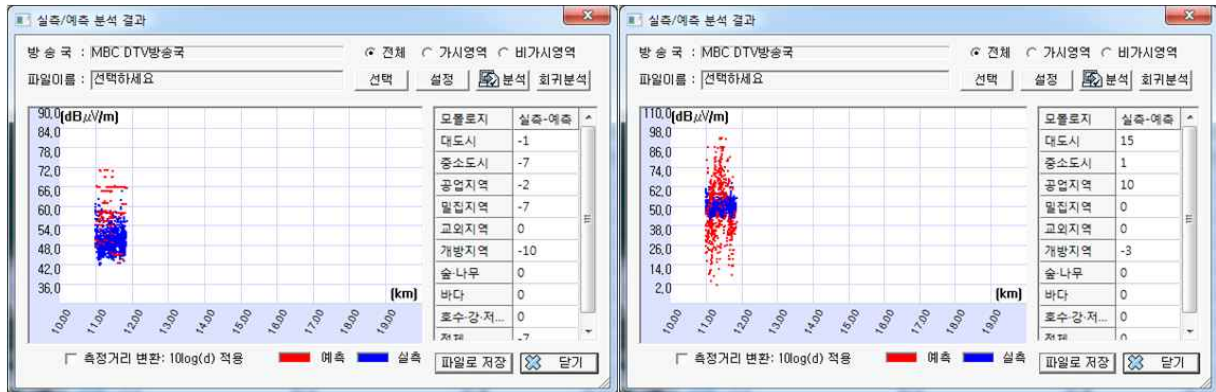
(b) 남산 중계소

그림 4-7 코엑스지역 측정 스펙트럼 예



## 1.2 473MHz MBC DTV 방송 서비스

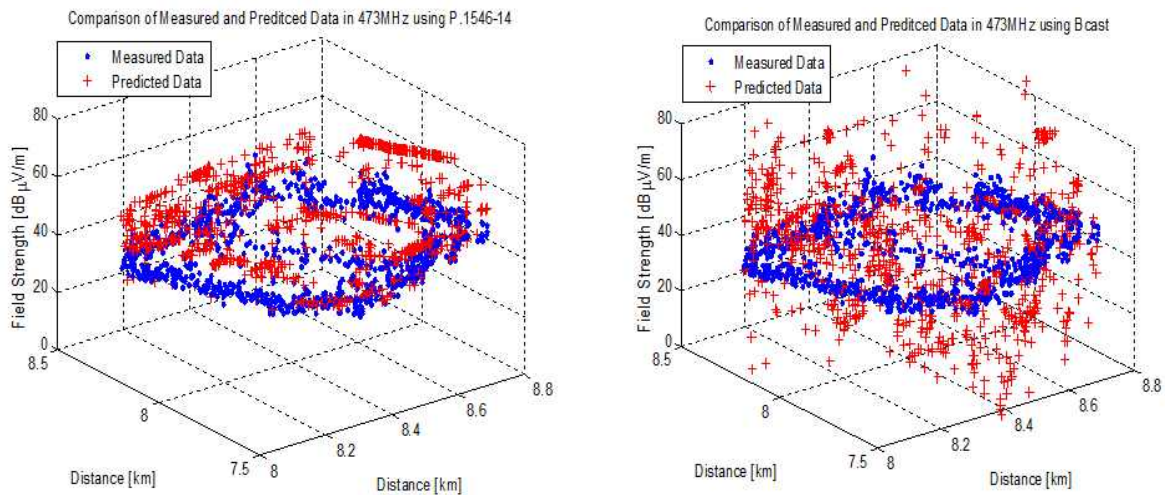
그림 4-8은 MBC DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 473MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 42~60dB $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 42~72dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 2~92dB $\mu$ V/m의 폭넓은 분포를 보이고 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-8 473MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교



(a) P.1546-14

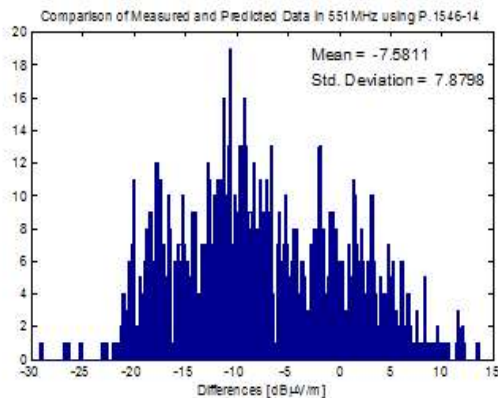
(b) BCAST

그림 4-9 473MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

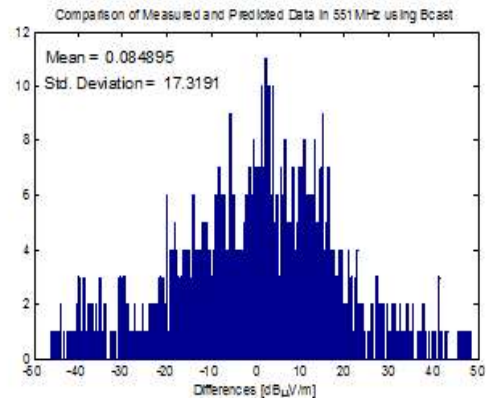
좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-9에 나타내었다. 이로부터 BCAST 모델이 실측치에 비해 전계강도 분포가 폭 넓게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-10의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 표준편차가 P.1546 모델은 7.9인 반면, BCAST 모델은 17.3으로 오차편차가 매우 크다는 점을 알 수 있다. 한편 오차평균은 BCAST 모델이 0.09로 상하 오차의 중심에 놓이나 P.1546



모델은 -7.6으로 실측치보다 좀 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-11의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선 오른쪽으로 치우쳐 있지만, BCAST 모델은 좌우로 균등하게 분포되고 있다.

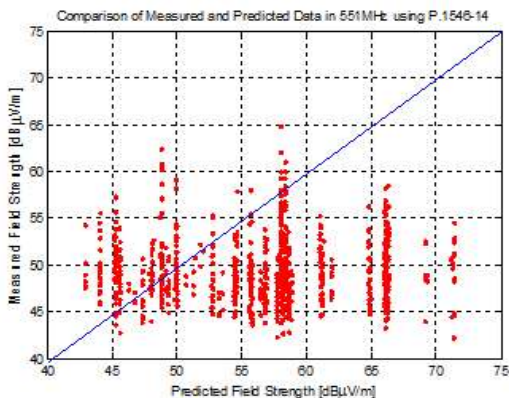


(a) P.1546-14

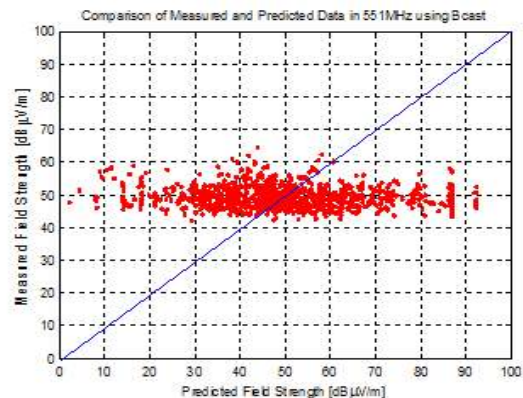


(b) BCAST

그림 4-10 473MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



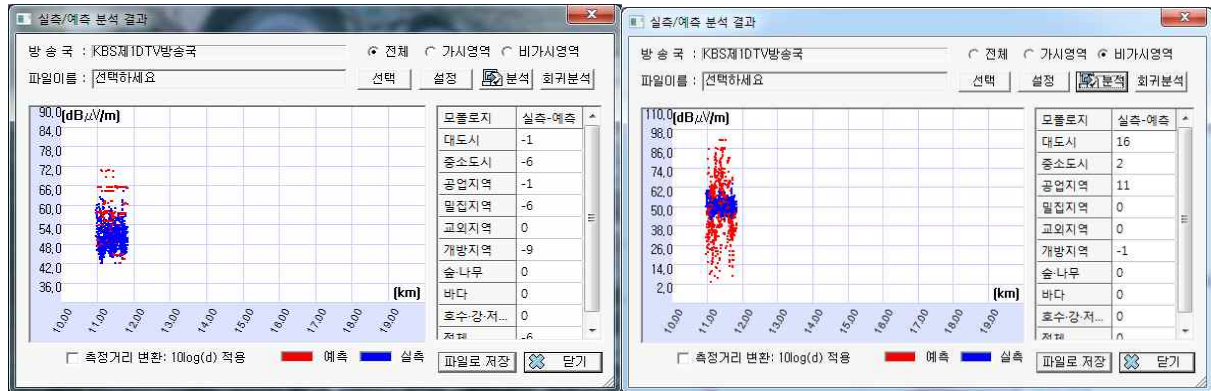
(b) BCAST

그림 4-11 473MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

### 1.3 479MHz KBS 제1 DTV 방송 서비스

그림 4-12는 KBS 제1 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 479MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 473MHz 주파수와 마찬가지로 실측치는 42~60dBμV/m 분포에 대해, P.1546 모델은 42~72dBμV/m, BCAST 모델은 2~92dBμV/m의 폭넓은 분포를 보이고 있다. 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-13에 나타내었다. 이로부터 BCAST 모델이 실측치에 비해 전계강도 분포가 폭 넓게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-14의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 표준편차가 P.1546 모델은 8.0인 반면, BCAST 모델은 17.5로 오차편차가 매

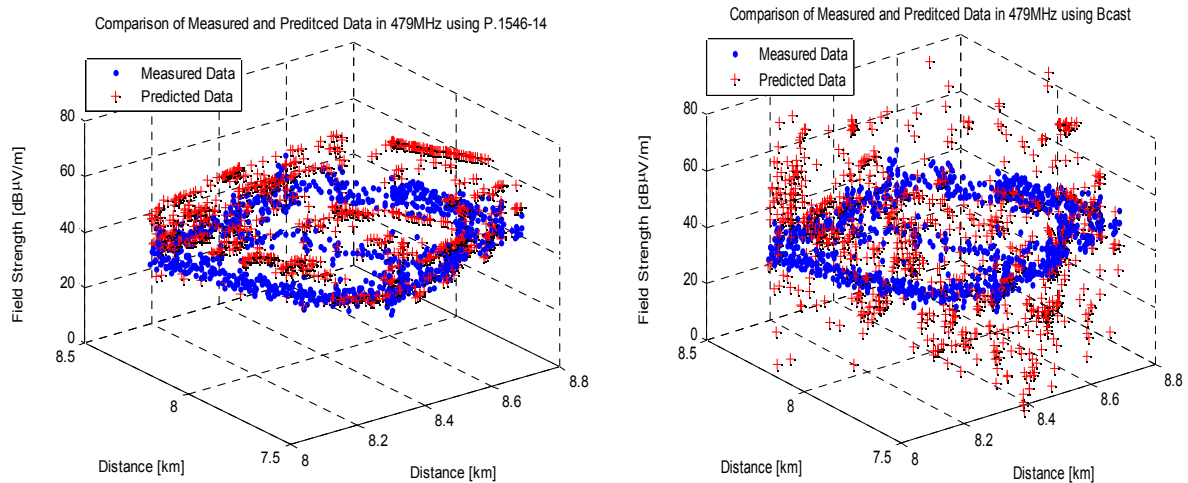
우 크다는 점을 알 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

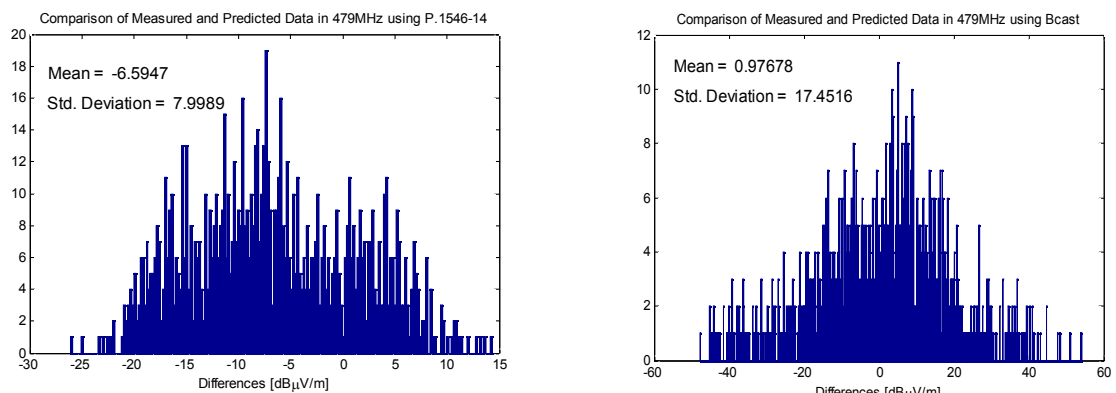
그림 4-12 479MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-13 479MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

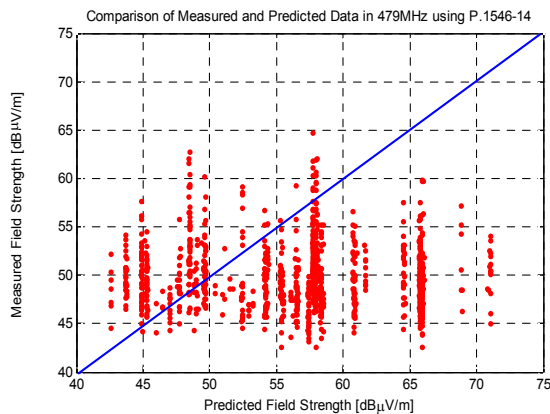


(a) P.1546-14

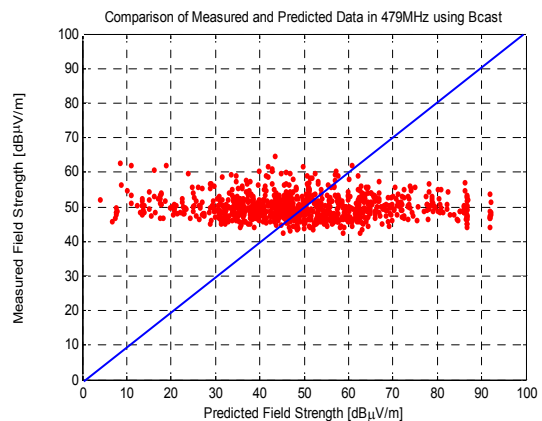
(b) BCAST

그림 4-14 479MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포

한편 오차평균은 BCAST 모델이 0.98로 상하 오차의 중심에 놓이나 P.1546 모델은 -6.6으로 실측치보다 좀 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-15의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선 오른쪽으로 치우쳐 있지만, BCAST 모델은 좌우로 균등하게 분포되고 있다.



(a) P.1546-14

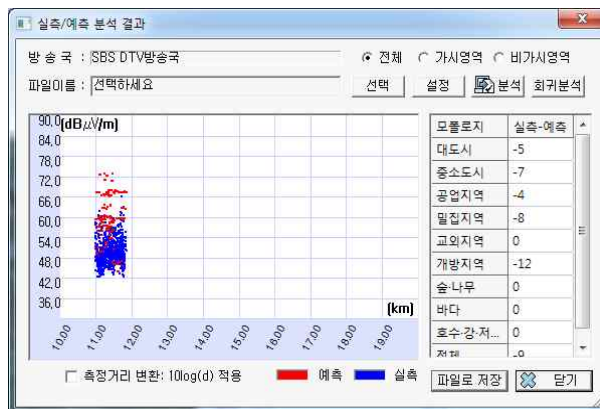


(b) BCAST

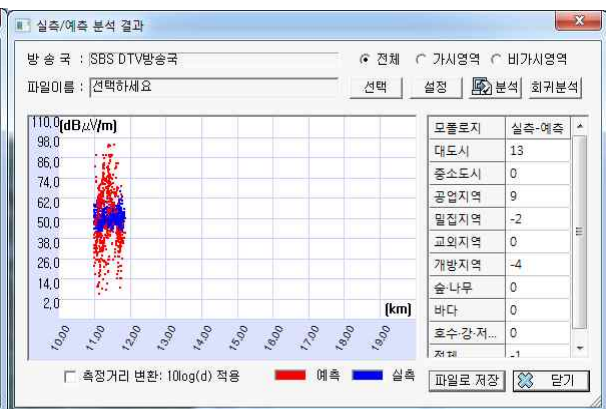
그림 4-15 479MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

#### 1.4 485MHz SBS DTV 방송 서비스

그림 4-16는 SBS DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간율 및 공간율 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 485MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 42~60dB $\mu$ V/m 분포에 대해, 473MHz 주파수 보다 조금 높게 P.1546 모델은 42~74dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 2~96dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



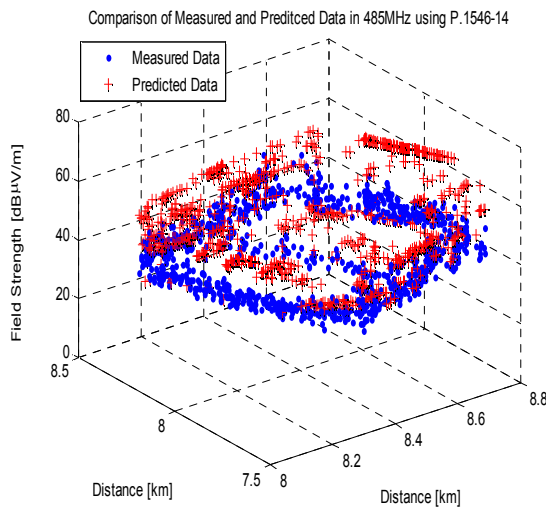
(a) P.1546-14



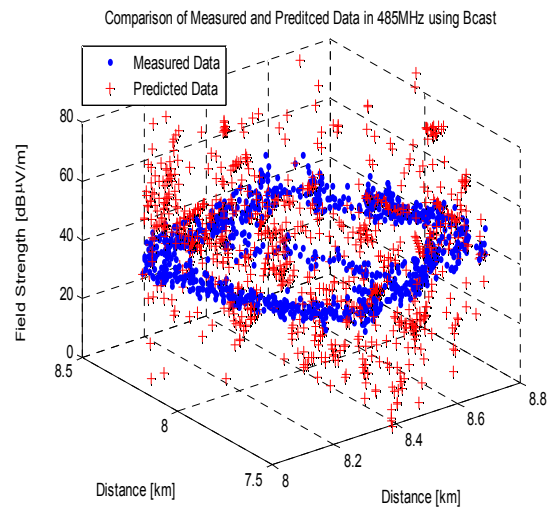
(b) BCAST

그림 4-16 485MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-17에 나타내었다. 이로부터 BCAST 모델이 실측치에 비해 전계강도 분포가 폭 넓게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-18의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 표준편차가 P.1546 모델은 7.9인 반면, BCAST 모델은 17.3으로 오차편차가 매우 크다는 점을 알 수 있다. 한편 오차평균은 BCAST 모델이 -1.3으로 상하 오차의 중심에 놓이나 P.1546 모델은 -9.2로 실측치보다 좀 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-19의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선 오른쪽으로 치우쳐 있지만, BCAST 모델은 좌우로 균등하게 분포되고 있다.

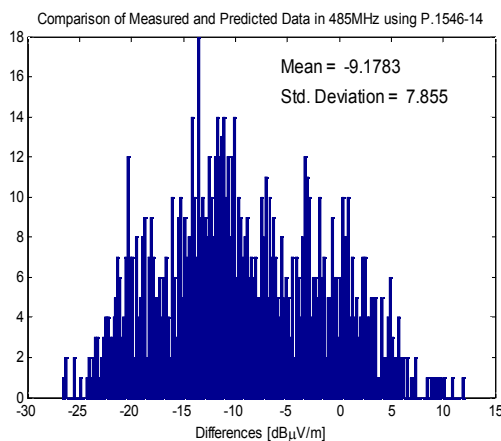


(a) P.1546-14

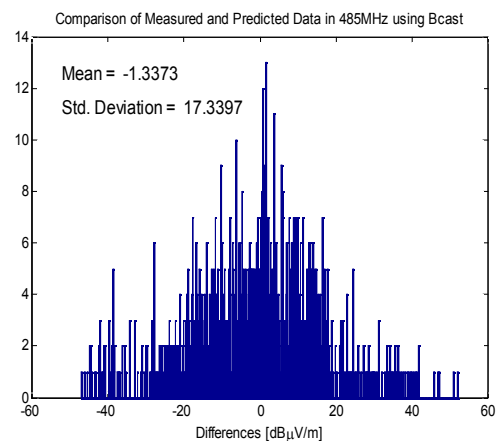


(b) BCAST

그림 4-17 485MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

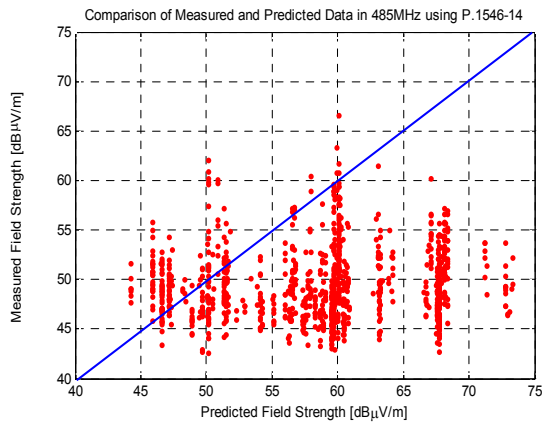


(a) P.1546-14

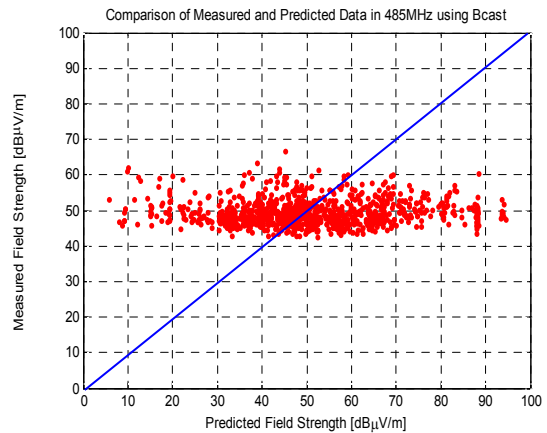


(b) BCAST

그림 4-18 485MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

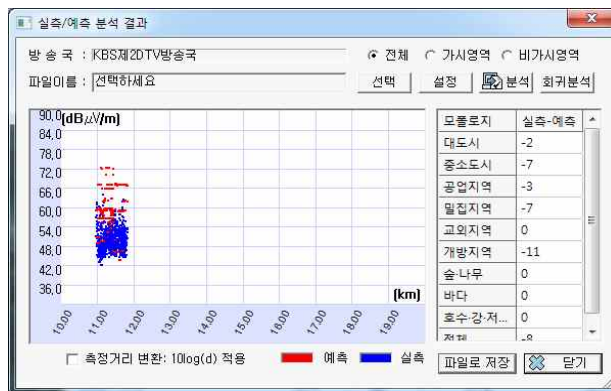


(b) BCAST

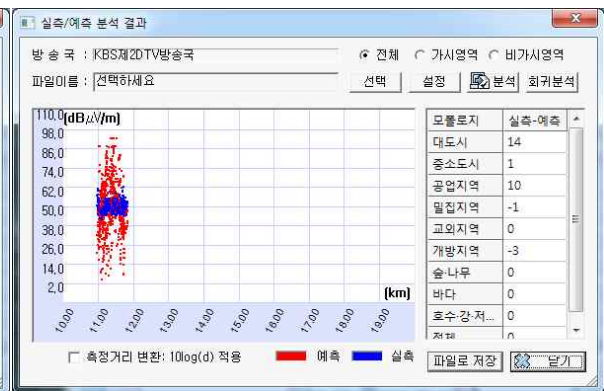
그림 4-19 485MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

### 1.5 491MHz KBS 제2 DTV 방송 서비스

그림 4-20은 KBS 제2 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 491MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 42~60dB $\mu$ V/m 분포에 대해, 473MHz 주파수 보다 조금 높게 P.1546 모델은 42~74dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 2~96dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



(a) P.1546-14



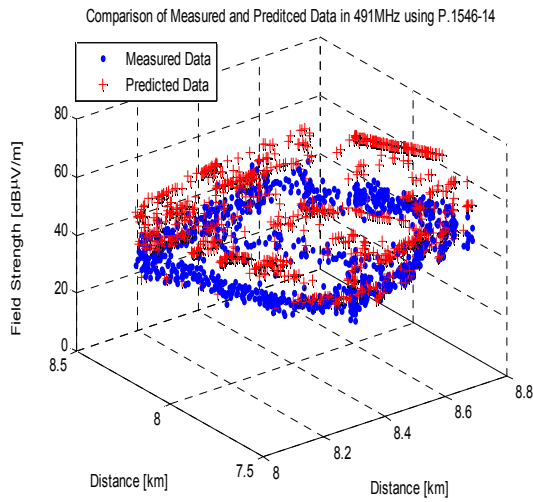
(b) BCAST

그림 4-20 491MHz에서 코엑스지역 SMIS 실측/예측 데이터 비교

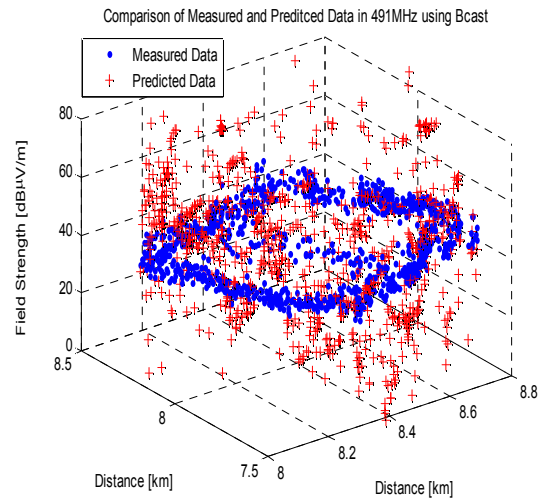
좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-21에 나타내었다. 이로부터 BCAST 모델이 실측치에 비해 전계강도 분포가 폭 넓게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-22의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 표준편차가 P.1546 모델은 7.8인 반면, BCAST 모델은 17.6으로 오차편차가 매우 크다는 점을 알 수



있다.

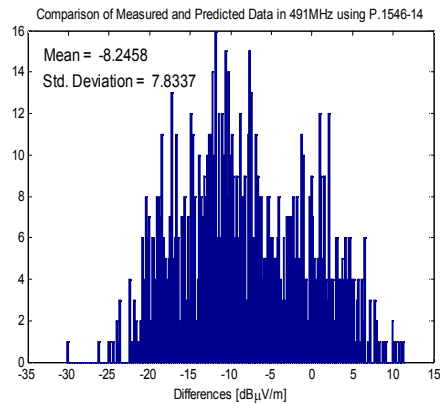


(a) P.1546-14

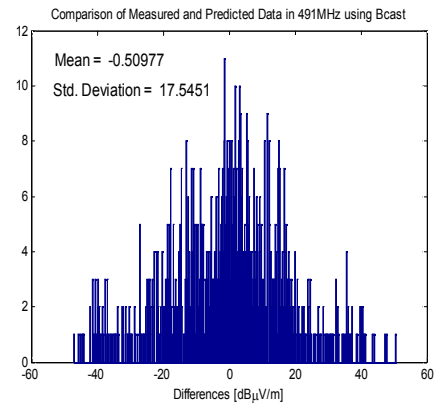


(b) BCAST

그림 4-21 491MHz에서 거리에 따른 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

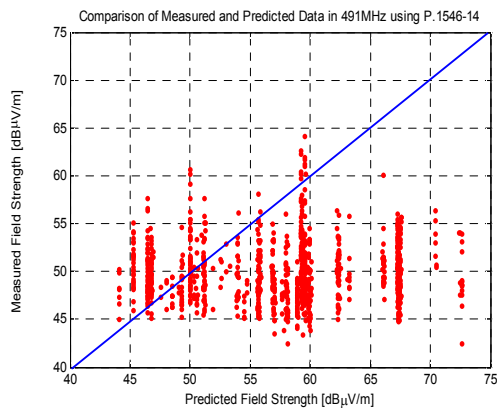


(a) P.1546-14

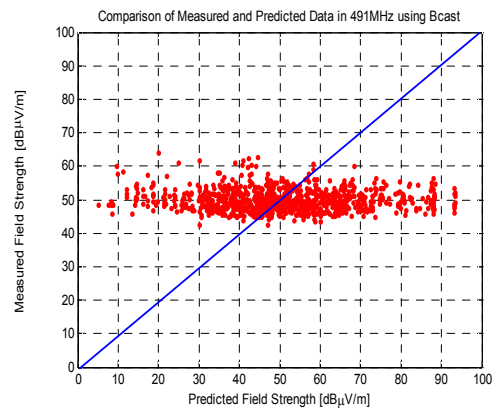


(b) BCAST

그림 4-22 491MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-23 491MHz에서 코엑스지역 실측/예측 전계강도 분포

한편 오차평균은 BCAST 모델이 -0.51로 상하 오차의 중심에 놓이나 P.1546 모델은 -7.84로 실측치보다 좀 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-23의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선 오른쪽으로 치우쳐 있지만, BCAST 모델은 좌우로 균등하게 분포되고 있다.

## 1.6 분석결과

표 4-1은 코엑스 지역에서 전파측정이 가능한 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구한 결과이다. P.1546 모델의 오차 평균은 최저 -6.6에서 -9.18로 모든 주파수에서 약간 높게 측정된 결과를 보인다. 한편, BCAST 모델의 오차평균은 -1.34~0.09로 중심 근처에서 예측이 되고 있으나, 표준편차가 주파수에 따라 17.3~17.6으로 실측치 보다는 큰 예측오차를 나타내고 있어 향후 이의 문제점 분석 및 검토가 필요하다. 이에 반해 P.1546 모델의 표준편차는 7.83~8.0으로 BCAST 표준편차에 비해 60% 이상 감소한 형태로 측정된 방송 주파수에 대해 대체로 양호한 예측값을 제공하고 있다.

표 4-1 코엑스지역 실측/예측 오차 평균 및 표준편차

		MBC DTV (473MHz)		KBS 제1 DTV (479MHz)		SBS DTV (485MHz)		KBS 제2 DTV (491MHz)	
		Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
ALL	P.1546	-7.58	7.88	-6.60	8.00	-9.18	7.86	-8.25	7.83
	BCAST	0.09	17.3	-0.98	17.5	-1.34	17.3	-0.51	17.6

## 2. 중소도시 지역

### 2.1 측정루트 및 스펙트럼

그림 4-24에 GPS 수신에 의해 전주시 전북도청 부근의 측정루트를 표시하고 있으며, 현재 이 지역은 사진에서 보는 이미지와 달리 4-5층 건물의 주거단지와 아파트, 전북도청 등 관공서로 이루어진 중소도시의 전형적인 계획지구이다. 좀 더 정확한 전계강도 예측을 위해서는 최신의 GIS 데이터 정보가 필요하지만, 현재의 SMIS 분석의 한계를 보여주고 있다. 그림 4-25에는 모악산 중계소로부터의 수신되는 전계강도 측정의 예를 보인다. 이 지역의 전파환경은 전북도청과 같은 높은 건물에 의한 감쇠의 NLOS 환경과 4-5층 건물 및 아파트 부분적 LOS 전파환경

이 공존하는 지역으로 그림 4-25에서와 같이 최대 최저 수신 전계강도 차는 약 50dB $\mu$ V/m를 보이고 있다. 본 측정에서는 모악산 중계소로부터 수신되는 551MHz KBS 전주 제1 DTV, 587MHz JTV DTV, 635MHz MBC 전주 DTV, 653MHz KBS 제2 DTV, 665MHz EBS DTV의 5개 방송서비스에 대해 도로를 따라 차량으로 이동하면서 측정을 수행하였다.



그림 4-24 전주지역 측정 루트

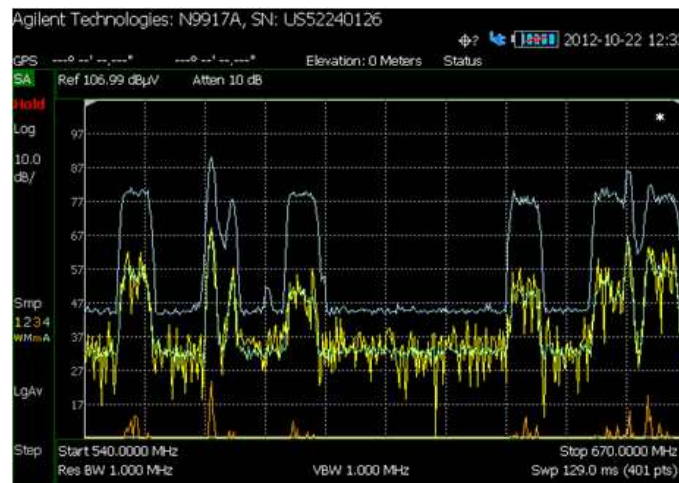


그림 4-25 전주지역 측정 스펙트럼 예

## 2.2 551MHz KBS 전주 제1 DTV 방송 서비스

### (1) 전체

그림 4-26은 KBS 전주 제1 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간율 및 공간율 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을



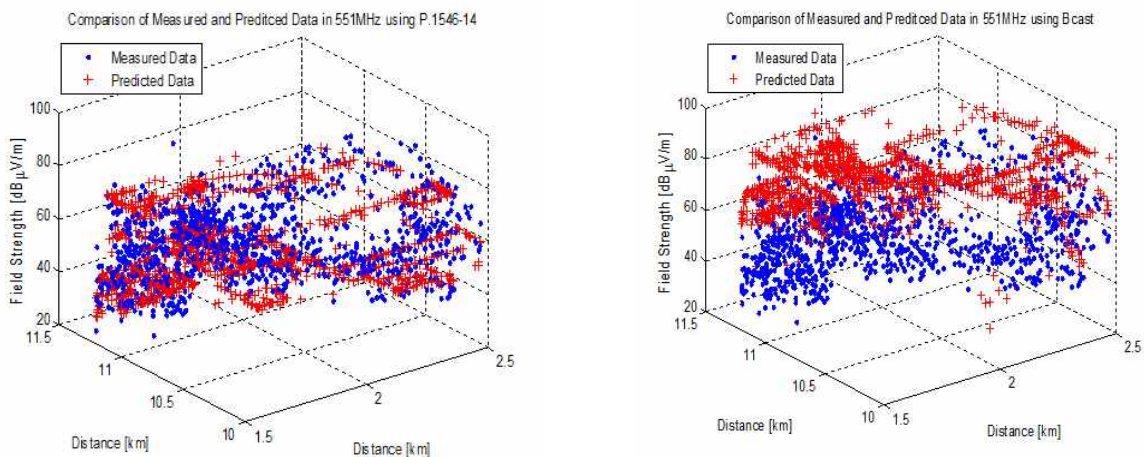
때, 551MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~94dB $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 46~78dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 28~97dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다. 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-27에 나타내었다. 이로부터 P.1546 모델의 예측치는 실측치와 대부분 겹치고 있으나, BCAST 모델이 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 아주 높게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-28의 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 0.91로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -21.14로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 모델의 9.86에 비해, BCAST 모델은 11.2로 오차편차가 약간 크다는 점을 알 수 있다. 한편 이는 그림 4-29의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른 쪽에 치우치고 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-26 551MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

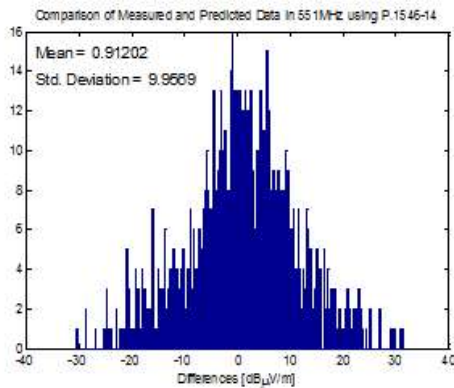
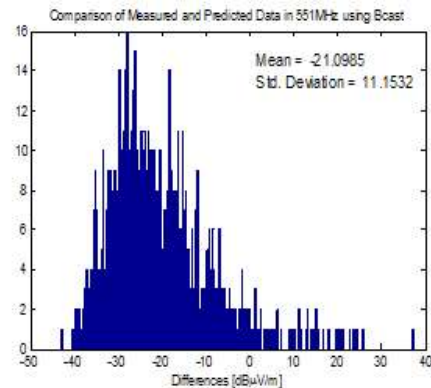
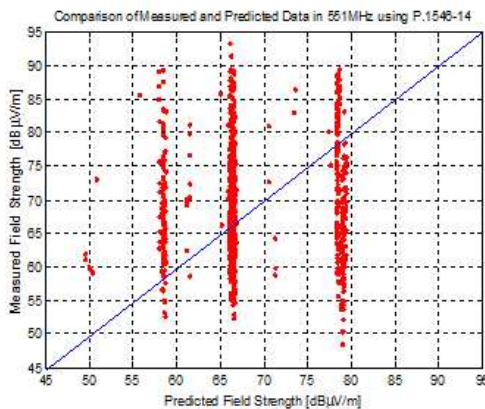


그림 4-27 551MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포  
(a) P.1546-14

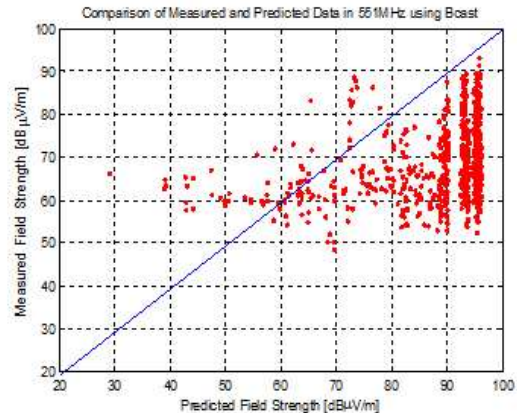


(b) BCAST

그림 4-28 551MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-29 551MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

그림 4-30은 SMIS 시스템에서 551MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-31에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-32에서 알 수 있듯이 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 2.04 및 -24.1의 결과를 보이며, 표준편차는 각각 9.6 및 7.8로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-33의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른 쪽에 분포하고 있어 SMIS 데이터 중 아직 GIS 건물을 반영하지 못

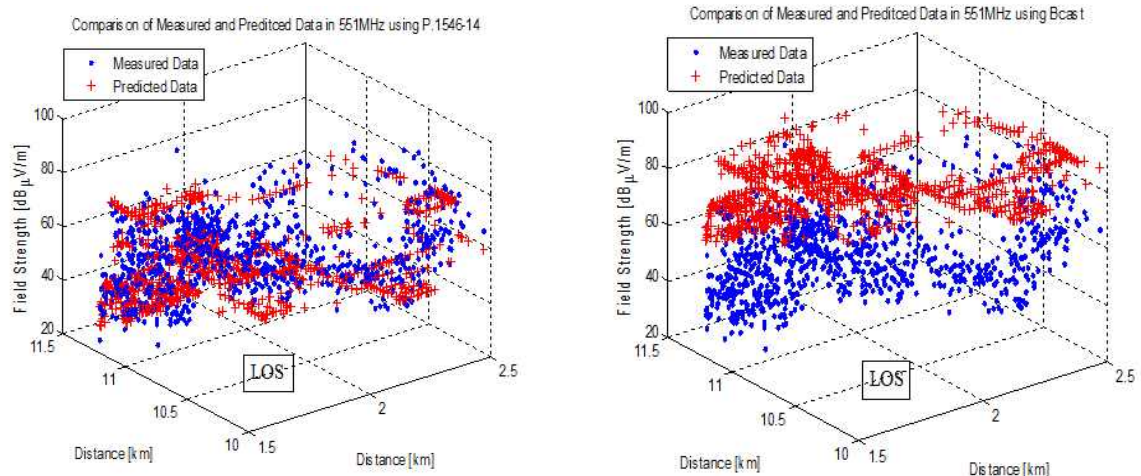
한 결과로 볼 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

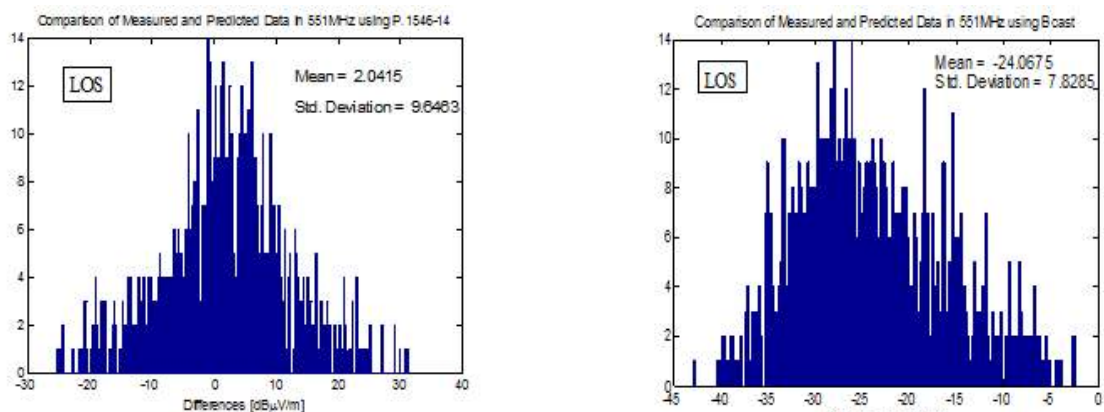
그림 4-30 551MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-31 551MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

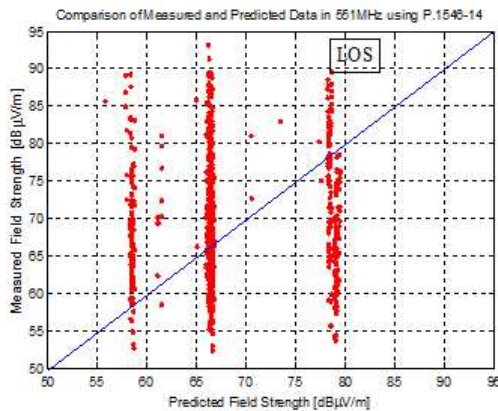


(a) P.1546-14

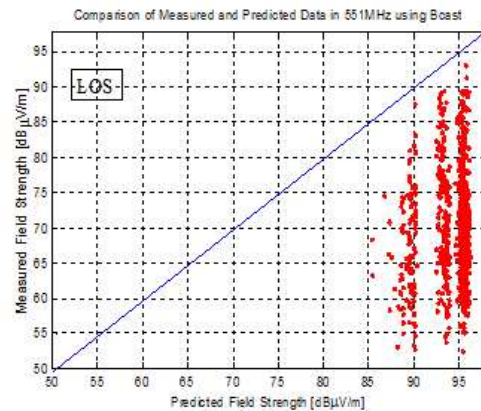
(b) BCAST

그림 4-32 551MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포





(a) P.1546-14

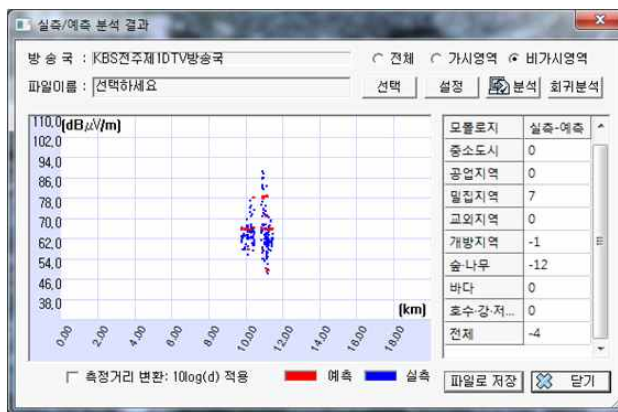


(b) BCAST

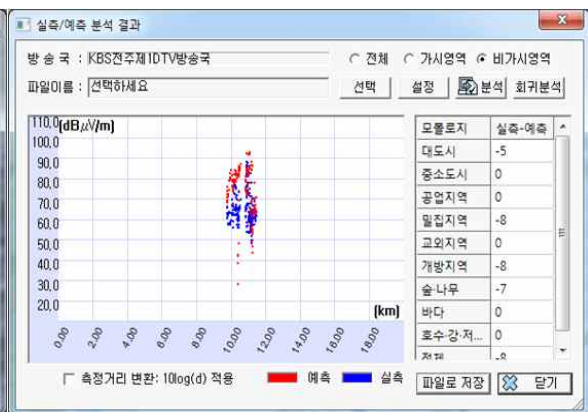
그림 4-33 551MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

그림 4-34는 SMIS 시스템에서 551MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치와 유사하게 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 약간 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-35에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델 및 BCAST 모델 모두 예측치는 실측치와 유사한 분포를 보이지만, 그림 4-36의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -4.8 및 -8.2의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 약간 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 4dBμV/m 더 높게 예측되고 있다.

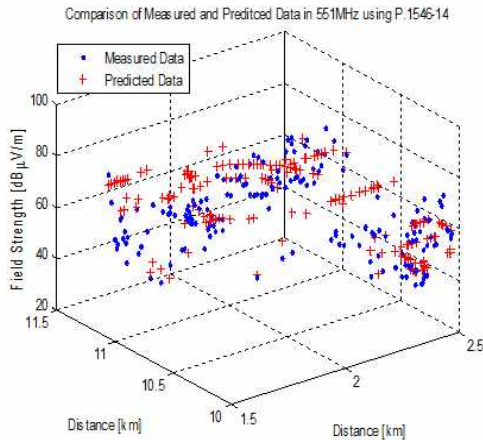


(a) P.1546-14

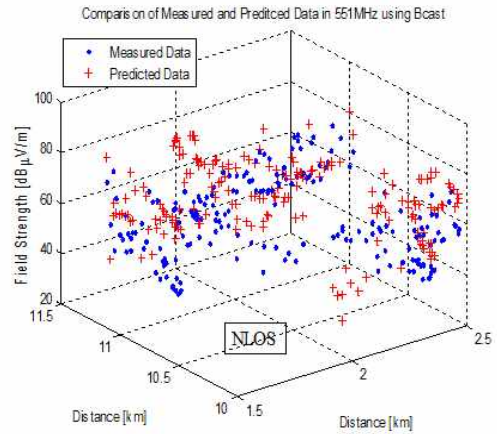


(b) BCAST

그림 4-34 551MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교

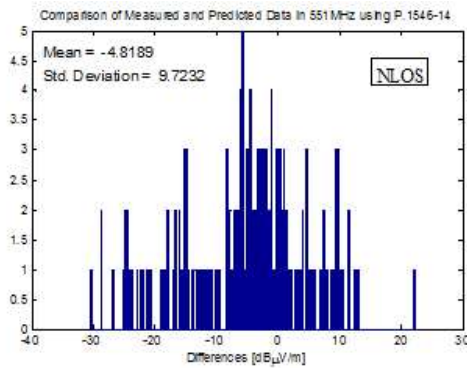


(a) P.1546-14

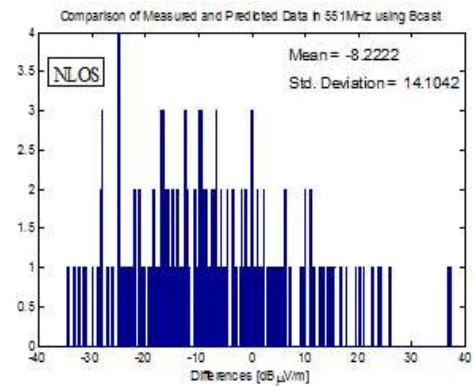


(b) BCAST

그림 4-35 551MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

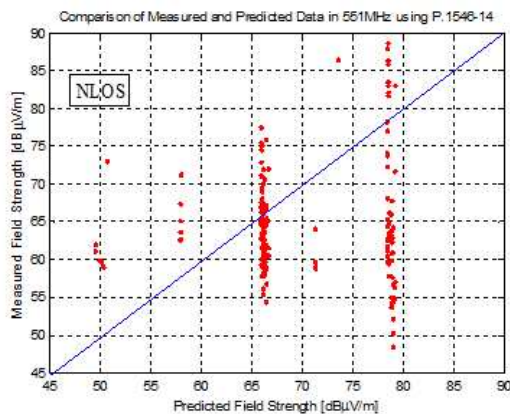


(a) P.1546-14

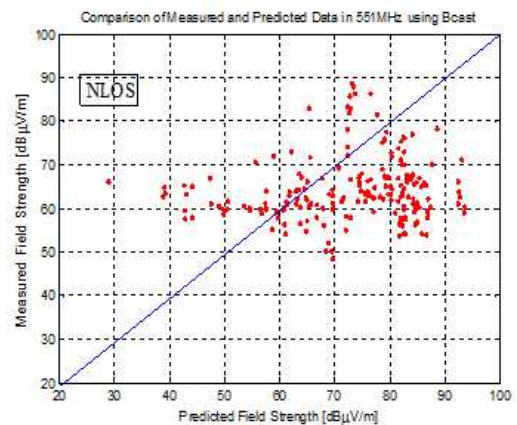


(b) BCAST

그림 4-36 551MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-37 551MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

한편, 표준편차는 각각 9.7 및 14.1로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-37의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 모델은 대각선의

상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 대각선 좌우 분포를 보이지만, 모두 대각선 중심으로 분포되고 있음을 알 수 있다.

## 2.3 587MHz JTV DTV 방송 서비스

### (1) 전체

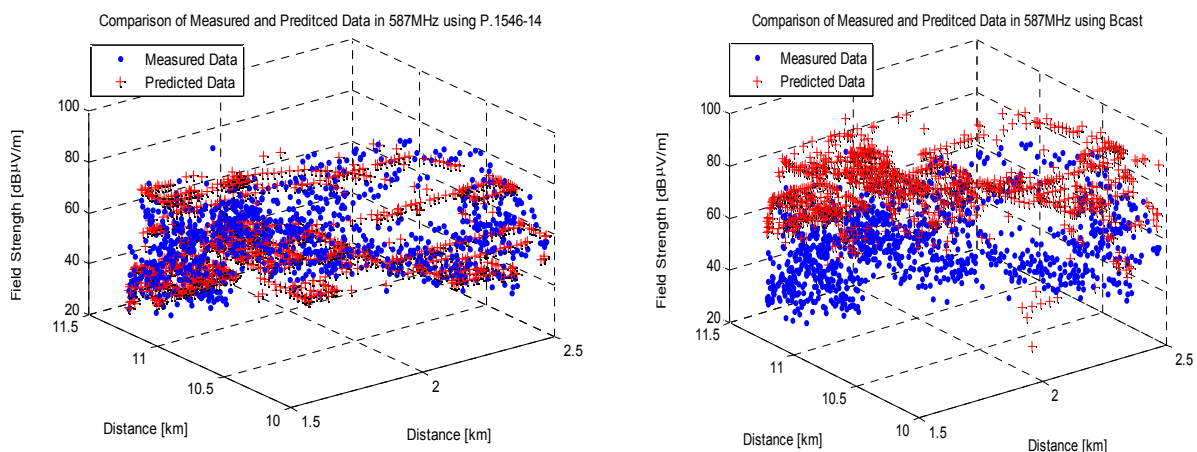
그림 4-38은 JTV DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간율 및 공간율 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 587MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 48~94dB  $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 48~80dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 25~97dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-38 587MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

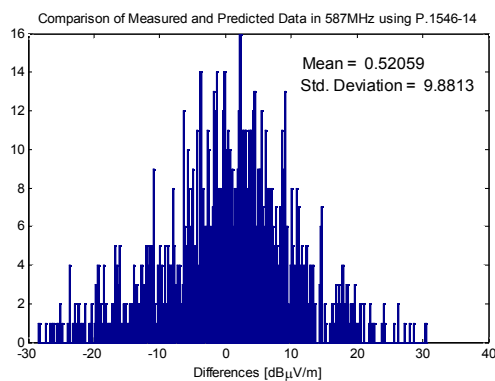


(a) P.1546-14

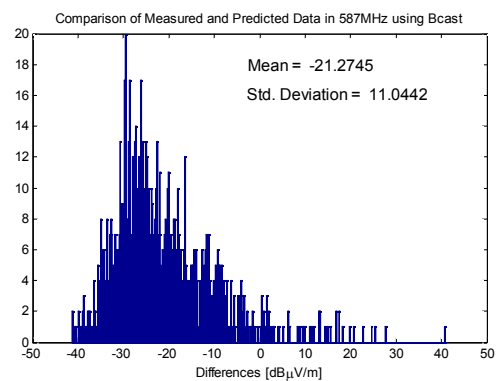
(b) BCAST

그림 4-39 587MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-39에 나타내었다. 이로부터 P.1546모델의 예측치는 실측치와 상당히 겹치고 있으나, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 대부분 높게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-40의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 0.52로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -21.3으로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 9.88, 11.0으로 유사하지만, BCAST 모델의 편차가 좀 더 심하다. 그림 4-41의 실측/예측 전계강도 분포에서도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 오른 쪽에 대부분 분포하고 있다.

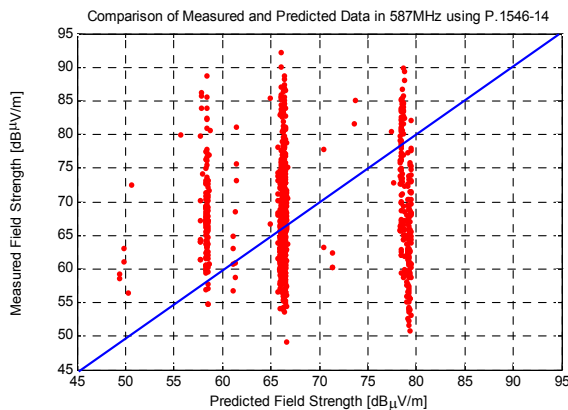


(a) P.1546-14

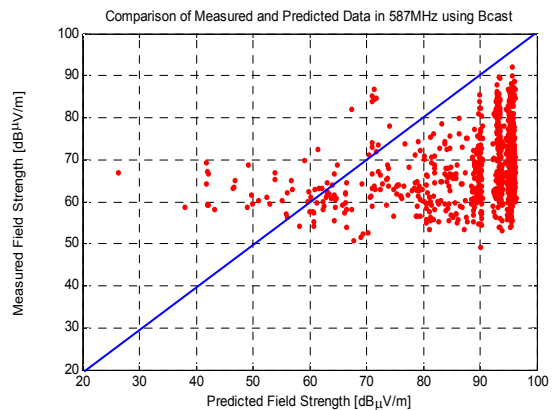


(b) BCAST

그림 4-40 587MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-41 587MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

그림 4-42는 SMIS 시스템에서 587MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보



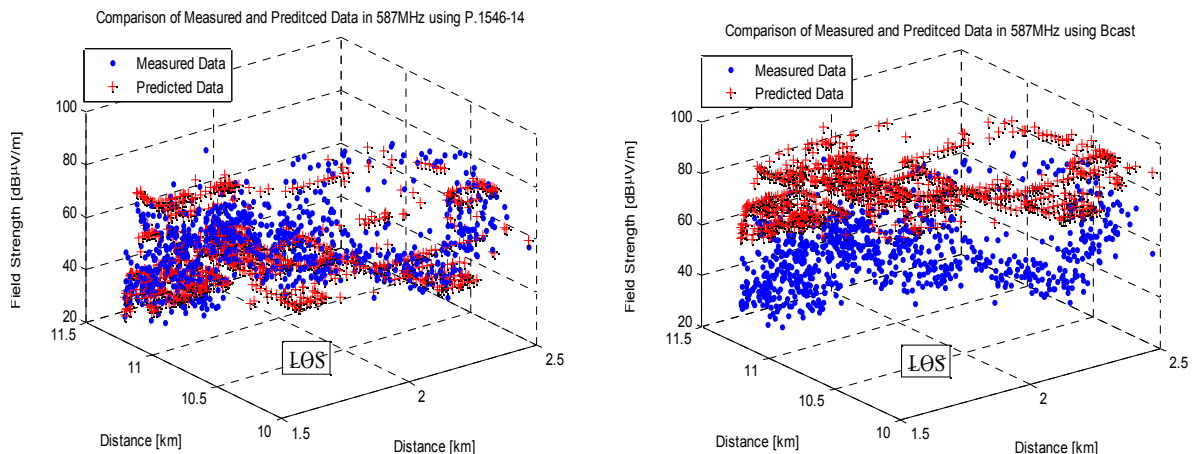
다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-43에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-44에서 알 수 있듯이 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 1.73 및 -24.4의 결과를 보이며, 표준편차는 각각 9.6 및 7.6으로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-45의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른 쪽에 분포하고 있어 SMIS 데이터 중 아직 GIS 건물을 반영하지 못한 결과로 볼 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-42 587MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교

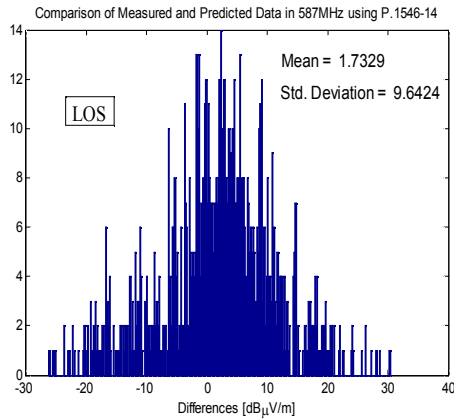


(a) P.1546-14

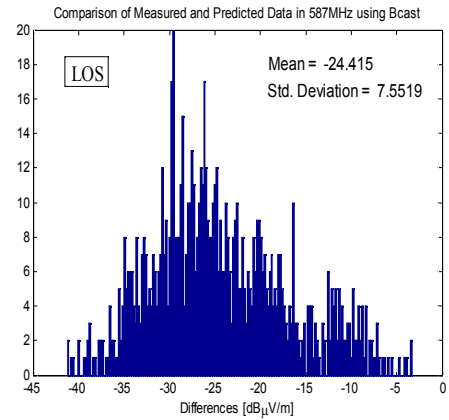
(b) BCAST

그림 4-43 587MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포



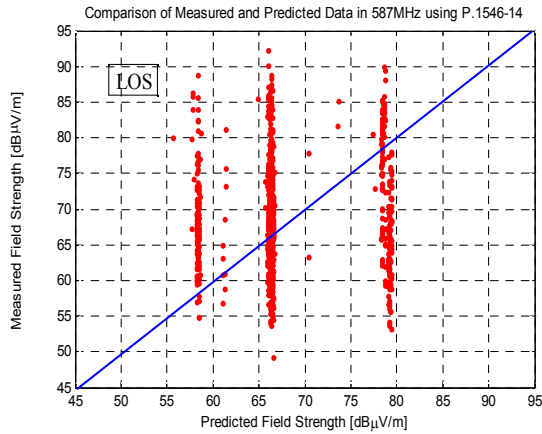


(a) P.1546-14

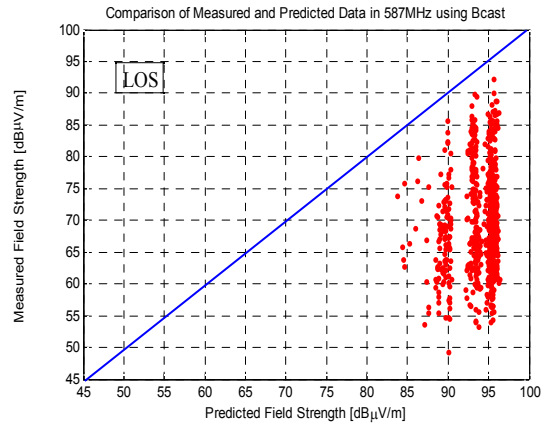


(b) BCAST

그림 4-44 587MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-45 587MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

그림 4-46은 SMIS 시스템에서 587MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치와 유사하게 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 약간 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-47에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델 및 BCAST 모델 모두 예측치는 실측치와 유사한 분포를 보이지만, 그림 4-48의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -5.2 및 -8.2의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 약간 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 3dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.1 및 13.6으로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차

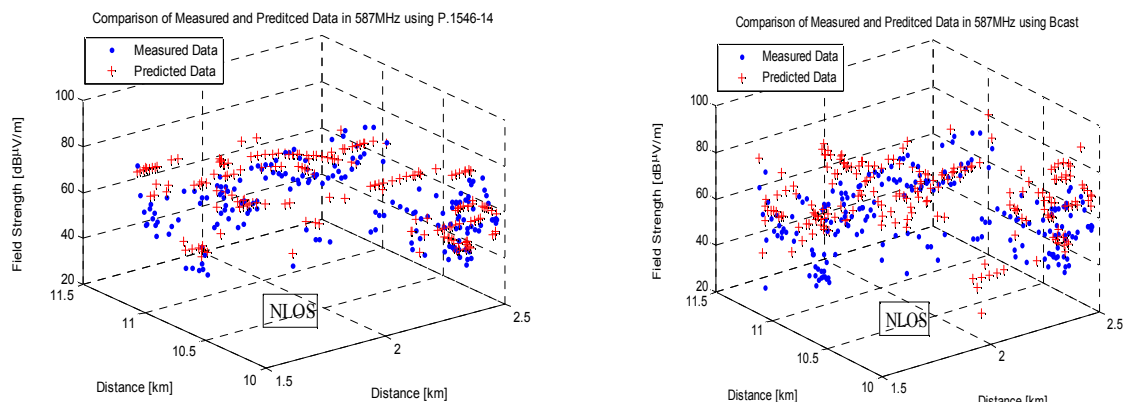
가 심한 편이다. 그림 4-49의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 대각선 좌우 분포를 보이지만, 모두 대각선 중심으로 분포되고 있음을 알 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

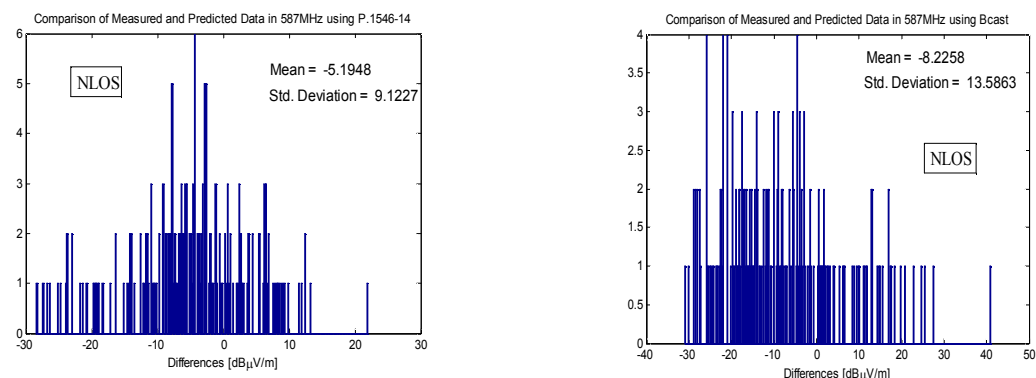
그림 4-46 587MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

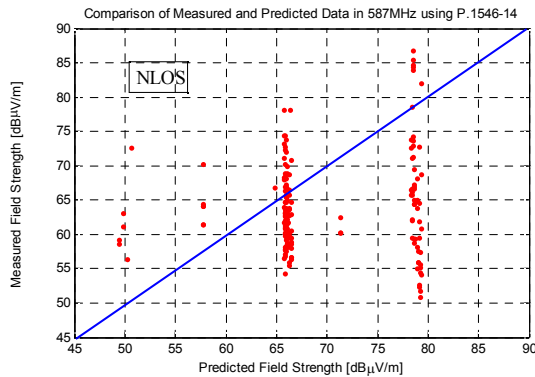
그림 4-47 587MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포



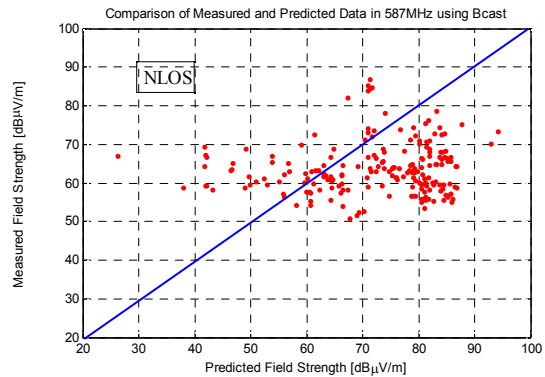
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-48 587MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-49 587MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

## 2.4 635MHz MBC 전주 DTV 방송 서비스

### (1) 전체

그림 4-50은 MBC 전주 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간율 및 공간율 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 635MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~91dB  $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 49~80dB  $\mu$ V/m, BCAST 모델은 22~97dB  $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



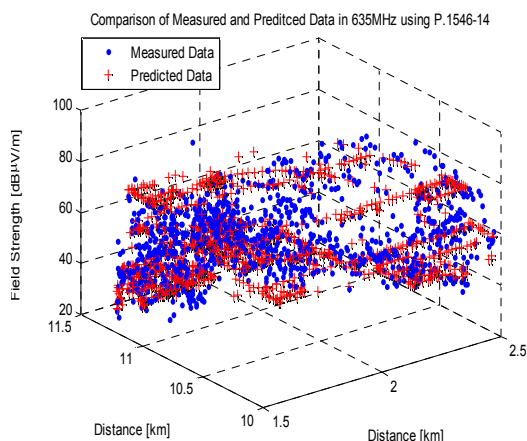
(a) P.1546-14

(b) BCAST

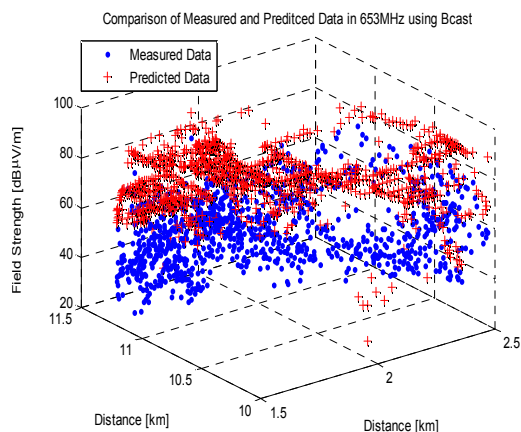
그림 4-50 635MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-51에 나타내었다. 이로부터 P.1546모델의 예측치는 실측치와 상당히 겹치고 있으나, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 대부분 높게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-52의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이

0.69로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -21.7로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 9.62, 11.39로 유사하지만, BCAST 모델의 편차가 좀 더 심하다. 그림 4-53의 실측/예측 전계강도 분포에서도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 오른 쪽에 대부분 분포하고 있다.

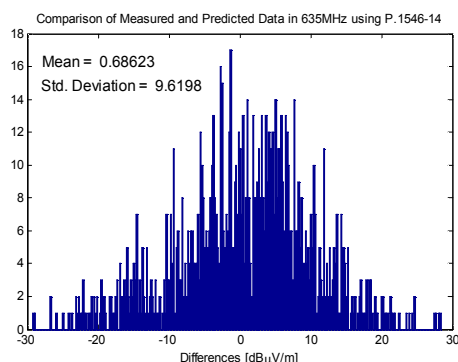


(a) P.1546-14

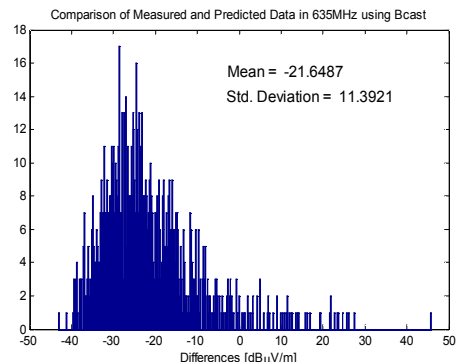


(b) BCAST

그림 4-51 635MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

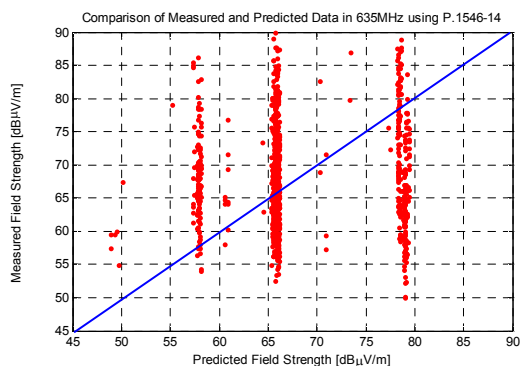


(a) P.1546-14

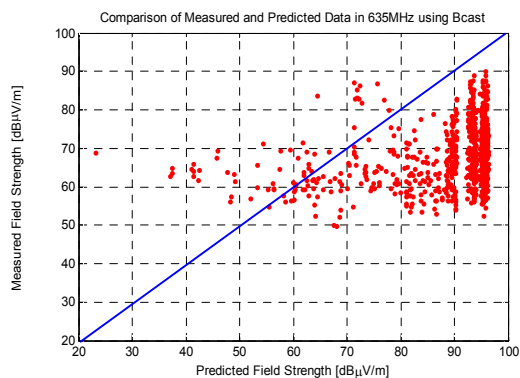


(b) BCAST

그림 4-52 635MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-53 635MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

그림 4-54는 SMIS 시스템에서 635MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-55에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-56에서 알 수 있듯이 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 1.73 및 -24.9의 결과를 보이며, 표준편차는 각각 9.3 및 7.4로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-57의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른 쪽에 분포하고 있어 SMIS 데이터 중 아직 GIS 건물을 반영하지 못한 결과로 볼 수 있다.

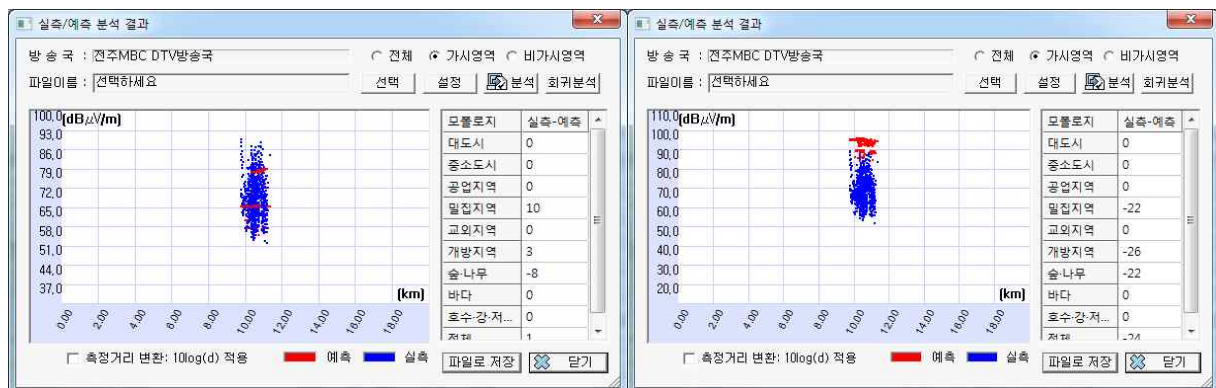


그림 4-54 635MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교

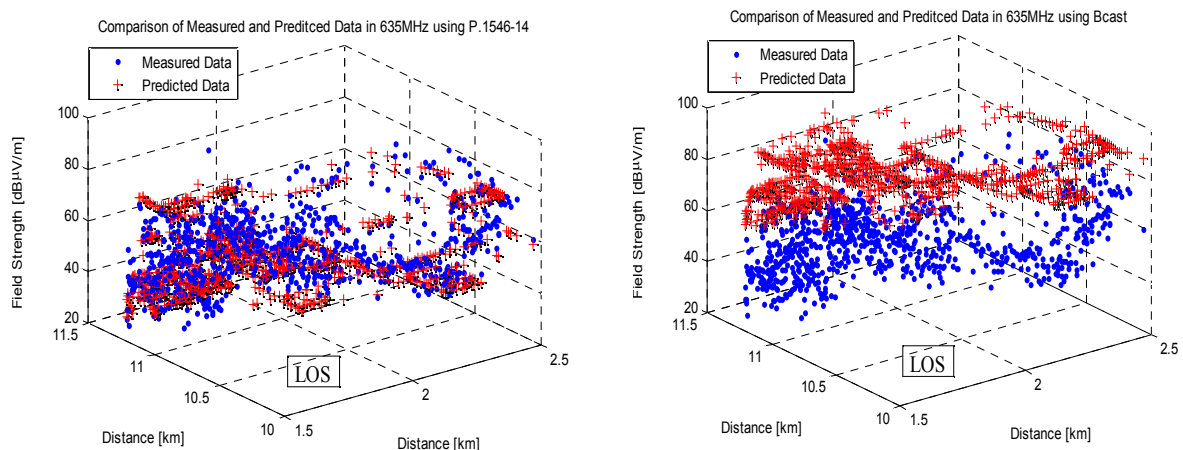
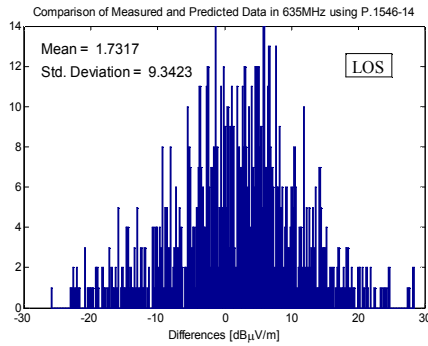
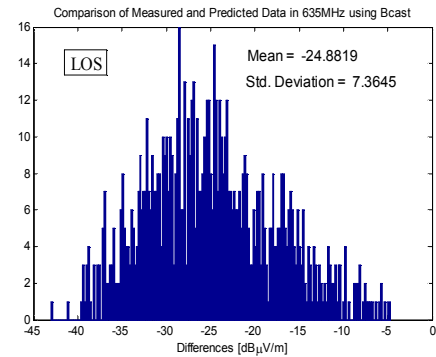


그림 4-55 635MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

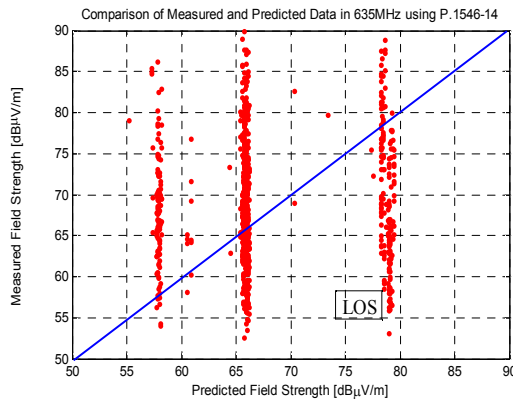


(a) P.1546-14

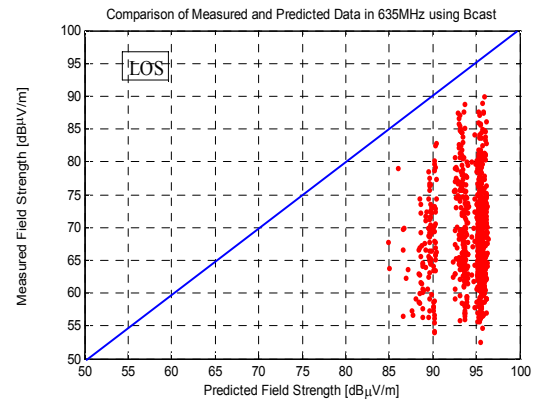


(b) BCAST

그림 4-56 635MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-57 635MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

그림 4-58은 SMIS 시스템에서 635MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치와 유사하게 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 약간 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-59에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델 및 BCAST 모델 모두 예측치는 실측치와 유사한 분포를 보이지만, 그림 4-60의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -4.6 및 -7.6의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 약간 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 3dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.46 및 14.9로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-61의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 대각선 좌우 분포를 보이지만, 모



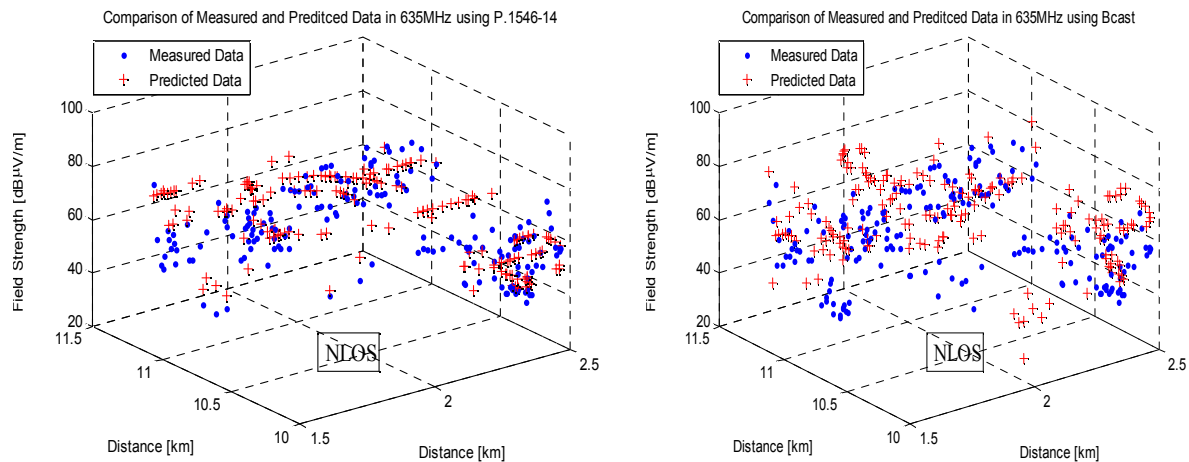
두 대각선 중심으로 분포되고 있음을 알 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

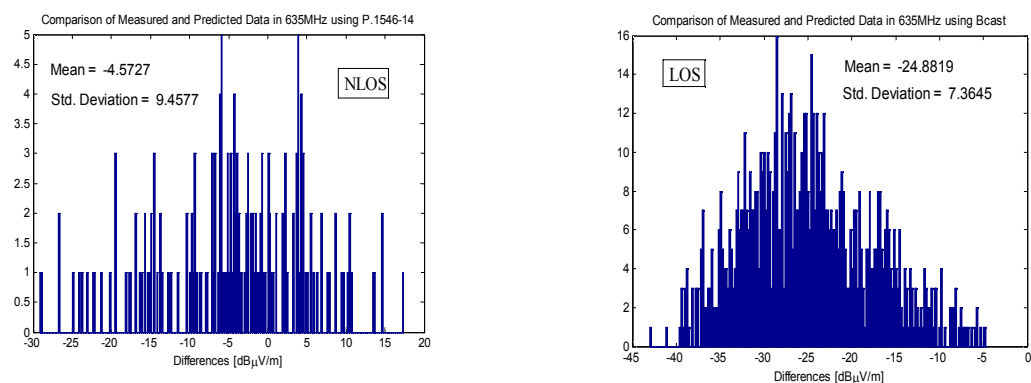
그림 4-58 635MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

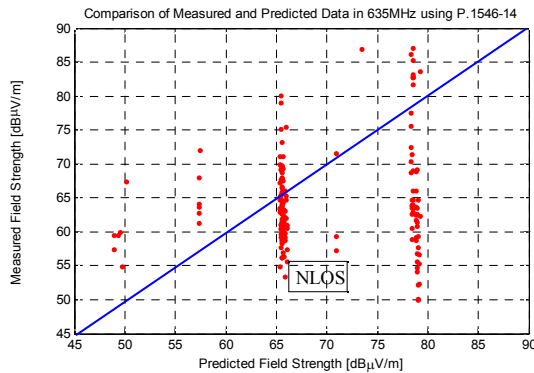
그림 4-59 635MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포



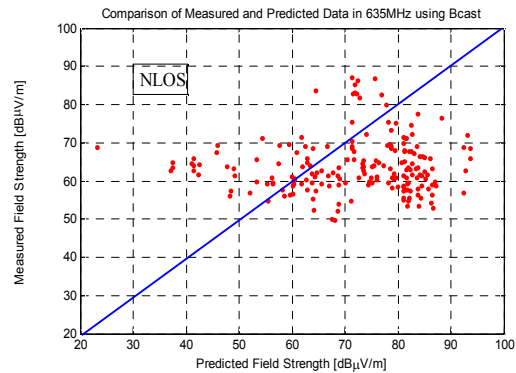
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-60 635MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



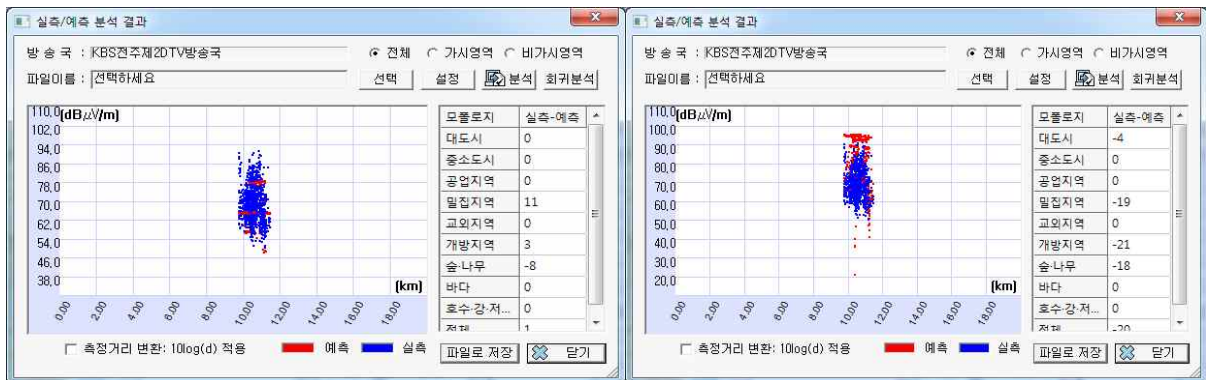
(b) BCAST

그림 4-61 635MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

## 2.5 653MHz KBS 전주 제2 DTV 방송 서비스

### (1) 전체

그림 4-62는 KBS 전주 제2 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 653MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~92dBμV/m 분포에 대해, P.1546 모델은 49~80dBμV/m, BCAST 모델은 20~97dBμV/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



(a) P.1546-14

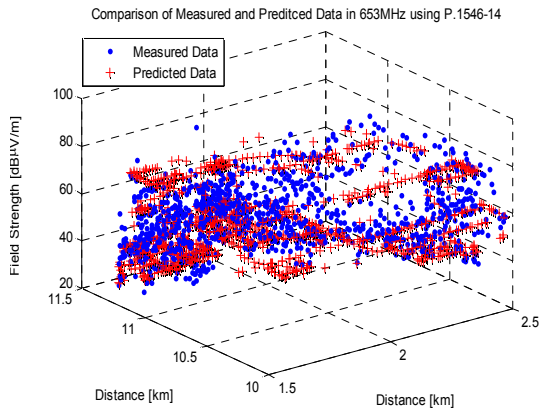
(b) BCAST

그림 4-62 653MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

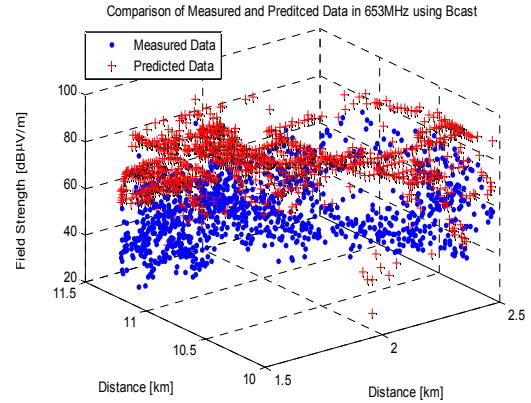
좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-63에 나타내었다. 이로부터 P.1546모델의 예측치는 실측치와 상당히 겹치고 있으나, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 대부분 높게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-64의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 1.9로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -20.5로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있



다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 9.97, 11.3으로 유사하지만, BCAST 모델의 편차가 좀 더 심하다. 그림 4-65의 실측/예측 전계강도 분포에서도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 오른쪽에 대부분 분포하고 있다.

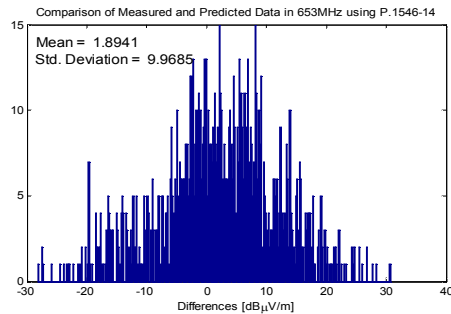


(a) P.1546-14

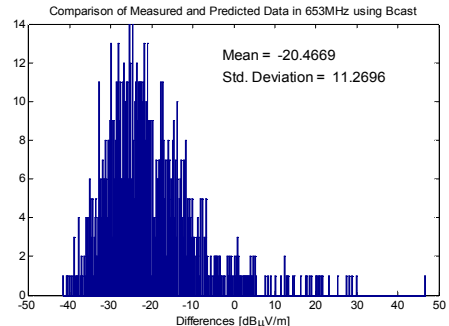


(b) BCAST

그림 4-63 653MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

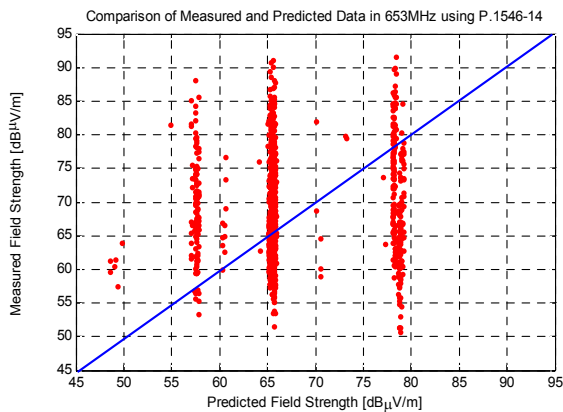


(a) P.1546-14

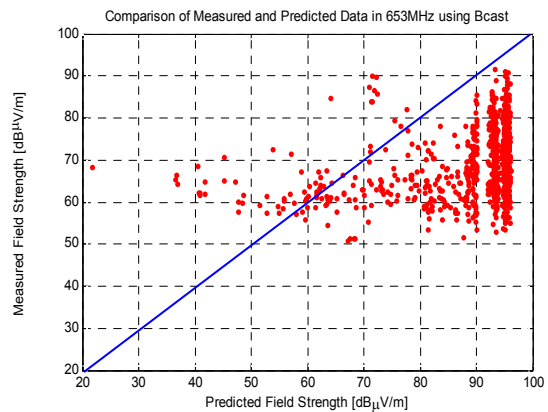


(b) BCAST

그림 4-64 653MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-65 653MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

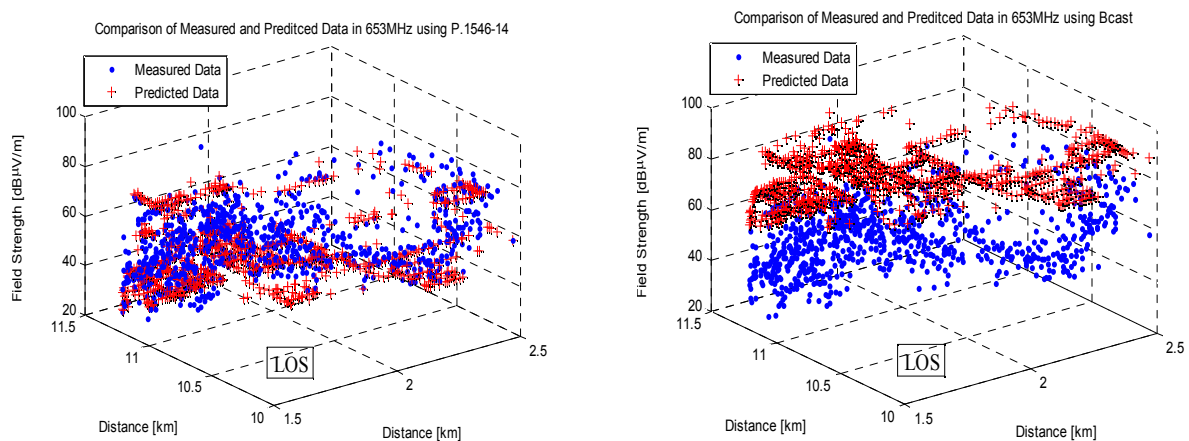
그림 4-66은 SMIS 시스템에서 653MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-67에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-68에서 알 수 있듯이 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 3.08 및 -23.6의 결과를 보이며, 표준편차는 각각 9.68 및 7.47로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-69의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른 쪽에 분포하고 있어 SMIS 데이터 중 아직 GIS 건물을 반영하지 못한 결과로 볼 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

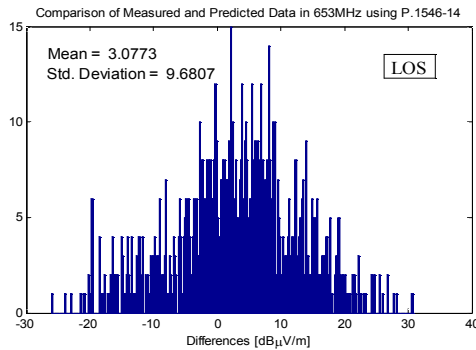
그림 4-66 653MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교



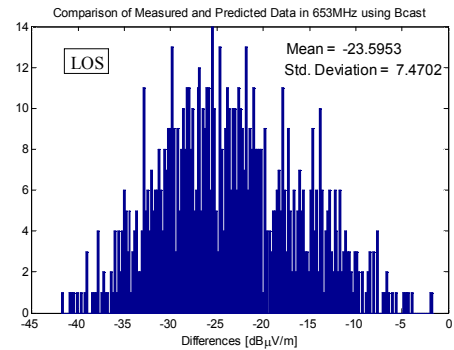
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-67 653MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

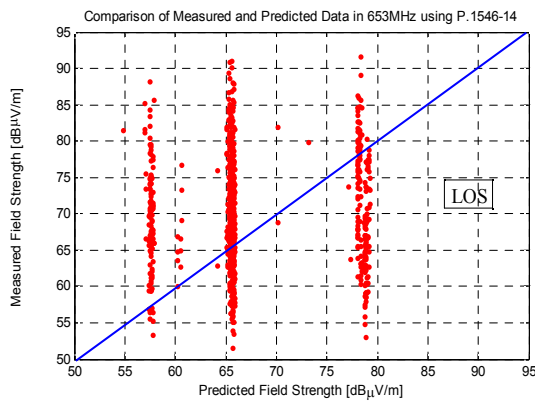


(a) P.1546-14

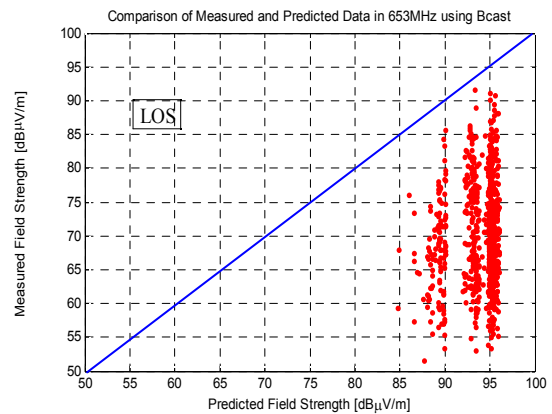


(b) BCAST

그림 4-68 653MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

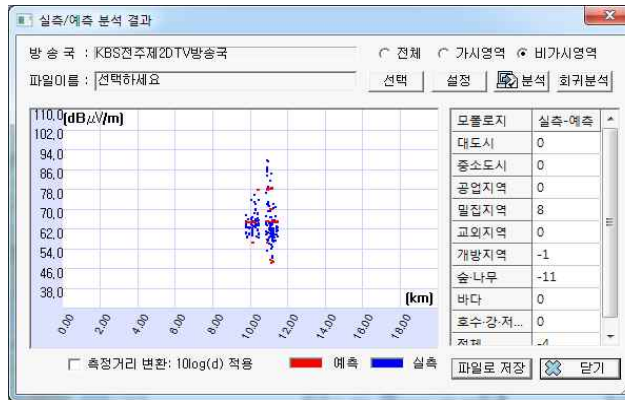


(b) BCAST

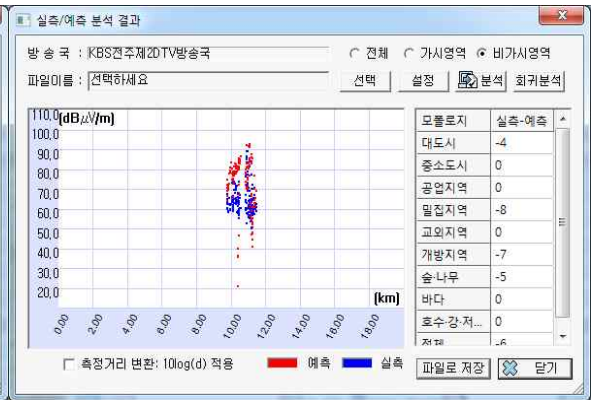
그림 4-69 653MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

그림 4-70은 SMIS 시스템에서 653MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치와 유사하게 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 약간 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-71에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델 및 BCAST 모델 모두 예측치는 실측치와 유사한 분포를 보이지만, 그림 4-72의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -4.1 및 -6.89의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 약간 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 2.8dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.41 및 14.7로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-73의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 대각선 좌우 분포를 보이지만, 모두 대각선 중심으로 분포되고 있음을 알 수 있다.

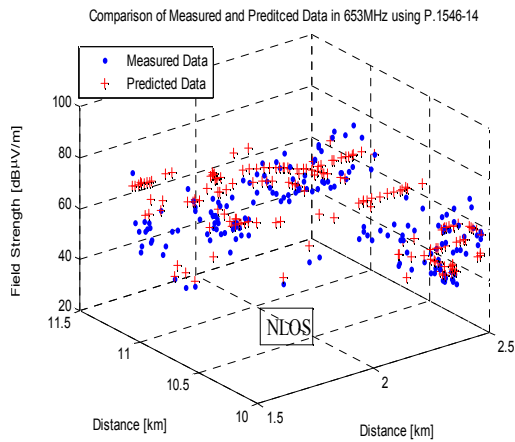


(a) P.1546-14

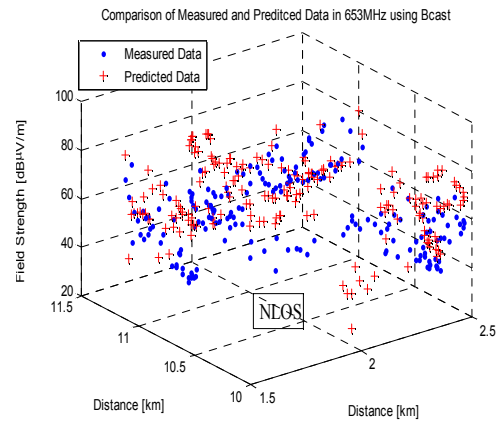


(b) BCAST

그림 4-70 653MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교

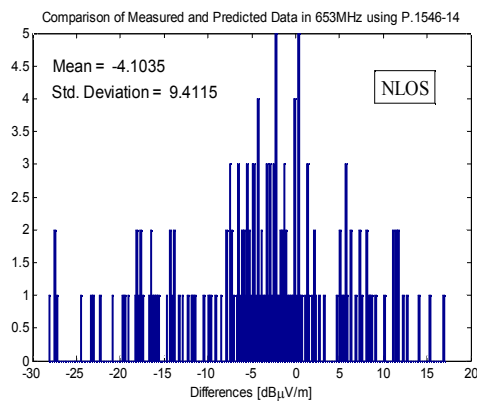


(a) P.1546-14

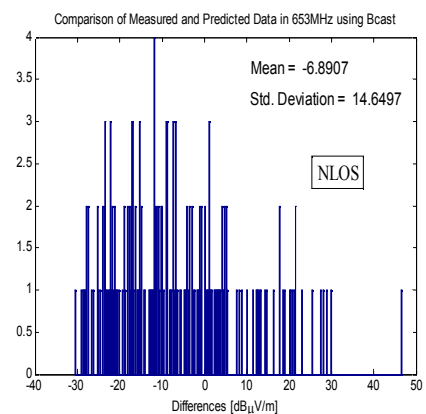


(b) BCAST

그림 4-71 653MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

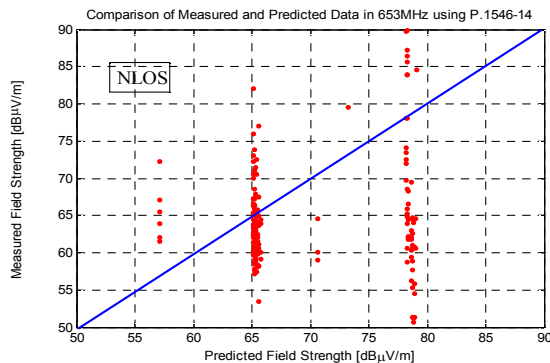


(a) P.1546-14

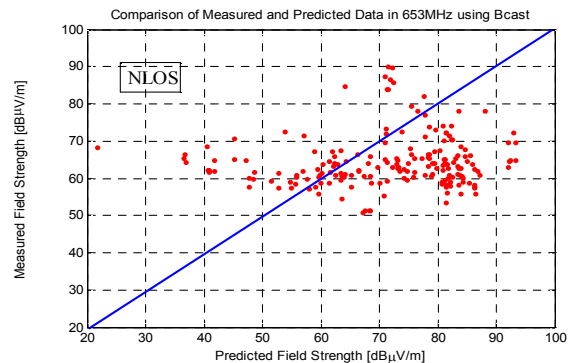


(b) BCAST

그림 4-72 653MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



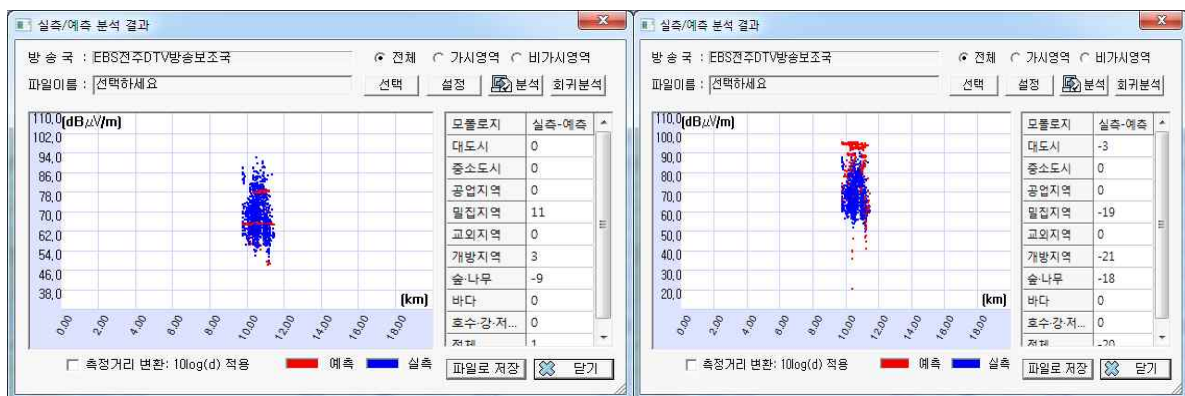
(b) BCAST

그림 4-73 653MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

## 2.6 665MHz EBS 전주 DTV 방송 서비스

### (1) 전체

그림 4-74는 EBS 전주 제2 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 665MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~93dBμV/m 분포에 대해, P.1546 모델은 49~80dBμV/m, BCAST 모델은 20~97dBμV/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



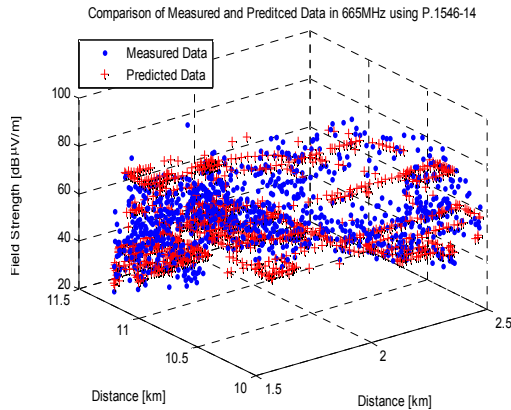
(a) P.1546-14

(b) BCAST

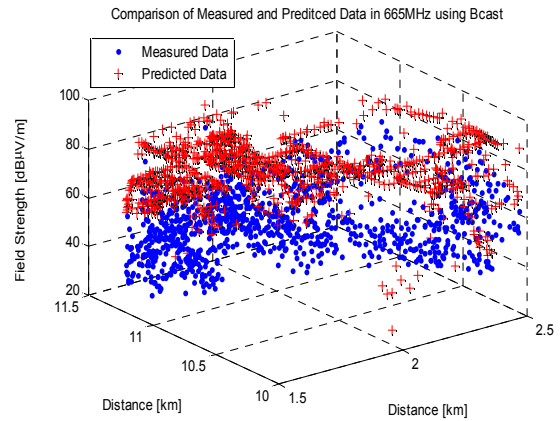
그림 4-74 665MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 3차원적 데이터 분포를 그림 4-75에 나타내었다. 이로부터 P.1546모델의 예측치는 실측치와 상당히 겹치고 있으나, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 대부분 높게 예측되고 있으며, 이는 그림 4-76의 실측-예측치 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 1.61로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -20.8로 실측치보다 매우 높게 예측되고

있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 9.95, 11.3으로 유사하지만, BCAST 모델의 편차가 좀 더 심하다. 그림 4-77의 실측/예측 전계강도 분포에서도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 오른쪽에 대부분 분포하고 있다.

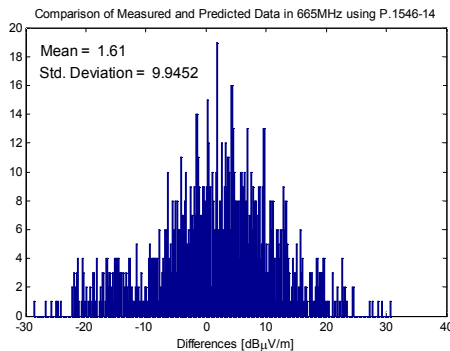


(a) P.1546-14

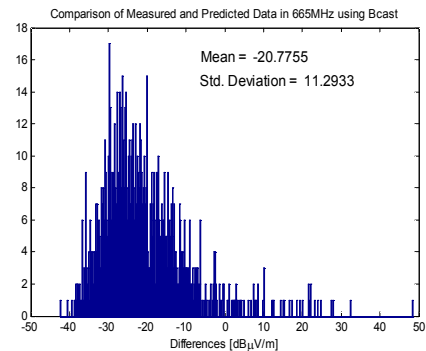


(b) BCAST

그림 4-75 665MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포

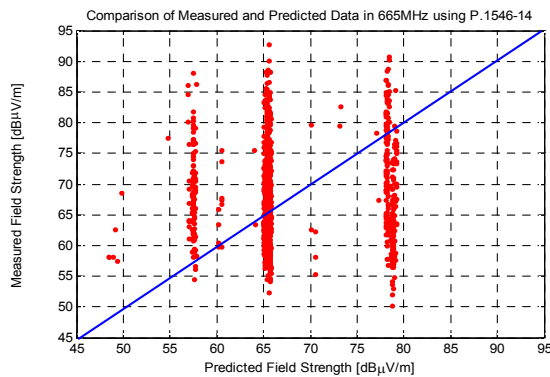


(a) P.1546-14

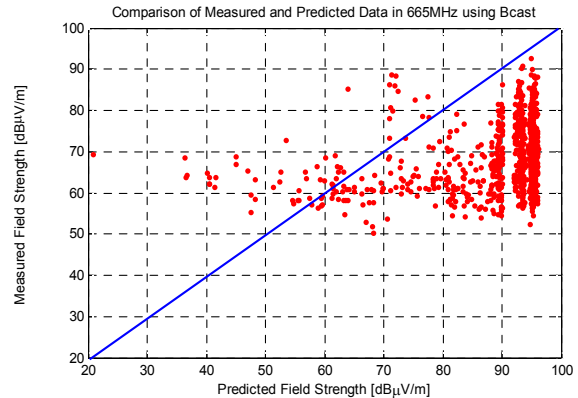


(b) BCAST

그림 4-76 665MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-77 665MHz에서 전주지역 실측/예측 전체 전계강도 분포



## (2) LOS

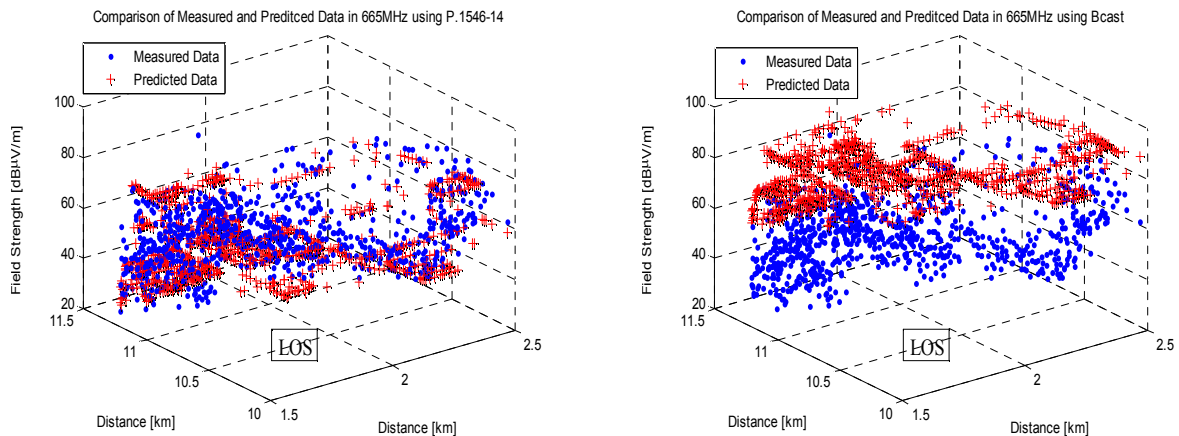
그림 4-78은 SMIS 시스템에서 665MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-79에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-80에서 알 수 있듯이 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 2.8 및 -23.9의 결과를 보이며, 표준편차는 각각 9.65 및 7.35로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-81의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른 쪽에 분포하고 있어 SMIS 데이터 중 아직 GIS 건물을 반영하지 못한 결과로 볼 수 있다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

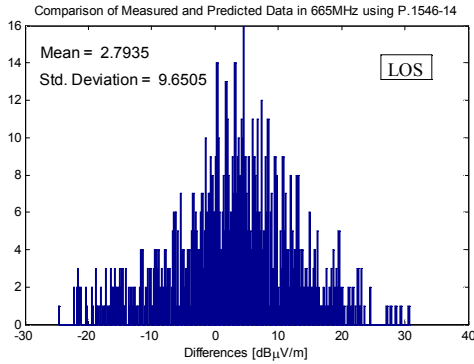
그림 4-78 665MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교



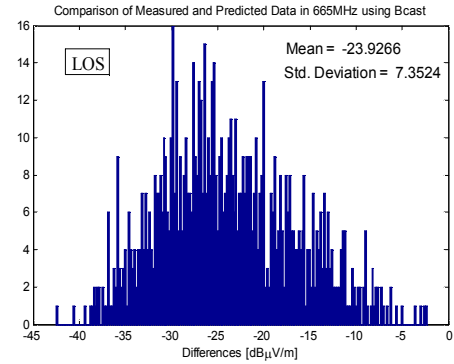
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-79 665MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

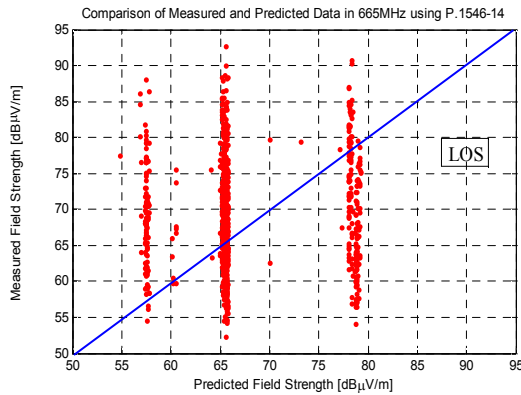


(a) P.1546-14

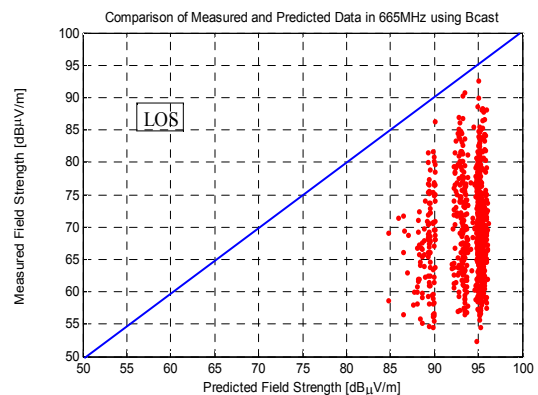


(b) BCAST

그림 4-80 665MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-81 665MHz에서 전주지역 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

그림 4-82는 SMIS 시스템에서 665MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치와 유사하게 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 약간 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-83에 3차원 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델 및 BCAST 모델 모두 예측치는 실측치와 유사한 분포를 보이지만, 그림 4-84의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -4.38 및 -7.09의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 약간 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 2.7dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.42 및 14.9로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-85의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 대각선 좌우 분포를 보이지만, 모두 대각선 중심으로 분포되고 있음을 알 수 있다.

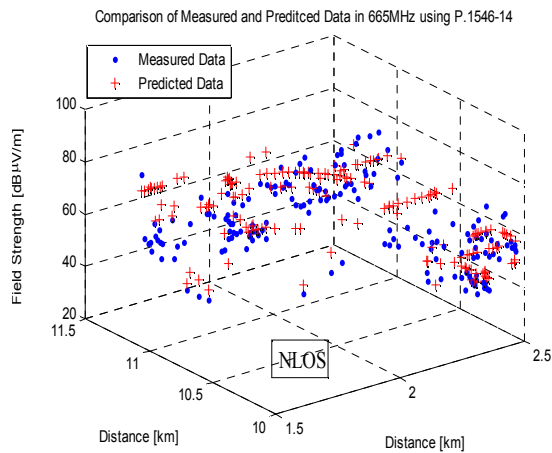




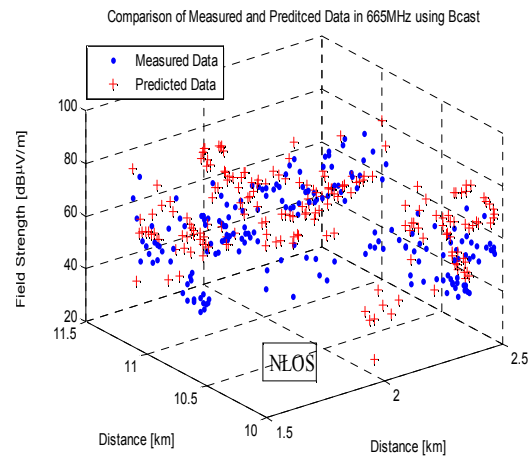
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-82 665MHz에서 전주지역 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교

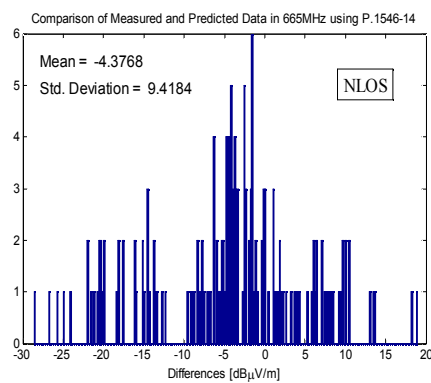


(a) P.1546-14

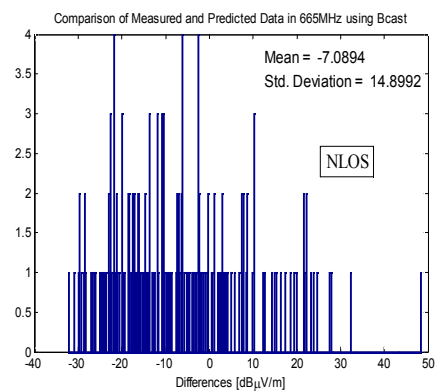


(b) BCAST

그림 4-83 665MHz에서 거리에 따른 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

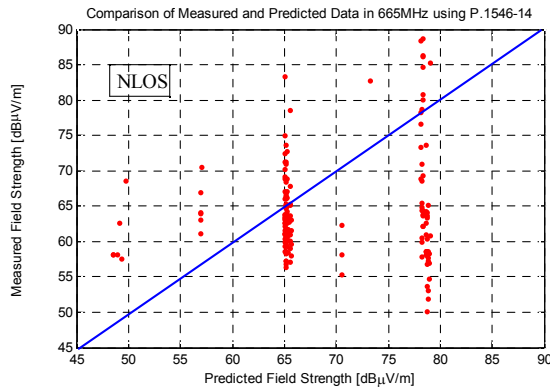


(a) P.1546-14

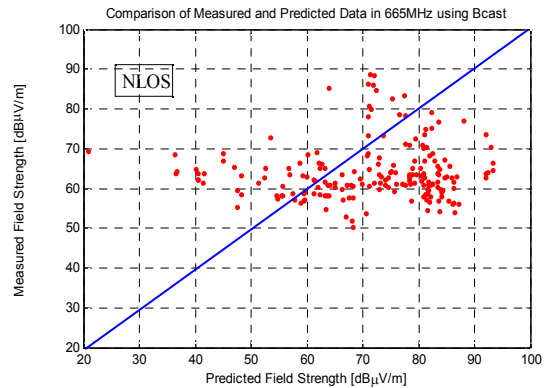


(b) BCAST

그림 4-84 665MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-85 665MHz에서 전주지역 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

## 2.7 분석 결과

표 4-2는 전주시의 전북도청지역에서 전파측정이 가능한 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구한 결과이다. LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려했을 때의 P.1546 모델의 오차 평균은 최저 0.52에서 1.89로 모든 주파수에서 코엑스 대도심 지역보다 실측치와 평균적으로 일치하고 있지만, BCAST 모델의 경우 오차평균은 -20.5~ -21.7로 전주지역에서는 20dBμV/m 이상 높게 예측되고 있어, GIS 건물 데이터 정보가 현실적으로 맞지 않아 이로 인한 회절분석 등에서 큰 오차를 가져오고 있다. 한편, 표준편차 분석에서는 P.1546 모델이 주파수에 따라 9.62~9.88, BCAST 모델이 11.0~11.4로 유사한 편차를 보이고 있다.

표 4-2 전주지역 실측/예측 오차 평균 및 표준편차

		KBS 전주 제1DTV (551MHz)		JTV DTV (587MHz)		전주 MBC DTV (635MHz)		KBS 전주 제2DTV (653MHz)		EBS 전주 DTV (665MHz)	
		Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
ALL	P.1546	0.91	9.96	0.52	9.88	0.69	9.62	1.89	9.97	1.61	9.95
	BCAST	-21.1	11.2	-21.3	11.0	-21.7	11.4	-20.5	11.3	-20.8	11.3
LOS	P.1546	2.04	9.65	1.74	9.64	1.73	9.34	3.08	9.68	2.79	9.65
	BCAST	-24.1	7.83	-24.4	7.55	-24.9	7.37	-23.6	7.47	-23.9	7.35
NLOS	P.1546	-4.82	9.72	-5.20	9.12	-4.57	9.46	-4.10	9.41	-4.38	9.42
	BCAST	-8.22	14.1	-8.23	13.6	-7.64	14.9	-6.89	14.7	-7.10	14.9

LOS만의 전파환경에서는 오차평균에서 P.1546 모델이 1.73~3.08로 조금 낮게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 -23.6~-24.9의 24B $\mu$ V/m 정도 높게 예측되고 있다. 표준편차에서는 P.1546 모델이 9.34~9.68, BCAST 모델이 7.35~7.83으로 유사하지만, 전체 전파환경에서보다 오히려 P.1546 모델의 편차가 약간 높게 나타났다. 그러나 NLOS 환경에서는 P.1546 모델이 LOS 환경과 유사한 편차를 보이는 반면, BCAST 모델은 13.6~14.9로 LOS 환경에 비해 두 배 정도의 편차를 보이고 있다. 전주지역에서 DTV 방송서비스에 대해 P.1546 모델은 실측-예측 오차 평가에서 BCAST 모델보다 적합한 예측모델로 평가되고 있으며, BCAST 모델의 큰 예측 오차 원인분석 및 GIS 지형 및 건물데이터의 현실적인 업그레이드를 통한 향후측정 데이터 분석 등이 요구되고 있다.

### 3. 산악 및 개방지역

#### 3.1 측정루트 및 스펙트럼

그림 4-86은 GPS 수신에 의해 모악산에서 변산반도 새만금에 이르는 약 50km의 측정루트를 표시하고 있으며, 그림 4-87에 모악산 중계소로부터 수신되는 전계강도의 스펙트럼 예를 보인다. 이 지역은 산악 및 건물 등에 의한 NLOS 전파환경 및 논, 밭 등의 개방지에서의 NLOS 전파환경이 공존하고 있으며, 그림 4-87의 스펙트럼은 LOS 환경에서의 측정된 이미지로 80dB $\mu$ V/m의 높은 전계강도를 보이고 있다. 본 측정에서는 모악산 중계소로부터 수신되는 551MHz KBS 전주 제1 DTV, 587MHz JTV DTV, 635MHz MBC 전주 DTV, 653MHz KBS 제2 DTV, 665MHz EBS DTV의 5개 방송서비스에 대해 도로를 따라 차량으로 이동하면서 측정을 수행하였다.

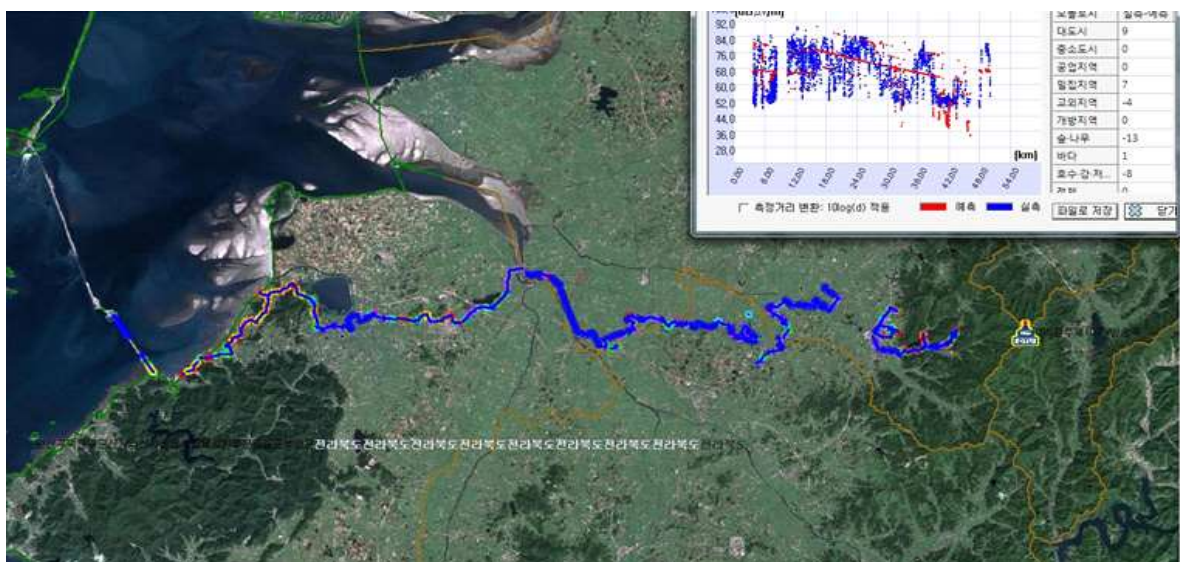


그림 4-86 모악산-변산 측정 루트

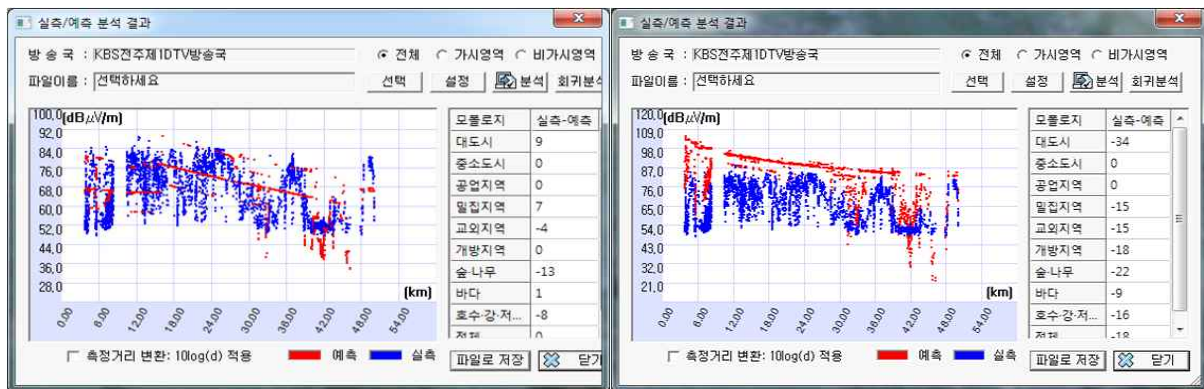


그림 4-87 모악산-변산 측정 스펙트럼 예

### 3.2 551MHz KBS 전주 제1 DTV 방송 서비스

#### (1) 전체

그림 4-88은 KBS 전주 제1 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 551MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 48~94dB $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 34~90dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 21~104dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



(a) P.1546-14

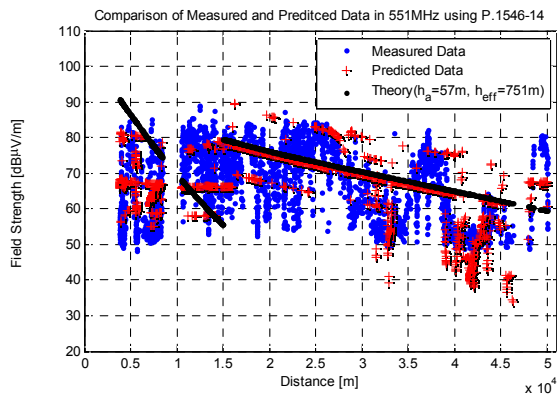
(b) BCAST

그림 4-88 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

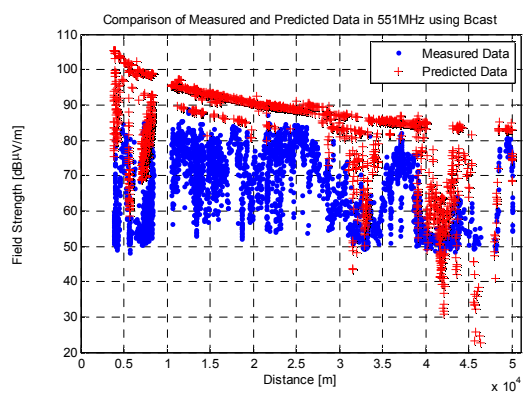
좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램에 의한 데이터 분포를 그림 4-89에 나타내었다. P.1546 모델에서는 그림 4-5로부터 지형 프로파일의 대표적인 입력값  $h_a = 57m$ ,  $h_{eff} = 751m$ 로 하는 이론치와 동시에 비교를 하였다. 이로부터 P.1546 모델의 예측치는 실측치와 대부분 겹치고 있으며, 특히 이론값과 SMIS 예측값의 중요 추이가 유사하지만, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가



실측치보다 대체적으로 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-90 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 -0.49로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -18.2로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 모델의 9.82에 비해, BCAST 모델은 10.13으로 오차편차가 약간 크다는 점을 알 수 있다. 한편 이는 그림 4-91 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른 쪽에 치우치고 있다.

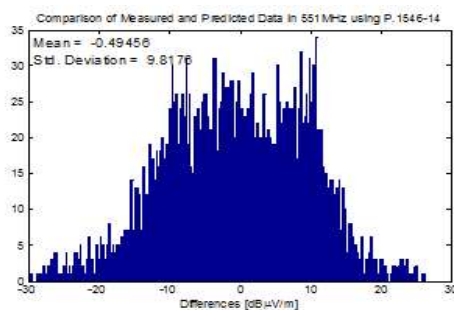


(a) P.1546-14

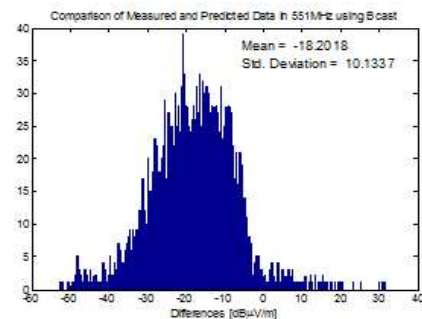


(b) BCAST

그림 4-89 551MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

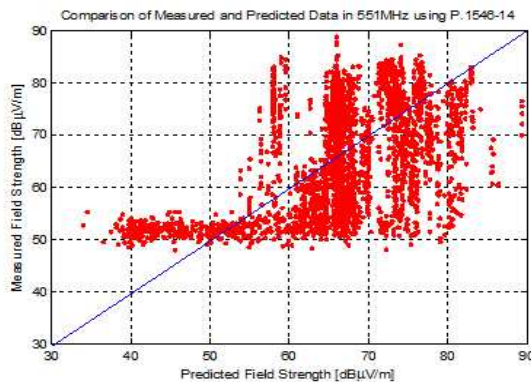


(a) P.1546-14

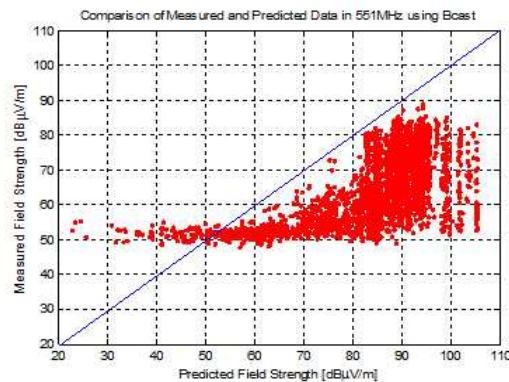


(b) BCAST

그림 4-90 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

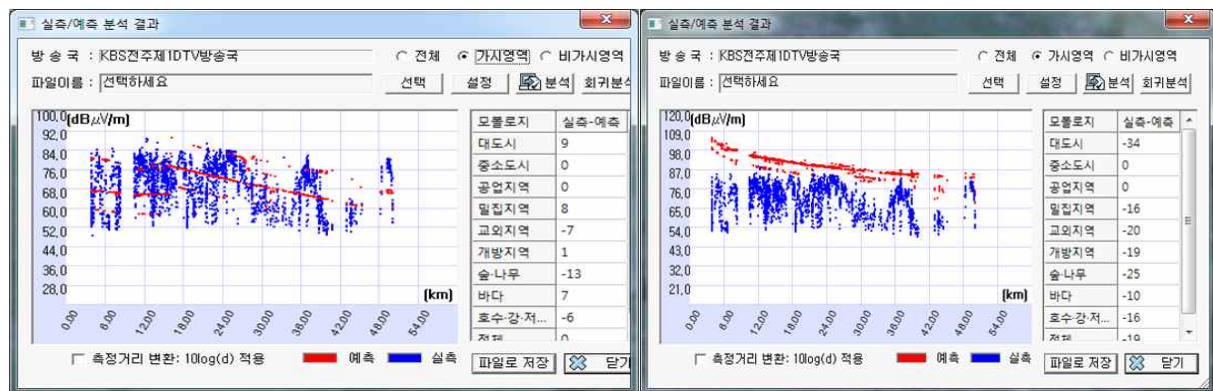


(b) BCAST

그림 4-91 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

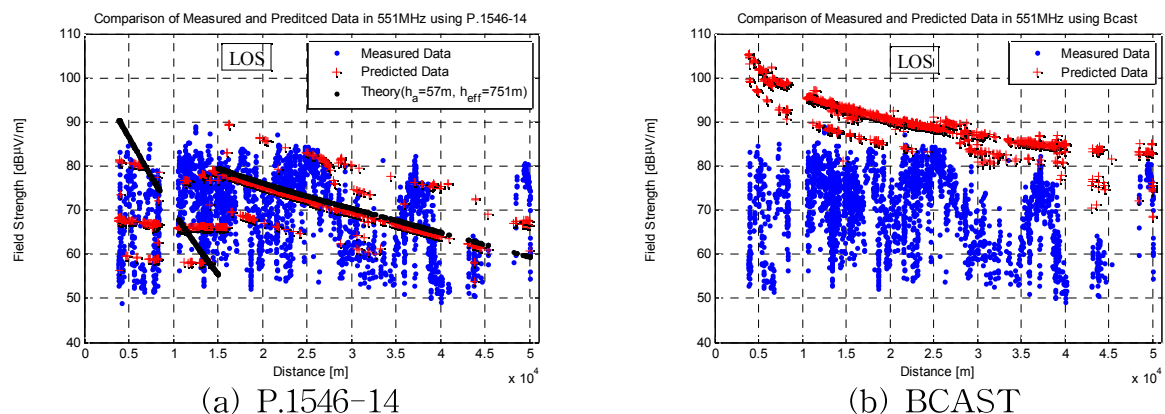
그림 4-92는 SMIS 시스템에서 551MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치 보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-93에 Matlab 프로그램에 의한 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-106에서 알 수 있듯이 P.1546모델이 실측-예측 오차 평균치가 0.44인데 반해, BCAST 모델은 -19.5로 평균적으로 19dB $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.8 및 9.2로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-95의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른쪽에 분포하고 있어 나무나 숲에 의한 페이딩 현상을 고려하지 못하고 있는 실정이다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

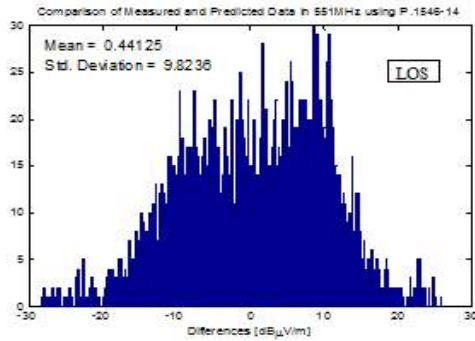
그림 4-92 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교



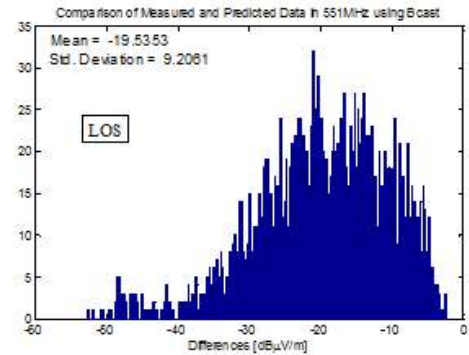
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-93 551MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

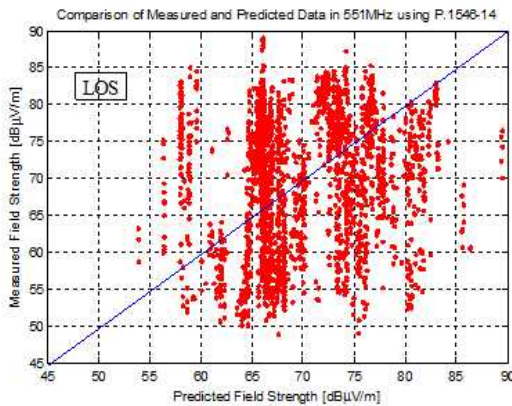


(a) P.1546-14

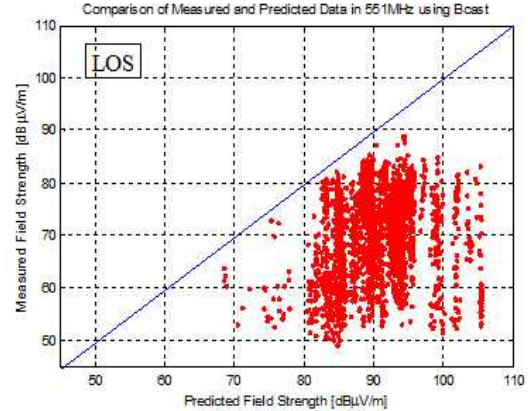


(b) BCAST

그림 4-94 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

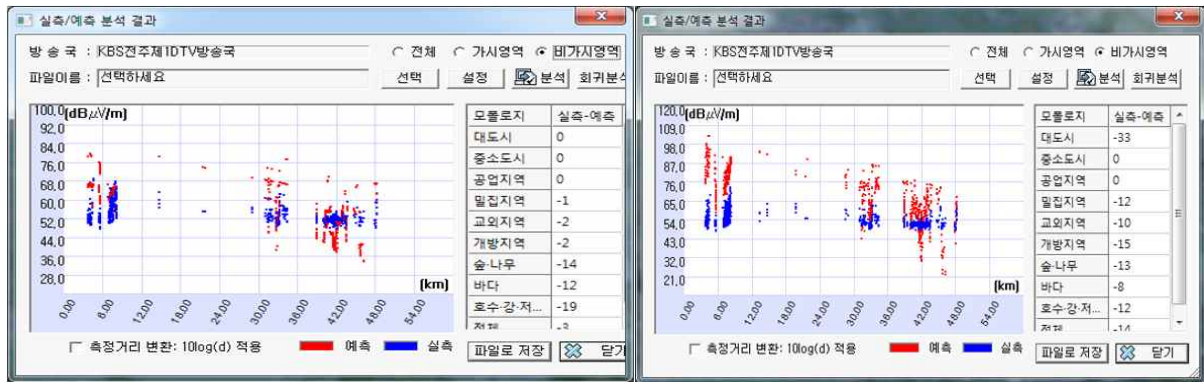


(b) BCAST

그림 4-95 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

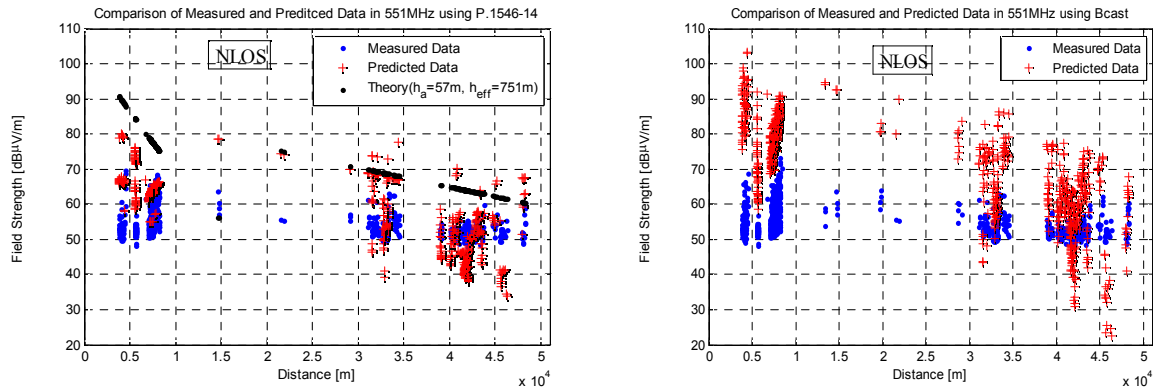
그림 4-96은 SMIS 시스템에서 551MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치보다 상하로 넓게 분포하고 있다. 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 그림 4-97에 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델은 어느 정도 유사하게 분포하나, BCAST 모델의 예측치는 실측치에 비해 상당히 높게 예측되고 있다. 그림 4-98의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -3.6 및 -14.6의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 11dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.14 및 11.6으로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-99의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 및 BCAST 모델 모두 대각선의 대각선 좌우 분포를 보인다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

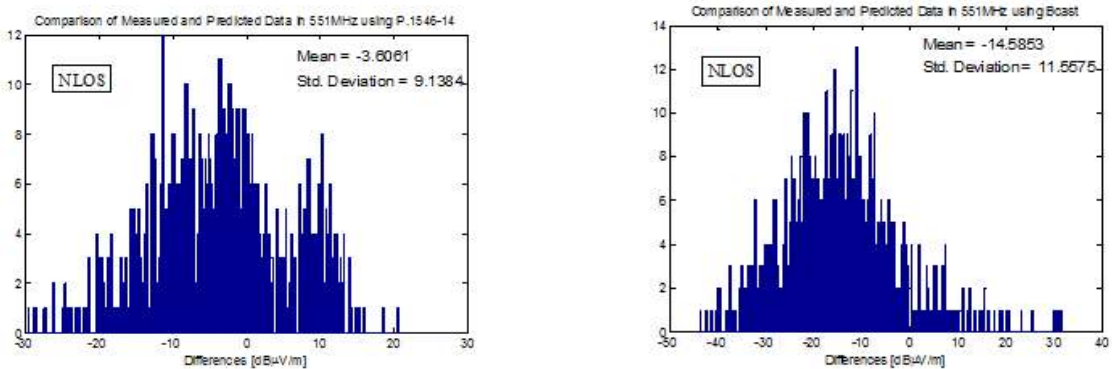
그림 4-96 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-97 551MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

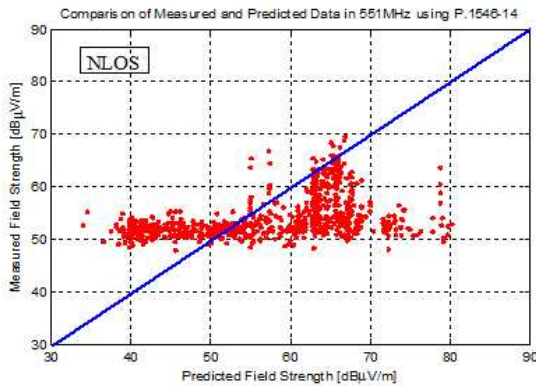


(a) P.1546-14

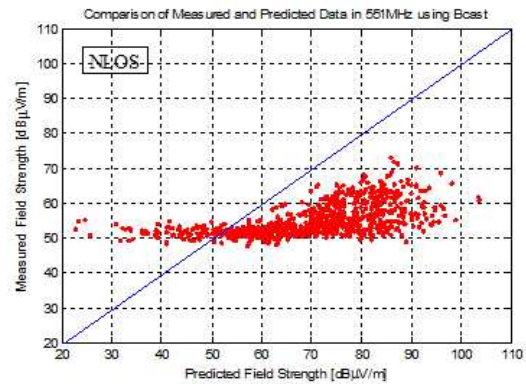
(b) BCAST

그림 4-98 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포





(a) P.1546-14



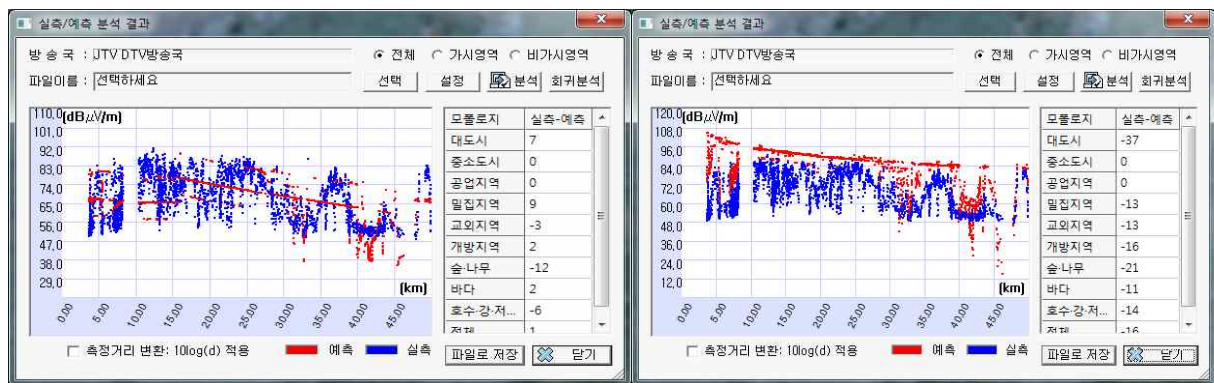
(b) BCAST

그림 4-99 551MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

### 3.3 587MHz JTV DTV 방송 서비스

#### (1) 전체

그림 4-100은 JTV DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 587MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~91dB  $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 34~90dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 15~106dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



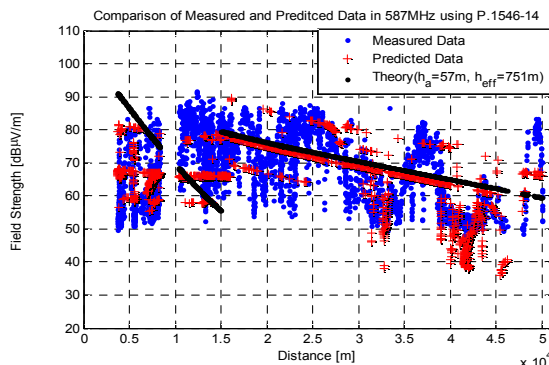
(a) P.1546-14

(b) BCAST

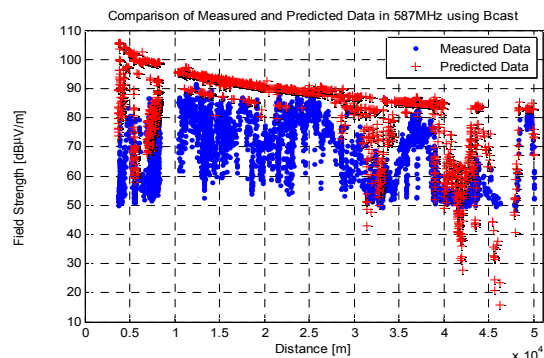
그림 4-100 587MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램에 의한 데이터 분포를 그림 4-101에 나타내었다. P.1546 모델에서는 그림 4-5로부터 지형 프로파일의 대표적인 입력값  $h_a = 57m$ ,  $h_{eff} = 751m$ 로 하는 이론치와 동시에 비교를 하였다. 이로부터 P.1546 모델의 예측치는 실측치와 대부분 겹치고 있으며, 특히 이론값과 SMIS

예측값의 중요 추이가 유사하지만, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 대체적으로 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-102 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 1.5로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -16.4로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 10.2, 10.4로 큰 차이가 없다. 한편 이는 그림 4-103 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른 쪽에 치우치고 있다.

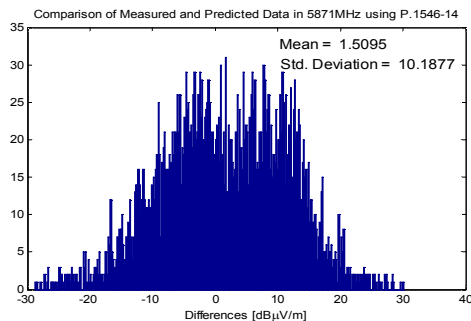


(a) P.1546-14

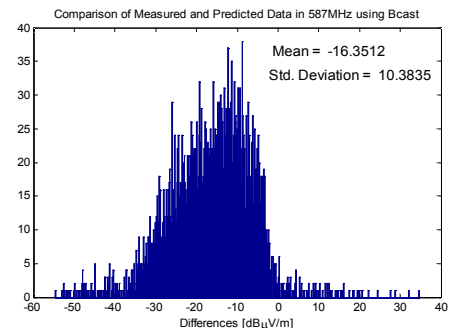


(b) BCAST

그림 4-101 587MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

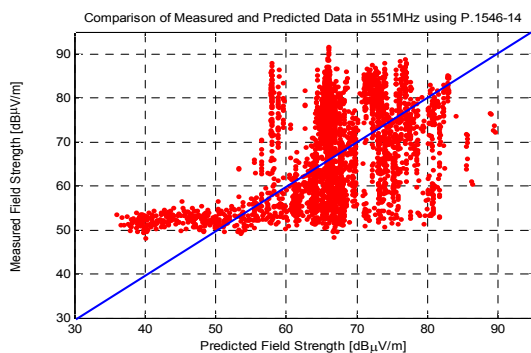


(a) P.1546-14

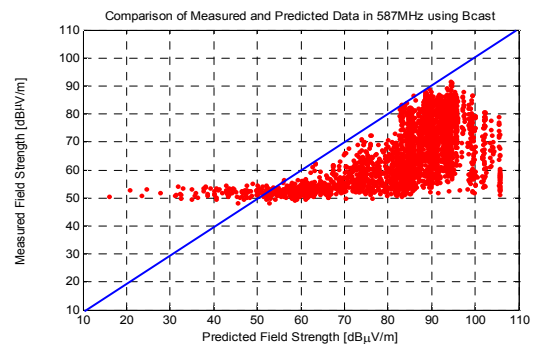


(b) BCAST

그림 4-102 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

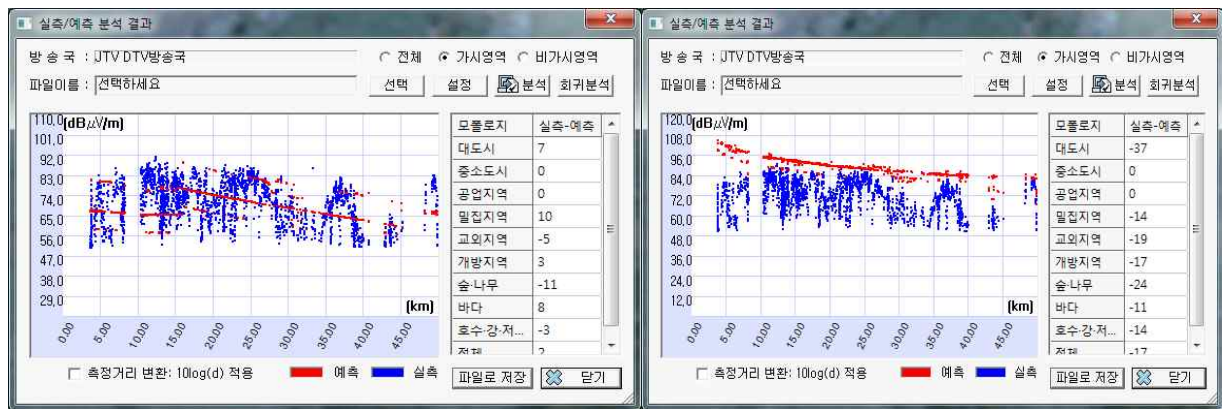


(b) BCAST

그림 4-103 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

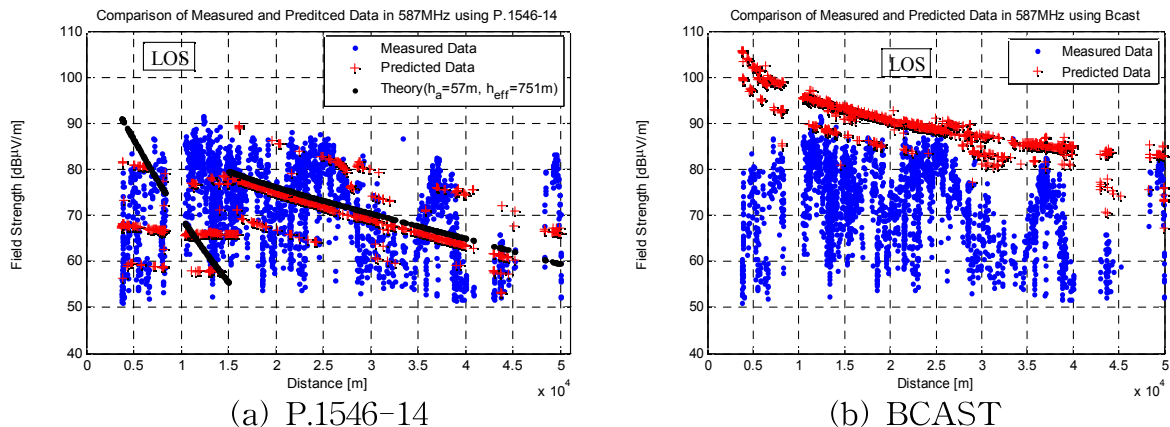
그림 4-104는 SMIS 시스템에서 587MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-105에 Matlab 프로그램에 의한 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-106에서 알 수 있듯이 P.1546모델이 실측-예측 오차 평균치가 2.61인데 반해, BCAST 모델은 -17.6으로 평균적으로 17dB $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 10.3 및 9.6으로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-107의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른 쪽에 분포하고 있어 나무나 숲에 의한 페이딩 현상을 고려하지 못하고 있는 실정이다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

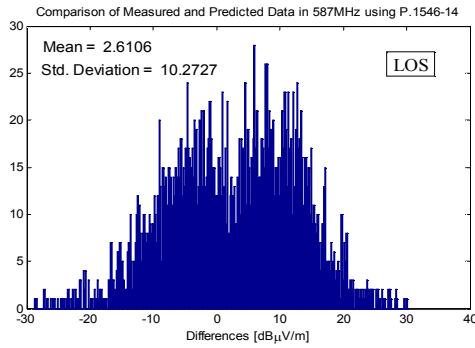
그림 4-104 587MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교



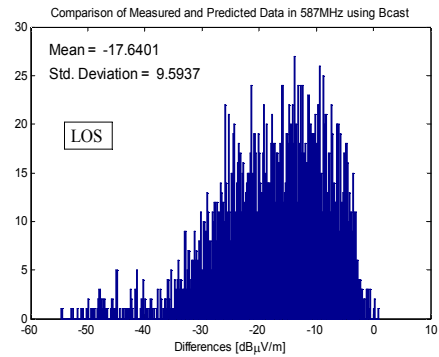
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-105 587MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

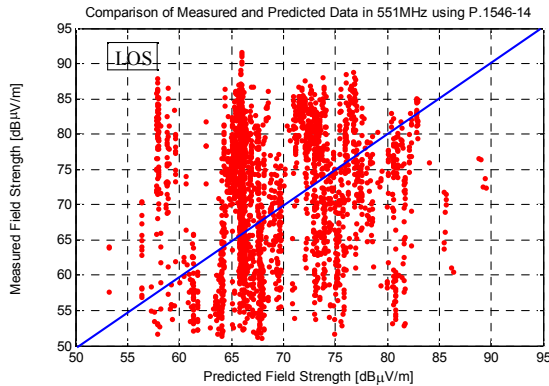


(a) P.1546-14

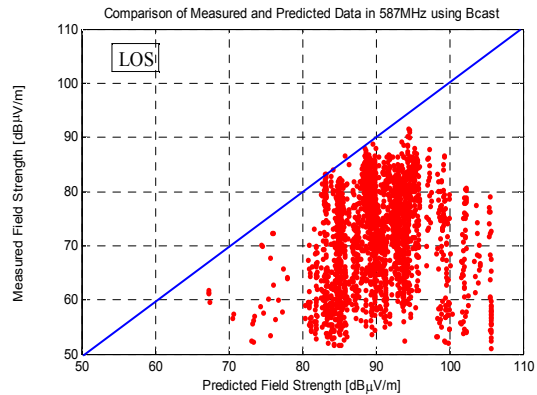


(b) BCAST

그림 4-106 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

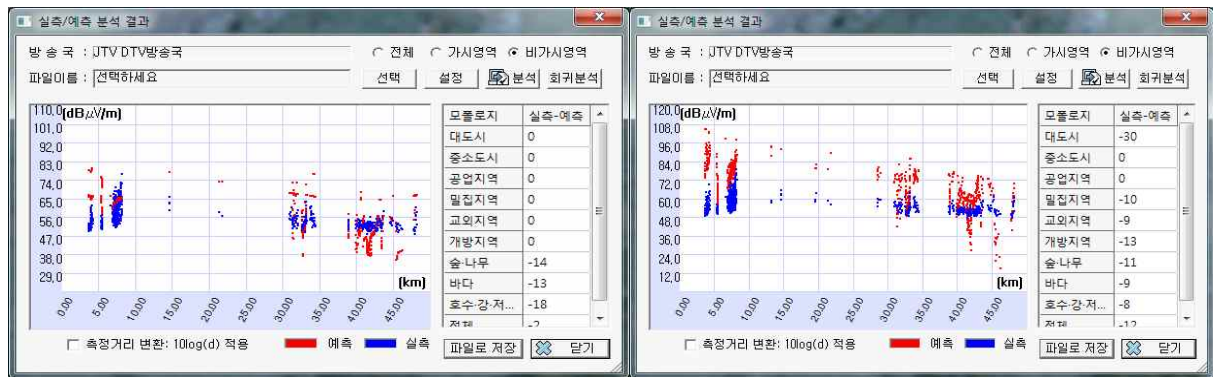


(b) BCAST

그림 4-107 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

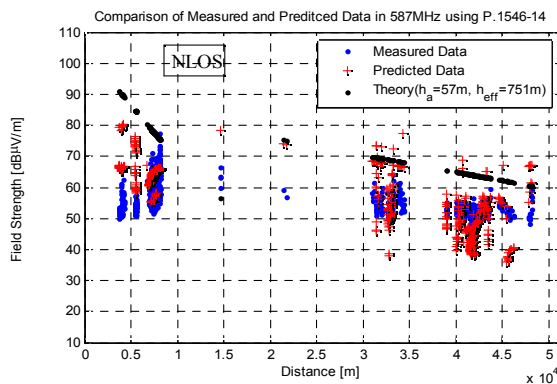
그림 4-108은 SMIS 시스템에서 551MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치보다 상하로 넓게 분포하고 있다. 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 그림 4-109에 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델은 어느 정도 유사하게 분포하나, BCAST 모델의 예측치는 실측치에 비해 상당히 높게 예측되고 있다. 그림 4-110의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -2.0 및 -13.0의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 11dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.1 및 11.6으로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-111의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 및 BCAST 모델 모두 대각선의 대각선 좌우 분포를 보인다.



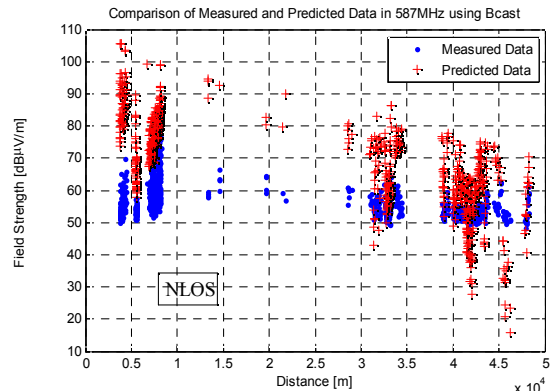
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-108 551MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교

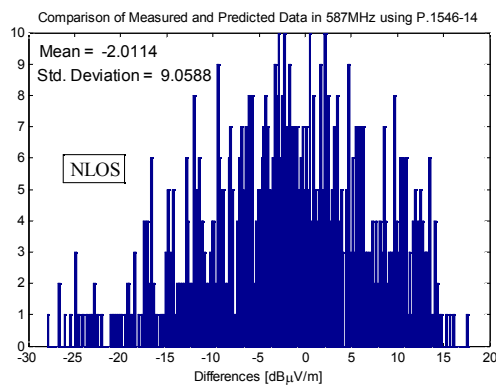


(a) P.1546-14

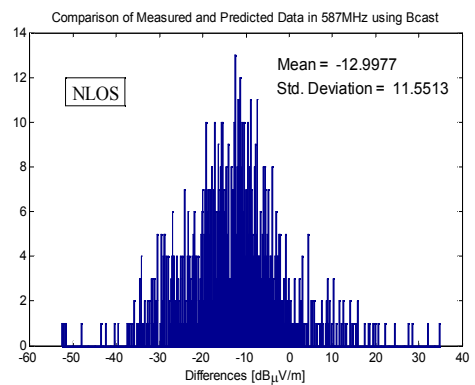


(b) BCAST

그림 4-109 587MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포



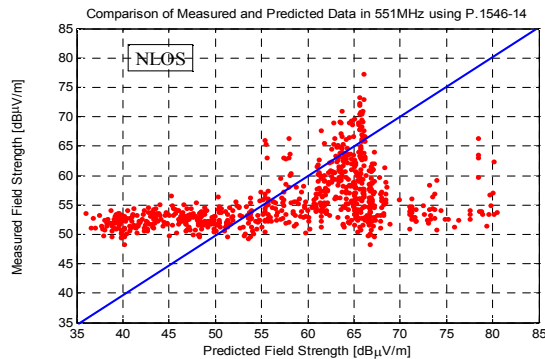
(a) P.1546-14



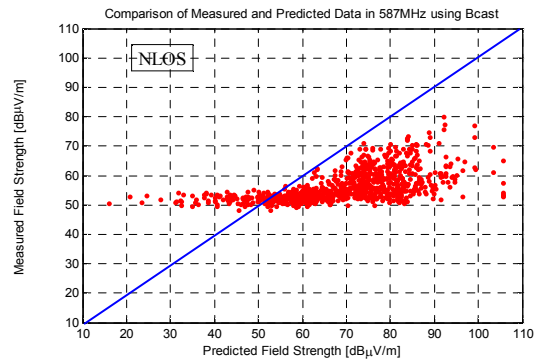
(b) BCAST

그림 4-110 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포





(a) P.1546-14



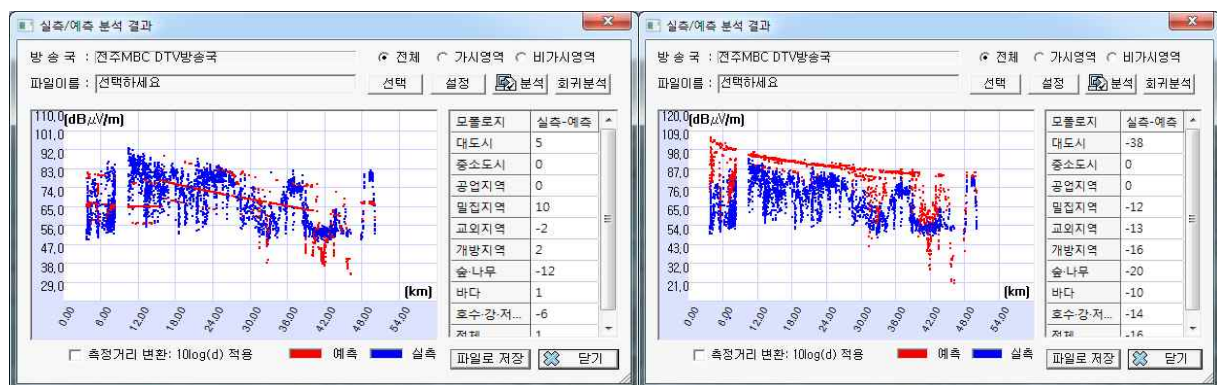
(b) BCAST

그림 4-111 587MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

### 3.4 635MHz MBC 전주 DTV 방송 서비스

#### (1) 전체

그림 4-112는 MBC 전주 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간율 및 공간율 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 635MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~93dB  $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 32~90dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 20~106dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



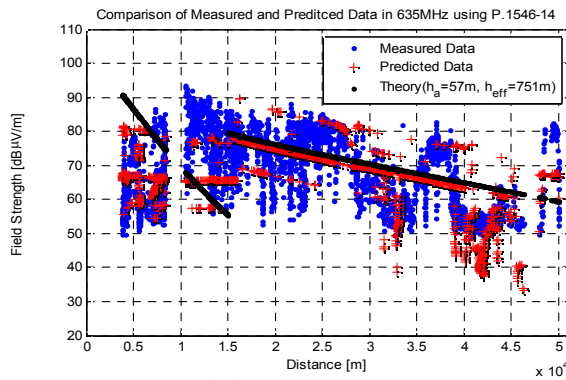
(a) P.1546-14

(b) BCAST

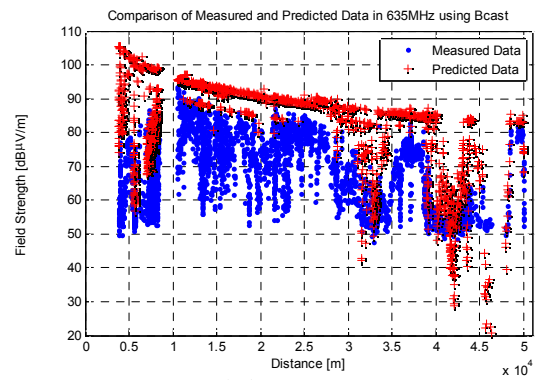
그림 4-112 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램에 의한 데이터 분포를 그림 4-113에 나타내었다. P.1546 모델에서는 그림 4-5로부터 지형 프로파일의 대표적인 입력값  $h_a = 57m$ ,  $h_{eff} = 751m$ 로 하는 이론치와 동시에 비교를 하였다. 이로부터 P.1546 모델의 예측치는 실측치와 대부분 겹치고 있으며, 특히 이론값과 SMIS

예측값의 중요 추이가 유사하지만, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포가 실측치보다 대체적으로 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-114 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 1.5로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -16.4로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 10.2, 10.4로 큰 차이가 없다. 한편 이는 그림 4-115의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른 쪽에 치우치고 있다.

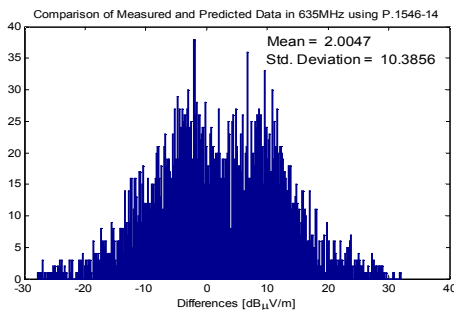


(a) P.1546-14

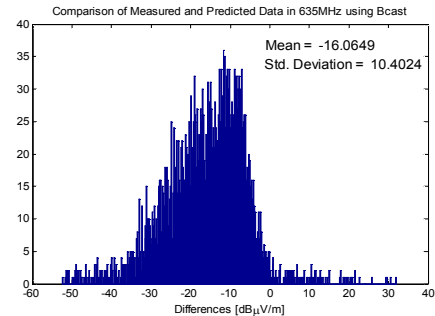


(b) BCAST

그림 4-113 635MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

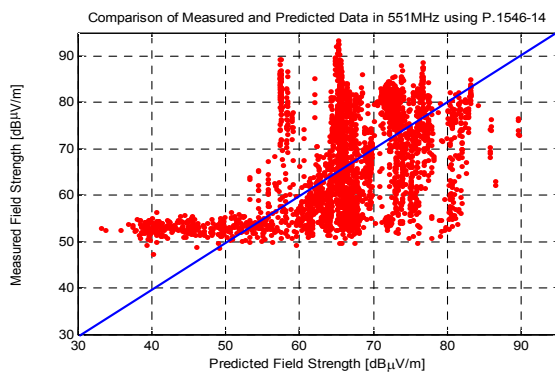


(a) P.1546-14

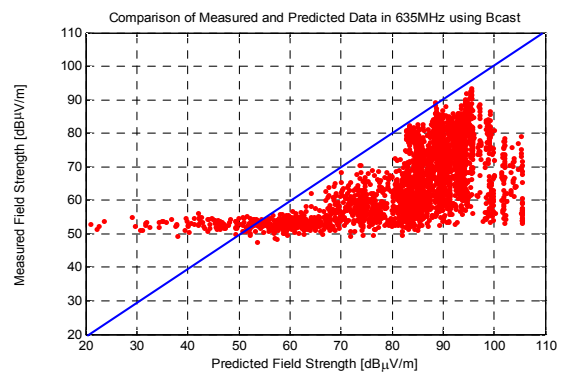


(b) BCAST

그림 4-114 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

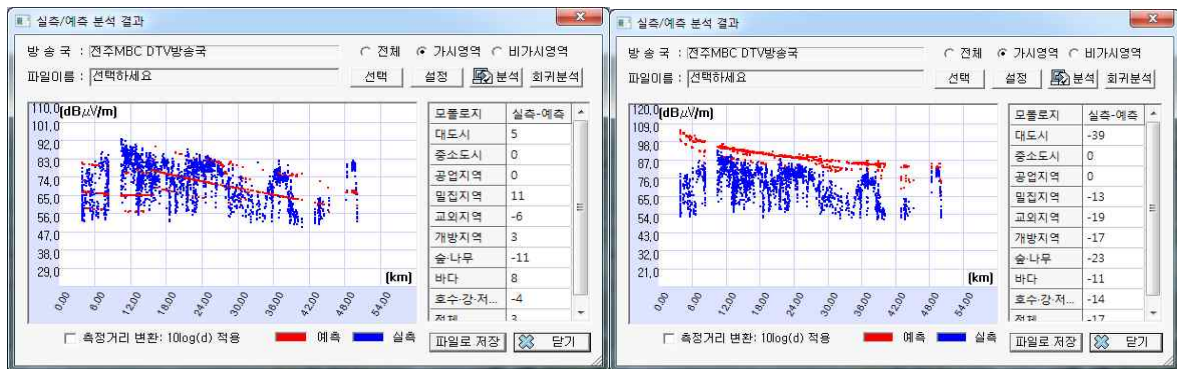


(b) BCAST

그림 4-115 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

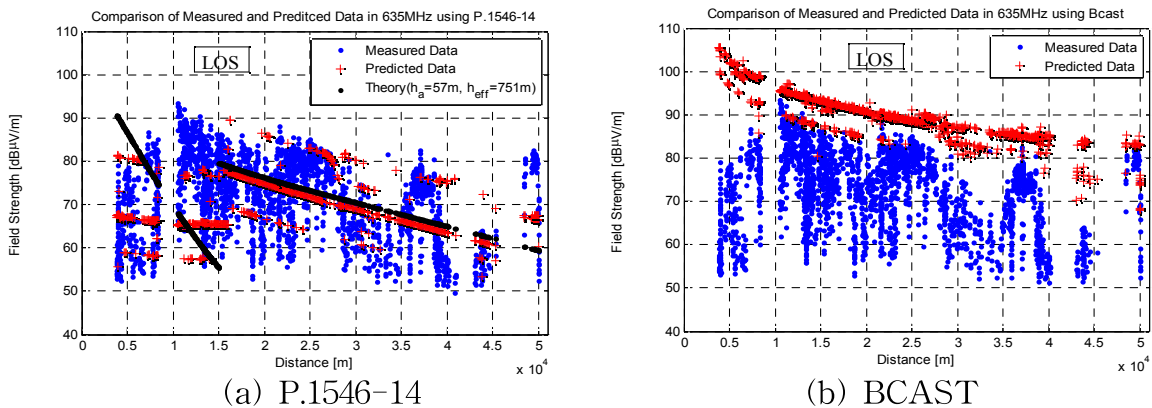
그림 4-116은 SMIS 시스템에서 635MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-117에 Matlab 프로그램에 의한 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-118에서 알 수 있듯이 P.1546모델이 실측-예측 오차 평균치가 3.04인데 반해, BCAST 모델은 -17.5로 평균적으로 17dB $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 10.5 및 9.5로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-119의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른쪽에 분포하고 있어 나무나 숲에 의한 페이딩 현상을 고려하지 못하고 있는 실정이다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-116 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교

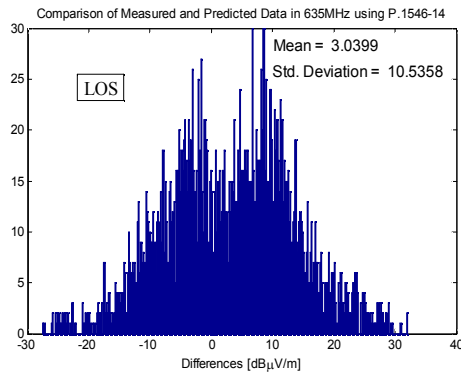


(a) P.1546-14

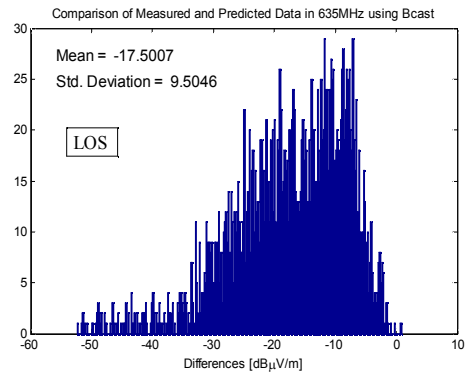
(b) BCAST

그림 4-117 635MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포



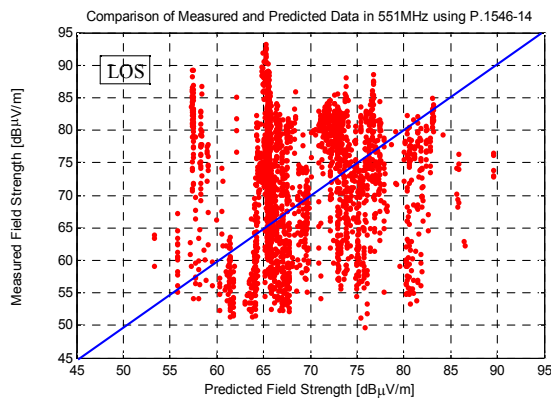


(a) P.1546-14

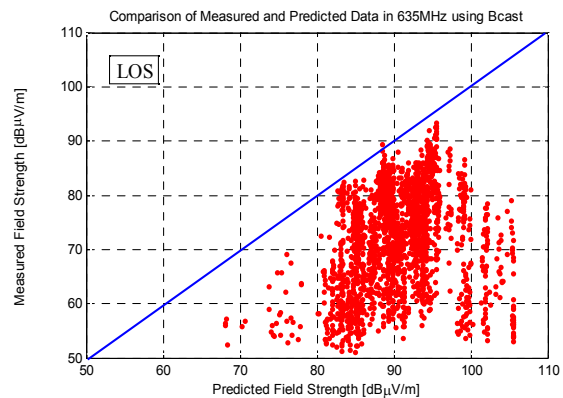


(b) BCAST

그림 4-118 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



a) P.1546-14

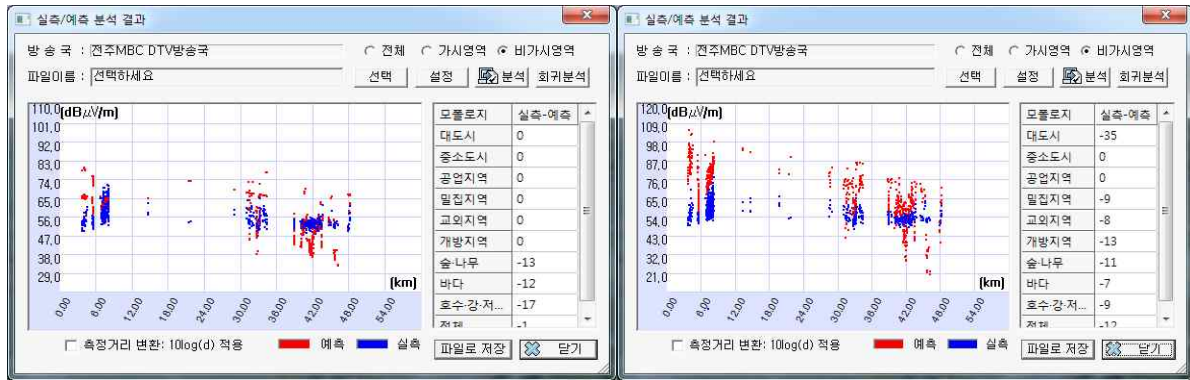


(b) BCAST

그림 4-119 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

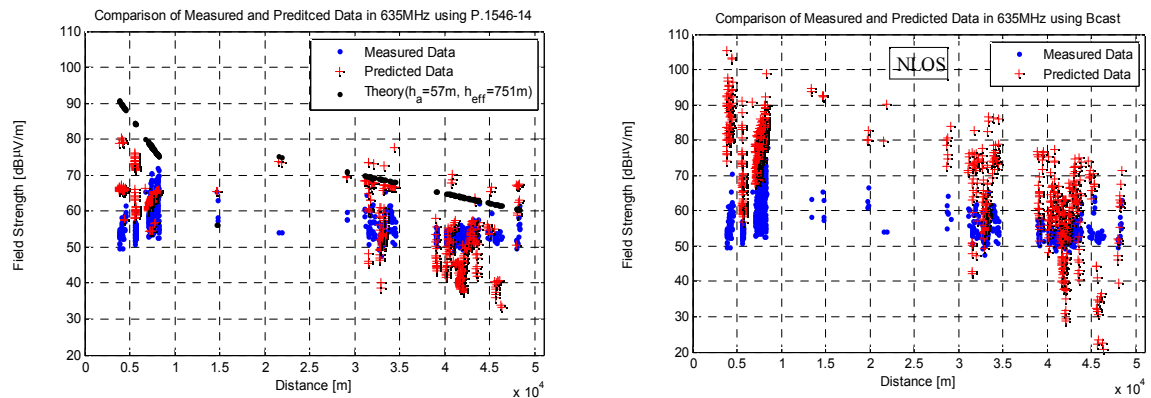
그림 4-120은 SMIS 시스템에서 635MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치보다 상하로 넓게 분포하고 있다. 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 그림 4-121에 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델은 어느 정도 유사하게 분포하나, BCAST 모델의 예측치는 실측치에 비해 상당히 높게 예측되고 있다. 그림 4-122의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -1.4 및 -12.2의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 10.8dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.1 및 11.7로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-123의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 및 BCAST 모델 모두 대각선의 대각선 좌우 분포를 보인다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

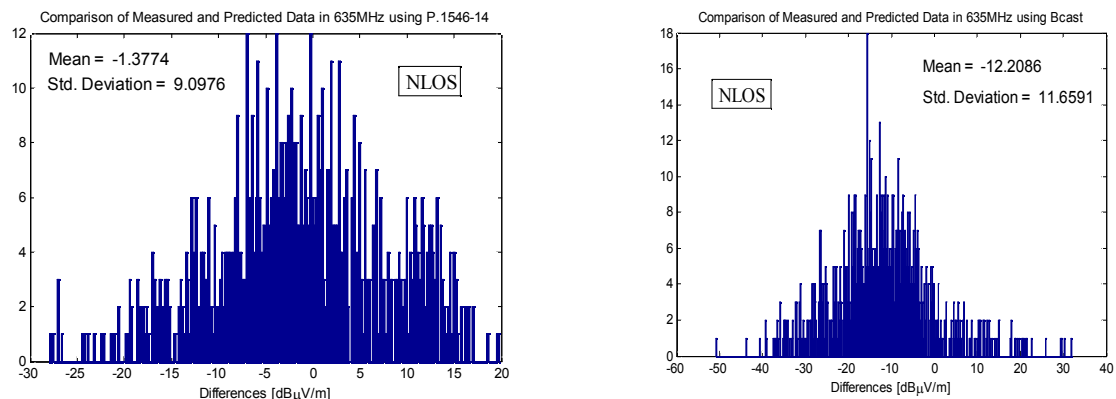
그림 4-120 635MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교



(a) P.1546-14

(b) BCAST

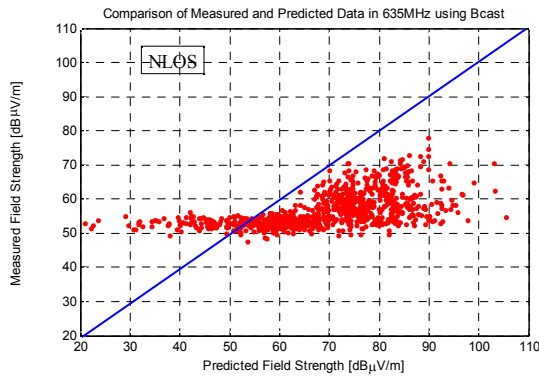
그림 4-121 635MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포



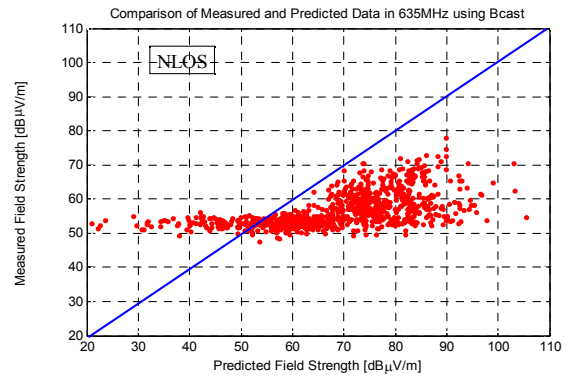
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-122 635Hz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



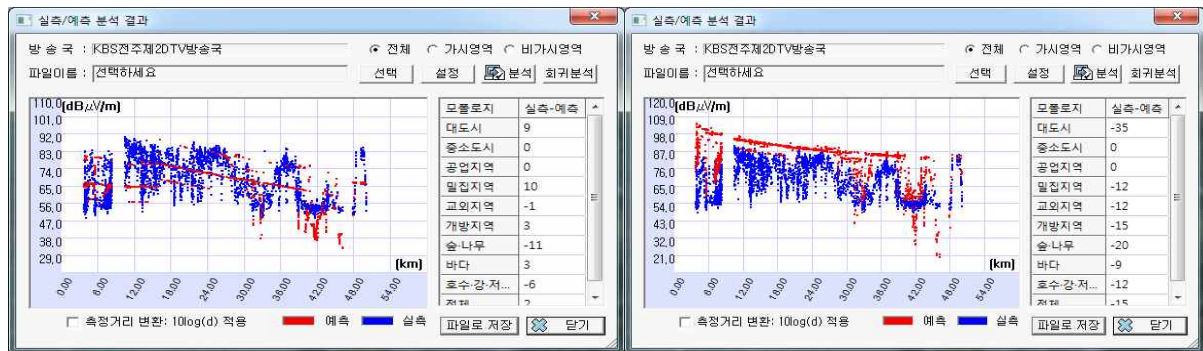
(b) BCAST

그림 4-123 635MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

### 3.5 653MHz KBS 전주 제2 DTV 방송 서비스

#### (1) 전체

그림 4-124는 MBC 전주 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 635MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~90dB  $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 32~90dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 20~106dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



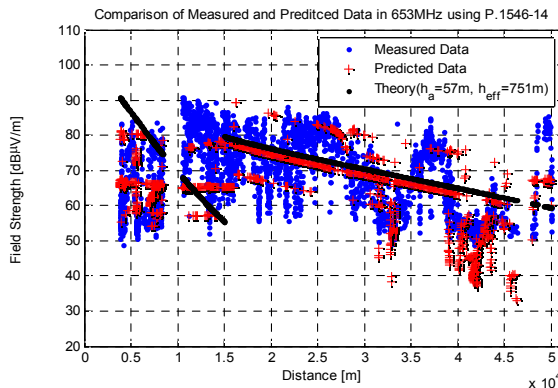
(a) P.1546-14

(b) BCAST

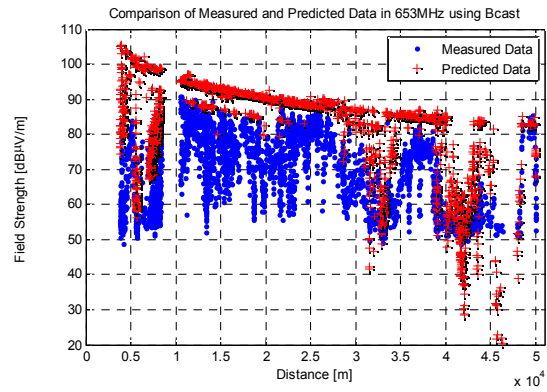
그림 4-124 653Hz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램에 의한 데이터 분포를 그림 4-125에 나타내었다. P.1546 모델에서는 그림 4-5로부터 지형 프로파일의 대표적인 입력값  $h_a = 57\text{m}$ ,  $h_{eff} = 751\text{m}$ 로 하는 이론치와 동시에 비교를 하였다. 이로부터 P.1546 모델의 예측치는 실측치와 대부분 겹치고 있으며, 특히 이론값과 SMIS 예측값의 중요 추이가 유사하지만, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포

가 실측치보다 대체적으로 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-126 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 2.53으로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -15.5로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 10.2, 10.4로 큰 차이가 없다. 한편 이는 그림 4-127의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른 쪽에 치우치고 있다.

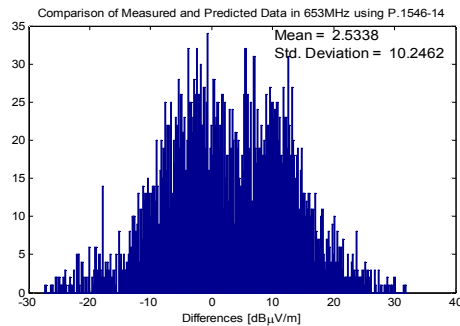


(a) P.1546-14

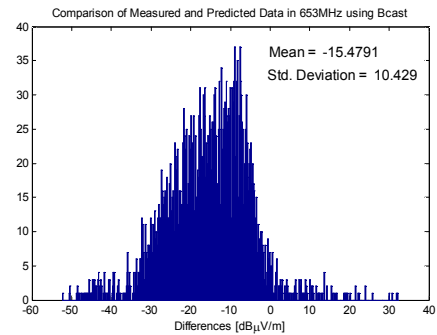


(b) BCAST

그림 4-125 653MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

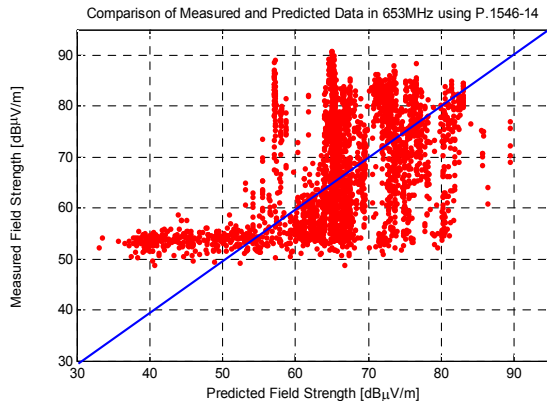


(a) P.1546-14

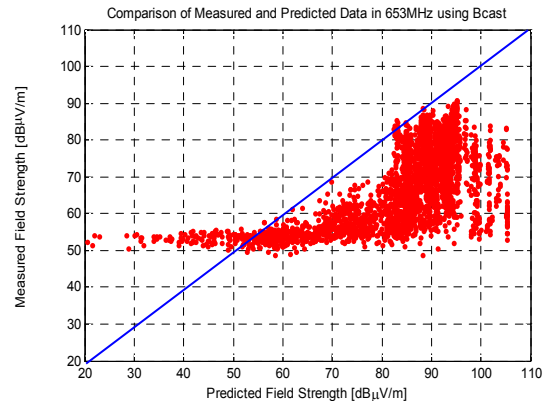


(b) BCAST

그림 4-126 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

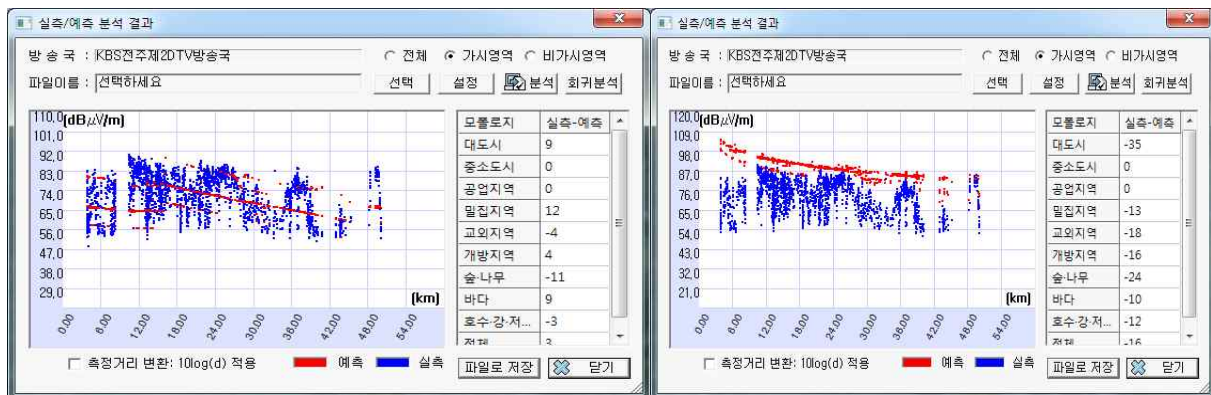


(b) BCAST

그림 4-127 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

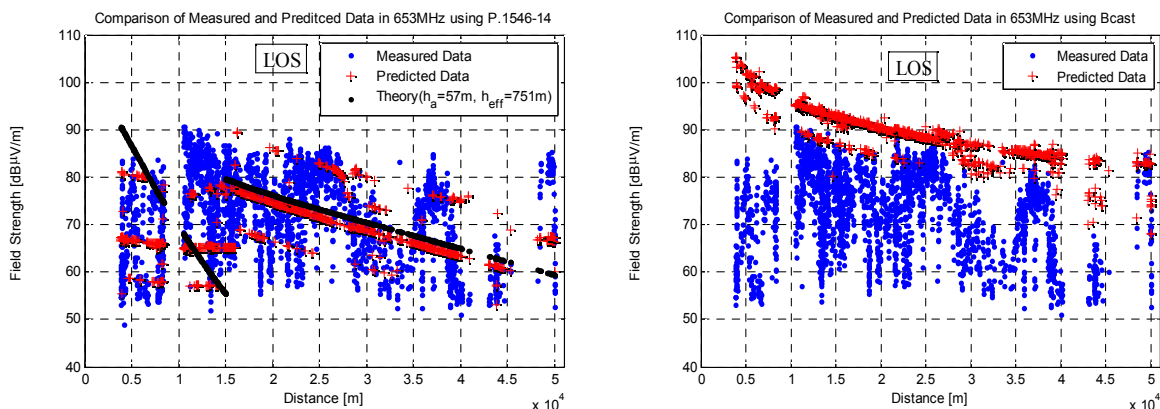
그림 4-128은 SMIS 시스템에서 653MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-129에 Matlab 프로그램에 의한 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-130에서 알 수 있듯이 P.1546모델이 실측-예측 오차 평균치가 3.04인데 반해, BCAST 모델은 -17.5로 평균적으로 17dB $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 10.5 및 9.5로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-131의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른쪽에 분포하고 있어 나무나 숲에 의한 페이딩 현상을 고려하지 못하고 있는 실정이다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-128 653MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교

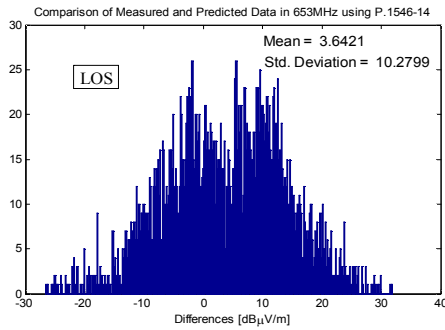


(a) P.1546-14

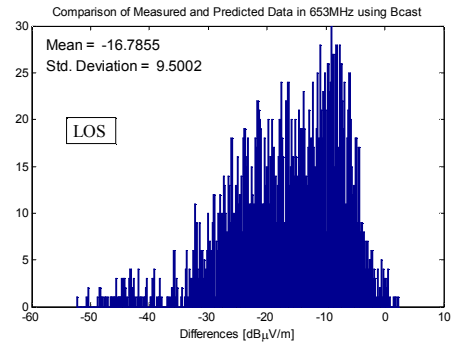
(b) BCAST

그림 4-129 653MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포



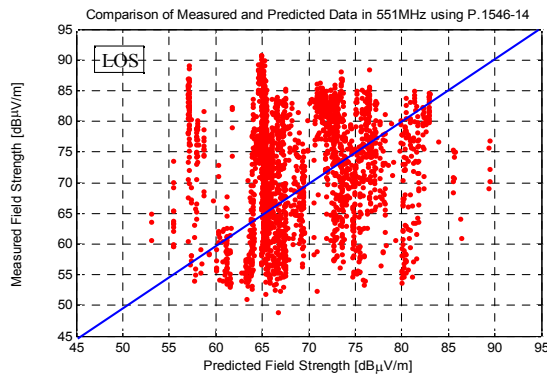


(a) P.1546-14

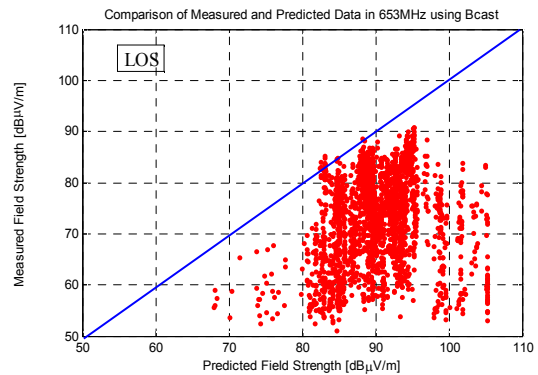


(b) BCAST

그림 4-130 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

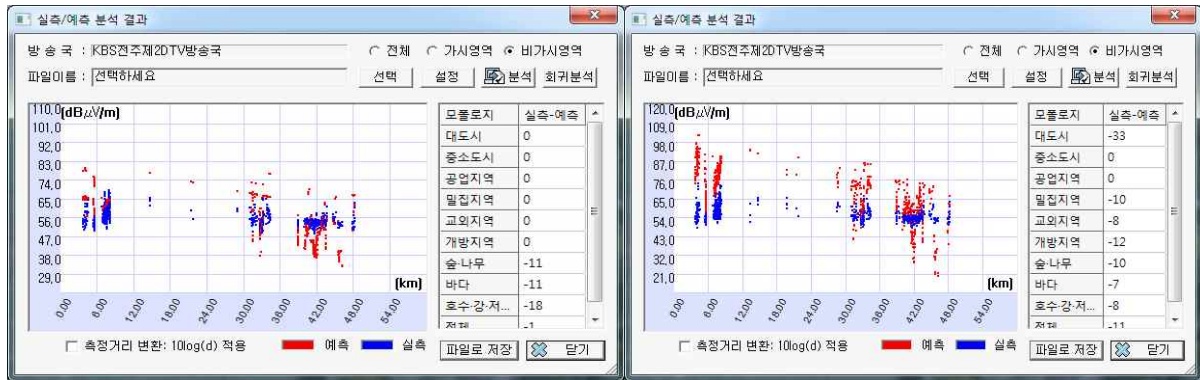


(b) BCAST

그림 4-131 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

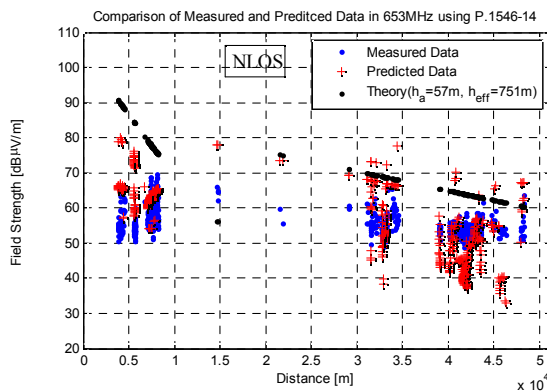
그림 4-132는 SMIS 시스템에서 653MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치보다 상하로 넓게 분포하고 있다. 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 그림 4-133에 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델은 어느 정도 유사하게 분포하나, BCAST 모델의 예측치는 실측치에 비해 상당히 높게 예측되고 있다. 그림 4-134의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -1.2 및 -11.9의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 10.7dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.2 및 11.9로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-135의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 및 BCAST 모델 모두 대각선의 대각선 좌우 분포를 보인다.



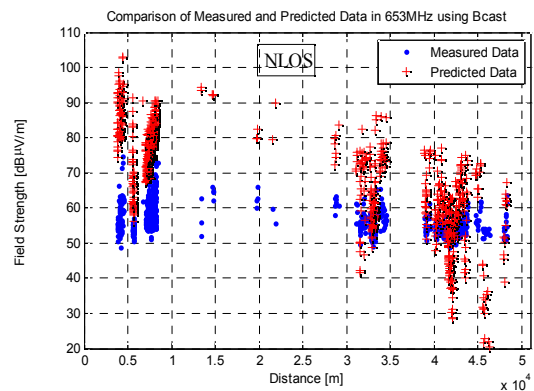
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-132 653MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교

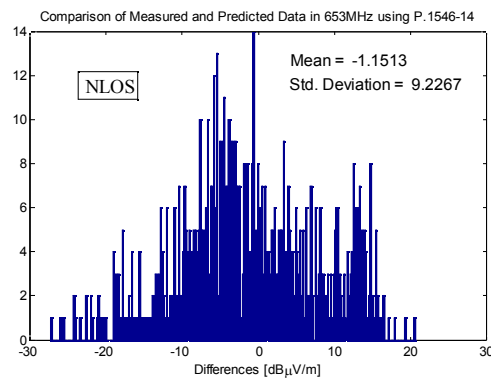


(a) P.1546-14

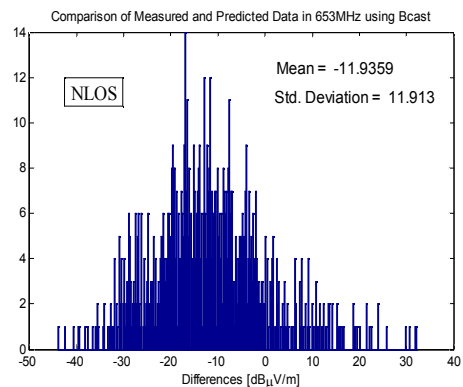


(b) BCAST

그림 4-133 653MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

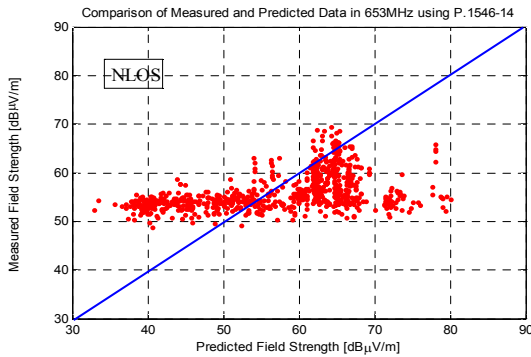


(a) P.1546-14

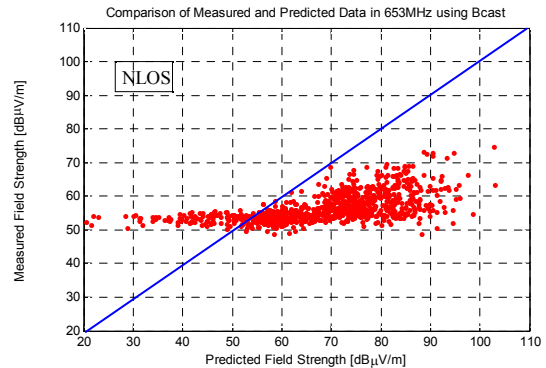


(b) BCAST

그림 4-134 653Hz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



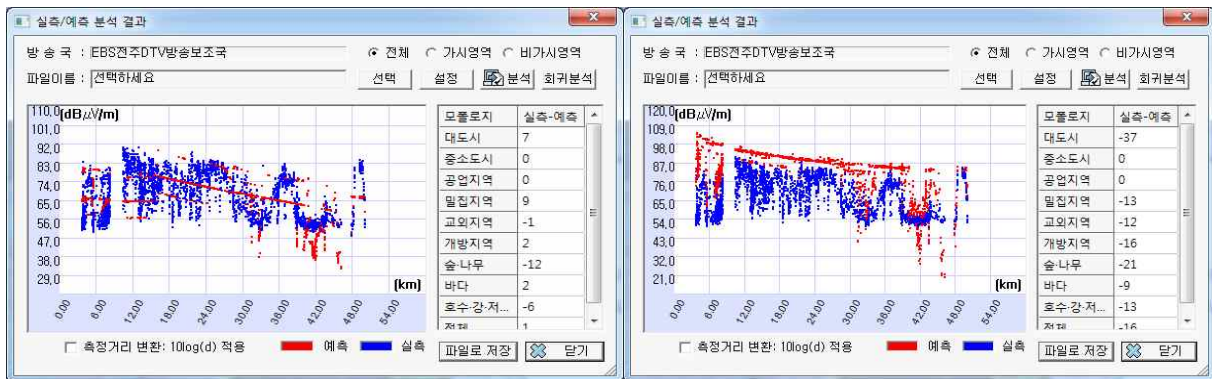
(b) BCAST

그림 4-135 653MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

### 3.6 665MHz EBS 전주 DTV 방송 서비스

#### (1) 전체

그림 4-136은 EBS 전주 DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간을 및 공간을 50%, 수신기 높이 4m에서 건물포함을 적용했을 때, 665MHz에서 BCAST 모델 및 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 50~91dB  $\mu$ V/m 분포에 대해, P.1546 모델은 32~90dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 20~106dB $\mu$ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.



(a) P.1546-14

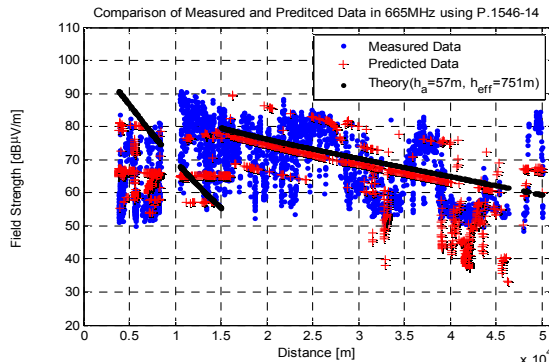
(b) BCAST

그림 4-136 665Hz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 전체 데이터 비교

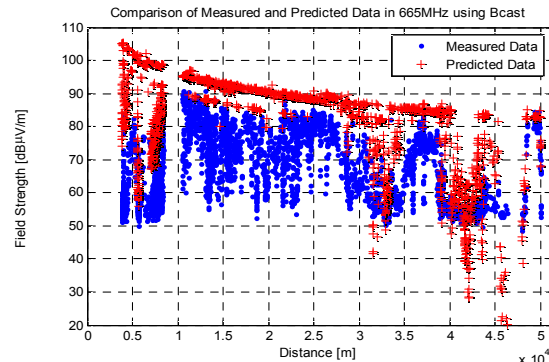
좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램에 의한 데이터 분포를 그림 4-137에 나타내었다. P.1546 모델에서는 그림 4-5로부터 지형 프로파일의 대표적인 입력값  $h_a = 57\text{m}$ ,  $h_{eff} = 751\text{m}$ 로 하는 이론치와 동시에 비교를 하였다. 이로부터 P.1546 모델의 예측치는 실측치와 대부분 겹치고 있으며, 특히 이론값과 SMIS 예측값의 중요 차이가 유사하지만, BCAST 모델은 실측치에 비해 전계강도 분포



가 실측치보다 대체적으로 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-138 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 P.1546 모델이 1.85로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -16.2로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 P.1546 및 BCAST 모델이 각각 10.2, 10.6으로 큰 차이가 없다. 한편 이는 그림 4-139의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른 쪽에 치우치고 있다.

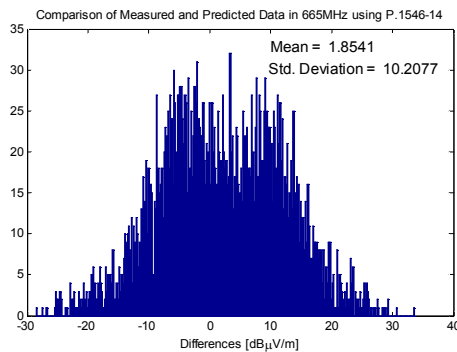


(a) P.1546-14

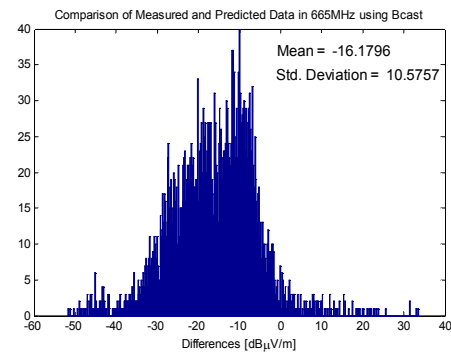


(b) BCAST

그림 4-137 665MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

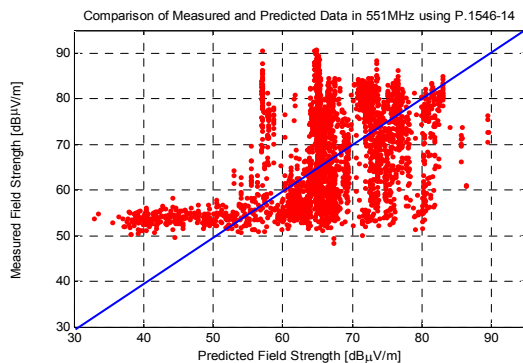


(a) P.1546-14

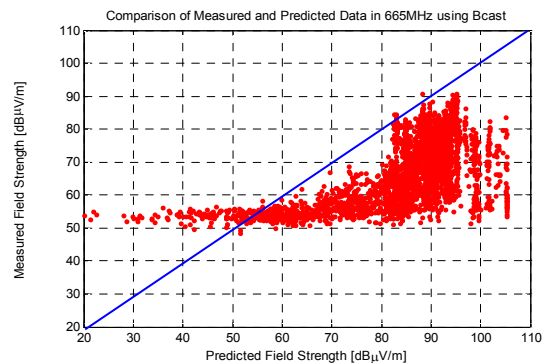


(b) BCAST

그림 4-138 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

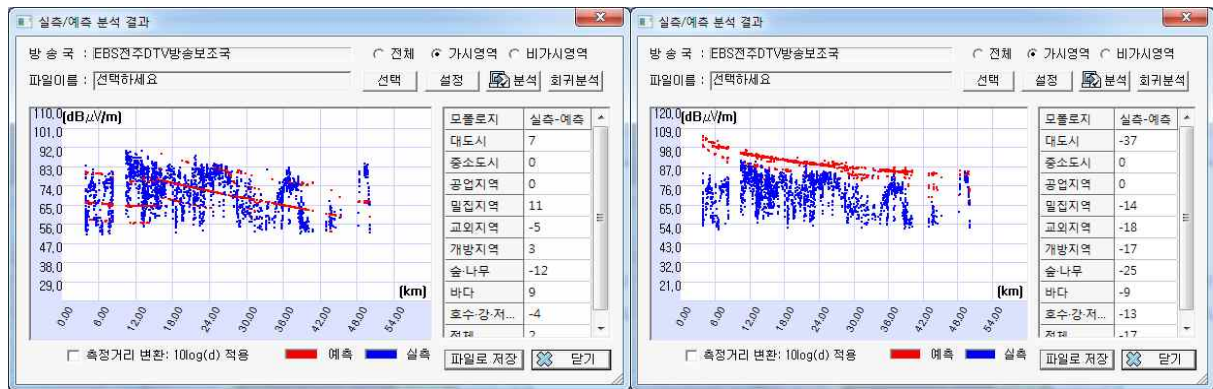


(b) BCAST

그림 4-139 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 전체 전계강도 분포

## (2) LOS

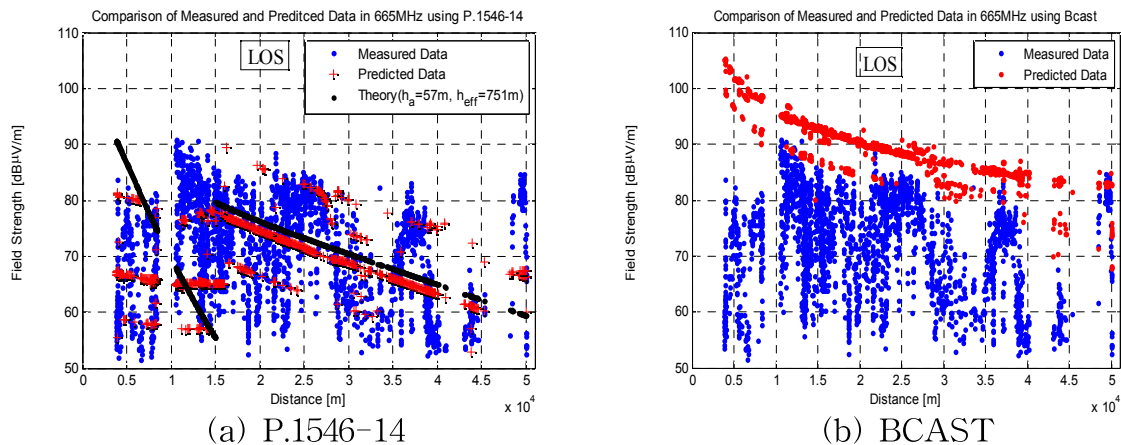
그림 4-140은 SMIS 시스템에서 665MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만, BCAST 모델은 실측치보다 높게 분포하고 있으며, 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 그림 4-141에 Matlab 프로그램에 의한 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델에 의한 예측치는 실측치와 유사하게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 실측치보다 상당히 높게 예측되고 있다. 이는 그림 4-142에서 알 수 있듯이 P.1546모델이 실측-예측 오차 평균치가 2.8인데 반해, BCAST 모델은 -17.8로 평균적으로 17dB $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 10.3 및 9.5로 유사한 편차 분포를 보인다. 마찬가지로 그림 4-143의 실측/예측 전계강도 분포도 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 모든 예측치가 오른쪽에 분포하고 있어 나무나 숲에 의한 페이딩 현상을 고려하지 못하고 있는 실정이다.



(a) P.1546-14

(b) BCAST

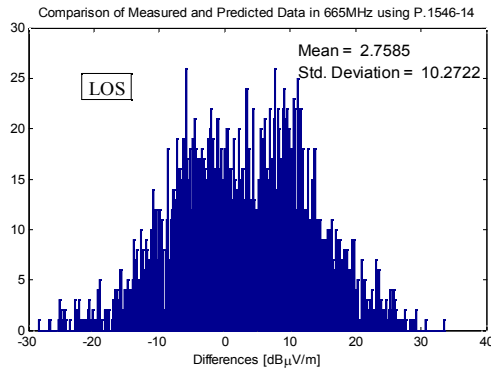
그림 4-140 665MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 LOS 데이터 비교



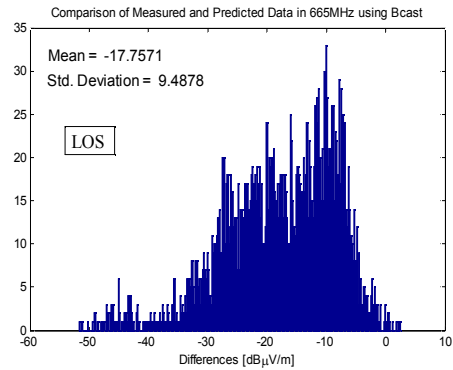
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-141 665MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

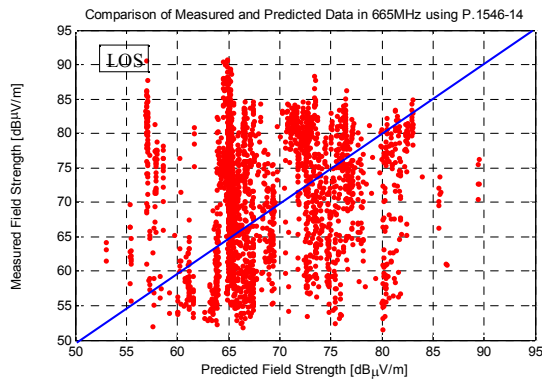


(a) P.1546-14

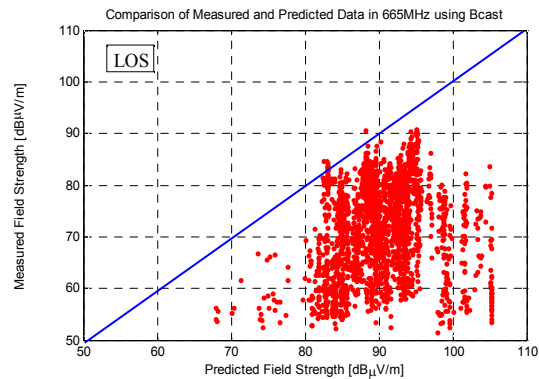


(b) BCAST

그림 4-142 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14

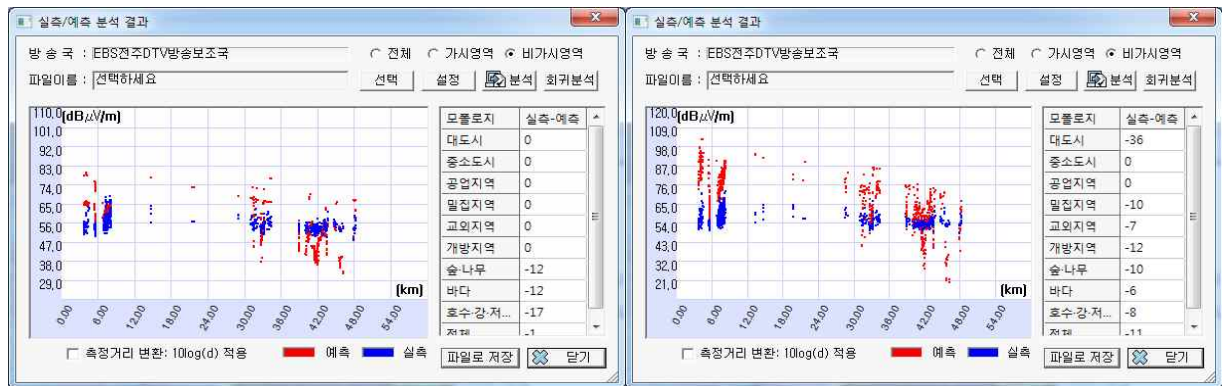


(b) BCAST

그림 4-143 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 LOS 전계강도 분포

## (2) NLOS

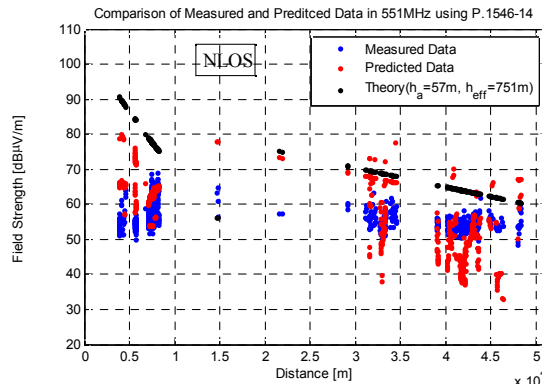
그림 4-144는 SMIS 시스템에서 665MHz NLOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. P.1546 및 BCAST 모델 모두 예측치가 실측치보다 상하로 넓게 분포하고 있다. 이를 좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램을 이용하여 그림 4-145에 실측/예측 데이터 분포를 보인다. 이로부터 P.1546 모델은 어느 정도 유사하게 분포하나, BCAST 모델의 예측치는 실측치에 비해 상당히 높게 예측되고 있다. 그림 4-146의 P.1546 및 BCAST 모델의 실측-예측 오차 평균치가 각각 -1.2 및 -11.9의 결과로부터 두 모델 모두 실측치보다 높게 예측되고 있으며, BCAST 모델이 P.1546 모델보다 평균적으로 약 10.7dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.4 및 12.1로 BCAST 모델이 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다. 그림 4-147의 실측/예측 전계강도 분포로부터 P.1546 및 BCAST 모델 모두 대각선의 대각선 좌우 분포를 보인다.



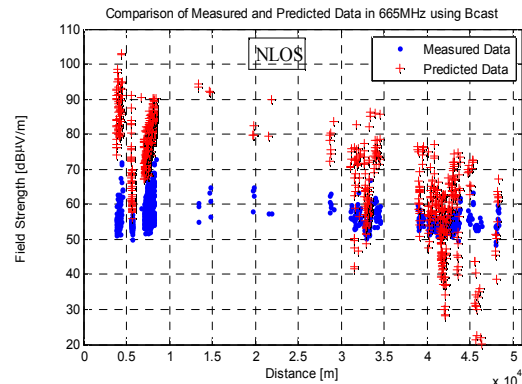
(a) P.1546-14

(b) BCAST

그림 4-144 665MHz에서 모악산-변산 SMIS 실측/예측 NLOS 데이터 비교

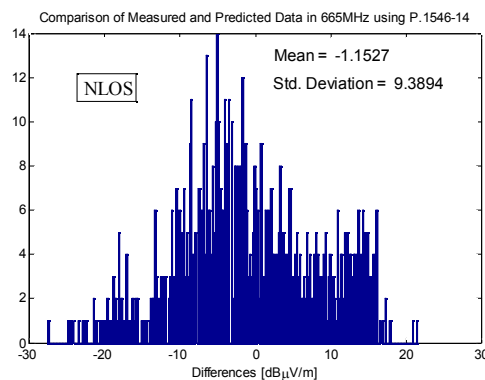


(a) P.1546-14

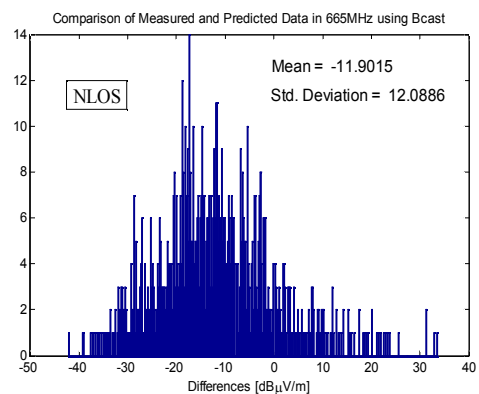


(b) BCAST

그림 4-145 665MHz에서 거리에 따른 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

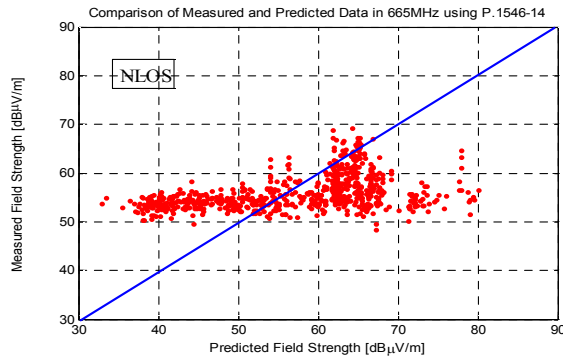


(a) P.1546-14

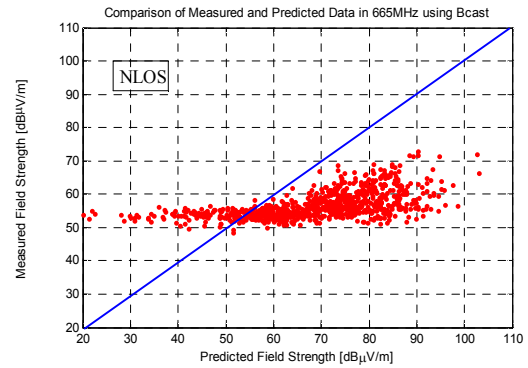


(b) BCAST

그림 4-146 665Hz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포



(a) P.1546-14



(b) BCAST

그림 4-147 665MHz에서 모악산-변산 실측/예측 NLOS 전계강도 분포

### 3.7 분석 결과

표 4-3은 모악산-변산 새만금에 이르는 약 50km 전파경로에서 모악산 중계소에 수신되는 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구한 결과이다. LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려했을 때의 P.1546 모델의 오차 평균은 최저 -0.49~2.01로 모든 주파수에서 전주지역과 유사한 코엑스 대도심 지역보다 실측치와 평균적으로 일치하고 있지만, BCAST 모델의 경우 오차평균은 -15.5~ -18.2로 15dBμV/m 이상 높게 예측되고 있어, 숲과 나무에 의한 페이딩, 바다에 의한 반사파의 영향 등에서 큰 오차를 가져오고 있다. 한편, 표준편차 분석에서는 P.1546 모델이 주파수에 따라 9.82~10.4, BCAST 모델이 10.1~10.6으로 유사한 편차를 보이고 있다.

표 4-3 모악산-변산 실측/예측 오차 평균 및 표준편차

		KBS 전주 제1DTV (551MHz)		JTV DTV (587MHz)		전주 MBC DTV (635MHz)		KBS 전주 제2DTV (653MHz)		EBS 전주 DTV (665MHz)	
		Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.	Mean	Std. Dev.
ALL	P.1546	-0.49	9.82	1.51	10.2	2.01	10.4	2.53	10.3	1.85	10.2
	BCAST	-18.2	10.1	-16.4	10.4	-16.1	10.4	-15.5	10.4	-16.2	10.6
LOS	P.1546	0.44	9.82	2.61	10.3	3.04	10.5	3.64	10.3	2.76	10.3
	BCAST	-19.5	9.21	-17.6	9.60	-17.5	9.51	-16.8	9.50	-17.8	9.49
NLOS	P.1546	-3.61	9.14	-2.01	9.06	-1.38	9.10	-1.16	9.23	-1.15	9.39
	BCAST	-14.6	11.6	-13.0	11.6	-12.2	11.7	-11.9	11.9	-11.9	12.1

LOS만의 전파환경에서는 오차평균에서 P.1546 모델이 0.44~3.64로 조금 낮게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 -16.8~-19.5의 16B $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 표준편차에서는 P.1546 모델이 9.82~10.5, BCAST 모델이 9.21~9.60으로 유사하지만, 전체 전파환경에서보다 오히려 P.1546 모델의 편차가 약간 높게 나타났다. 그러나, NLOS 환경에서는 P.1546 모델이 LOS 환경과 유사한 편차를 보이는 반면, BCAST 모델은 11.6~12.1로 LOS 환경보다는 약간의 큰 편차를 보이고 있다. 모악산-변산 새만금에 이르는 산악 및 개방지역에서 DTV 방송서비스에 대해 P.1546 모델은 실측-예측 오차평가에서 BCAST 모델보다 적합한 예측모델로 평가되고 있으며, BCAST 모델의 큰 예측 오차 원인분석 및 가로수, 숲에 의한 페이딩 현상이라든지 해안에 의한 덕팅 반사파 등을 고려한 향후측정 데이터 분석 등이 요구되고 있다.

## 제 5 장 SMIS 개선 방안

### 제 1 절 SMIS 전파모델 개선 연구

1차 및 2차 전파측정 및 SMIS 예측치와의 비교분석을 통해 SMIS 시스템의 문제점 및 이의 개선방안을 제안한다.

- 서울 대도심, 전주 중소도시, 모악산에서 변산반도에 이르는 산악 및 개방지역의 방송서비스에 대해 세 가지 전파환경에 대해 측정을 수행하여 SMIS 방송망과의 예측분석을 수행한 결과 코엑스 지역에서는 고층건물에 의한 회절손실 등에 대한 면밀한 분석과 P.1546 및 BCAST 모델적용에 있어 실측/예측 오차, 특히 BCAST 모델인 경우 상하로 큰 오차를 보이는 문제점, 전주지역에서는 GIS 데이터와 현실의 건물 및 지형 데이터간에 업그레이드 부재로 인해 분석 데이터의 신뢰도 확보 문제점, 모악산에서 변산반도에 이르는 LOS 전파환경에서 숲과 나무에 의해 페이딩 영향을 고려하지 못하는 전파모델의 적용 문제점 등이 도출되었음
- 현재 SMIS 시스템은 전파업무용도로만 되어 있어 대학 및 연구기관이 소스 코드에 접근이 불가능하여 실측/예측간의 오차 원인분석 및 이의 개선에 어려운 점이 있으므로 별도의 연구용 SMIS 서버구축을 통해 전파업무 및 전파모델 개선 등 관련연구에 효율적으로 이용할 수 있는 연구가 필요함
- P.1546 및 BCAST 모델에 나무와 숲에 의한 페이딩 영향을 고려한 전파모델의 개선 및 이의 국제적인 반영을 위한 연구가 필요
- SMIS 지형 및 건물 GIS 데이터의 업그레이드 시기가 최단 1년 최장 10년의 차이를 보이고 있어 현실적인 GIS 데이터 확보를 위한 별도의 연구가 필요함
- 전파환경과 조화를 이루는 GIS 및 3D 지형지물의 데이터 확보 및 이의 적용 방안 연구필요
- 방송서비스에서는 9m의 안테나 높이로 측정기준을 두고 있어 현재 SMIS 시스템은 9m 방송전파 환경을 분석하고 있지만, 본 측정에 사용된 4m 안테나 또는 1m 안테나 수신환경을 고려한 전파자원분석시스템 개발연구가 요구됨
- 국제적으로 해안/강 바다지역에서의 전파예측 모델개발이 이루어지고 있는 바, 국내에서도 장기적인 해안 도서지역에서의 측정시스템 구축 및 데이터 확보를 통한 분석이 필요함



## 제 2 절 P.1546 모델 개선 연구

### 1. Fresh-water 영향 보완

#### 1.1 개요

- o ITU-R P.1546 모델은 전파곡선(측정된 데이터)에 근거하여 VHF 및 UHF point-to-area 지상 무선링크상의 전계강도를 예측할 수 있는 step-by-step 방법
- o 최근에 업데이트된 P.1546-4 버전은 육상과 해상 전파경로가 혼합된 경로상의 전계강도를 평가할 수 있는 새로운 접근법을 제공하고 있지만, 호수, 강과 같은 fresh-water 상의 부분적인 무선링크를 취급하고 있지 않으며, fresh-water 혼합경로는 전적으로 육상경로로 취급되어 왔음
- o 이러한 평가는 송신기와 수신기 사이에 fresh-water가 존재하는 경우 경로손실에 대한 과평가를 가져옴

#### 1.2 혼합경로 평가를 위한 접근법

- o 모델 개선방법으로서 그림 5-1과 같이 제1 Fresnel ellipsoid와 지형 프로파일 간의 교차점에 근거함
- o Fresnel의 ellipsoid 개념을 적용함으로써 이 방법은 10km 이하의 비교적 단거리 무선링크에 유효
- o Fresnel의 ellipsoid 개념을 이요하기 위해서는 지상은 그의 등가 평면으로 근사화 되고 그림 5-1과 같이 타원의 한 초점은 송신 안테나로 다른 초점은 수신 안테나의 이미지(image)로 정의
- o 주요 개념은 ITU-R P.1546-2에 서술된 송신기와 수신기 간 전체 프로파일을 사용하는 것이 아니라 등가 평면 프로파일과 타원의 교차점내에 놓여 있는 water의 비율을 구함
- o 그림 5-1로부터 특정 Fresnel zone 내의 fresh-water의 %는 다음과 같음

$$p_w = \frac{d_w}{d_f} \quad (5-1)$$

$d_w$  : Fresh-water상에 놓여 있는  $d_f$ 의 부분

$$d_f \approx \frac{2c \sqrt{\lambda(2c + \lambda)(4h_T h_R + 2c\lambda)}}{(h_T + h_R)^2 + 2c\lambda} \quad (5-2)$$

여기서  $\lambda$  : 파장

$h_T$  및  $h_R$  : 송신기 및 수신기 안테나 높이

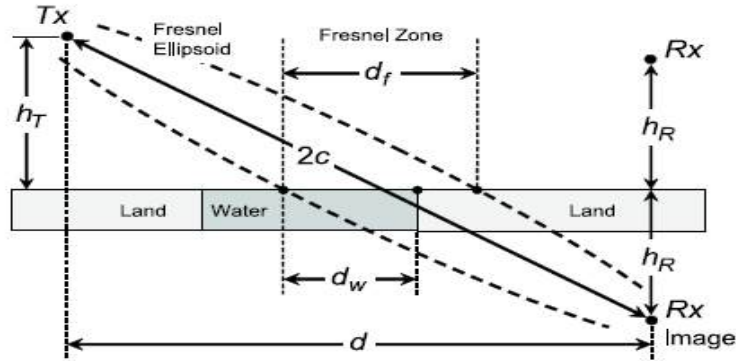


그림 5-1 등가 혼합경로 프로파일 및 Fresnel ellipsoid

$$2c = \sqrt{d^2 + (h_T + h_R)^2} \quad (5-3)$$

여기서,  $d$  : 무선링크의 길이,  $d_f$  : 특정점 주위의 Frenel zone의 길이

o 식(5-1)로부터 보정된 전계강도의 값은 다음과 같음

$$E = (1 - p_w)E_{land}(d) + p_w E_{sea}(d) \quad (5-4)$$

여기서,  $E_{land}$  및  $E_{sea}$  : 각각 all-land 및 all-sea 권고안 곡선으로부터 거리  $d$ 에서의 전계강도

### 1.3 데이터 분석

a) Case I - Pampulha

o 새로운 방법을 평가하기 위해 1809MHz 주파수에서 지배적으로 교외지역인 그림 5-2의 브라질의 Belo Horizonte 내의 Pampulha Lagoon 주위에서 측정이 이루어짐

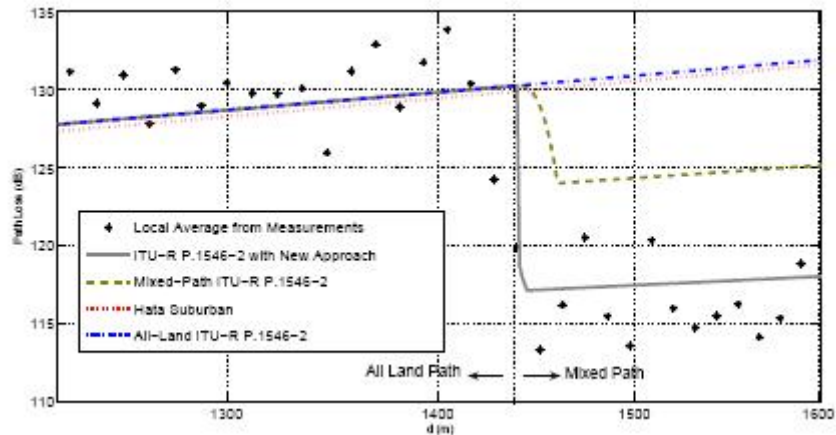


그림 5-2 Pampulha 측정 사이트

- o 표 5-1에 측정된 평균값에 대한 Okumura-Hata 및 ITU 모델에 의한 예측값들의 mean value error(MVE) 및 standard deviation(STD) 값들이 주어짐

표 5-1 MVE 및 STD 값

Propagation Model	MVE (dB)	STD (dB)
Okumura-Hata	-14.59	2.28
All-land ITU-R P.1546-2	-14.93	2.28
Mixed Path ITU-R P.1546-2	-8.72	2.95
Mixed path ITU-R P.1546-2 with new approach	-1.40	2.26

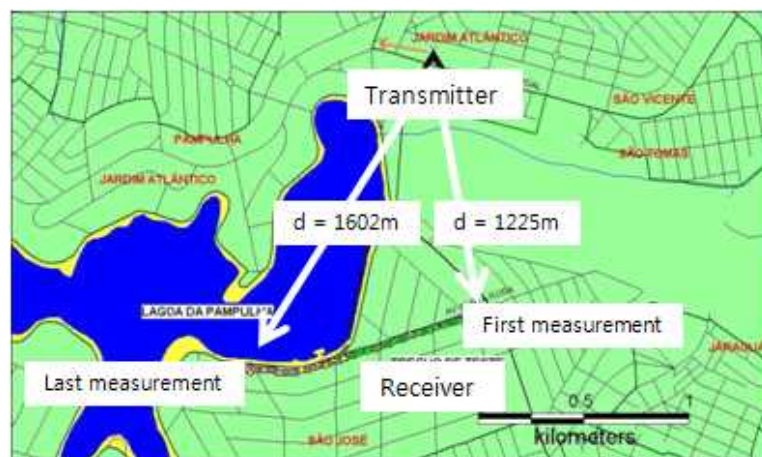


그림 5-3 1809MHz에서의 전파손실 결과

- o 표 5-1로부터 all-land 경로를 고려한 ITU-R P.1546-2에서는 Okumura-Hata 모델에서 얻어진 값과 유사하게 MVE = -14.93dB 및 STD = 2.28dB를 얻음
- o 새로운 접근법을 이용하면 MVE 를 -1,40dB, STD를 2.26dB로 낮출 수 있음
- o 그림 5-3은  $d > 1440m$ 에서 측정된 경로손실 함수로서 새로운 접근방법을 갖는 P.1546 모델에 의해 제공되는 경로손실을 비교하였음

#### b) Case II - Paranoa

- o 856.039MHz에서 그림 5-4의 브라질의 Paranoa Lake에서 측정이 수행됨
- o 경로거리에 따른 측정 데이터를 그림 5-5에 보임
- o 그림 5-5로부터 P.1546-2에 의한 예측된 경로 손실은 혼합경로상에서 측정된 데이터 보다 과평가(overestimate) 되고 있지만, 새로운 접근법에 의한 예측은 다른 모델들에 비해 보다 정확한 일치를 보여 주고 있음

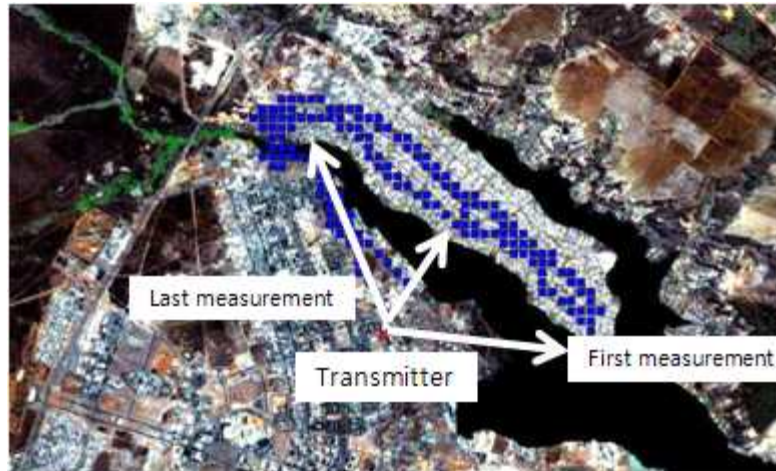


그림 5-4 Paranoa Lake 측정 사이트

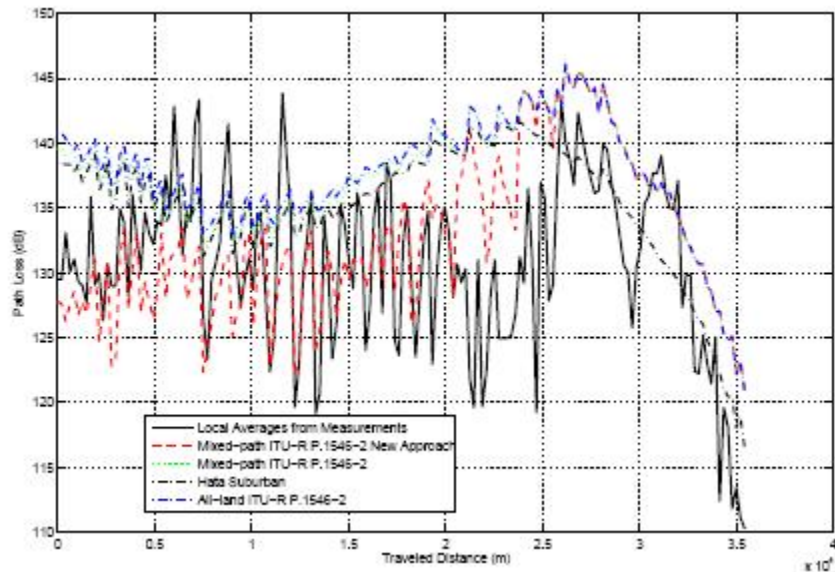


그림 5-5 교외지역에서 856MHz에 대한 경로손실

## 2. 혼합경로의 검증

### 2.1 개요

- o 새로운 P.1546-4 버전은 혼합경로에 대한 새로운 내삽(interpolation) 방법을 제공하면서 sea-only 곡선들을 수정함
- o 이 모델은 측정된 데이터로부터 경험적 데이터에 근거하고 있으며, 10km 이내의 거리에서는 Okumura-Hata 공식을 이용함
- o P.1546 모델은 국제 주파수 계획에 적용되어 왔으며, 이를 이용하여 멀리 있는 송신기가 간섭을 일으킬 신간율이 계산되기도 함
- o 그 결과 전파모델의 정확성이 직접적으로 가용 주파수 스펙트럼에 영향을 미

치며, 특히 보호되어야 할 TV 커버리지 계산에 사용 될 때 White space 무선을 위한 가용 스펙트럼에 영향을 줌

- o 만약 모델에 문제가 있다면 예상치 못한 간섭을 주거나 사용되지 않는 주파수 공간을 남기게 됨
- o 호주에서는 20km까지의 육상-이동 경로에서 이 모델의 우수한 성능을 보였지만, 단거리 시골의 환경에서는 10dB 만큼 median 전계강도의 저평가가 이루어짐
- o Channel Island 간의 장기 전파측정은 비록 10% 시간율에 우수한 성능을 보여주지만, median 전계강도의 10-15dB 저평가가 이루어짐

## 2.2 전파 측정

- o 그림 5-6에 보이는 것처럼 네덜란드의 Wieringen, Lopik, Goes에 위치한 TV 타워를 신호 소스로 선택하고, 수신기를 네덜란드의 Hoek, 영국의 Harwich 및 Baldock에 세팅
- o 표 5-2에 측정경로에 대한 정보를 나타냄

표 5-2 경로거리 및 육상/해상 비율

	Hoek v Holland		Harwich		Baldock	
Goes	55 km	17% sea	186 km	85% sea	282 km	56% sea
Lopik	64 km	0% sea	258 km	75% sea	356 km	53% sea
Wieringen	121 km	45% sea	277 km	88% sea	367 km	58% sea

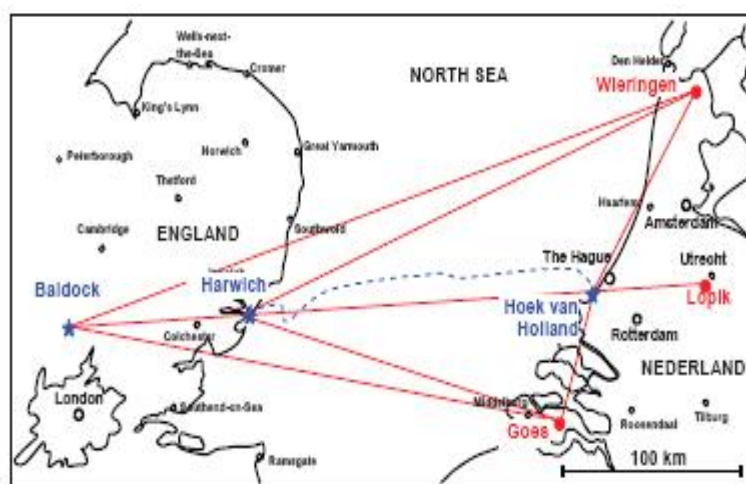


그림 5-6 전파경로 선택



## 2.3 측정 결과

- 각 무선 경로로부터 히스토그램이 얻어졌으며, 56km 경로에 대한 히스토그램은 그림 5-7(a)와 같이 log-normal 분포를 보이고, 보다 장거리에 대한 히스토그램은 그림 5-7(b)와 같이 대류권 전파 이벤트 동안 신호의 증강으로 인해 긴 upward tail을 가짐

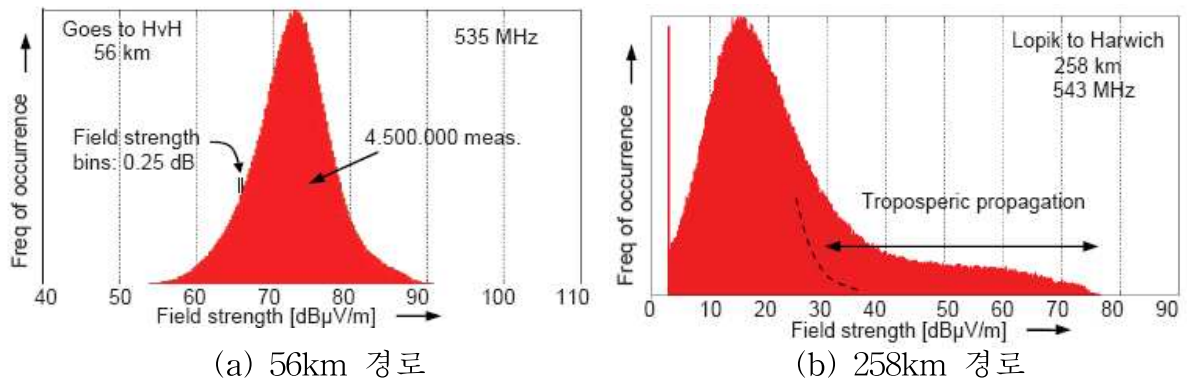


그림 5-7 측정에 의한 히스토그램

- 측정된 데이터와 P.1546에 의해 예측된 데이터를 표 5-3에 보임

표 5-3 측정 데이터 및 예측 데이터

	Hoek v Holland			Harwich			Baldock		
	50%	10%	1%	50%	10%	1%	50%	10%	1%
Goes 1	73	79	87	28	61	76	18	44	
Goes 2	73	80	85	27	62	76		40	
Goes 3	73	81	87	25	60	76		34	
Lopik 2	90	92	95	19	46	68	21	45	
Lopik 3	88	91	93	20	47	69	21	44	
Wieringen 1	46	69	84		32	57	22	47	
Wieringen 2	41	68	83		38	60			
Wieringen 3	41	67	82		32	57			

	Hoek v Holland			Harwich			Baldock		
	50%	10%	1%	50%	10%	1%	50%	10%	1%
Goes 1	68	70	76	30	48	65	20	33	44
Goes 2	66	68	74	29	47	64	19	31	43
Goes 3	66	68	74	29	48	64	20	32	44
Lopik 2	77	79	84	30	46	61	22	34	46
Lopik 3	77	79	84	30	46	61	22	34	46
Wieringen 1	47	56	63	18	37	58	10	23	36
Wieringen 2	47	56	63	21	40	61	13	26	38
Wieringen 3	47	56	63	20	39	60	12	25	38

- 표 5-3으로부터 예측과 측정된 데이터 간의 차는 표 5-4와 같음
- P.1546-4 모델에 의한 예측은 측정된 데이터와 20dB 이상 차이가 나며, 50-70km 거리에서 median 전계강도는 저평가되고 있음
- 4 가지 모델에 대한 RMS deviation(RMSD) 평가를 보면 P.1546-4 모델은 이전의 P.370-7 모델 보다 성능이 떨어지며, P.1546-4 모델에 TCA 정정인자나  $\Delta h$  정정을 통해 동일한 개선효과를 가져옴

표 5-4 측정 전계강도에 대한 P,1546 예측의 비율

	Hoek v Holland			Harwich			Baldock		
	50%	10%	1%	50%	10%	1%	50%	10%	1%
Goes 1	-5	-9	-11	3	-13	-11		15	0
Goes 2	-7	-12	-12	2	-14	-12			3
Goes 3	-7	-13	-13	5	-12	-12			10
Lopik 2	-13	-14	-11	12	0	-7		13	1
Lopik 3	-11	-12	-9	11	-1	-9		13	2
Wieringen 1	1	-13	-21		5	1		1	-11
Wieringen 2	6	-12	-20		2	1			
Wieringen 3	6	-11	-19		7	3			

	RMSD
P.370-7	8,2 dB
P.1546-4	10,0 dB
P.1546-4 mod dh	8,4 dB
P.1546-4 mod TCA	8,7 dB

### 제 3 절 SMIS 개선 실무연구반 회의

#### 1. 실무 연구반 1차 회의 결과

##### 1.1 연구반 추진 계획(안) 논의

- 실무연구반 추진 계획 및 방법, 일정 등 발표
  - 연구반 수행 목적, 운영 계획(일정) 및 주요 임무 등 설명
- 연구에 대한 목적, 범위, 예상되는 성과 및 역할분담에 대해 구체화 할 필요
  - 실무 연구반의 주요 성과를 본 연구반(자문반)과 연계하고, 궁극적으로 중관소, 연구원, 씨엠월드 등 실 사용자를 적극 도와줄 수 있는 방향으로 설정 필요
- 권고에 대한 심도있는 연구필요, 논의의장, 단순 문제점의 해결방안의 취합이 아닌 보정방법, 알고리즘 등에 대해 의견 공유
  - 모델 상 오류부분을 제거하여 수정해가는 방향으로 추진 필요
- 중관소에서는 DMB, DTV 등의 실측데이터들이 충분히 확보되어 있기 때문에 필요한 부분을 예측모델과 비교분석 가능



- 예측모델 자체의 세부 분석은 학계차원에서 수행하고, 실무연구반에서는 실 사용시에 발생하는 문제점을 중심으로 논의해야 함. 예를 들어 방송망 분석시 BCAST와 P.1546 중 하나를 선택하게 되는데 두 모델간 계산값이 차이가 나는 원인 분석 등을 분석해야 함

## 1.2 P.1546에 대한 SMIS 구현 알고리즘 소개

- SMIS 및 P.1546 주요 내용 소개
  - P.1546의 개요, 분석 메커니즘, 수식 보정 등을 설명
  - 산악지역에서의 스위스 연구기관 자체 개발모델과 P.1546, 1546 TCA (Terrain Clearance Angle), Multi knife-edge 간 LOS 상의 프로파일 형태 비교 분석자료 설명
- 위의 분석방법과 같이 향후 전파환경에서의 모델 및 실측데이터 비교 분석시 프로파일 형태로 비교·분석 예정
- 사용시 문제점이 발생하는 케이스들을 확보하여 비교·분석해야 함
  - LOS(Line of Sight)의 여부, Morphology 형태, 건물의 유무 등에 따라 케이스를 선정하여 측정데이터와 비교 필요
  - P.1546은 현재 4번 개정되었으며, 실측데이터와 비교시 오히려 낮은 버전 일수록 국내환경에 더 잘 맞는 경우도 있음
  - 중관소에서 현 사용시 문제가 발생하는 형태, 지역 등에 대한 상세 정보들을 취합 예정
- 현행 방송고시에 적용되어 있는 BCAST는 ETRI에서 프로그램 소스 개발을 하여 SMIS에 반영되어 있으므로 차기회의에서 ETRI 연구원 발표 추진

## 1.3 지상망 및 방송망 관련 측정자료 소개

- 중관소에서 이동차량으로 측정한 경기도 지역 T-DMB, DTV 신호 측정자료 설명
  - 중관소에서 전국적인 전파측정 자료를 확보하고 있으므로 향후 실측데이터로 활용 가능
  - 측정 데이터 활용계획도 필요함. 즉 데이터가 쓸만한 자료인지, 측정자료의

형태, 종류 등 구체적 내용과 신뢰성이 있는지, 어떻게 사용할 것인가, 사용 여부 등에 대해 검토해야 함

## 2. 실무 연구반 2차 회의 결과

### 2.1 BCAST 모델에 대한 해석 및 이해

- 단일 모서리형과 다중 모서리형 회절손실 적용 예
  - 다중 모서리형 계산과정에 필요한 파라미터 및 이의 적용방법
  - BCAST [별표 6] 및 [별표 7]의 전계강도 그래프 결과 얻는 방법
  - BCAST 결과값 얻기 위한 프로그래밍 방법
  - 입력 파라미터로서 안테나 관련 상수 및 LOS Fresnel 영역의 차수 및 비율, 평균지형 높이, 회절점 체인의 첫 번째 및 마지막 회절점 등이 있음
- 임의의 수신점에서의 전계강도는 자유공간 전계강도, 송수신 높이에 따른 위상 손실, 반사파 손실, 방해점 손실, 모서리형 차단점 손실, 구면에 의한 차단점 손실, 경도상의 지형특성에 따른 보정치 등을 이용해 계산

### 2.2 P.1546 모델에 대한 해석 및 이해

- P.1546 모델을 적용하기 위한 입력 파라미터들에 대한 정의
  - ITU 권고안 P.1546은 factor 들 중 송신/기지 안테나의 실효 높이, 수신/이동 안테나 함수에 의한 정정, TCA 함수에 의한 정정 등을 고려하여 예측을 하고 있으며, 각 factor에 대해 구하는 방법들은 다른 여러 권고안 versions 내의 방법들을 참조할 필요가 있음
- P.1546 모델에서 수신/이동 안테나 높이에 대한 정정을 위해 대도시 지역에서는 30m, 도시지역에서는 20m, 개방지역에서는 10m를 적용하는 방법론에 대한 이해 필요
- P.1546 모델을 적용하기 위한 TCA 이해 및 적용 방법
  - 10km 미만의 거리에 대한 TCA 정정을 위한 목적의 모델개발이 필요

### 3. 실무 연구반 3차 회의 결과

#### 3.1 2차 전파측정 및 분석

- 측정시스템 구성 및 측정지역의 전파환경 소개
  - 대도시 지역으로 서울 코엑스 일원, 중소도시로서 전주시 전북도청 일원, 산악 및 개방지역으로 모악산에서 변산반도 새만금에 이르는 약 50km 경로
- 서울 코엑스 지역에서의 측정분석 결과 소개 및 이에 대한 전반적인 검토
  - 측정값은 42~66dB $\mu$ V/m인 반면, P.1546 모델은 42~72dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 2~92dB $\mu$ V/m의 분포를 보임
  - 측정값과 예측값 오차의 표준편차는 P.1546모델은 7.88인 반면 BCAST 모델은 17.3의 큰 오차분포를 보임
  - P.1456 모델에서는 LOS 영역이 없는 반면 BCAST 모델에서는 몇 개의 LOS 영역을 보임
  - 각 방송국 주파수에 따라 P.1546 모델 오차평균 - 6.6~-9.18, 표준편차 7.83~8.0, BCAST 모델은 평균 - 1.34~0.09, 표준편차 17.3~17.6을 보임
  - P.1546 모델이 측정값보다 대체적으로 높게 예측되고 있으나 BCAST 모델 보다는 양호한 예측결과를 보임
- 전주지역에서의 측정분석 결과 소개 및 이에 대한 전반적인 검토
  - 측정값은 46~94dB $\mu$ V/m인 반면, P.1546 모델은 35~78dB $\mu$ V/m, BCAST 모델은 35~97dB $\mu$ V/m의 분포를 보임
  - 측정값과 예측값 오차의 표준편차는 P.1546모델은 9.96인 반면 BCAST 모델은 11.12로 유사한 오차분포를 보이지만, 평균값에서 P.1546 모델은 0.91인 반면, BCAST 모델은 -21.1로 측정값보다 아주 높게 예측되고 있음
  - 각 방송국 주파수에 따라 P.1546 모델 오차평균 - 0.52~1.89, 표준편차 9.95~9.88, BCAST 모델은 평균 - 20.5~-21.7, 표준편차 11.0~11.4을 보임
  - LOS 영역에서 P. 1546 모델은 측정값과 유사한 예측값을 보이나 BCAST 모델은 측정값보다 대체적으로 크게 예측됨 P.1546 모델이 측정값보다 대체적으로 낮게 예측되고 있으나 BCAST 모델보다는 양호한 예측 결과를 보임

- 모악산에서 변산반도에 이르는 전파경로에서의 측정분석 결과 소개 및 이에 대한 전반적인 검토
  - 측정값은  $48\sim 90\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 인 반면, P.1546 모델은  $35\sim 90\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ , BCAST 모델은  $21\sim 105\text{dB}\mu\text{V}/\text{m}$ 의 분포를 보임
  - 측정값과 예측값의 오차의 표준편차는 P.1546 모델은 7.88인 반면 BCAST 모델은 17.3의 큰 오차분포를 보이지만, 평균값에서 P.1546 모델은 -0.5인 반면, BCAST 모델은 -18.2의 큰 값으로 높게 예측되고 있음
  - LOS 영역에서 P.1546 모델은 측정값과 유사한 예측값을 보이나 BCAST 모델은 측정값보다 대체적으로 크게 예측되고 있으며, 전혀 가로수와 같은 나무에 의한 전파감쇠를 고려하고 있지 않음
  - 각 방송국 주파수에 따라 P.1546 모델 오차평균 -0.49~2.53, 표준편차 9.82~10.4, BCAST 모델은 평균 -16.1~-18.2, 표준편차 10.1~11.6을 보임
  - NLOS 영역에서도 P.1546 모델이 측정값에 유사하게 예측하고 있으나 BCAST 모델은 아주 높게 예측하고 있어 전반적으로 P.1546 모델이 양호한 예측결과를 보임

## 제 6 장 결 론

본 연구에서는 ITU-R 전파전달 권고안 조사 분석, 300MHz~3GHz 장거리 송수신 특성측정 및 분석, 고정망 관련 주파수자원분석시스템(SMIS) 개선을 목표로 두고 있으며, 중간 연구결과는 다음과 같다.

ITU-R P.1546 전파모델은 30~3GHz 주파수 범위에서 지상 서비스를 위한 점 대 지역 전파예측을 위한 방법을 설명하고 있으며, 3000m 이하의 유효 송신 안테나 높이에서 1~1000km 길이의 육상, 해상 및/또는 육상-해상 복합경로에 대한 대류권 무선회로에서 사용한다. 예측방법은 거리, 안테나 높이, 주파수 및 % 시간의 함수의 전계강도 곡선으로부터 내삽법/외삽법에 근거하여 계산과정은 terrain clearance 및 terminal clutter obstructions를 보상하기 위해 내삽법/외삽법으로 얻어진 결과에 대한 보정을 포함하고 있다. BCAST 모델은 방송통신위원회 고시 제2009-27호로서 방송구역 전계강도의 기준 제공, 방송서비스에 대한 예측 모델로서 표준방송을 하는 방송국 및 초단파방송, 텔레비전방송을 하는 방송국으로 구분하고 있다. 또한, 안테나의 특성을 고려하였으며, 혼성전파로에 대한 전계강도 계산방법, 산악지형에 대한 단일 모서리형 및 다중 모서리형 등을 이용하여 전계강도 계산에 의한 전파 예측을 가능하게 한다.

중앙전파감시소에서 수행되고 있는 관악산 중계소에 대한 서울지역의 전파측정 데이터를 확보하여 SMIS 시스템을 이용하여 분석한 결과 관악산 중계소 주변의 측정된 데이터를 BCAST 모델과 P.1546 모델에 대한 비교결과는 가시경로에서는 비슷한 결과를 보이나 NLOS에서는 BCAST 모델은 P.1546 모델보다 경로손실이 크게 나타남을 알 수 있다. 또한, 대도시/중소도시, 밀집지역/교외지역, 개방지역/숲-나무/강-호수에 대한 실측과 예측 데이터를 비교하였다. 대도시보다는 중소도시, 밀집지역보다는 교외지역, 숲-나무 또는 강-호수 보다는 개방지역에서 실측 데이터와 예측 데이터의 분포가 유사함을 알 수 있다.

NARDA-STTS사의 휴대용 전파측정 시스템을 이용하여 6월 10일부터 7월 10일까지 모악산 중계소에서 변산반도에 이르는 약 45km에 이르는 전파경로를 따라 1차 측정을 수행하였다. 측정루트에서 산악지형과 평야, 호수와 해안 등의 7개 지역으로 구분하여 이동 가능한 지점을 측정 지점으로 선택하였으며, 한 지점 당 3분 단위의 평균 전계강도 값을 기록하였다. 선택된 주파수 및 서비스는 195MHz MBC ATV, 213MHz KBS ATV, 551MHz KBS DTV, 587MHz JTV DTV, 635MHz MBC DTV, 653MHz KBS2 DTV, 665MHz EBS DTV의 7개 방송서비

스에 대해 측정하였다. 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 적용한 결과 BCAST 예측모델은 가시경로에서는 거의 일치하나, NLOS에서 실측과 예측 데이터 간에 오차가 크게 나타나고 있지만, P.1546 모델은 가시경로 및 NLOS에서 실측과 예측 데이터 간에 거의 일치한다. 주파수가 낮은 ATV 서비스에서 경로에 따른 분산값이 큰 반면 DTV 서비스와 같은 높은 주파수에서는 경로에 따른 분산값이 적으며, 건물이 포함될 때와 포함되지 않을 때의 비교분석을 보면 BCAST 모델에서는 큰 차이가 없지만, P.1546 모델에서는 665MHz 및 653MHz 주파수에서 현격한 차이를 보이고 있다.

1차 측정에서 데이터 확보 미흡 등을 해소하면서 대도심, 중소도시, 산악 및 개방지역에 대한 전파환경의 다양성 등을 분석하기 위해 10월 5일부터 10월 25일까지 서울의 코엑스 일원, 전주의 전북도청 일원, 모악산 변산반도 새만금에 이르는 약 50km의 전파경로에 대해 DTV 방송서비스에 대해 2차 전계강도를 측정하여 SMIS 시스템의 예측치와 비교분석을 하였다.

코엑스 지역에서 전파측정이 가능한 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구한 결과, P.1546 모델의 오차 평균은 최저 -6.6에서 -9.18로 모든 주파수에서 약간 높게 측정된 결과를 보인다. 한편, BCAST 모델의 오차평균은 -1.34~0.09로 중심 근처에서 예측이 되고 있으나, 표준편차가 주파수에 따라 17.3~17.6으로 실측치 보다는 큰 예측오차를 나타내고 있어 향후 이의 문제점 분석 및 검토가 필요하다. 이에 반해 P.1546 모델의 표준편차는 7.83~8.0으로 BCAST 표준편차에 비해 60% 이상 감소한 형태로 측정된 방송 주파수에 대해 대체로 양호한 예측값을 제공하고 있다.

전주시의 전북도청지역에서 전파측정이 가능한 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구한 결과, LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려했을 때의 P.1546 모델의 오차 평균은 최저 0.52에서 1.89로 모든 주파수에서 코엑스 대도심 지역보다 실측치와 평균적으로 일치하고 있지만, BCAST 모델의 경우 오차평균은 -20.5~-21.7로 전주지역에서는 20dBμV/m 이상 높게 예측되고 있어, GIS 건물 데이터 정보가 현실적으로 맞지 않아 이로 인한 회절분석 등에서 큰 오차를 가져오고 있다. 한편, 표준편차 분석에서는 P.1546 모델이 주파수에 따라 9.62~9.88, BCAST 모델이 11.0~11.4로 유사한 편차를 보이고 있다. LOS만의 전파환경에서는 오차평균에서 P.1546 모델이 1.73~3.08로 조금 낮게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 -23.6~-24.9의 24BμV/m 정도 높게 예측되고 있다. 표준편차에서는 P.1546 모델이 9.34~9.68, BCAST 모델이 7.35~7.83으로 유사하지만, 전체 전파환경에서보다 오히려 P.1546 모델의 편차가 약간 높게 나타났다. 그러나 NLOS 환경에서는 P.1546 모델이 LOS 환경과 유사한 편차를 보이는 반

면, BCAST 모델은 13.6~14.9로 LOS 환경에 비해 두 배 정도의 편차를 보이고 있다. 전주지역에서 DTV 방송서비스에 대해 P.1546 모델은 실측-예측 오차평가에서 BCAST 모델보다 적합한 예측모델로 평가되고 있으며, BCAST 모델의 큰 예측 오차 원인분석 및 GIS 지형 및 건물데이터의 현실적인 업그레이드를 통한 향후측정 데이터 분석 등이 요구되고 있다.

모악산-변산 새만금에 이르는 약 50km 전파경로에서 모악산 중계소에 수신되는 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구한 결과, LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려했을 때의 P.1546 모델의 오차 평균은 최저 -0.49~2.01로 모든 주파수에서 전주지역과 유사한 코엑스 대도심 지역보다 실측치와 평균적으로 일치하고 있지만, BCAST 모델의 경우 오차평균은 -15.5~-18.2로 15dB $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있어, 숲과 나무에 의한 페이딩, 바다에 의한 반사파의 영향 등에서 큰 오차를 가져오고 있다. 한편, 표준편차 분석에서는 P.1546 모델이 주파수에 따라 9.82~10.4, BCAST 모델이 10.1~10.6으로 유사한 편차를 보이고 있다. LOS만의 전파환경에서는 오차평균에서 P.1546 모델이 0.44~3.64로 조금 낮게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 -16.8~-19.5의 16B $\mu$ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 표준편차에서는 P.1546 모델이 9.82~10.5, BCAST 모델이 9.21~9.60으로 유사하지만, 전체 전파환경에서보다 오히려 P.1546 모델의 편차가 약간 높게 나타났다. 그러나, NLOS 환경에서는 P.1546 모델이 LOS 환경과 유사한 편차를 보이는 반면, BCAST 모델은 11.6~12.1로 LOS 환경보다는 약간의 큰 편차를 보이고 있다. 모악산-변산 새만금에 이르는 산악 및 개방지역에서 DTV 방송서비스에 대해 P.1546 모델은 실측-예측 오차평가에서 BCAST 모델보다 적합한 예측모델로 평가되고 있으며, BCAST 모델의 큰 예측 오차 원인분석 및 가로수, 숲에 의한 페이딩 현상이라든지 해안에 의한 덕팅 반사파 등을 고려한 향후측정 데이터 분석 등이 요구되고 있다.

최근에 업데이트된 P.1546-4 버전은 육상과 해상 전파경로가 혼합된 경로상의 전계강도를 평가할 수 있는 새로운 접근법을 제공하고 있지만, 호수, 강과 같은 fresh-water 상의 부분적인 무선링크를 취급하고 있지 않으며, fresh-water 혼합경로는 전적으로 육상경로로 취급되어 왔다. 이를 보정하기 위해 ITU-R P.1546-2에 서술된 송신기와 수신기 간 전체 프로파일을 사용하는 것이 아니라 등가 평면 프로파일과 타원의 교차점내에 놓여 있는 water의 비율을 구하였다. 새로운 방법을 평가하기 위해 1809MHz 주파수에서 지배적으로 교외지역인 브라질의 Pampulha Lagoon 주위 및 856.039MHz에서 Paranoa Lake에서 측정이 수행되었으며, P.1546-2에 의한 예측된 경로 손실은 혼합경로상에서 측정된 데이터 보다 과평가 되고 있지만, 새로운 접근법에 의한 예측은 다른 모델들에 비해 보다



정확한 일치를 보여 주고 있다.

SMIS 실무연구반 회의 개최를 통해 SMIS에 국내 강우특성을 반영하는 것이 필요하고, 국내 M/W 운영 실태 및 운영 규정상의 문제점 지적되었으며, 보수적 차원의 전파전달특성 예측 및 분석 필요 및 측정, 분석 연구결과의 활용(시스템 반영) 및 한국형 모델 개발 필요하다는 점이 도출되었다.

1차 및 2차 전파측정 및 SMIS 예측치와의 비교분석을 통해 SMIS 시스템의 문제점 및 이의 개선방안을 제안한다.

- 서울 대도심, 전주 중소도시, 모악산에서 변산반도에 이르는 산악 및 개방지역의 방송서비스에 대해 세 가지 전파환경에 대해 측정을 수행하여 SMIS 방송망과의 예측분석을 수행한 결과 코엑스 지역에서는 고층건물에 의한 회절손실 등에 대한 면밀한 분석과 P.1546 및 BCAST 모델적용에 있어 실측/예측 오차, 특히 BCAST 모델인 경우 상하로 큰 오차를 보이는 문제점, 전주지역에서 GIS 데이터와 현실의 건물 및 지형 데이터간에 업그레이드 부재로 인해 분석 데이터의 신뢰도 확보 문제점, 모악산에서 변산반도에 이르는 LOS 전파환경에서 숲과 나무에 의해 페이딩 영향을 고려하지 못하는 전파모델의 적용 문제점 등이 도출되었음
- 현재 SMIS 시스템은 전파업무용도로만 되어 있어 대학 및 연구기관이 소스 코드에 접근이 불가능하여 실측/예측간의 오차 원인분석 및 이의 개선에 어려운 점이 있으므로 별도의 연구용 SMIS 서버구축을 통해 전파업무 및 전파모델 개선 등 관련연구에 효율적으로 이용할 수 있는 연구가 필요함
- P.1546 및 BCAST 모델에 나무와 숲에 의한 페이딩 영향을 고려한 전파모델의 개선 및 이의 국제적인 반영을 위한 연구가 필요
- SMIS 지형 및 건물 GIS 데이터의 업그레이드 시기가 최단 1년 최장 10년의 차이를 보이고 있어 현실적인 GIS 데이터 확보를 위한 별도의 연구가 필요함
- 전파환경과 조화를 이루는 GIS 및 3D 지형지물의 데이터 확보 및 이의 적용 방안 연구필요
- 방송서비스에서는 9m의 안테나 높이로 측정기준을 두고 있어 현재 SMIS 시스템은 9m 방송전파 환경을 분석하고 있지만, 본 측정에 사용된 4m 안테나 또는 1m 안테나 수신환경을 고려한 전파자원분석시스템 개발연구가 요구됨
- 국제적으로 해안/강 바다지역에서의 전파예측 모델개발이 이루어지고 있는 바, 국내에서도 장기적인 해안 도서지역에서의 측정시스템 구축 및 데이터 확보를 통한 분석이 필요함

## [참고문헌]

- [1] International Telecommunication Union (ITU-R), “Method for point - to - area predictions for terrestrial services in the frequency range 30MHz to 3000MHz,” Recommendation ITU-R P.1546-14, 2009.
- [2] International Telecommunication Union (ITU-R), “Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems,” Recommendation ITU-R P.530-14, 2012.
- [3] B. L. Agba, O. Ben-Sik-Ali, R. Morin, G. Bergeron, “Recent evolution of ITU method for prediction of multipath fading on terrestrial microwave links,” *PIERS Proceedings*, Marrakesh, MOROCCO, pp. 1375-1380, March 20-33, 2011.
- [4] International Telecommunication Union (ITU-R), “Prediction procedure for the evaluation of interference between stations on the surface of the Earth at frequencies above about 0.1GHz,” Recommendation ITU-R P.452-14, 2009.
- [5] H. Fujii, A. Sato, T. Asai, and Y. Okumura, “Extension of clutter loss calculation for Recommendation ITU-R P.452,” *Antenna Propagation and EM Theory(ISAPE)*, 2010 9<sup>th</sup> International Symposium, pp.477-480, 2010.
- [6] M.Hata, “Empirical formular for propagation loss in land mobile radio service,” *IEEE Trans. Veh. Technol.*, VT-29[3], pp.317-325, Jun 1980.
- [7] J.Walfish and H.L. Bertoni, “ A theoretical model UHF propagation in urban environment,” *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 36, no.12, pp.1788-1796, Dec. 1988.
- [8] International Telecommunication Union (ITU-R), “Propagation by diffraction,” Recommendation ITU-R P.526-11, 2009.
- [9] 방송통신위원회 고시 제2009-27호, 방송구역 전계강도의 기준·작성요령 및 표시방법.
- [10] 연구보고서, 방송망 분석 알고리즘 검증, 전파연구소, 2008년
- [11] 연구보고서, 방송망 주파수 자원분석 알고리즘 연구, 전파연구소, 2007년