

국내 전파전달 및 전파기반 특성 연구

2012. 12. 31.

제 출 문

본 보고서를 「국내 전파전달 및 전파기반 특성 연구」 과제의
최종보고서로 제출합니다.

2012. 12. 31.

연구책임자 : 이용직 (미래전파연구팀 미래1담당)
연 구 원 : 권용기 (미래전파연구팀 미래1담당)
 김형섭 (미래전파연구팀 미래1담당)

요 약 문

전파의 강우감쇠 특성, 전파의 전달예측, 전파잡음 등 전파의 기초 특성 연구는 전파이용이 급증하는 스마트 사회에서 효율적 주파수 사용을 위해 필수적으로 수행되어야 하는 연구분야이다. 그러나 이 연구분야는 고비용의 시스템 구축, 장기간의 측정을 통한 데이터 축적 및 결과물 산출에 장시간이 소요되는 등의 문제로 산학연에서 적극적 연구를 회피하는 취약분야이다.

2000년대 초 이후, 이와 유사한 이유로 중단되었던 전파 기초기반 특성 연구 업무가 2011년 8월 19일 국립전파연구원 개원과 함께 다시 우리원의 고유 업무로 시작되면서, 2012년에는 전파의 기초기반 특성연구로 무궁화 5호 위성의 강우감쇠특성, 방송망 전파전파 예측모델 및 전파잡음 측정방법 표준화에 대한 연구를 추진하였다.

무궁화 5호 위성의 강우감쇠 특성연구로는 2012년도에 무궁화위성의 비콘 신호 측정데이터를 UN산하 국제전기통신연합(ITU)의 위성망 강우감쇠예측 모델(P.618 등)과 비교분석하였다. 시간율 0.01%에 해당하는 1분 강우강도는 ITU 예측치가 47.3 mm/h인 반면, 실제 1분 강우강도 실측 데이터 값은 112.8 mm/h로 ITU 예측치보다 훨씬 높은 값을 보이고 있다. 실제로 47.3mm/h의 ITU 예측치는 0.05% 시간율의 측정값에 해당한다. 또한, 무궁화 위성 Ku대역 비콘 신호의 실제 강우감쇠량은 ITU 모델을 이용하여 예측한 결과보다 최대 5dB 이상 높게 나타난다. 이는 국내에서 측정된 강우강도 실측 데이터에 기초하지 않고 ITU 예측치를 이용하여 무선링크를 설계하는 경우, 무선링크상에서의 실제 강우강도는 예측한 강우강도보다 훨씬 높은 강우가 나타나 무선링크가 끊어질 수도 있음을 의미한다. 즉, 연평균 99.9% 시간동안 성능이 유지되어야 할 무선망이 99.5% 시간동안만 성능을 유지하게 되는 상황이 발생한다.

방송망 전파전파예측모델 비교·분석 결과, 가시영역의 개방지역에서는 P.1546-4이, 비가시영역의 개방지역에서는 Bcast모델이 실측모델에 근사하게 예측하고 있음을 확인하였다. 그러나 가시영역의 밀집지역과 비가시영역의

밀집지역에서는 지역별로 근사정도가 달라 두 모델 중 어느 모델이 더 실측 값에 근사한 값을 예측하고 있는지 판단하기 어렵다. 이의 정확한 분석을 위해서는 수신 지역별로 전파환경에 의한 반사, 회절 등의 특성과 함께 더 많은 측정 데이터를 분석할 필요가 있다.

전파잡음과 관련하여, 국내에서 통용되는 3가지 측정방법으로 전파잡음을 측정한 결과를 비교, 분석하였다. 측정 방법이 다른 경우 전파잡음이 다르게 나와 데이터를 공유하여 분석할 필요가 있을 때는, 측정방법에 의한 차이를 보정해야 하는 불편함이 있음을 발견하였다. 따라서 ITU 국제 표준, 미국, 일본, 독일 등에서 규정한 전파잡음 측정방식을 조사, 분석하여 전파잡음 측정방법에 대한 체계화, 통일화된 규정 마련이 필요함을 인식하였다. 이러한 분석을 통하여 표준화된 측정방법으로 “전파잡음 측정방법” 신규 고시를 제정하여 향후 측정 데이터를 쉽게 공유할 수 있는 기반을 마련하였다.

SUMMARY

Understanding the fundamental characteristics of radio waves such as rain attenuation, radio propagation and radio noises is essential for the efficient use of radio spectrum in order to cope with the rapid spectrum demands in smart society. However, it takes quite a long time to have study results and requires high cost radio equipments, measurement data accumulation for long term etc. Therefore, this area of study has been studied very few and not systematically in academy, research institutes and industry.

Our agency restarted study on this area since August 2011 and this report describes the study results in 2012 on rain attenuation of a Korea satellite at Ku band, comparison between measurement data and prediction model of terrestrial broadcasting network at UHF band and standardization of measurement procedure of radio noises.

Firstly, the Korea satellite, MuGungHwa-5, beacon signal has been measured at Yongsan, Seoul since 2011. Rain attenuation data also were obtained from Korea Meteorological Administration, which require some procedures of transformation for the use of radio propagation analysis. These measured data were compared with the ITU models (Recommendation ITU-R P. 618, etc). ITU model predicts that rain fall rate is 47.3mm/h of annual time but our measured data is 112.8mm/h for 0.01%. The ITU predicted data, 47.3 mm/h corresponds to 0.05% of annual time based on the measured data. The rain attenuation of the beacon signal is also 5dB more than that of the ITU model. This implies that if a network operator implements its radio network based on the ITU model related to rain attenuation, the performance of the network would be as good as only for 99.5% even if it is expected for 99.9% for a year.

In the analysis of radio propagation model of broadcasting network,

measured data at open area in the line of sight in Korea is fitted better with ITU-R Recommendation P.1546-4 than Bcast model which was developed in the 1980 in Korea. However, the measured data at dense area in line of sight or non-line of sight are similar to the results of both models. In order to figure out the results clearly, more measured data is required as well as reflection, diffraction of the radio environment of the received point.

Finally, radio noises are measured with 3 different procedures used in Korea. The comparison and analysis shows that the use of different procedures result in different value of radio noises, which requires additional steps/procedures to compensate the data measured in different procedures. In order to avoid this avoidable additional procedures, a standardized procedures of radio noise measurement is developed and published as a Public notice based on analysis of the measurement procedures of USA, Japan, Germany and ITU Recommendations. This would facilitate the easy sharing of measured data which requires a lot of time and efforts.

목 차

제1장 서 론	13
제2장 무궁화위성 신호의 강우감쇠 특성 분석	15
제1절 연구 필요성	15
제2절 위성신호의 강우감쇠 특성 측정 및 분석	16
1. 측정시스템	16
2. 측정 데이터 수집 및 분석 절차	20
3. 위성 신호의 강우감쇠 특성 분석	25
4. ITU 예측 모델과 측정 데이터간 비교·분석	29
제3절 국내 전파환경 특성 분석	33
1. 기상자료 분석 시스템 구축	33
2. 강우강도 분포특성 분석	35
3. 대기굴절률 기울기 특성 분석	36
제3장 방송망 전파전파 예측모델 비교·분석	40
제1절 방송망 전파전파예측모델 분석 개요	40
제2절 실측-예측 데이터 비교·분석	41
1. 중관소 DTV방송 수신환경조사자료 활용	41
2. 가시/비가시, 모폴로지별 전파예측값 추출	41
3. 가시/비가시별 개방, 밀집지역별 실측-예측 분석	55
제3절 실측-예측모델 분석 결과	57
1. 가시영역/개방지역	57

2. 가시영역/밀집지역	59
3. 비가시영역/개방지역	62
4. 비가시영역/밀집지역	64
제4절 결론	67
 제4장 전파잡음 측정·분석 및 제도 개선	69
제1절 개요	69
1. 전파잡음	69
2. 전파잡음 특성	71
제2절 국내 전파잡음 측정 및 분석	74
1. 전파잡음 측정	74
2. 측정 결과 비교·분석	78
제3절 전파잡음 측정방식 표준화	83
1. 국외 전파잡음 측정방식 조사·분석	83
2. 국내외 전파잡음 측정방식 비교·분석 및 표준화 방향	89
제4절 전파잡음 측정방법 고시 제정	91
1. 개요	91
2. 전파잡음 측정방법 고시	91
 제5장 결 론	100
 참고문헌	103
 부록	106

표 목 차

[표 2-1] 강우감쇠 측정시스템 규격 및 환경	18
[표 2-2] 10분 및 1분 누적 강우강도 값 비교	26
[표 2-3] 강우강도 및 무궁화5호위성 비콘 신호의 강우 감쇠량에 대한 실측치/예측치 비교	31
[표 2-4] 기상자료 분석 프로그램 주요 내용	34
[표 2-5] 국내 주요지역별 강우강도 분포 비교	35
[표 2-6] 월별 대기굴절을 기울기 및 유효지구반경 변화	38
[표 3-1] 지역별 방송채널 측정지점수	41
[표 3-2] 실측-예측모델 비교를 위한 공통분석지점 수	56
[표 3-3] 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차	59
[표 3-4] 가시영역/밀집지역 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차	61
[표 3-5] 비가시영역/개방지역 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차	64
[표 3-6] 비가시영역/밀집지역 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차	66
[표 4-1] 주파수 범위별 주요 전파 잡음원	71
[표 4-2] 전파잡음 성분	74
[표 4-3] 전파잡음값 표현 방식	75
[표 4-4] 전파잡음 측정항목 및 측정시스템 구성	76
[표 4-5] 전파잡음 측정 개요	76
[표 4-6] 1차 전파잡음 측정지점 검토 및 선정	77
[표 4-7] 안테나 높이별 전파잡음 발생현황	84
[표 4-8] 전파잡음 측정방식 관련 주요 분석 자료	85
[표 4-9] 전파잡음 측정방식 비교	91
[표 4-10] 주요 업무별 전파잡음 측정 높이	94
[표 4-11] 전파잡음 측정대상 주파수 선정을 위한 측정 시스템 설정	95
[표 4-12] 백색가우시안잡음 레벨 측정만을 위한 측정시스템 설정	96
[표 4-13] 백색가우시안잡음 레벨과 임펄스잡음 특성 측정을 위한 측정시스템 설정	97

그 립 목 차

[그림 2-1] 주파수별 강우 및 대기가스 감쇠 특성	15
[그림 2-2] 무궁화 위성신호 강우감쇠 측정시스템 구성도	17
[그림 2-3] 천리안/무궁화 위성신호 강우감쇠 측정시스템 구성도 ...	19
[그림 2-4] 무궁화 위성신호의 수신세기 변화 비교	21
[그림 2-5] 계절별 Ku대역 비콘 신호 수신세기 변화 비교	23
[그림 2-6] 강우 감쇠량 계산 절차	24
[그림 2-7] 10분 →1분 강우강도 변환 결과	27
[그림 2-8] 시간율에 따른 Ku대역 비콘 신호 강우감쇠량 변화	28
[그림 2-9] 강우강도에 따른 Ku대역 비콘 신호 강우감쇠량 변화 ...	29
[그림 2-10] 시간율에 따른 1분 강우강도 실측치와 예측치 비교 ...	32
[그림 2-11] 무궁화위성신호(Ku 대역)의 시간율에 따른 강우 감쇠량 치와 예측치 비교(서울)	32
[그림 2-12] 서울 지역 강우강도 분포 비교	36
[그림 2-13] 전파의 곡선 진행에 따른 장애물의 영향	37
[그림 2-14] 월별 유효지구반경 변화(포항, '02~'04)	39
[그림 3-1] 전파전파예측모델 시뮬레이션 설정	42
[그림 3-2] 서울 관악산 KBS2 DTV 측정지점 분포	43
[그림 3-3] 서울 관악산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과 ...	45
[그림 3-4] 대구 팔공산 KBS2 DTV 측정지점 분포	45
[그림 3-5] 대구 팔공산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과 ...	47
[그림 3-6] 부산 황령산 KBS2 DTV 측정지점 분포	47
[그림 3-7] 부산 황령산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과 ...	49
[그림 3-8] 광주 무등산 KBS2 DTV 측정지점 분포	49
[그림 3-9] 광주 무등산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과 ...	51
[그림 3-10] 울산 무룡산 KBS2 DTV 측정지점 분포	51
[그림 3-11] 울산 무룡산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과 ...	53
[그림 3-12] 창원 불모산 KBS2 DTV 측정지점 분포	53

[그림 3-13] 창원 불모산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과	55
[그림 3-14] 지역별 가시영역/개방지역 실측-예측 분포	58
[그림 3-15] 지역별 가시영역/밀집지역 실측-예측 분포	61
[그림 3-16] 지역별 비가시영역/개방지역 실측-예측 분포	63
[그림 3-17] 지역별 비가시영역/밀집지역 실측-예측 분포	66
[그림 4-1] 신호 성분에 대한 잡음영향	70
[그림 4-2] 잡음의 특성 : 백색 잡음	72
[그림 4-3] 잡음의 통계적 특성: 가우시안 잡음	72
[그림 4-4] 전파잡음 측정시스템 구성도	78
[그림 4-5] 1차 측정 결과(주파수별 잡음 전력 변화)	80
[그림 4-6] 2차 측정 결과(주파수별 잡음 전력 변화)	80
[그림 4-7] 주파수별, 지역별(서울도심/농촌) 전파잡음 발생 현황 비교	82
[그림 4-8] 기상 상태별 전파잡음 발생 현황 비교	83
[그림 4-9] 안테나 높이별 전파잡음 발생현황 비교(예:112.35 MHz)	84
[그림 4-10] 미국 전파잡음 측정시스템 구성도 및 주요 내용	87
[그림 4-11] 일본 전파잡음 측정시스템 구성도 및 주요 내용	88
[그림 4-12] 독일 전파잡음 측정시스템 구성도 및 주요 내용	90
[그림 4-13] 전파잡음 측정시스템 구성도	93
[그림 4-14] 전파잡음 측정대상 주파수 선정을 위한 측정시스템 구성도 ...	95
[그림 4-15] 무선국 신호성분 제거를 위한 측정데이터의 시간 세분화	99
[그림 4-16] 단일 캐리어(연속 신호) 성분이 포함/미포함된 그래프 비교 ..	100
[그림 4-17] 단일 캐리어 신호(연속 신호) 성분 세기변화에 따른 기울기 특성 비교	100

제1장 서론

무선기술이 급속히 발전하고 다양한 전파 방송·통신 서비스 및 ICT 융합 서비스가 등장함에 따라 이의 기본요소인 전파자원(주파수)의 부족이 사회적 이슈가 되고 있다. 따라서 신규 주파수 자원의 개발과 함께 유한한 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위한 노력이 필요하다. 유한한 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해 다양한 기술개발이 이루어지고 있으며 무선국 설계시 지역별 전파환경 특성을 반영하여 전파전달 특성을 예측하고, 무선국의 송신출력 및 서비스 범위 등을 설계하는 것이 필요하다. 전파의 특성을 분석하기 위해서는 강우감쇠와 같은 기후변화 요소, 전파예측 모델, 전파 서비스 지역 주변의 전파잡음 등이 필요하므로 이에 대한 사항들을 살펴보고자 한다.

첫째, 기후변화와 관련하여 최근 우리나라는 매년 평균 강수량이 증가하고 있으며, 특히 국지적으로 집중 호우가 쏟아지는 아열대성 기후 형태로 변화하는 특징을 보이고 있다. 이와 같이 우리나라의 강우 패턴과 강우량이 변화함에 따라 강우로 인한 무선국 신호의 감쇠 특성이 달라질 것으로 예상된다. 따라서 통신링크상의 강우에 의한 감쇠특성 자료를 확보하여 링크 설계시 활용할 필요가 있다. 제2장에서는 2012년도에 측정한 무궁화위성의 강우감쇠 데이터를 중심으로 UN산하 국제전기통신연합(ITU)의 위성망 강우감쇠예측 모델(P.618 등)과 실측데이터 간 비교분석한 결과를 기술한다. 또한 무선링크 설계시 고려해야 할 연 강우강도 특성과 관련하여 기상청에서 제공받은 자료를 활용하여 국내 주요 도시에서의 강우강도 분포 특성 및 포항지역에서의 대기굴절률 특성을 분석하였다.

둘째, 국내 AM, FM, TV 및 DMB 방송 송출을 위해 전국 곳곳에 지역별로 방송국, 방송 보조국, 국간 전송용 일반 무선국이 배치되어 해당 지역의 방송 시청을 커버하고 있다. 또한 신규 방송국 설치, 주파수 지정 등을 위해 방송망 전파전파예측모델을 이용하여 모의시뮬레이션을 통해 주파수간섭 여부 등을 판별할 수 있는데 이때 우리가 주로 사용하는 모델은 1980년대 국내에서 개발된 Bcast모델이다. 국제적으로는 미국, 일본, 유럽 등에서 전파

예측모델을 지속적으로 연구하고 있으며 ITU-R Study Group 3에서는 30MHz ~ 3000MHz대역에서의 점대지역(point-to-area) 전파예측모델(권고 P.1546-4)을 권고하고 있어 방송망 전파예측모델에 이용할 수 있다. 우리 원에서는 전파예측모델로 국내에서 개발한 Bcast모델이 여러 지역, 지형, 건물 특성을 반영하여 얼마나 실측에 근사하게 예측 가능한지, ITU의 모델(P.1546-4)과는 어떻게 다른 지 등을 분석하였다. 따라서 제3장에서는 선행연구차원에서 Bcast와 P.1546-4모델을 중관소의 DTV방송 측정데이터('04~'12, 전국)를 활용하여 각각의 전파특성을 모폴로지 별로 분석하고, 각 모델의 문제점과 개선사항을 살펴보았다.

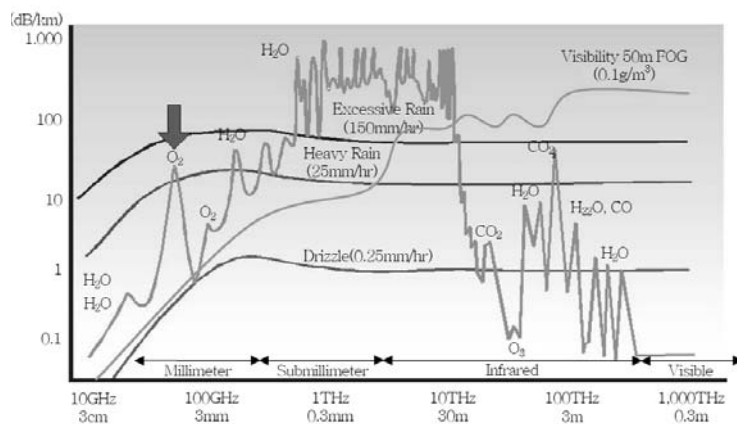
끝으로, 오늘날 다양한 용도의 전기·전자 기기, 생활 가전기기, 자동차 및 고속 철도, 방송·통신 서비스 등이 급속히 발전함에 따라 우리 생활은 보다 편리하고 윤택하게 되었지만, 그 이면에는 의도되지 않은 전자파가 발생하여 우리 주변의 전파잡음 수준을 높이는 부정적인 결과를 야기한다. 이러한 전파잡음의 증가는 통신 및 방송 서비스 등 전파가 이용되는 환경을 악화시키는 결과를 야기한다. 무선국 설계시 서비스 품질이 일정수준 이상 보장되도록 시스템을 설계하기 위해서는 해당 지역의 전파잡음 정보를 충분히 알고 있어야 한다. 전파잡음 정보는 필요에 따라 기관별로 측정하여 활용하고 있으나 측정절차가 마련되어 있지 않아 기관별 측정결과 값이 상이하여 결과를 공유하는데 한계가 있고 측정결과의 신뢰성을 향상시키기 위한 방법 마련이 필요하다. 따라서 우리 원에서는 ITU, 미국, 일본 등 해외 여러 나라의 전파잡음에 관한 연구 자료를 수집·분석하여 통일된 방법으로 전파잡음을 측정할 수 있도록 '전파잡음 측정방법'을 제정하여 고시하였다. 이와 관련한 내용을 제4장에서 기술한다.

제2장 무궁화 위성신호의 강우감쇠 특성 분석

제1절 연구 필요성

오늘날 무선통신에서는 단파(HF), 초단파(VHF), 및 극초단파(UHF) 대역 등 주로 10GHz 이하의 주파수를 이용하고 있다. 이는 10GHz이하 주파수의 전파가 10GHz 이상의 전파보다 대기권에서 전파전달(propagation) 특성이 상대적으로 우수하기 때문이다.

10GHz 이상의 전파는 그림 2-1에서 보듯이 대기 중을 통과할 때 대기를 구성하는 여러 인자들에 의해 감쇠를 겪게 된다. 10GHz 이상의 전파는 강우에 의해 신호감쇠를 겪게 되며 강우강도가 강할수록 신호감쇠는 급격히 증가한다. 그리고 동일한 강우강도에서도 주파수가 증가함에 따라 강우감쇠 효과는 급격히 증가함을 볼 수 있다. 한편 지구의 대기권을 구성하는 산소, 발생하여 신호 감쇠가 급격히 수증기, 일산화탄소 및 이산화탄소 등은 특정한 주파수의 전파와 공진 현상이 높아지는 현상을 낳는다. 그림에서 나타난 것처럼 60GHz 주파수의 전파는 산소 분자와 공진으로 인해 전송손실이 급격히 높은 값을 나타낸다. 즉, 10GHz 이상 주파수의 전파는 산소와 같은 대기가스에 의한 대기가스 감쇠, 강우·강설에 의한 감쇠가 급격히 증가하기 때문에 통신 및 방송 등에서 이용이 저조한 실정이다.



(그림 2-1) 주파수별 강우 및 대기가스 감쇠 특성

국제전기통신연합(ITU-R) 전파규칙(Radio Regulations)에서는 전파를 인공적인 유도없이 공간으로 퍼져 나가는 전자파로서 3,000GHz 이하의 주파수로 정의하고 있으며 현재 275GHz 주파수까지 용도를 정하고 있다. 한편 전파기반의 통신기술은 대체로 100GHz 이하의 주파수를 이용할 수 있는 수준에 머물고 있으며, 실제 무선통신서비스는 주로 10GHz 이하의 주파수를 대부분 이용하고 있는 것이 현실이다.

최근 대용량의 정보를 언제 어디서나 편리하게 이용하려는 인간의 욕구에 의해 다양한 분야에서 무선서비스 수요가 급격히 증가하고 있으나 전파자원은 유한하다는 한계가 있다. 유한한 전파자원을 최대한 효율적으로 이용하기 위해서 보다 높은 주파수 대역의 새로운 전파자원을 이용하는 기술개발이 각광을 받고 있으며 이를 이용한 새로운 전파서비스도 등장하고 있다. 즉, 최근까지 무선서비스는 전파특성이 우수한 UHF 대역 이하의 주파수를 주로 이용해 왔으나 해당 대역 주파수의 이용이 점차 포화되어감에 따라, 지금까지 이용이 저조하였던 10GHz이상 주파수를 이용하기 위하여 기술개발과 함께 전파특성 연구가 국제적으로 추진되고 있다.

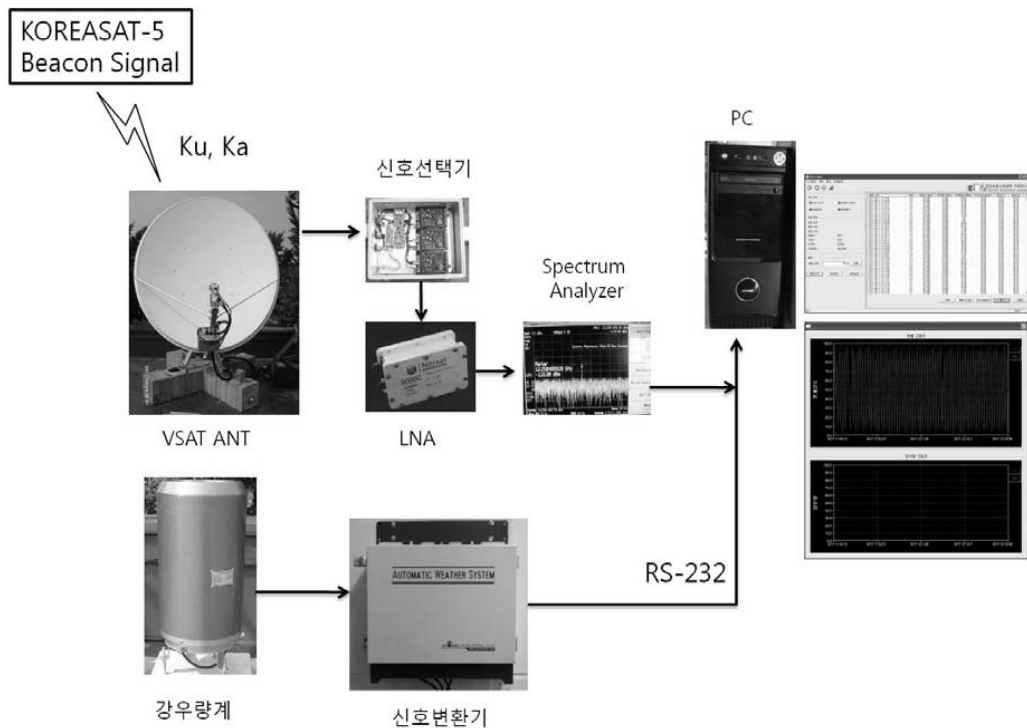
따라서 국립전파연구원에서는 현재까지 이용이 저조한 10GHz 이상 주파수 대역을 국내 산업계에서 이용할 수 있도록 하기 위하여 GHz 대역 신호의 강우감쇠 특성 연구를 수행하고 있다. 이 연구의 일환으로 우리 원에서는 금년에 무궁화 위성신호의 강우감쇠 특성 측정 및 분석 연구를 수행하였으며 국내 기상자료 분석 시스템을 구축하여 기상청의 3년간 측정자료를 활용하여 국내 주요 지역에서의 강우강도 분포 및 대기굴절률 기울기 특성을 분석하였다.

제2절 위성신호의 강우감쇠 특성 측정 및 분석

1. 측정 시스템

국립전파연구원에서는 2011년 8월, 무궁화 위성신호의 강우감쇠 특성을 측정·분석하기 위하여 우리 원내(용산, 환경연구동 2층 옥상) 무궁화 위성신호

측정시스템을 구축하여 운영 중에 있다. 이 측정시스템은 그림 2-2와 같이 강우강도 측정기, 위성전파 수신안테나 시스템, 제어용 컴퓨터(운용 프로그램 포함)로 구성되어 있으며, 1분 간격으로 무궁화 위성의 Ku 대역(12.25GHz) 및 Ka 대역(20.73GHz) 비콘 신호 세기와 1분간 누적된 강우량을 함께 측정하고 있다. VSAT 안테나로 무궁화 5호 위성의 Ku 및 Ka대역 비콘 신호를 번갈아 측정하여 강우강도 측정기를 통해 측정한 강우량 정보와 함께 PC에 저장한다.



(그림 2-2) 무궁화 위성신호 강우감시 측정시스템 구성도

강우강도 측정기는 강우량 측정기, 신호변환기 및 프로토콜로 구성되며, 강우량계의 측정 데이터는 신호 변환기를 통해 서버에 전달하여 저장한다. 위성전파 수신안테나 시스템은 반사판, 듀얼 피드혼, Ku/Ka대역 LNA(B), 케이블, 안테나 거치대와 안테나 선택기 및 제어부 등으로 구성된다. 안테나 선택기는 Ku 대역과 Ka 대역 신호를 스펙트럼분석기에 순차적으로 선택하여

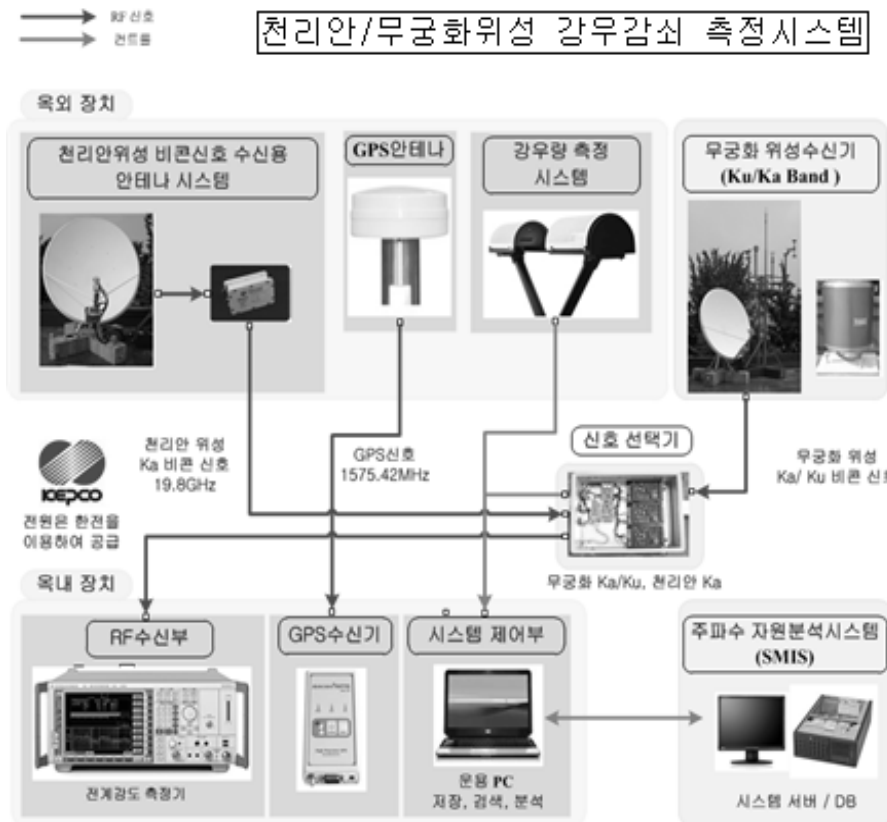
전달한다. 측정프로그램은 매 분 간격으로 측정된 강우강도 측정데이터와 위성신호 측정 결과를 데이터와 그래프로 보여준다. 이번 무궁화 위성 측정 시스템의 규격 및 환경 특성은 표 2-1과 같다.

<표 2-1> 강우감쇠 측정시스템 규격 및 환경

System Locations	위도(Latitude)	37.5° N
	경도(Longitude)	126.9° E
	앙각(Elevation angle)	44.14°
	편파각(Polarization tilt angle)	17.38°
	방위각(Azimuth angle)	202.12°
	고도(Sea Level)	0.045km
Climate Zone	ITU-R model	K-zone
Down Link	주파수(Frequency)	Ku(12.25GHz), Ka(20.73GHz)
Antenna	Type	VSAT
	Diameter	1.8m
Rain Gauge	Type	Tipping Bucket
	Size	200mm
	Resolution	0.5mm(1회 전도당)
	Accuracy	20~30mm/h 강우강도시 100mm 기준 3%이내
	Operative Temperature	-50℃ ~ +50℃

우리 원에서는 2012.11월 천리안 위성신호 측정시스템을 추가로 구축하면서 기존 무궁화 위성신호를 함께 수신할 수 있도록 그림 2-3과 같이 위성신호 측정시스템을 구축하였다. 이번에 새로이 구축한 측정시스템은 기존 무궁화 위성뿐만 아니라 천리안 위성을 동시에 측정하도록 하였다.

한편 강우량 측정기는 기존 기계식 방식에서 감도가 보다 우수한 광학식으로 교체 설치함으로써 강우량 최소 수신정보는 기존 0.5mm에서 0.001mm 까지 측정할 수 있게 되었으며 강우시 빗방울 크기분포 및 빗방울 속도 등을 동시에 측정할 수 있어 향후 강우감쇠와 관련한 깊이 있는 연구를 수행할 수 있는 기반을 마련하였다.



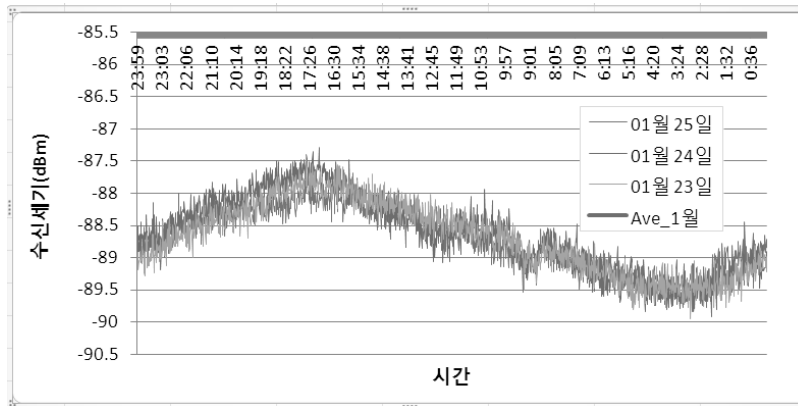
(그림 2-3) 천리안/무궁화 위성신호 강우감쇠 측정시스템 구성도

2. 측정 데이터 수집 및 분석 절차

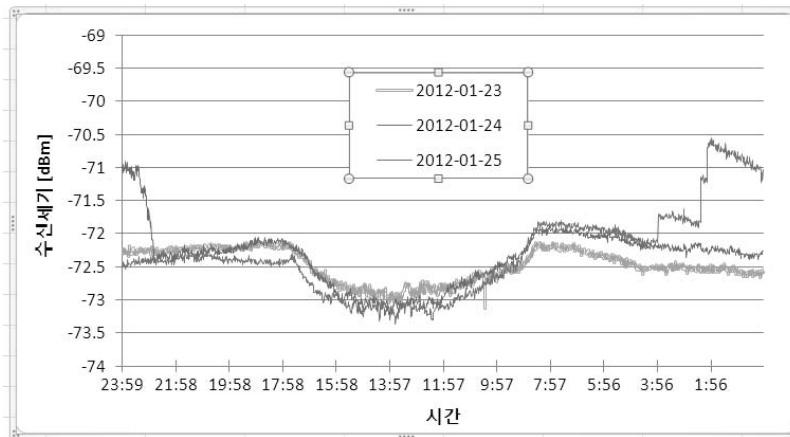
가. 측정 데이터 수집

무궁화5호 위성신호 측정시스템은 2011.9월에 설치되어 위성의 Ku(12.25GHz), Ka(20.73GHz) 비콘 신호와 강우량을 1분 단위로 측정하여 기록하였다. 그러나 2012년 10월 무궁화위성 신호와 함께 천리안 위성신호를 함께 측정할 수 있도록 측정시스템을 보강하면서 2012.10월~12월까지의 주로 새롭게 보강된 측정시스템의 성능시험을 수행하였다. 따라서 본 연구에서는 기존 무궁화 5호 위성신호 측정시스템을 통하여 측정한 2012.1월부터 9월까지의 측정 데이터만을 대상으로 위성신호의 강우감쇠 특성을 분석한다. 2012.1월~9월까지 9개월간 측정된 총 데이터(Ku 대역 비콘 신호, Ka대역 비콘 신호, 1분 강우강도)는 각각 39 만 여개에 해당한다.

그림 2-4는 1월중 비가오지 않은 맑은 날을 기준으로 3일간(1.23, 1.24, 1.25) 측정한 Ku(12.25GHz) 및 Ka(20.73GHz) 비콘 신호의 수신세기 변화이다. 그림 2-4(a)에서 보듯이 Ku대역 비콘 신호는 시간에 따라 최대 2dB 정도의 차이를 나타내기는 하나 동일한 형태의 수신세기 변화특성을 보여주고 있다. 이와 같이 시간에 따른 비콘 신호의 수신세기 변화가 일정한 형태로 나타나는 이유는 지구의 자전과 무관하게 항상 무궁화 위성 안테나가 한반도를 향하도록 하기 위해 추진기를 이용하여 인공위성의 자세제어를 실시하는데 한반도에서 보면 마치 1일을 주기로 8자 모양으로 위성이 이동하는 것처럼 보이기 때문이다. 이로 인해 1일을 기준으로 최대 2dB 정도의 수신세기 변화가 발생한다. 한편 Ka대역 비콘 신호의 수신세기도 전반적으로는 동일한 시간변화 특성을 보이기는 하나 때때로 그림 2-3(b)에서 보는 바와 같이 비콘 신호 수신세기가 변화 추이를 벗어나거나 또는 일정기간 수신되지 않는 등 불규칙적으로 변화하고 있어 강우강도에 따른 Ka(20.73GHz)대역 비콘 신호의 수신세기 변화를 분석하기 위해서는 DB의 추가적인 분석이 필요하다. 따라서 이번 연구에서는 Ka(20.73GHz) 대역 비콘 신호의 수신세기 변화는 분석에서 제외하였으며 강우강도에 따른 Ku(12.25GHz)대역 비콘 신호수신세기 변화만을 분석하였음을 밝혀둔다.



(a) KU(12.25GHz)대역 비콘 신호



(b) KA(20.73GHz)대역 비콘 신호

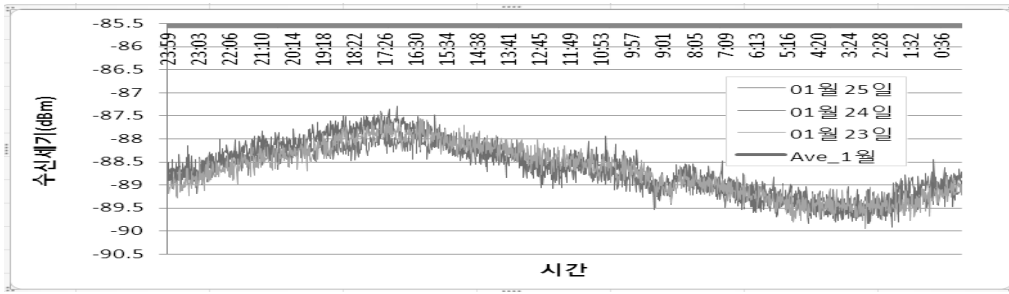
(그림 2-4) 무궁화 위성신호의 수신세기 변화 비교
(맑은날 3일 변화 : 1.23, 1.24, 1.25)

나. 데이터 분석 절차

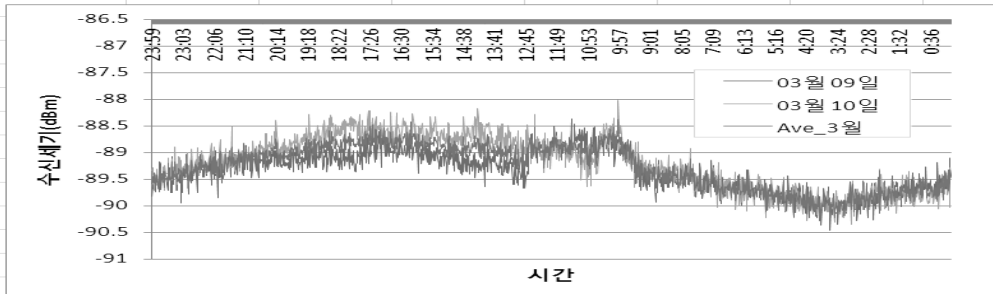
무궁화 위성 Ku(12.25GHz)대역 비콘 신호 수신세기의 일변화는 그림 2-5(a) ~ 그림 2-5(d) 에서 보는 바와 같이 계절에 따라 다르게 나타난다. 그림 2-5는 비가 오지 않은 맑은 날을 기준으로 1월, 3월, 6월 및 9월의 Ku 대역 비콘 신호의 수신세기 변화 특성을 보여주는데, 1월과 3월의 일변화 특성은 다소 유사한 형태를 보이나 6월 및 9월의 변화 특성과는 확연한 차이를 보인다. 이는 지구가 23.5도 기울어져서 태양 주위를 공전함에 따라

자세 제어를 위한 인공위성의 8자 진행 방향이 계절에 따라 변하기 때문이다. 따라서 Ku대역 비콘 신호에 대한 강우감쇠 영향을 분석하기 위해서는 맑은 날을 기준으로 하여 비가 올 때 얼마나 수신세기가 감소하는지를 최소한 계절별로 추출하여 분석하여야 한다.

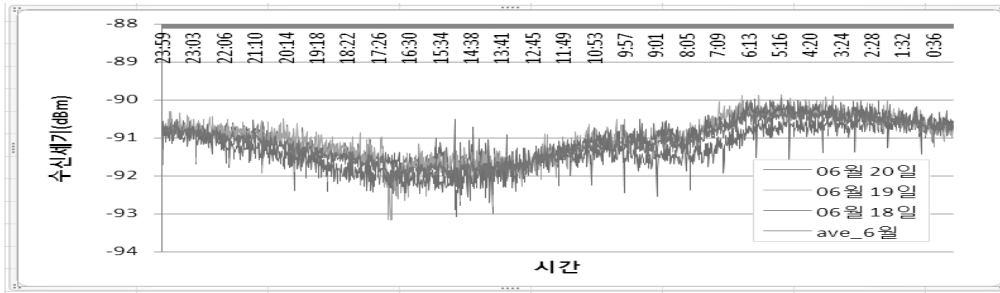
강우강도에 따른 무궁화 위성 Ku대역 비콘 신호 수신세기 변화를 분석하기 위하여 그림 2-6과 같은 절차에 따라 비콘 신호의 강우 감쇠량을 추출하였다. 즉 그림 2-6(a)와 같이 먼저 맑은 날을 기준으로 Ku대역 비콘 신호 수신세기 변화를 계산한 후, 그림 2-6(b)와 같이 강우시의 수신세기와 비교하여 그 차이를 강우에 의한 신호 감쇠치로 추출한다. 이때 Ku대역 비콘 신호 수신세기의 일변화는 계절에 따라 다르게 나타나므로(그림 2-5 참조) 매일 맑은 날을 기준으로 일변화 특성을 추출하였으며 이를 기준으로 강우에 따른 신호 감쇠치를 각각 계산하였다. 한편 그림 2-6(c)는 비가 오는 날을 기준으로 강우강도 변화와 신호 감쇠 값 변화를 상호 비교한 결과로, 강우강도 변화 측정값과 Ku대역 비콘 신호의 수신세기 변화 측정값은 상당히 다른 형태를 보이는데 이는 측정에 이용한 강우량계가 기상청에서 사용하는 버킷식 강우량계로서 최소감도가 0.5mm에 불과하기 때문에 나타난 결과이다. 따라서 1분단위로 강우량을 측정하더라도 강우강도가 30mm/h 이하일 때는 비가 오지 않은 것으로 강우량계는 판단하므로 실제 신호감쇠 값 변화와는 차이를 보이게 된다. 따라서 실제 비가 오는 상황에서 수신세기 변화와 강우강도 변화를 일대일로 맵핑하여 분석하는 것은 불가능하며 수신세기 변화를 측정한 전체 데이터와 강우강도 변화 전체 데이터를 통계적으로 비교하여 강우강도에 따른 위성신호 감쇠량을 도출하는 것이 현실적인 방법이며 국내외 모든 연구기관에서도 이와 같은 방식으로 측정결과를 분석하고 있다. 이때 강우강도는 1분 강우강도 측정값을 직접 사용하지 않고 10분 또는 그 이상 강우강도를 구한 후, 1분 강우강도 변환식을 이용하여 1분 강우강도 값을 간접적으로 추출하여 사용하였다. 왜냐하면 강우량계의 최소 수신감도가 0.5mm이므로 1분당 측정되는 강우강도 데이터는 0mm/h, 30mm/h, 60mm/h, 90mm/h, 120mm/h, ...로 계단형식으로 나타나므로 강우량계로 1분 단위로 측정한 강우강도 값을 직접 이용하여 분석할 수는 없기 때문이다.



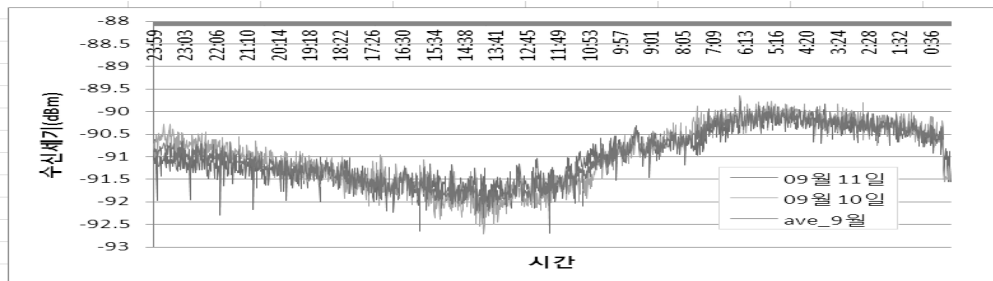
(a) 1월



(b) 3월

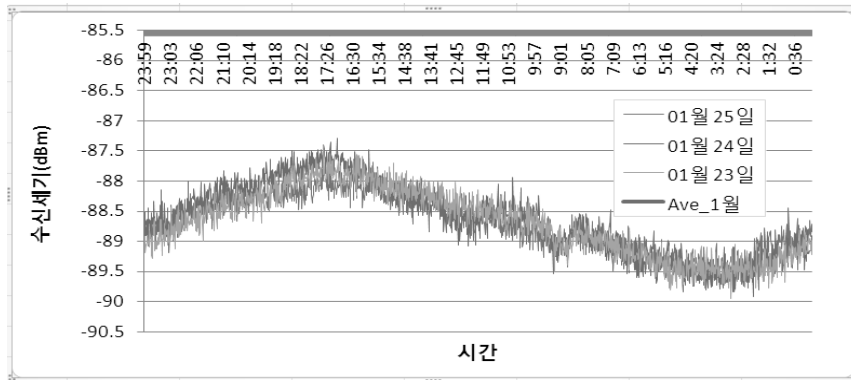


(c) 6월

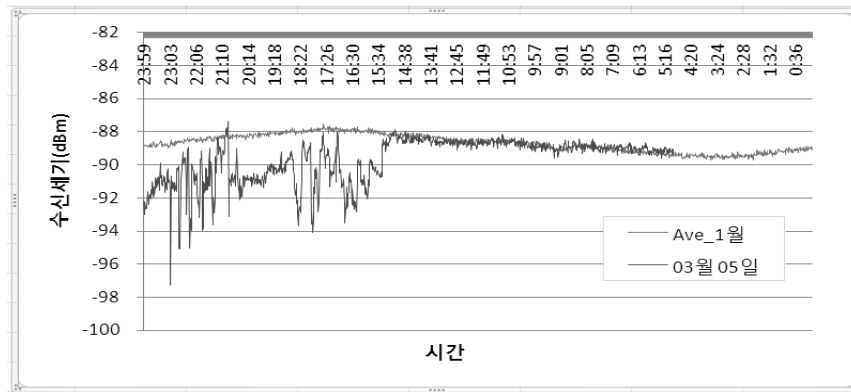


(d) 9월

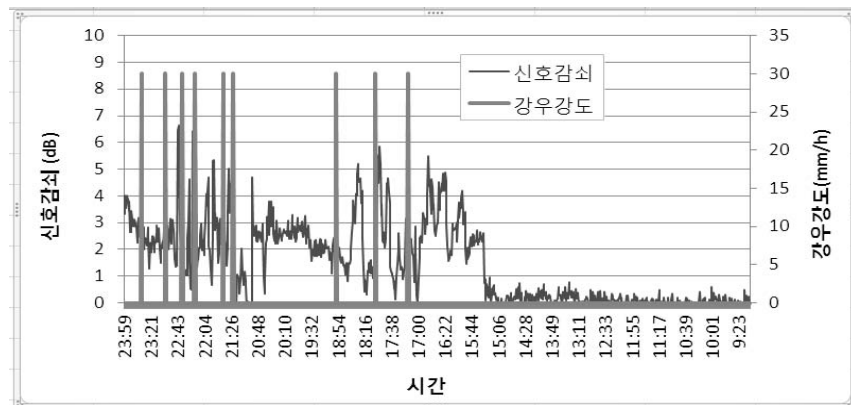
(그림 2-5) 계절별 KU 대역 비콘 신호 수신세기 변화 비교
(맑은날 기준)



(a) 일변화 특성(평균값) 추출(맑은날 기준)



(b) 일변화 평균 수신세기(맑은날 기준)와 강우시 수신세기 비교



(c) 강우시 신호 감쇠량 계산값과 강우강도값 비교

(그림 2-6) 강우 감쇠량 계산 절차

3. 위성 신호의 강우감쇠 특성 분석

가. 강우강도 추출

유선 통신망은 유선 케이블을 이용하여 통신 또는 방송링크를 구성하므로 자연재해나 인위적인 케이블 절단과 같이 불가항력적인 사태가 발생하지 않는 한 100% 서비스가 보장되도록 링크를 구성할 수 있지만, 무선망은 대기권을 링크로 이용하므로 100% 서비스가 보장되도록 링크를 구성할 수는 없다. 즉 무선링크 상에 인공적인 장애물이 설치되거나 동일채널/인접채널 간섭신호가 유입되는 경우, 무선 서비스 품질이 저하될 수 있으며, 폭우와 같은 자연현상 하에서는 때때로 무선 링크가 단절될 수 있다. 특히 10GHz 이상 주파수를 이용하는 지상·위성망 시스템은 강우감쇠 영향을 크게 받으며 무선 링크의 품질을 결정하는 가장 중요한 요소로 평가된다. 무선 링크는 100% 서비스가 보장되도록 구성할 수 없기 때문에 링크 설계시 링크 성공률을 먼저 설정한 후 이를 보장할 수 있도록 무선 시스템을 구성하게 되는데 이때 강우강도에 따른 신호 감쇠량이 실질적으로 무선서비스 품질을 결정하는 요소로 작용한다. 따라서 10GHz 이상 주파수를 이용한 지상·위성망 시스템을 구성하기 위해서는 해당 지역에서의 강우강도 정보와 함께 강우강도에 따른 신호 감쇠량을 정확히 파악하는 것이 절대적으로 필요하다.

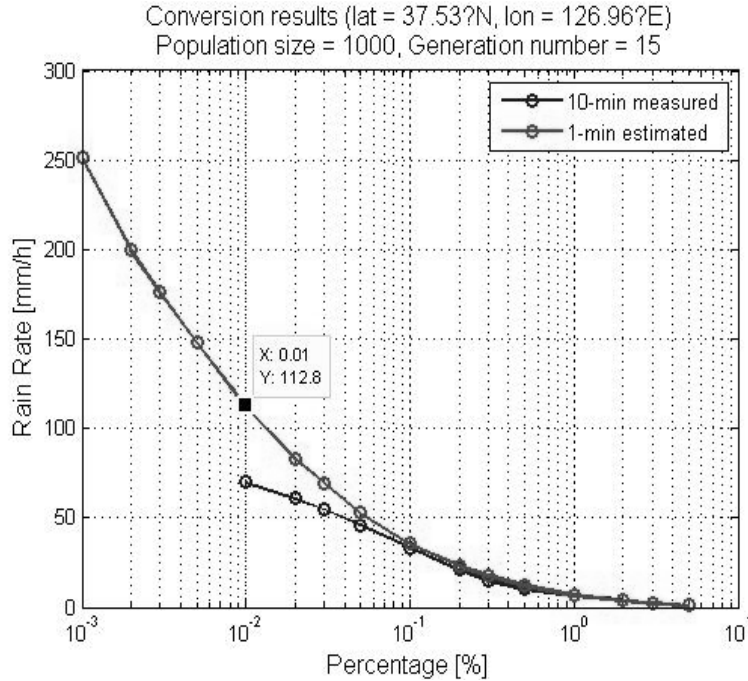
강우강도(Rainfall rate)란 일정 시간동안 내린 강우량으로 정의되며, 강우가 전파에 미치는 영향을 정확히 예측하기 위해서는 가능한 짧은 시간 단위로 누적된 강우강도 값을 알고 있어야 한다(ITU에서는 1분 단위의 강우강도를 이용하도록 권고하고 있음). 그러나 앞에서 설명하였듯이 강우강도 측정 데이터는 실제 1분 단위로 측정되었지만, 강우량계의 최소감도가 0.5mm에 불과하여 1분 단위로 측정된 누적 강우강도 측정 데이터를 분석하는 것은 불가능하다. 따라서 1분 단위로 측정된 데이터를 이용하여 먼저 10분 단위로 누적된 강우량 정보를 계산하였으며 이를 크기순으로 나열한 후 시간율 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% 1% 값에 해당하는 10분 단위의 강우강도(mm/h) 값을 구하였다. 여기서 시간율(Time availability) p%란 강우강도 X mm/h를 초과하는 시간이 전체 측정 기간의 p%에 해당하는 것을 의미한다. 표 2-2에서 두 번째 열은 이와 같이 10분 누적 강우량 데이터를 분석하여 시간율

p%에 해당하는 강우강도 값을 구한 결과를 보여준다. 한편 ITU-R 권고 P.837에서는 임의의 시간동안 누적된 강우강도 분포를 알고 있을 때 이를 이용하여 1분 단위의 누적 강우강도로 변환하는 방법을 제공하고 있으며 이와 관련한 변환 프로그램을 ITU 홈페이지에 공개하고 있다.

우리나라를 포함한 대부분 국가에서는 자국 기상청을 통해 강우강도 측정 데이터를 수집하고 있으나 대부분 국가의 기상청에서도 우리와 유사하게 수신감도가 0.5mm인 버킷식 강우량계를 이용하여 10분, 20분, 30분 또는 1시간 단위로 누적된 강우량 정보를 제공하고 있다. 따라서 기상청 제공 자료를 이용하여 무선망 링크 설계에 이용하기 위해서는 1분 단위로 강우강도를 변환해 주는 것이 필요하다. 이러한 필요성에 따라 ITU에서는 임의시간 누적 강우강도 분포를 1분 단위 누적 강우강도 분포로 변환하는 방법을 제공(그림 2-7 참조)하고 있으며 이 프로그램을 이용하여 10분 단위 누적 강우강도 분포를 1분 단위 누적 강우강도로 변환한 결과를 표 2-2의 세 번째 열에 기술하였다.

<표2-2> 10분 및 1분 누적 강우강도 값 비교

시간율	10분누적 강우강도 (mm/h)	1분누적 강우강도 (mm/h)
2.50 %	3.5	3.0
1 %	6.6	7.1
0.75 %	7.5	9
0.50 %	10.5	12.3
0.25 %	17	19
0.10 %	33.5	35.8
0.075 %	37.5	40
0.05 %	46	53.1
0.025 %	58	74
0.01 %	70	112.8
0.0075 %		120
0.005 %		148.4
0.0025 %		182
0.001 %		251.6



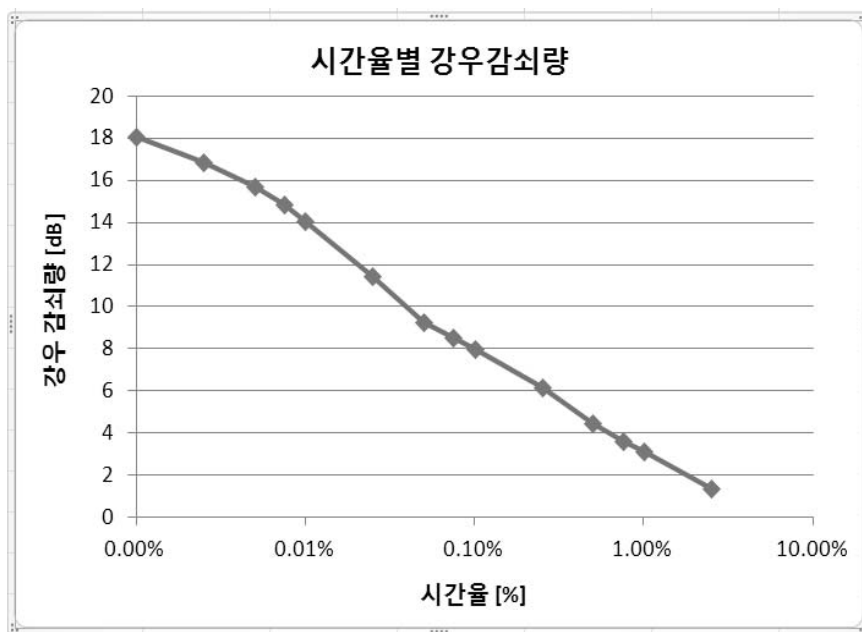
(그림 2-7) 10분 → 1분 강우강도 변환 결과(ITU 변환 프로그램 이용)

우리나라 서울지역(용산)에서 2012년 1월~9월까지 측정된 10분 누적 강우강도 데이터를 이용하여 1분 누적 강우강도로 변환한 결과를 살펴보면 0.1% 시간율의 강우강도는 35.8mm/h에 해당하며, 0.01% 시간율 강우강도는 112.8mm/h, 0.001% 시간율 강우강도는 251.6mm/h에 해당한다. 만일 무선통신 링크의 성공여부를 강우에 의해서만 판단할 경우, 무선통신 사업자가 가입자에게 제공할 무선통신 서비스 성공률을 99.99%로 설정하였다면 0.01% 시간율에 해당하는 강우강도(112.8mm/h)에서 무선링크가 끊어짐이 없도록 설계하여야 한다. 여기서 0.01% 시간율이란 1년을 기준으로 할 때 50분에 해당하는 시간이다.

나. 강우에 의한 신호 감쇠량 산출

무궁화 위성의 Ku(12.25GHz)대역 비콘 신호는 강우에 의해 신호감쇠를 겪게 된다. 앞의 그림 2-5에서 설명하였듯이 강우에 의한 Ku대역 비콘 신호의 감쇠량은 맑은 날의 수신세기를 기준으로 하여 신호 감쇠량을 강우에 의한

감쇠량으로 계산하였으며 이와 같이 구한 강우 감쇠량을 크기순으로 나열하여 시간율 0.01%, 0.05%, 0.1%, 0.5% 1%값에 해당하는 강우 감쇠량(dB)을 추출하였다. 이와 같이 무궁화 위성 Ku대역 비콘 신호의 측정데이터를 분석하여 시간율 p%에 해당하는 강우감쇠량 값은 그림 2-8과 같이 나타났다. 강우에 의한 감쇠량의 최대치는 21.05dB로 나타났으며 0.001%일 때 감쇠량은 18.07dB, 0.01%일 때 감쇠량은 14.09dB, 0.1%일 때 감쇠량은 8.02dB 그리고 1%일 때 감쇠량은 3.10dB로 나타났다.

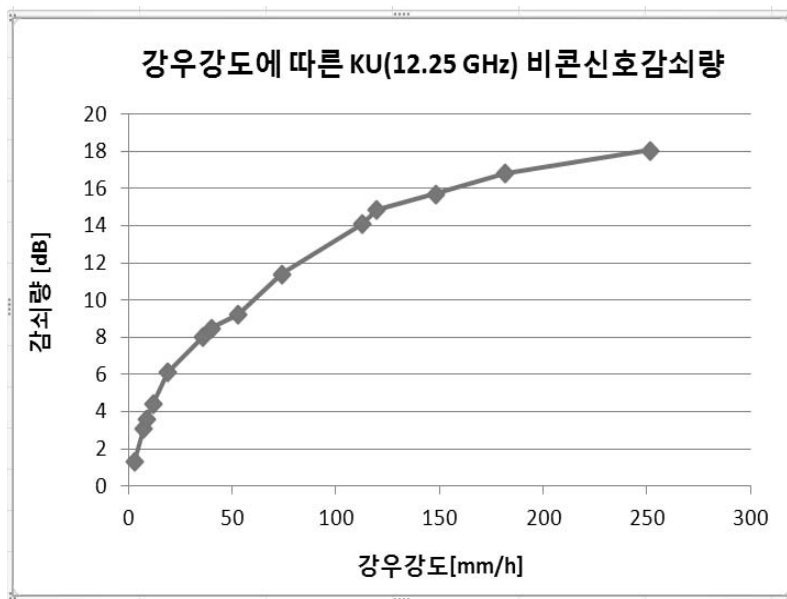


(그림 2-8) 시간율에 따른 Ku대역 비콘 신호 강우감쇠량 변화

다. 강우강도에 따른 신호감쇠량 분석

앞에서 시간율에 따른 1분 강우강도 값 변화와 시간율에 따른 무궁화 위성 비콘 신호의 강우감쇠량을 각각 분석하였으며 그 결과는 표 2-2 및 그림 2-8과 같이 나타났다. 여기서 분석한 1분 강우강도 값 변화와 강우 감쇠량 변화는 2012.1월~9월까지 동일한 시간에 측정된 데이터에 기초하여 추출된 자료이므로 동일한 시간율에 대하여 동일한 값으로 매핑시킬 수 있다.

따라서 표 2-2와 그림 2-8을 참조하여 동일한 시간율에 해당하는 1분 강우 강도(mm/h) 값과 강우감쇠량(dB) 값을 구해보면 그림 2-9와 같이 나타난다. 1분 강우강도가 3 mm/h일 때 Ku대역 비콘 신호의 감쇠량은 1.35dB로 나타났으며, 1분 강우강도가 7.1 mm/h일 때는 감쇠량이 3.1dB, 1분 강우강도가 9 mm/h일 때는 감쇠량이 3.63dB, 1분 강우강도가 12.3 mm/h일 때는 감쇠량이 4.47dB, 1분 강우강도가 19 mm/h일 때는 감쇠량이 6.15dB, 1분 강우강도가 40 mm/h일 때는 감쇠량이 8.51dB, 1분 강우강도가 74 mm/h일 때는 감쇠량이 11.43dB, 1분 강우강도가 112.8 mm/h일 때는 감쇠량이 14.09dB, 1분 강우강도가 182 mm/h일 때는 감쇠량이 16.84dB로 나타났다. 이 결과와 ITU에서 제공하는 예측 모델에 의한 계산 값과의 비교, 분석은 다음 절에서 기술하고자 한다.



(그림 2-9) 강우강도에 따른 Ku대역 비콘 신호 강우감쇠량 변화

4. ITU 예측 모델과 측정 데이터간 비교, 분석

여기서는 무궁화 5호위성의 비콘 신호 실측 데이터와 ITU에서 제공하는 강우강도에 따른 예측 모델에 의한 계산 값을 비교, 분석하고자 한다.

가. ITU 강우감쇠 예측모델

ITU-R 권고 P.837에서는 ECMWF(European Centre of Medium-range Weather Forecast)의 40여년간 기상측정 데이터에 기초하여 위도($0^{\circ} \sim 360^{\circ}$), 경도($+90^{\circ}\text{N} \sim -90^{\circ}\text{S}$)를 1.125° 간격으로 분할하여 51,200 지점(320×160)에서 연간 시간율 $p\%$ 에 해당하는 1분 강우강도 $R_p(\text{mm/h})$ 값을 제공하고 있으며 임의의 지점에서의 값은 내삽법을 이용하여 구하도록 권고하고 있다. ITU-R P.837에서 제공하는 데이터를 이용하여 무궁화 5호 위성 비콘 신호를 측정된 우리원(서울, 용산)에서 시간율에 따른 1분 강우강도를 구하면 표 2-3의 둘째 열과 같이 주어진다.

한편 강우강도에 따른 위성신호의 강우감쇠량(A) 예측방법은 ITU-R 권고 P.618에서 규정하고 있으며 강우강도에 따른 감쇠계수(γ_R)와 실효경로길이(L_E)의 곱으로 계산된다.

$$A = \gamma_R L_E \quad (1)$$

따라서 위성신호의 강우감쇠량(A)을 계산하기 위해서는 먼저 주파수별 강우강도에 따른 감쇠계수(γ_R)와 실효경로길이(L_E)를 구하여야 한다.

강우강도에 따른 감쇠계수(γ_R) 산출방법은 ITU-R 권고 P.838에서 규정하고 있으며 실효경로길이(L_E) 산출방법은 ITU-R 권고 P.618에서 규정하고 있는데 이에 대한 세부 내용 및 절차는 우리 연구원의 2011년도 자체연구보고서를 참고하면 된다. 이러한 절차에 따라 무궁화 5호 위성 위치(표 2-1 참조) 및 수신지점(국립전파연구원, 용산) 정보를 참고하여 무궁화 5호 위성 Ku대역 비콘 신호에 대한 강우감쇠량(A)을 계산하면 표 2-3의 셋째 열과 같이 나타난다.

한편 앞의 표 2-2에서 설명하였듯이 우리 원의 무궁화 5호 위성 비콘신호 측정시스템을 통하여 10분 강우강도를 직접 측정한 후 이를 1분 강우강도로 변환한 데이터는 표 2-2의 셋째 열과 같이 주어지며 ITU 예측치와 비교를 위해 표 2-3 넷째 열에 다시 표기하였다. 한편 앞의 그림 2-8과 그림 2-9에서

기술한 무궁화 위성신호의 강우감쇠량 실측치는 표2-3의 다섯째 열에 표시하였다.

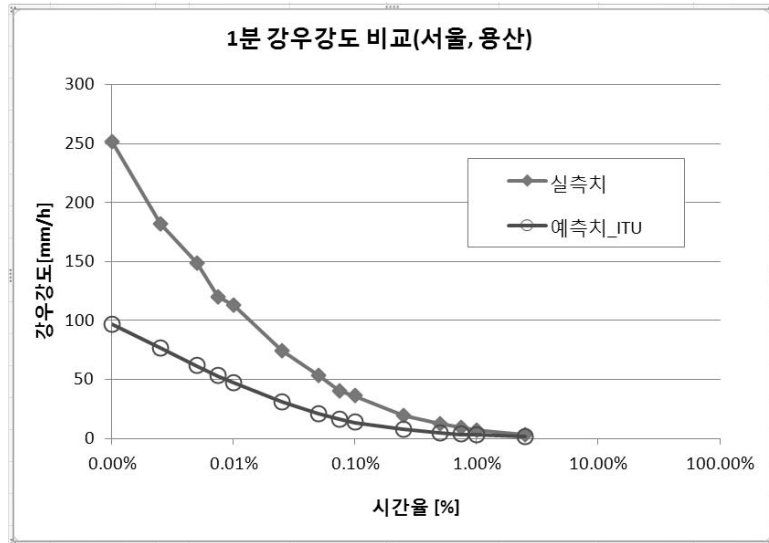
<표 2-3> 강우강도 및 무궁화5호위성 비콘신호의 강우 감쇠량에 대한
실측치/예측치 비교(수신점: 용산 국립전파연구원)

시간율	예측치_ITU		실측치	
	1분 강우강도 (mm/h)	강우감쇠량 (dB)	1분 강우강도 (mm/h)	강우감쇠량 (dB)
2.50 %	1.2	0.32	3.0	1.35
1 %	2.8	0.64	7.1	3.10
0.75 %	3.5	0.78	9	3.63
0.50 %	4.7	1.03	12.3	4.47
0.25 %	7.4	1.61	19	6.15
0.10 %	13.4	2.76	35.8	8.02
0.075 %	16.1	3.23	40	8.51
0.05 %	20.7	4.01	53.1	9.24
0.025 %	30.7	5.63	74	11.43
0.01 %	47.3	8.41	112.8	14.09
0.0075 %	53	9.43	120	14.86
0.005 %	61.4	10.98	148.4	15.73
0.0025 %	76.3	13.88	182	16.84
0.001 %	96.7	18.03	251.6	18.07

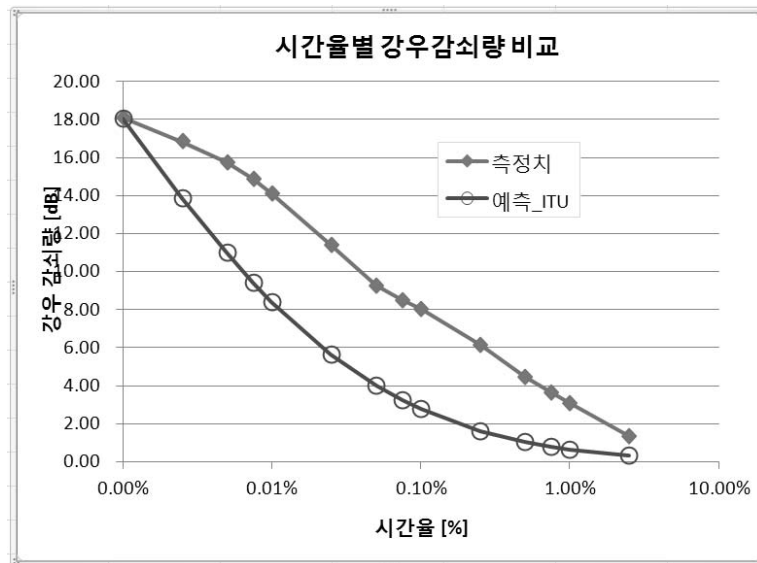
나. 실측치와 예측치간 비교·분석

표 2-3의 둘째 열과 넷째 열은 시간율에 따른 1분 강우강도의 예측치와 실측값을 보여주며 이는 그림 2-10과 같이 나타난다. 그림에서 보는 바와 같이 서울지역에서의 실제 1분 강우강도 값은 ITU에서 제공하는 1분 강우강도 값보다 상당히 높은 값을 보임을 알 수 있다. 즉 시간율 0.01%에 해당하는 1분 강우강도는 ITU 예측치가 47.3 mm/h인 반면, 실제 1분 강우강도 실측 데이터 값은 112.8 mm/h로 ITU 예측치보다 훨씬 높은 값을 보이고 있다. 이는 국내에서 측정된 강우강도 실측 데이터에 기초하지 않고 ITU 예측치를 이용하여

무선링크를 설계하는 경우, 무선링크상에서의 실제 강우강도는 예측한 강우 강도보다 훨씬 높은 강우가 나타나 무선링크가 끊어질 수도 있음을 의미한다.



(그림 2-10) 시간율에 따른 1분 강우강도 실측치와 예측치 비교(서울)



(그림 2-11) 무궁위성신호(Ku 대역)의 시간율에 따른 강우감쇠량 실측치와 예측치 비교(서울)

시간율에 따른 무궁화 위성 Ku(12.25GHz)대역 비콘 신호의 강우감쇠량

(A)에 대한 예측치와 실측치는 표2-3의 셋째 열과 다섯째 열과 같이 나타나며 이는 그림 2-11과 같이 상호 비교된다. 무궁화 위성 Ku대역 비콘 신호의 실제 강우감쇠량(A)은 ITU 모델을 이용하여 예측한 결과보다 최대 5dB 이상 높게 나타난다. 이는 국내에서 측정된 강우강도 실측 데이터에 기초하지 않고 ITU 예측치를 이용하여 강우감쇠량을 고려하여 무선링크를 설계하는 경우, 링크의 실제성능이 설계자가 최초 의도했던 수준에 훨씬 못 미칠 수 있음을 의미한다.

제3절 국내 전파환경 특성 분석

1. 기상자료 분석 시스템 구축

앞에서 살펴본 바와 같이 강우, 대기와 같은 전파환경 특성은 전파전달에 직접적인 영향을 미친다. 그러나 강우량 및 강우강도, 대기굴절률과 같은 기상정보는 기상청에서 방대한 원시 데이터를 보유하고 있어 우리 원을 포함한 대부분의 전파관련 연구기관에서는 기상청에서 제공하는 자료를 이용하여 강우강도, 대기굴절률 등 전파에 영향을 미치는 주요 기상요소의 특성 인자를 추출하고 있다. 그러나 기상청에서 보유한 원시 데이터는 기상정보 수집을 목적으로 하고 있어 이를 그대로 전파서비스를 위하여 이용할 수는 없다. 따라서 국립전파연구원에서는 기상청에서 제공하는 강우량 및 고층기상 관측 자료를 이용하여 전파서비스 목적에 필요한 강우강도 및 대기굴절률 정보를 추출하기 위하여 2012년 11월에 기상자료 분석 프로그램을 구축하였다. 기상자료 분석 프로그램은 강우강도 분석 프로그램과 대기굴절률 분석 프로그램으로 구분되며 프로그램별 주요 분석 항목은 표 2-4와 같다.

강우강도 분석 프로그램은 기상청에서 제공하는 강우량 측정자료를 이용하여 국내 지역별 강우강도 특성을 분석하고 있다. 세부 분석 항목으로는 임의 시간동안 누적 강우강도를 1분 강우강도로 변환하는 프로그램, 강우강도 통계특성 및 시간을 특성, 월별, 계절별, 지역별 강우강도 특성을 추출하는 내용을 포함하고 있다. 한편 대기굴절률 분석 프로그램은 크게 대기굴절률 특성 분석과 라디오덕트 발생특성을 분석하기 위한 프로그램으로 세부 구분

된다. 대기굴절률 특성 분석프로그램은 먼저 기상청이 제공하는 고층기상자료(고도별 기온, 기압, 습도)를 이용하여 고도별 대기굴절률을 산출하는 프로그램, 대기굴절률의 월별, 지역별 통계특성 및 기울기 특성을 추출하는 내용을 포함하고 있다. 한편 라디오덕트 특성과 관련하여 월별, 계절별, 지점별 라디오덕트 발생확률, 덕트 강도 및 두께 특성을 분석하도록 구성하였다.

2012년 11월 구축한 기상자료 분석 프로그램을 이용하여 국내 지역별 전파환경 특성을 분석하기 위해서는 먼저 원시 기상자료를 기상자료 분석 DB에 입력하여야 한다. 그러나 실제 기상자료를 DB에 입력하는데 많은 시간이 소요되어 금년에는 서울 등 5개 주요 지점에 대한 기상자료만을 입력하여 주요 특성만을 분석하였으며 그 내용은 다음과 같다.

<표 2-4> 기상자료 분석 프로그램 주요 내용

구 분	주요 측정 항목	비 고
강우강도 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 국내 지역별 강우강도 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - X분 강우강도 → 1분 강우강도 변환 - 1분 강우강도 통계특성 및 시간율 특성 분석 - 월별, 계절별, 지역별 강우강도 특성 비교 	기상청 자료 활용
대기굴절률 분석	<ul style="list-style-type: none"> ○ 대기 굴절률 특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 기상청 고층기상자료(기온, 기압, 습도)를 이용한 대기 굴절률 변환 - 월별, 지역별 대기굴절률 통계특성 비교, 분석 - 대기굴절률 기울기에 대한 통계특성 분석 ○ 라디오덕트 발생특성 분석 <ul style="list-style-type: none"> - 지점별 덕트 발생확률, 덕트강도, 덕트 두께 분석 - 월별, 계절별, 라디오덕트 발생 통계 특성 비교 분석 	기상청 자료 활용

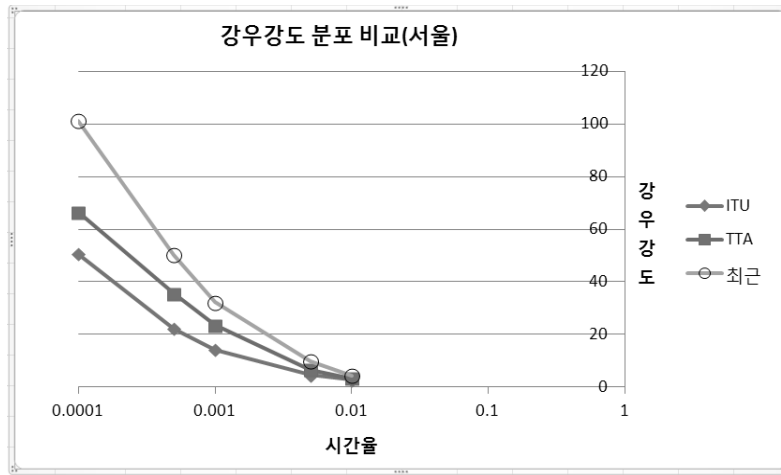
2. 강우강도 분포특성 분석

10 GHz 이상 주파수의 전파는 대기공간을 전파할 때 강우에 의한 영향을 크게 받는다. 2절에서 기술한 바와 같이 ITU-R 권고 P.837에서는 전세계 지역별 강우강도 분포를 제시하고 있으나, 우리나라의 경우 실제 국내 강우강도와 차이가 커 국내 무선망의 안정적 운용을 보장하지 못할 수 있음을 분석하였다. 한편 국내 정보통신단체표준(TTAS.KO-06.0122)에서는 국내 지역별 강우강도 분포를 제시하고 있으나 해당 표준은 83~94년까지의 기상자료에 기초하여 제정되어 있어 최근 강우강도와 차이가 날 것으로 예상된다.

따라서 우리 원에서는 최근 3년간(2008~2010)의 기상자료를 분석하여 서울, 부산, 대구, 대전, 광주 지역에서 강우강도 값을 구하여 ITU-R 권고 P.837 및 국내 정보통신단체표준에서 규정한 강우강도와 비교하였으며 그 결과를 표 2-5와 같이 표시하였다.

<표 2-5> 국내 주요지역별 강우강도 분포 비교

시간을		1 %	0.5%	0.1%	0.05%	0.01%
서울	ITU	2.7	4.6	14	22	51
	TTA	3.2	6.5	23.5	35.5	66.4
	최근	4.4	9.7	32.2	50.2	101
부산	ITU	3.4	9.5	16	24.6	53.5
	TTA	3.8	6.9	21.4	31.1	66.5
	최근	4.4	7.9	25.8	45.6	122
대전	ITU	2.8	4.7	14.2	22.3	50.7
	TTA	2.6	5.5	21.3	30	62.9
	최근	2.8	6.1	23.7	43.3	135
대구	ITU	3	5	14.8	23.1	51.7
	TTA	2.6	4.8	14.3	21.4	41.2
	최근	2.8	4.4	17.5	27.9	73.9
광주	ITU	3.3	6.5	16.5	25.7	55.5
	TTA	2.9	5.6	22.6	32.9	72.7
	최근	2.8	6.1	30.1	47.9	104

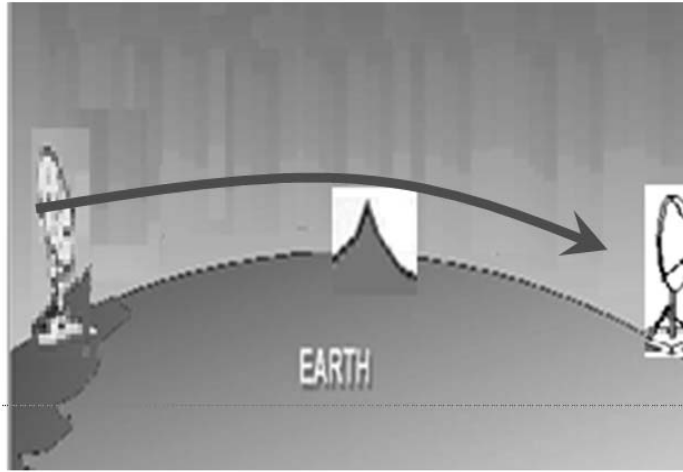


(그림 2-12) 서울 지역 강우강도 분포 비교

그림 2-12는 대표적으로 서울에서의 시간율에 따른 강우강도 비교치를 보여 준다. 표 2-5와 그림 2-12를 살펴보면 전반적으로 ITU나 국내 정보통신단체 표준에서는 국내 각 지역에서의 강우강도 실제 값보다 상당히 낮게 예측하고 있음을 알 수 있다. 예를 들어 무선링크 설계시 ITU 권고를 참고하여 서울 지역에서 0.01% 강우강도를 51mm/h로 예상하고 무선링크를 설계하였다면 최근 3년(2008~2010)간 51mm/h 강우강도는 시간율 0.01%가 아닌 0.05%에 해당되어 해당 무선링크의 성능이 기대치에 미치지 못했을 수 있음을 알 수 있다.

3. 대기굴절률 기울기 특성 분석

대기권에서 전파는 공간상을 직진하는 것이 아니라 실제로는 곡선 형태로 휘어지면서 진행한다. 이는 지표면에서 높이에 따라 대기굴절률 차이가 발생하기 때문에 나타나는 현상으로 높이별 대기굴절률 차이(즉, 대기굴절률 기울기)에 따라 전파가 휘어지는 정도가 결정된다. 전파가 직진하지 않고 곡선 형태로 휘어지면서 대기권을 진행한다는 것은 전파가 보다 먼 거리까지 도달할 수 있는 이점이 있는 반면, 전파진행 경로 상에 장애물이 위치하는 경우에는 그림 2-13과 같이 해당 장애물이 전파 진행을 방해할지 여부를 판단하기에는 다소 어려운 문제점이 발생한다.



(그림 2-13) 전파의 곡선 진행에 따른 장애물의 영향

이와 같이 대기권에서 대기굴절률 차이로 인해 전파가 휘어지는 현상을 반영하여 전파서비스에서는 지구의 반경을 실제 지구반경(약 6,400km)이 아닌 k 인자($4/3$)를 곱한 유효지구반경(약 8,500km)을 사용하고 있다. 여기서 k 인자가 $4/3$ 라는 가정(즉 유효지구반경이 약 8,500km로 가정한다는 것과 동일)하는 것은 대기굴절률 기울기가 1 km 높이에 따라 $-39N$ 씩 감소한다는 가정에서 도출된 결과이다. 그러나 실제 우리나라에서 대기굴절률 기울기가 $-39N/km$ 로 감소할 지는 확신할 수 없으며 실제 기상청의 고층기상자료를 분석하여 고도별 대기굴절률 값을 분석하여야 알 수 있다.

우리 원에서는 기상청이 제공한 3년간 포항지역에서의 고층 기상자료(2002~2004년)를 분석하여 지표면에서 1km 높이까지의 대기굴절률 기울기 변화를 계산하여 월별 대기굴절률 기울기 변화를 구하였으며 그 결과는 표 2-6(a)와 같이 나타났으며 이를 유효지구반경으로 표현한 결과는 표 2-6(b) 및 그림 2-14와 같이 나타냈다.

ITU에서는 대기굴절률 기울기가 $-39N/km$ 로 감소(k 인자 $4/3$ 와 동일한 의미)하는 것으로 권고하고 있어 우리나라에서도 무선링크 설계시 대부분 이를 준용하고 있으나 실제 포항지역에서 측정한 결과('02~'04)를 살펴보면 대기굴절률 기울기는 월 및 계절에 따라 상당히 다른 값을 보임을 알 수

있다. 포항지역에서 3년 평균한 대기굴절률 기울기는 -44.12N/km 으로 나타났다으며 최대값은 -32.42N/km (‘02년 1월), 최소값은 -58.77N/km (‘04년 7월)으로 나타났다. 이 분석결과를 평균해 볼 때 대기굴절률 기울기는 ITU 권고보다 작게 나타났다으며 특히 봄, 여름, 가을에 해당하는 5월~10월 사이에 상대적으로 작은 값을 나타내었다. 대기굴절률 기울기가 작다는 것은 전파가 더 많이 휘어지면서 진행한다는 것을 의미하여, 보다 먼 거리까지 전파가 전달될 수 있음을 의미하기도 한다. 실제 국내 해안지역에서 외래전파(일본, 중국으로부터의 전파) 유입현상은 겨울보다는 봄, 여름 가을에 높게 나타나는데 이는 이 시기에 대기굴절률 기울기가 보다 작게 되어 먼 거리까지 전파가 전달되기 때문으로 이해할 수 있다.

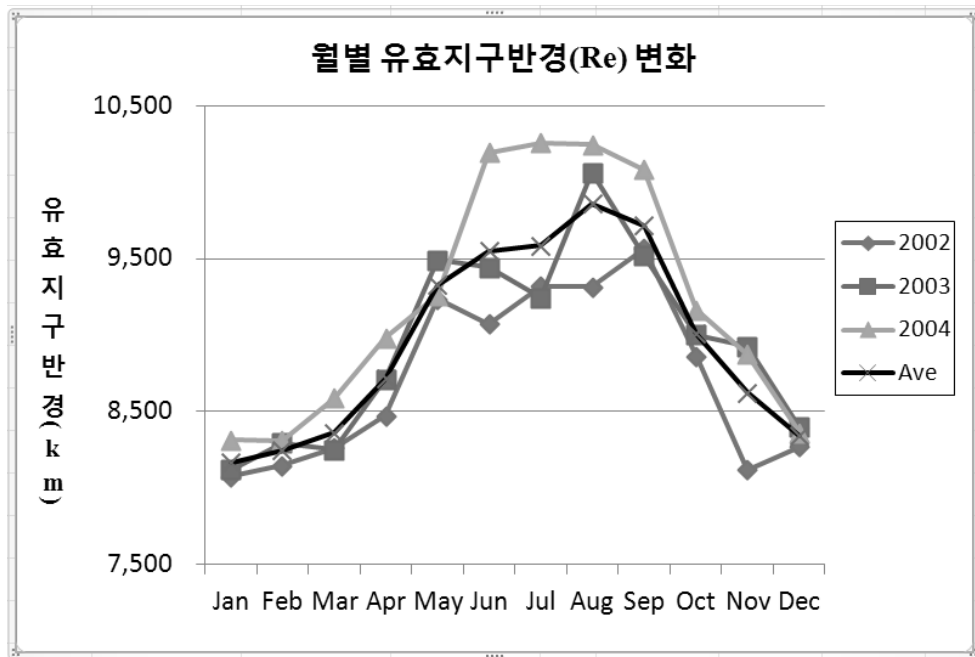
<표 2-6> 월별 대기굴절률 기울기 및 유효지구반경 변화(포항, 2002~2004)

(a) 대기굴절률 기울기

	2002	2003	2004	Ave
Jan	-32.42	-33.08	-35.97	-33.82
Feb	-33.48	-35.65	-35.89	-35.01
Mar	-35.18	-35.03	-39.78	-36.66
Apr	-38.2	-41.46	-44.91	-41.52
May	-47.97	-50.86	-48.24	-49.02
Jun	-46.01	-50.35	-58.16	-51.51
Jul	-48.92	-48.05	-58.77	-51.91
Aug	-48.91	-56.88	-58.64	-54.81
Sep	-51.7	-51.17	-57.06	-53.31
Oct	-43.39	-45.17	-47.14	-45.24
Nov	-33.05	-44.22	-43.58	-40.28
Dec	-35.33	-37.19	-36.63	-36.38
ave	-41.21	-44.09	-47.06	-44.12

(b) 유효지구반경

	2002	2003	2004	Ave
Jan	8075.6	8118.9	8313.9	8167.9
Feb	8145.3	8291.9	8308.4	8248.1
Mar	8259.7	8249.5	8585.9	8361.9
Apr	8471.0	8711.6	8981.5	8716.1
May	9235.3	9488.6	9258.4	9325.7
Jun	9071.1	9442.9	10194.7	9547.5
Jul	9317.1	9242.1	10258.5	9584.1
Aug	9316.2	10063.4	10244.9	9858.0
Sep	9564.8	9516.6	10081.7	9714.4
Oct	8860.5	9002.5	9165.1	9008.2
Nov	8116.9	8926.2	8875.5	8622.9
Dec	8269.9	8399.1	8359.8	8342.4
ave	8692.6	8915.8	9158.3	8918.2



(그림 2-14) 월별 유효지구반경 변화(포항, '02~'04)

제3장 방송망 전파전파예측모델 비교·분석

제1절 방송망 전파전파예측모델 분석 개요

국내 AM, FM, TV, DMB 방송 송출을 위해 전국 곳곳에 지역별로 방송국, 방송보조국, 국간 전송용 무선국이 배치되어 해당 지역의 방송시청을 커버하고 있다. 주로 방송 커버리지 예측을 위하여 전파모델이 필요하고, 전파 예측에서 고려해야할 가장 중요한 요소 중 하나는 경로 손실이다. 경로손실을 얹으로써 실제 신호강도를 효율적으로 예측할 수 있고, 전파예측모델은 수학적인 알고리즘으로써 주어진 전파환경에서의 전파특성을 예측하는데 이용된다. 우리나라에서는 1980년대 국내에서 개발된 Bcast모델을 주로 사용하고 있으며, 국제적으로는 미국, 일본, 유럽 등에서 전파모델 연구를 추진하고 있고, ITU-R SG3에서 연구하고 있는 권고 P.1546-4이 30MHz ~ 3000MHz대역에서의 점대지역 전파예측모델로써 방송망 전파예측모델로 적용될 수 있다. 여기서 우리는 전파예측모델로 우리가 주로 사용중인 Bcast모델이 여러 지역, 지형, 건물특성을 반영하여 얼마나 실측에 근사하게 예측 가능한지, ITU 권고와는 결과가 어떻게 다른 지 등에 대한 궁금증이 발생한다.

따라서 본 연구는 2012년도 아날로그방송 종료 및 디지털 전환에 따른 디지털방송서비스에 초점을 맞추어 방송통신위원회 중앙전파관리소(이하 중관소)에서 DTV방송 수신환경조사 목적으로 2004년부터 2012년간 전국 13개 지소에서 측정한 DTV방송 수신신호 실측데이터 일부를 활용하여 전파예측모델을 비교·분석하고자 한다.

제2절에서는 중관소의 DTV방송 수신환경조사 사업(2004~2012)의 방송신호 측정데이터와 Bcast, P.1546-4 두 예측모델의 예측값 간의 비교·분석을 통해 실측값에 가장 근사한 모델을 발견하고 제3절에서 본 연구의 결론을 맺고자 한다.

제2절 실측-예측 데이터 비교·분석

1. 중관소 DTV방송 수신환경조사자료 활용

중앙전파관리소(이하 중관소)의 DTV방송 수신환경조사 자료(2004~2012) 중 측정지점별 방송 수신전계강도 측정치를 이용하여 동일지점에서의 예측 모델이 예측한 수치와 비교하고자 한다. 따라서 전국 방송송신국 및 보조국 중 주요도시의 KBS2 DTV 송신국 6국을 선택하여 해당 송신국으로부터 송출된 신호 측정데이터를 실측데이터로 활용하였다. 실측데이터로 활용한 지역별 송신소, 채널정보, 측정지점 수는 아래 표와 같다.

<표 3-1> 지역별 방송채널 측정지점수

지역	송신소	채널 정보			측정지점수
		방송국	채널	주파수	
서울	관악산	KBS2 DTV	17	491	1,653
대구	팔공산		16	483	507
부산	항령산		16	485	652
광주	무등산		18	497	640
울산	무룡산		40	629	718
창원	불모산		25	539	825

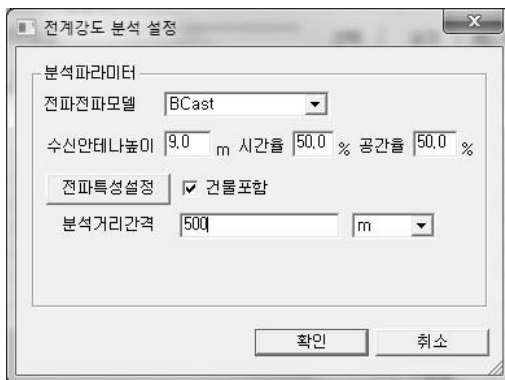
2. 가시/비가시, 모폴로지별 전파예측값 추출

가. 분석 환경 설정

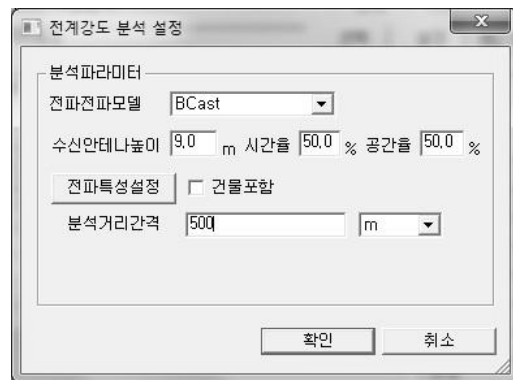
중관소 실측데이터의 위치(위도, 경도)를 전파분석시스템에 입력하면 이 지점에서 주위의 지형, 건물높이, 장애점 등을 고려하여 Bcast와 P.1546-4 모델에 의한 예측 값이 산출된다.

전파분석시스템의 모폴로지는 지형특성에 따라 개방, 밀집, 대도시지역 등 총 9개의 모폴로지로 구분되어 있는데 본 연구에서는 예측모델의 시뮬레이션 결과와 측정데이터가 가장 많이 분포하는 개방지역과 밀집지역 두 모폴로지를 선정하고 송신소와 측정지점 사이의 장애물의 유무에 따른 가시, 비가시영역으로 총 4가지 경우(밀집 지역의 가시 및 비가시, 개방 지역의 가시 및 비가시)를 주로 분석하였다.

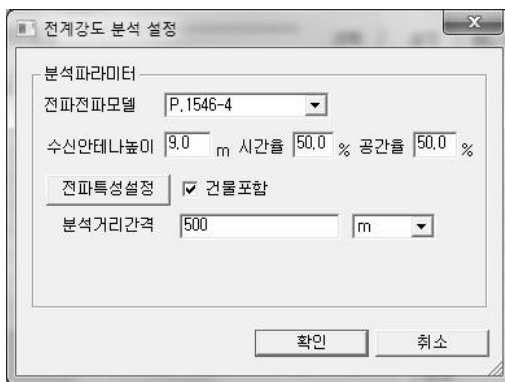
방송신호 예측의 경우 시간을 50%, 공간을 50%를 적용하기 때문에 P.1546-4의 공간을 설정을 위한 셀 반경은 ITU 권고와 동일하게 500 x 500m로 설정하였고, Bcast의 경우는 셀반경에 대한 언급이 없어 P.1546-4의 셀반경과 동일하게 설정하였다. 수신안테나 높이는 방송구역 고시에 따라 9m로 놓고 측정하였다.



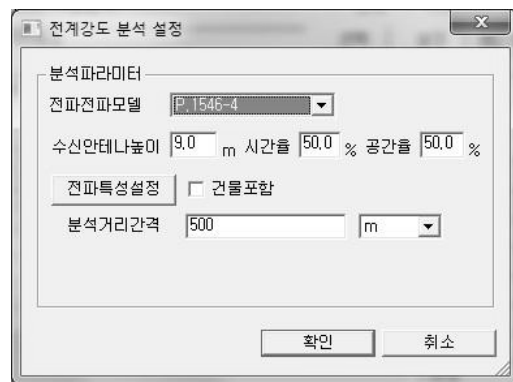
(a) Bcast 건물포함설정



(b) Bcast 건물미포함 설정



(c) P.1546-4 건물포함 설정



(d) P.1546-4 건물미포함 설정

(그림 3-1) 전파전파예측모델 시뮬레이션 설정

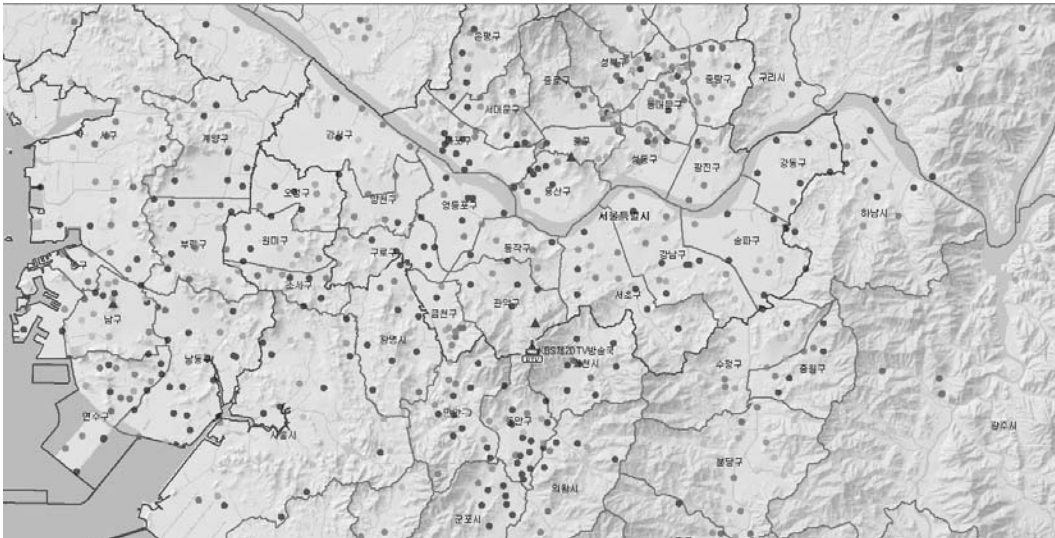
나. 송신소별 방송신호 예측값 추출

전국 6개 송신소에 해당하는 측정데이터를 지도상에 표현하고, 위의 전계강도분석설정에 따라 전파분석시스템을 구동하면 각각의 측정데이터 지점에 해당하는 전파모델별 예측값과, 송신소로부터 수신지점까지의 가시, 비가시 여부, 해당지점의 모폴로지 정보를 얻을 수 있다.

각 수신점에서 측정한 전계강도 데이터를 지도상에 표현할 수 있는데 측정값의 레벨에 따라 지도상에 색상이 달리 표현되며, 전체 실측값과 예측 값을 거리별(log d)로 계산한다.

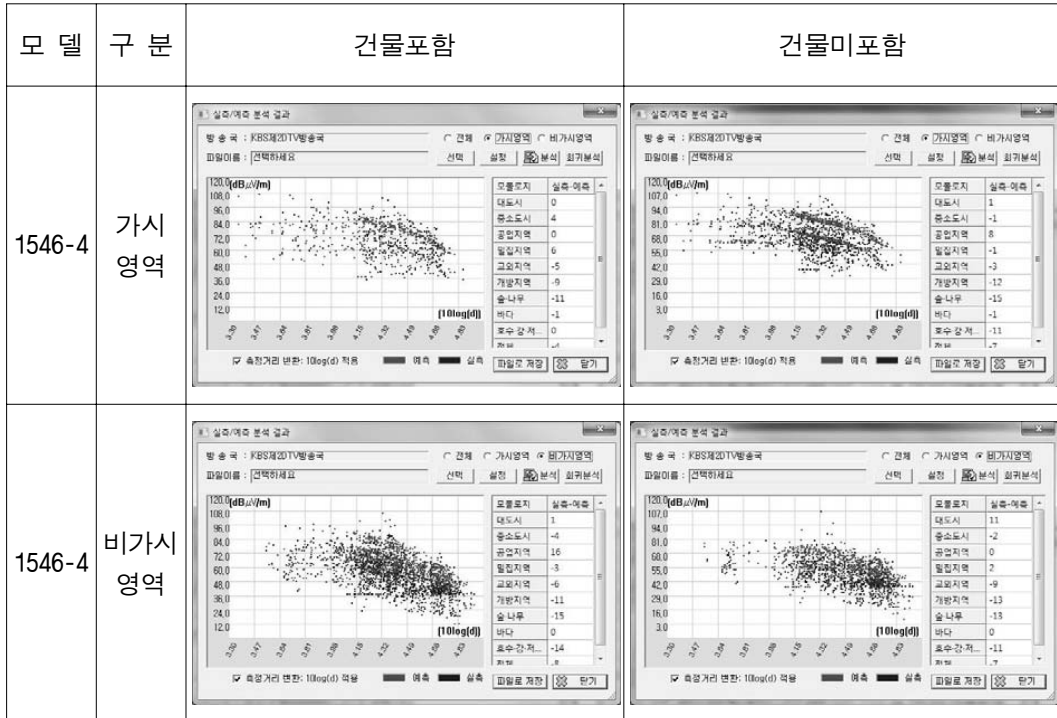
표 3-1에서 보인 것 같이 서울 관악산, 대구 팔공산, 부산 황령산, 광주 무등산, 울산 무룡산, 창원 불모산의 6개 송신소의 방송신호를 측정한 주변 일대의 측정지점은 각각 다음의 그림과 같다. 예측모델 구현시의 실측-예측값의 거리별 전체 분포, 가시영역 및 비가시영역에서의 분포를 건물을 포함한 것과 포함하지 않은 것에 대하여 각각 보여준다.

(1) 서울 관악산 KBS2 DTV 측정지점



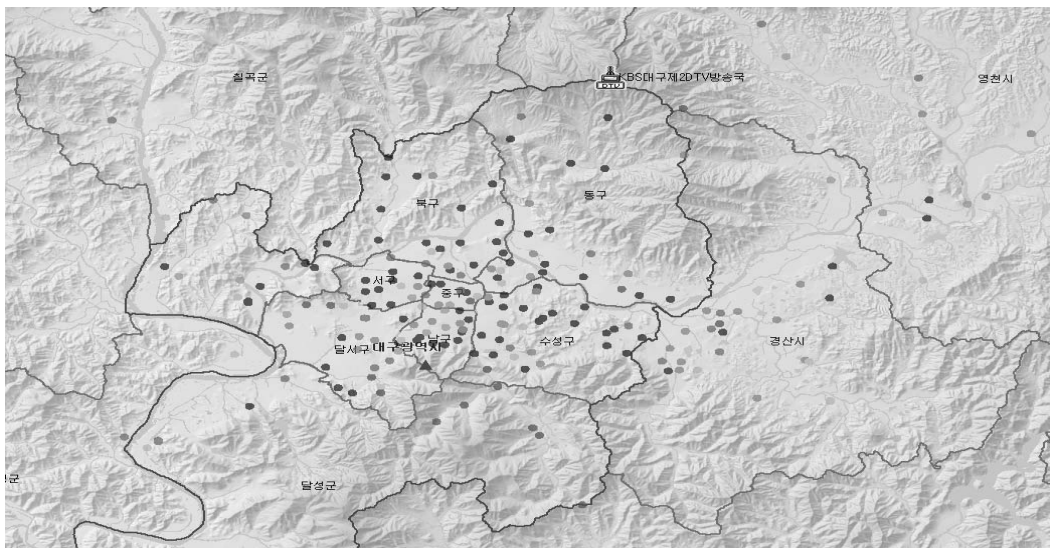
(그림 3-2) 서울 관악산 KBS2 DTV 측정지점 분포

모 델	구 분	건물포함	건물미포함
Bcast	전체		
Bcast	가시 영역		
Bcast	비가시 영역		
1546-4	전체		



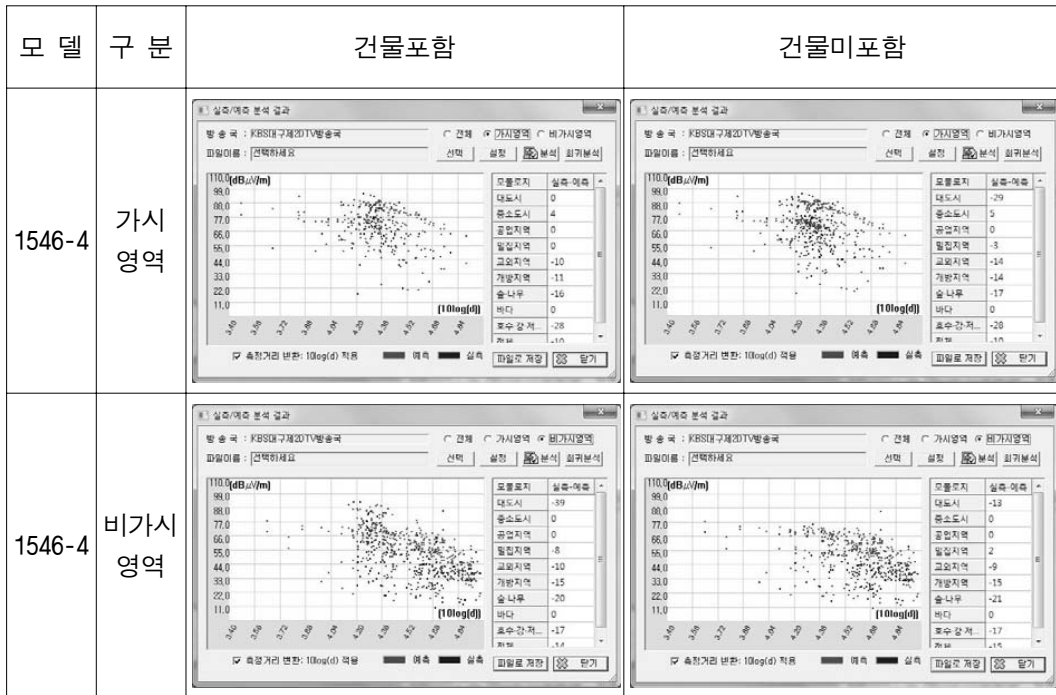
(그림 3-3) 서울 관악산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과

(2) 대구 팔공산 KBS2 DTV 측정지점



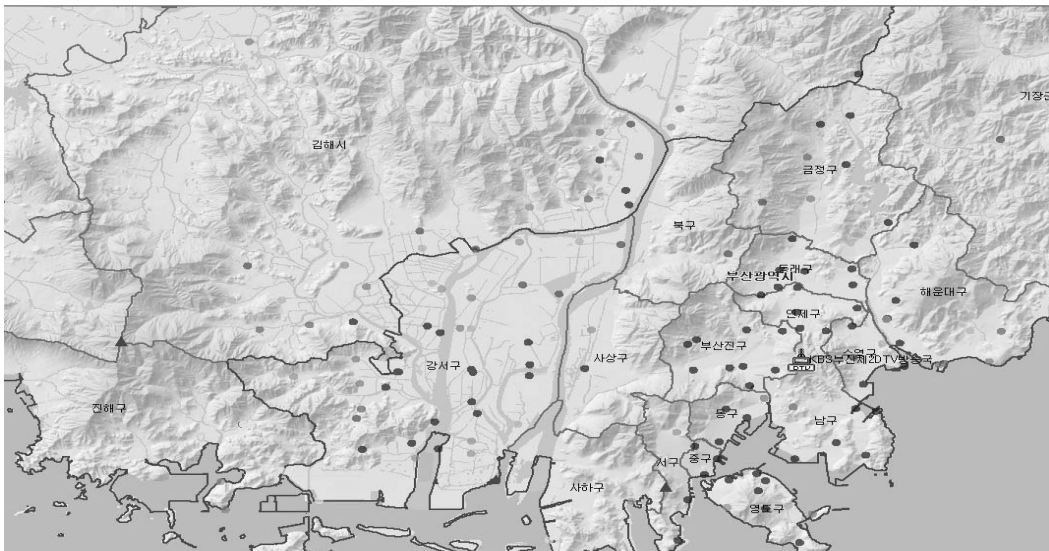
(그림 3-4) 대구 팔공산 KBS2 DTV 측정지점 분포

모 델	구 분	건물포함	건물미포함
Bcast	전체		
Bcast	가시영역		
Bcast	비가시영역		
1546-4	전체		

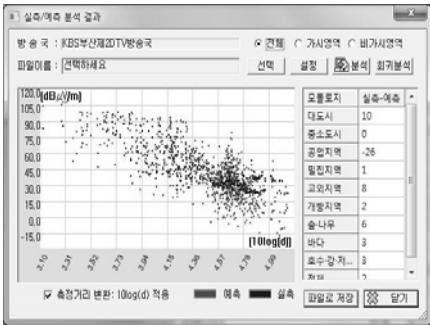
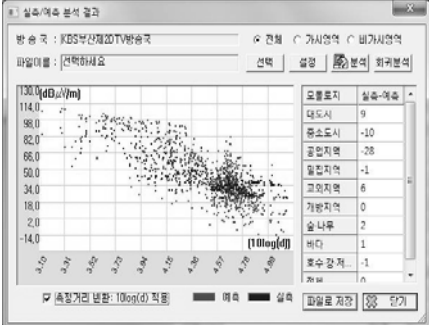
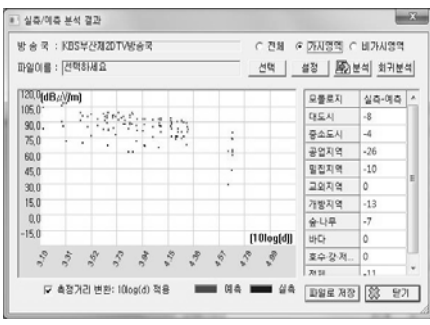
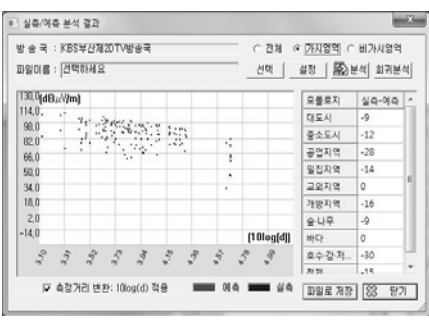
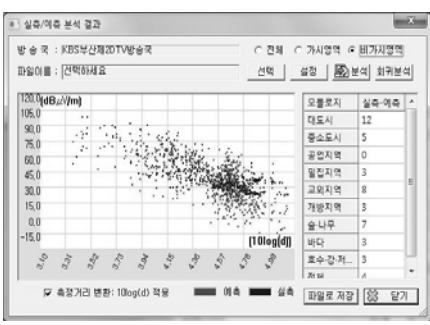
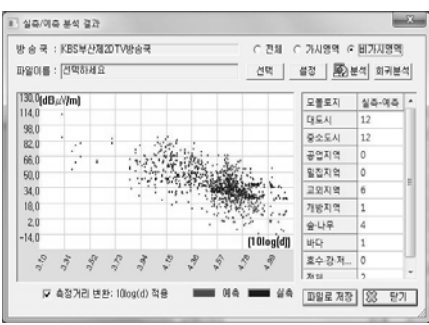
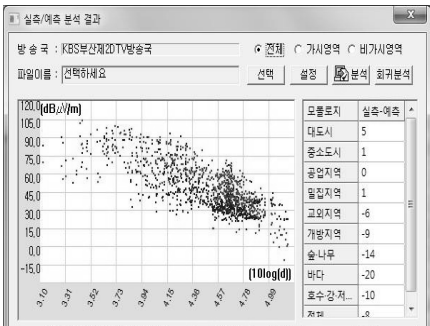
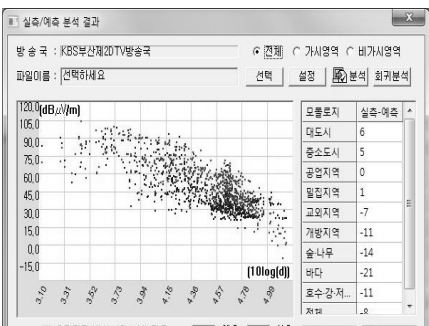


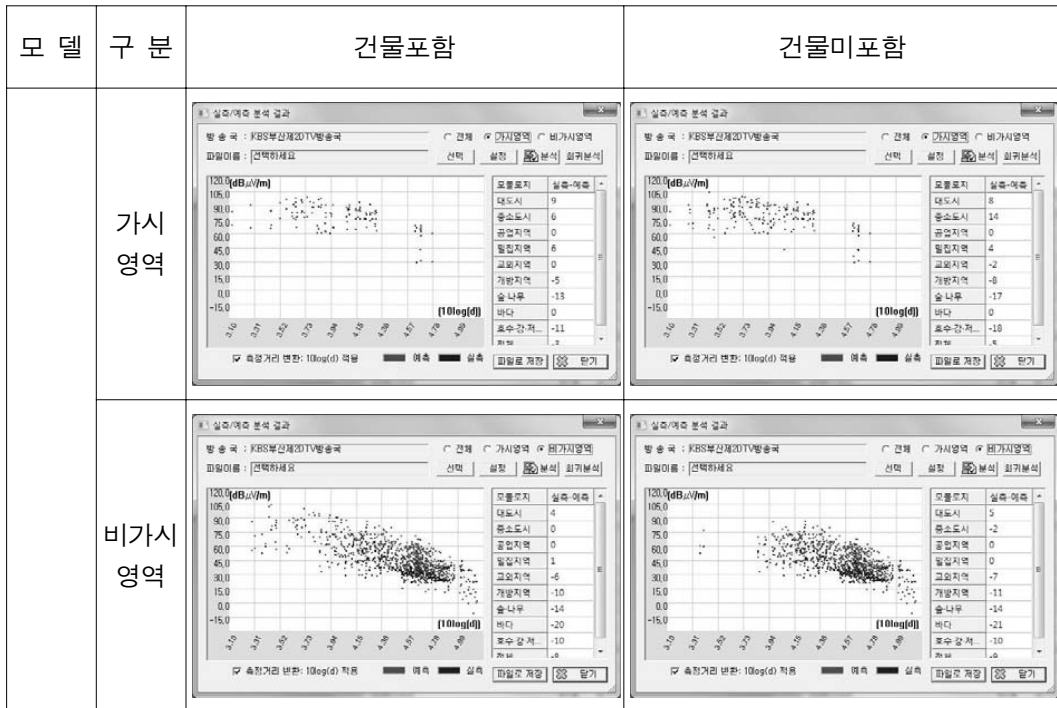
(그림 3-5) 대구 팔공산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과

(3) 부산 황령산 KBS2 DTV 측정지점



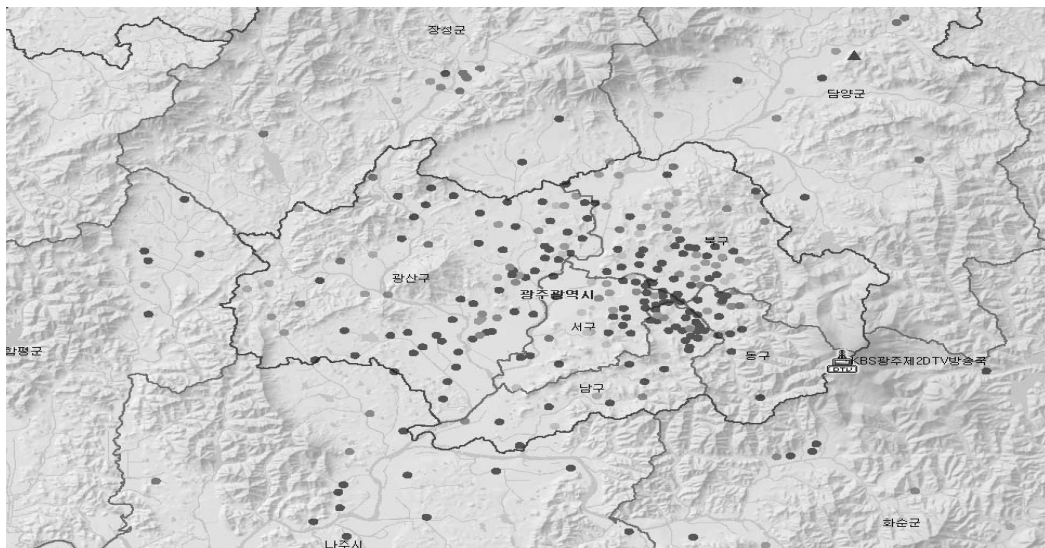
(그림 3-6) 부산 황령산 KBS2 DTV 측정지점 분포

모 델	구 분	건물포함	건물미포함
Bcast	전체		
	가시 영역		
	비가시 영역		
	1546-4 전체		

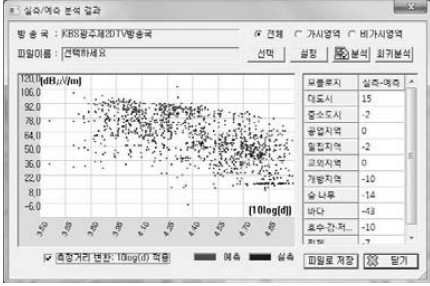
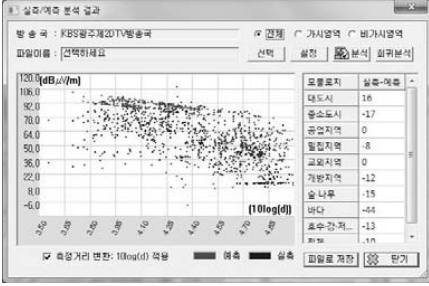
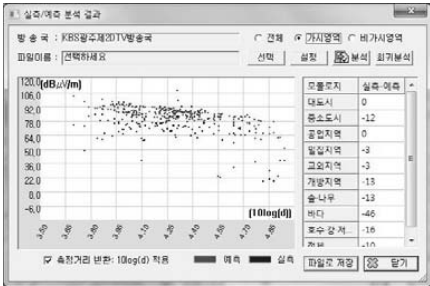
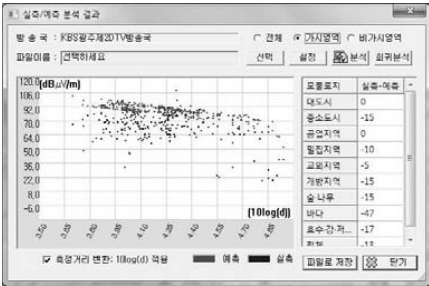
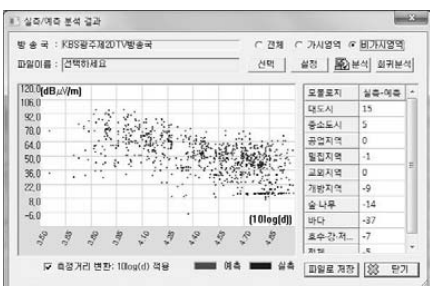
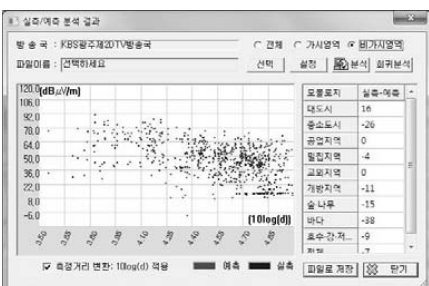
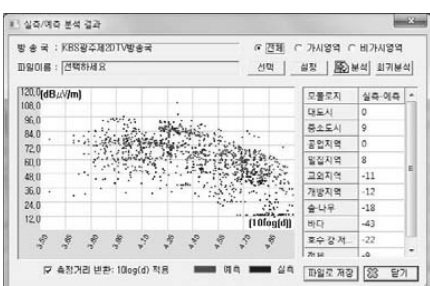
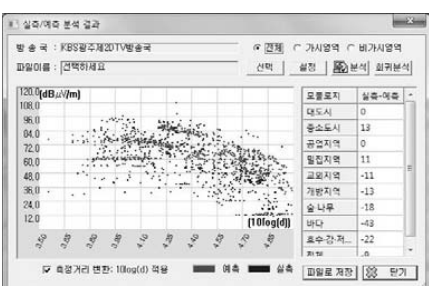


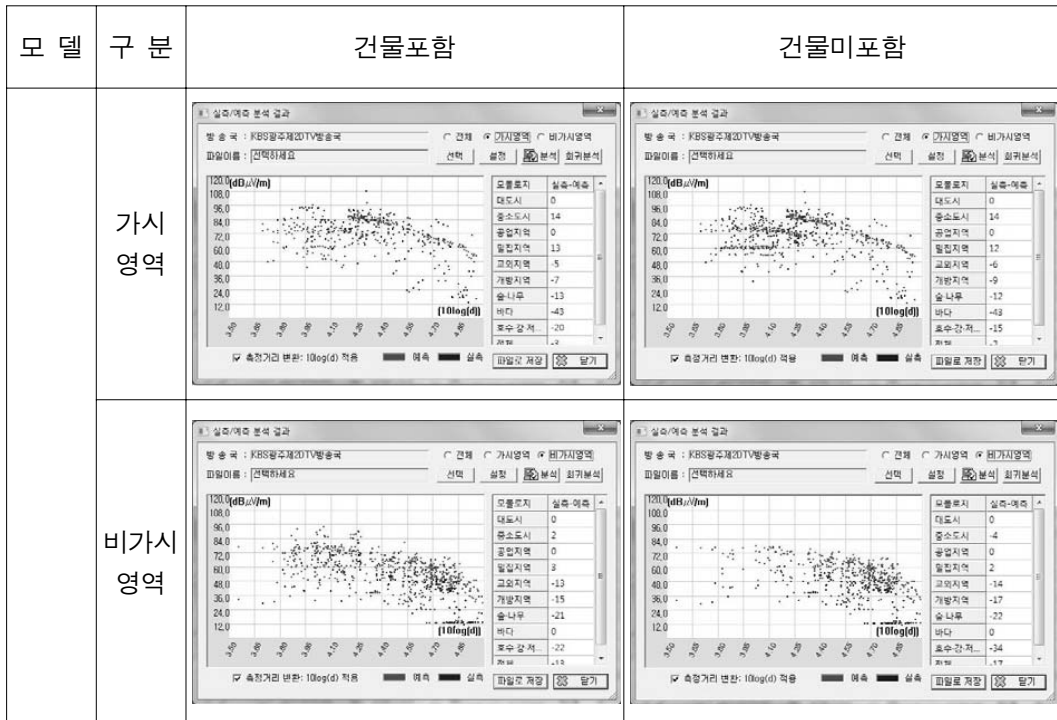
(그림 3-7) 부산 황령산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과

(4) 광주 무등산 KBS2 DTV 측정지점



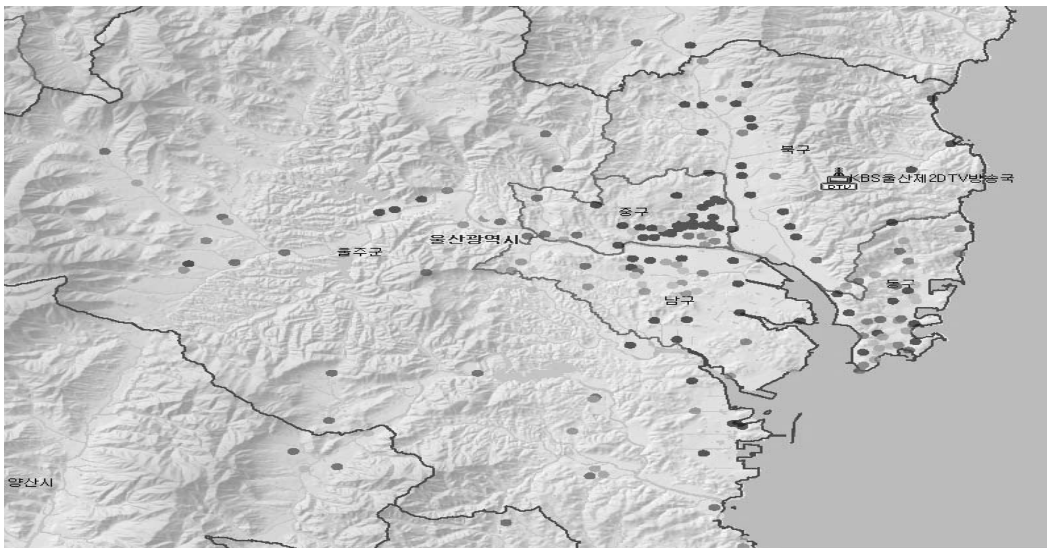
(그림 3-8) 광주 무등산 KBS2 DTV 측정지점 분포

모 델	구 분	건물포함	건물미포함
Bcast	전체		
	가시 영역		
	비가시 영역		
	1546-4 전체		

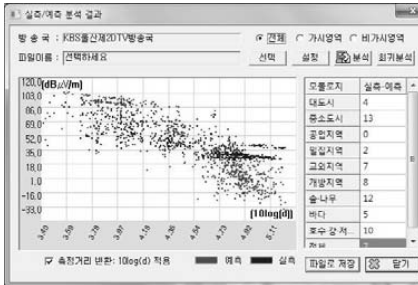
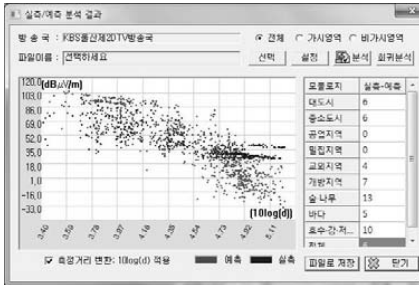
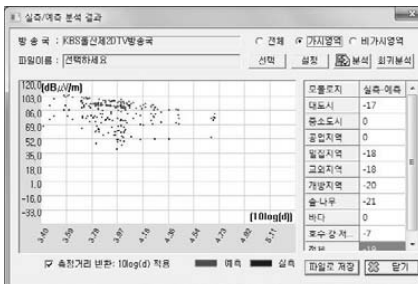
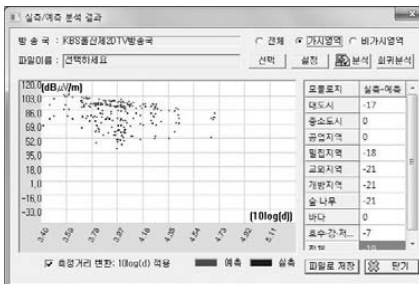
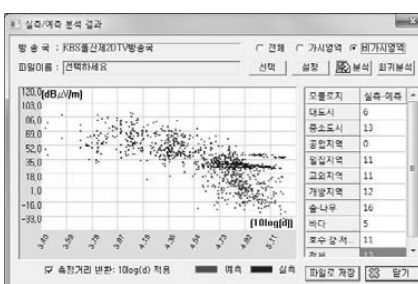
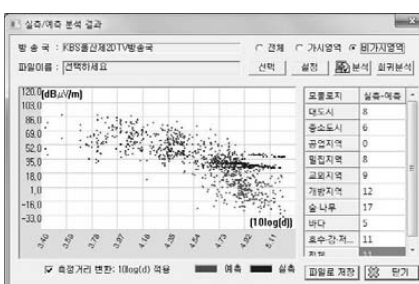
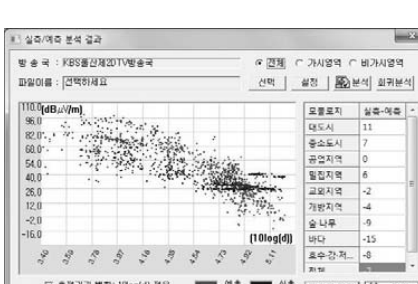
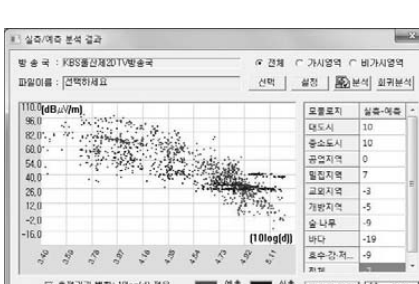


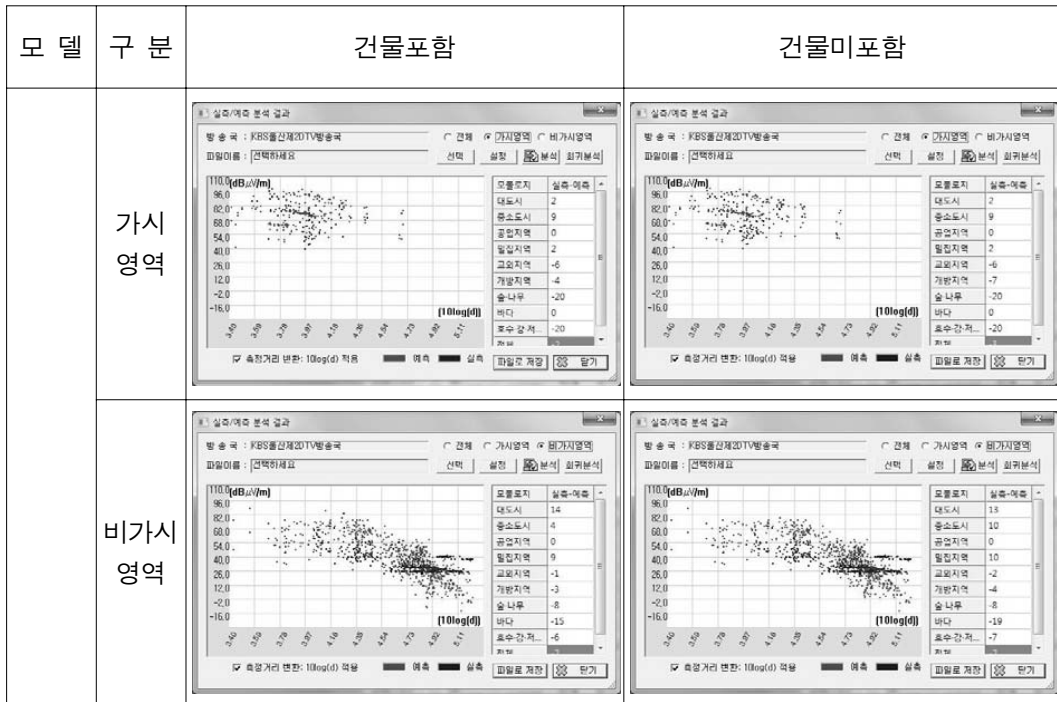
(그림 3-9) 광주 무등 39산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과

(5) 울산 무릉산 KBS2 DTV 측정지점



(그림 3-10) 울산 무릉산 KBS2 DTV 측정지점 분포

모 델	구 분	건물포함	건물미포함
Bcast	전체		
	가시 영역		
	비가시 영역		
	전체		



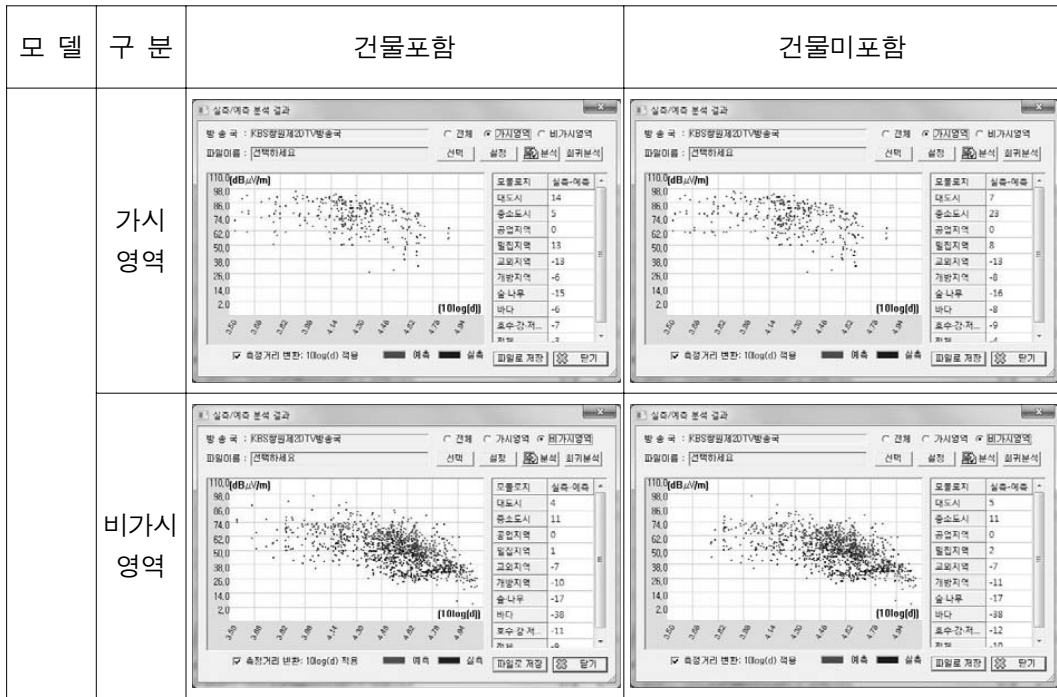
(그림 3-11) 울산 무룡산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과

(6) 창원 불모산 KBS2 DTV 측정지점



(그림 3-12) 창원 불모산 KBS2 DTV 측정지점 분포

모 델	구 분	건물포함	건물미포함
Bcast	전체		
	가시 영역		
	비가시 영역		
	전체		
1546-4	전체		



(그림 3-13) 창원 불모산 KBS2 DTV 전파예측모델 시뮬레이션 결과

3. 가시/비가시별 개방, 밀집지역별 실측-예측 분석

수신지점의 실측-예측데이터 분석방법은 우선 수신지점에서 송신소 방향의 일직선상에 가시/비가시별, 모폴로지별로 예측모델간 비교를 하고자 한다. 시뮬레이션을 통해 얻은 지점별 모폴로지 분포를 분석한 결과 6개 지역 공통으로 측정수가 가장 많은 모폴로지는 개방지역과 밀집지역이었으며, 대도시, 공업지역, 호수·강지역은 측정수가 매우 적었다. 따라서 개방지역과 밀집지역의 가시, 비가시영역에 해당하는 지점들을 분류하여 각각에서의 실측-예측모델을 비교하고자 한다. 여기에서 모델과 건물포함 여부에 따라 측정지점의 가시, 비가시여부, 모폴로지 종류가 달라지는 경우를 발견하였는데 이러한 차이점의 원인은 향후 분석이 필요한 것으로 보인다. 따라서 실측과 4종류의 예측모델을 비교하기 위해 실측지점별로 공통된 모폴로지를 보이는 경우만 추출한 결과, 아래 표와 같이 공통된 실측-예측비교를 위한 측정지점수가 상당히 줄어드는 것을 볼 수 있다.

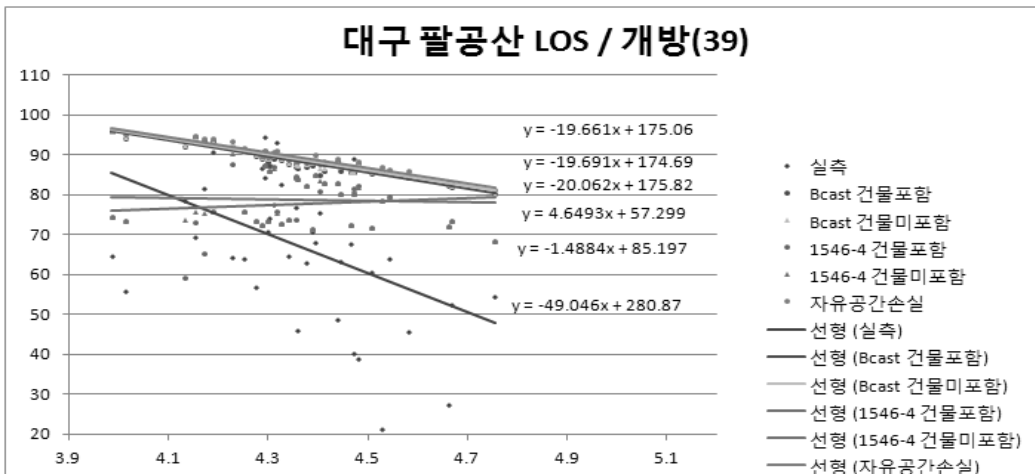
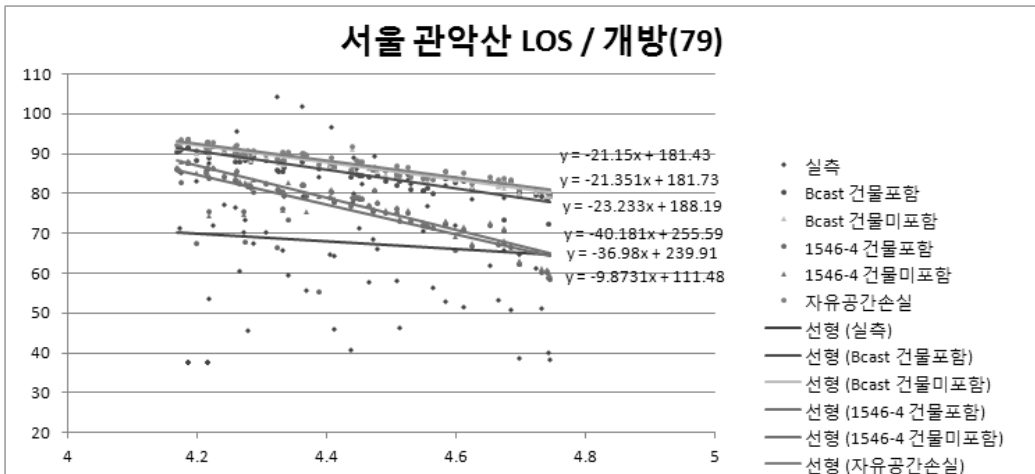
<표 3-2> 실측-예측모델 비교를 위한 공통분석지점 수

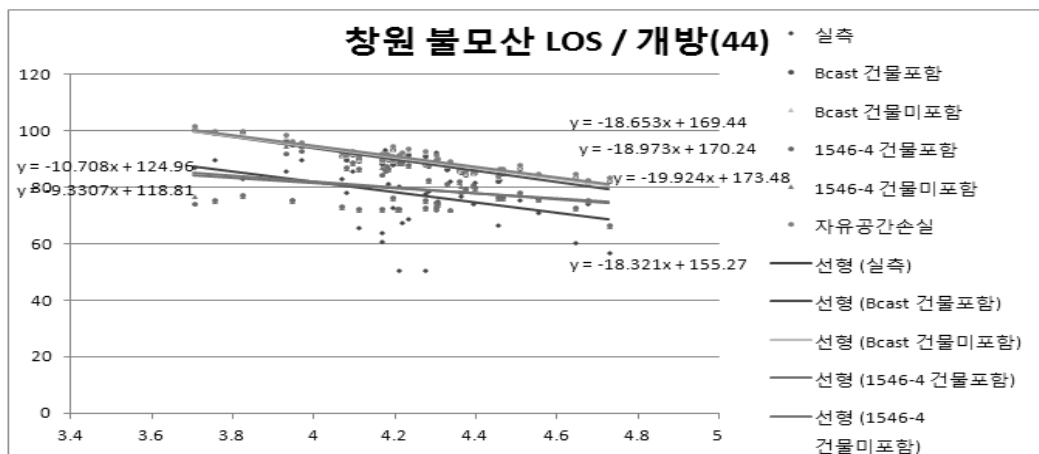
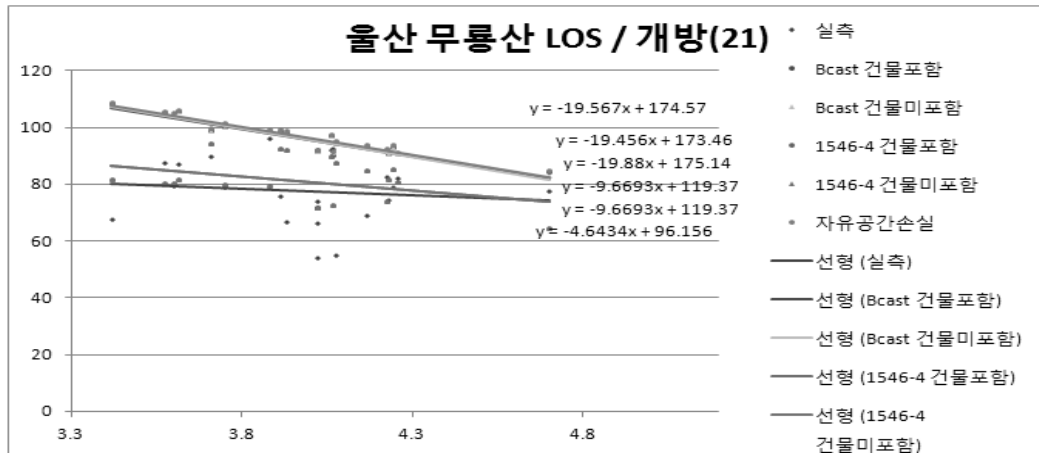
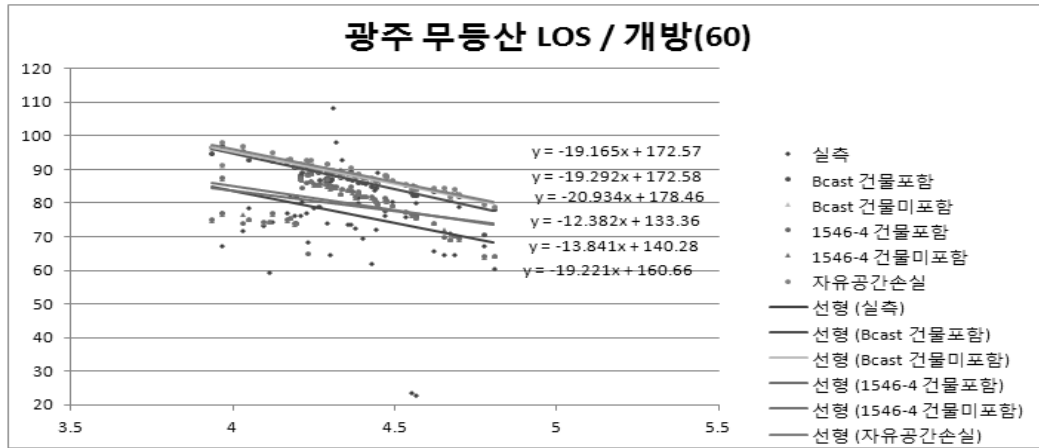
송신소	LOS 여부	모폴로지	공통 분석지점	Bcast		P.1546-4	
				건물 포함	건물 미포함	건물 포함	건물 미포함
서울 관악산	LOS	개방	79	175	326	175	344
		밀집	41	112	302	109	343
	NLOS	개방	215	594	443	499	395
		밀집	115	486	296	430	242
대구 팔공산	LOS	개방	41	65	80	80	94
		밀집	29	54	91	45	98
	NLOS	개방	87	182	170	147	133
		밀집	11	84	48	76	23
부산	LOS	개방	-	-	-	33	44
		밀집	-	-	-	13	-
	NLOS	개방	215	328	321	311	300
		밀집	55	153	145	109	95
광주	LOS	개방	60	96	117	139	171
		밀집	30	51	83	50	88
	NLOS	개방	116	221	200	220	188
		밀집	4	68	36	48	10
울산	LOS	개방	21	46	49	41	49
		밀집	45	59	60	67	70
	NLOS	개방	216	336	333	301	293
		밀집	57	138	137	98	95
창원	LOS	개방	44	73	78	87	98
		밀집	16	42	56	32	48
	NLOS	개방	228	379	377	366	355
		밀집	56	172	160	110	94

제3절 실측-예측 데이터 비교·분석 결과

6개 송신소의 실측데이터와 예측모델 데이터를 모폴로지에 따라 비교하면 다음과 같다. 실측데이터의 거리별 분포를 중심으로 Bcast의 건물포함, Bcast의 건물미포함, 1546-4 건물포함, 1546-4 건물미포함의 4가지 경우를 자유공간손실과 함께 비교하였다. 자유공간손실의 경우 x 축인 $\log d$ (d : 송수신점 간의 거리, 단위는 m)의 선형함수로 기울기는 대략 20이 된다.

1. 가시영역/개방지역





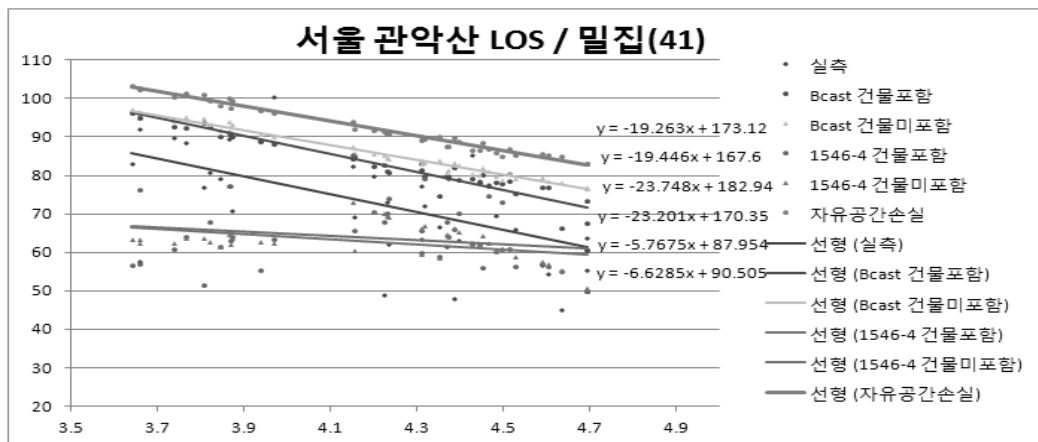
(그림 3-14) 지역별 가시영역/개방지역 실측-예측 분포

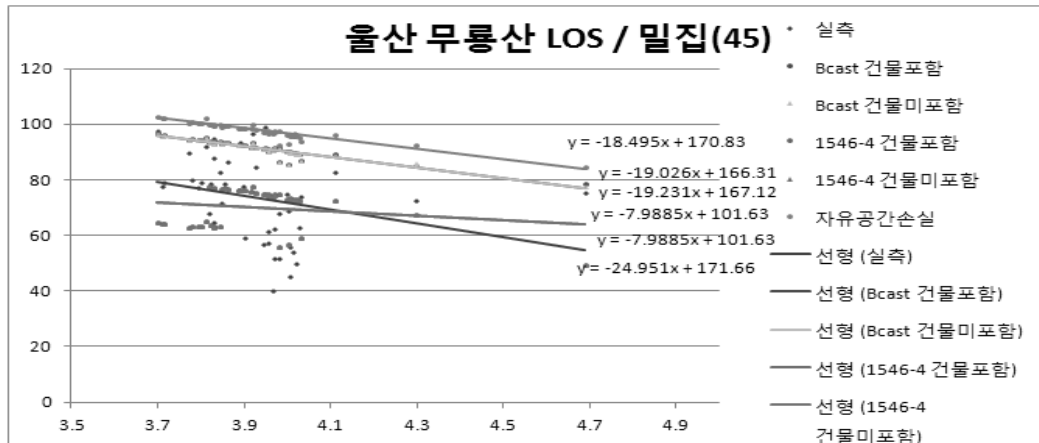
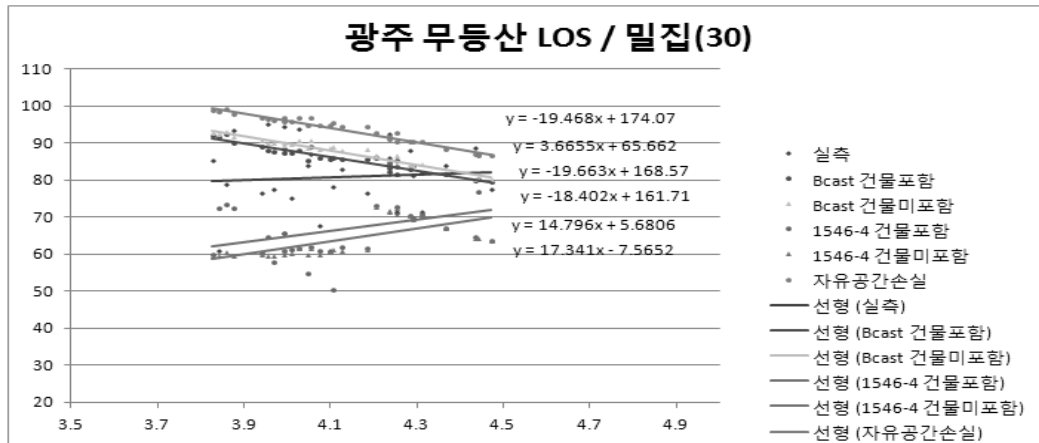
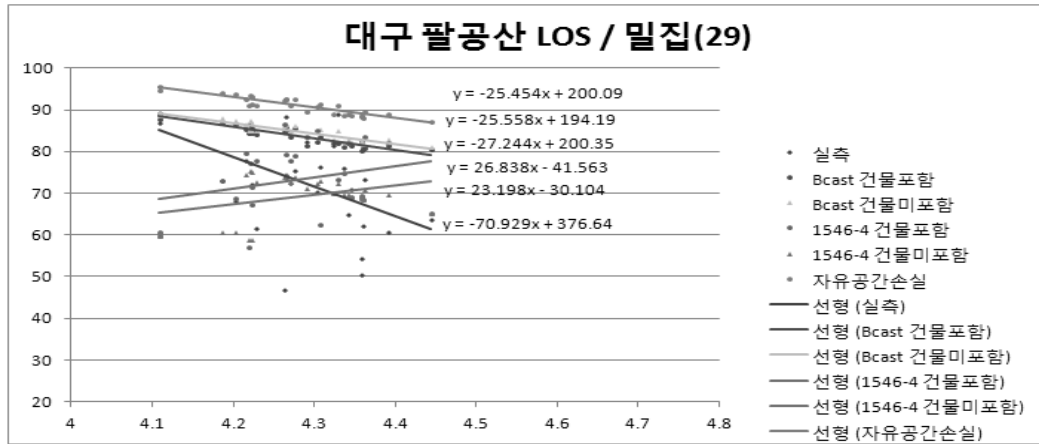
<표 3-3> 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차

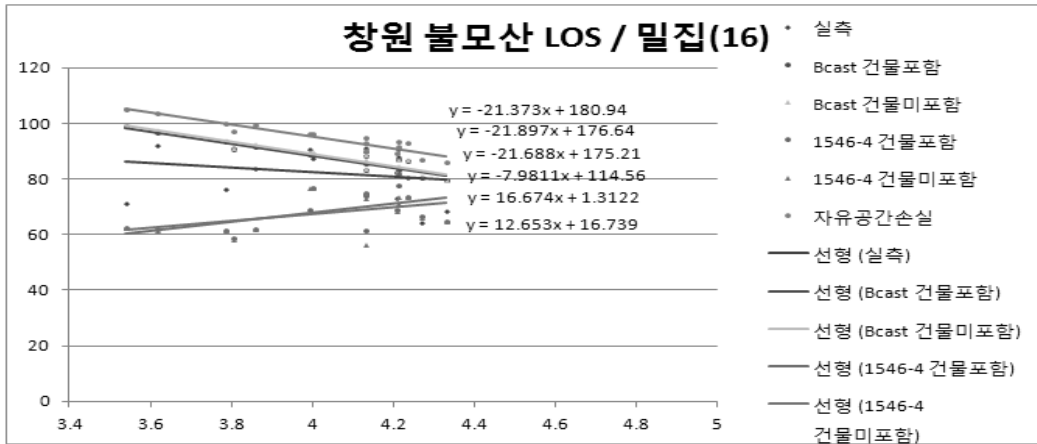
기준	평 균				표 준 편 차			
예측 모델	Bcast 건물 포함	Bcast 건물 미포함	1546-4 건물 포함	1546-4 건물 미포함	Bcast 건물 포함	Bcast 건물 미포함	1546-4 건물 포함	1546-4 건물 미포함
서울	-17.69	-19.54	-8.68	-10.22	18.69	18.20	19.33	18.20
대구	-21.46	-21.94	-10.78	-11.89	16.74	16.67	18.86	17.92
광주	-10.35	-11.61	-2.43	-3.00	13.42	13.41	12.68	12.90
울산	-18.43	-18.43	-3.23	-3.23	12.07	12.05	13.54	13.54
창원	-11.42	-12.20	-1.66	-1.97	10.46	10.54	11.44	11.53
평균	-15.87	-16.74	-5.35	-6.06	-			

모델별 분포를 보면, Bcast와 1546-4모델 모두 건물미포함시보다 건물포함시 실측값에 조금 더 가까운 것으로 보이며, 평균적으로 건물포함시 Bcast는 예측값이 실측값보다 15.87dB 높게, 1546-4는 5.35dB 높게 예측함으로써 차이는 있으나 1546-4가 가시영역의 개방지역에서 Bcast보다 실측에 가까움을 알 수 있다.

2. 가시영역/ 밀집지역







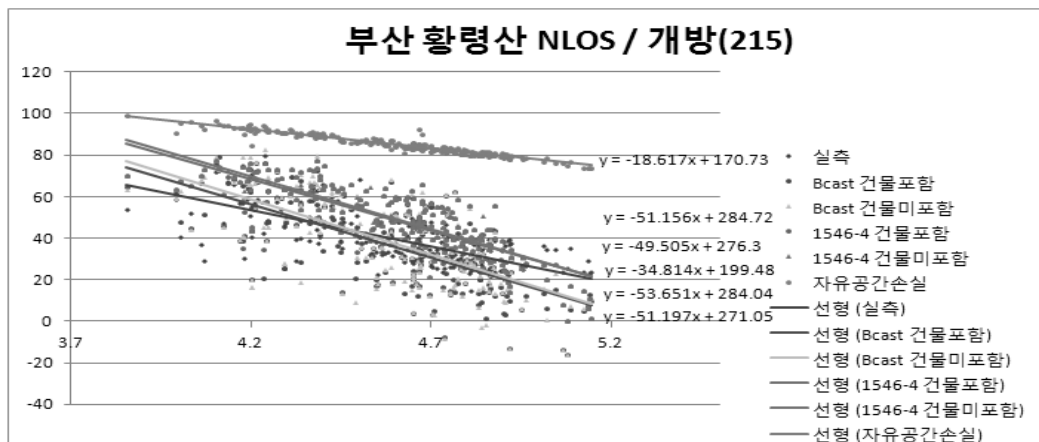
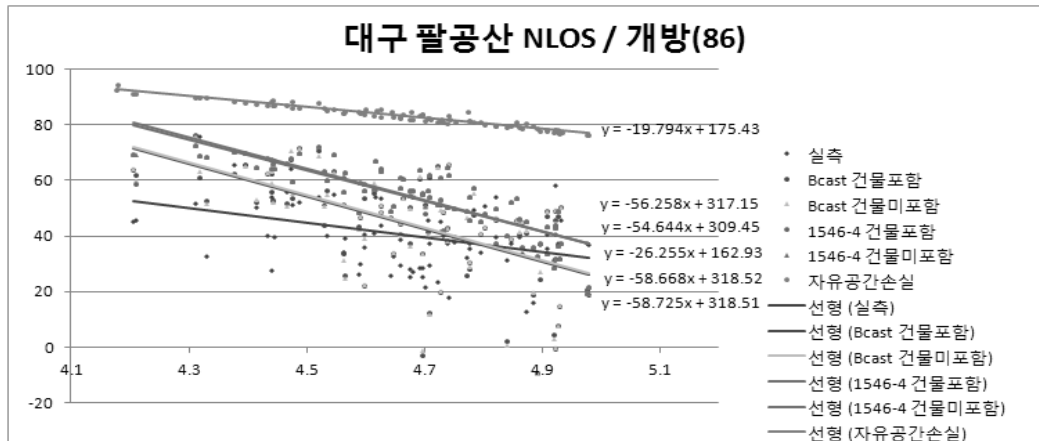
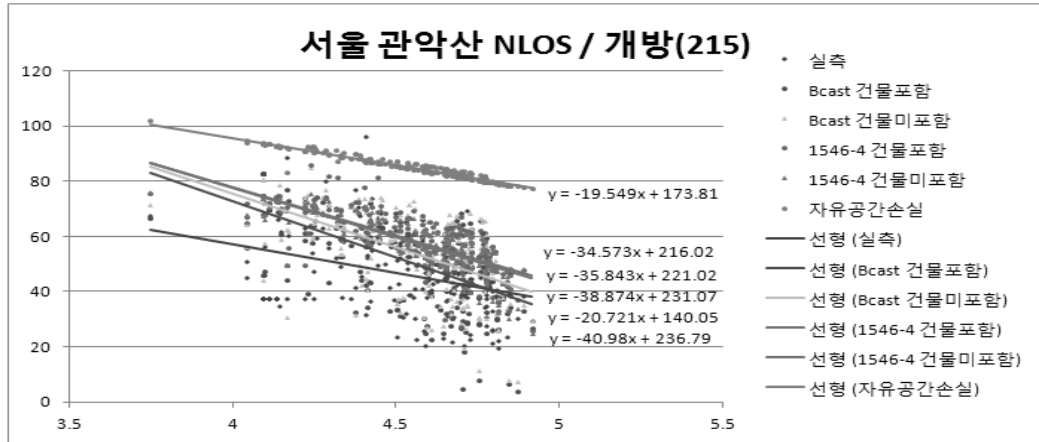
(그림 3-15) 지역별 가시영역/밀집지역 실측-예측 분포

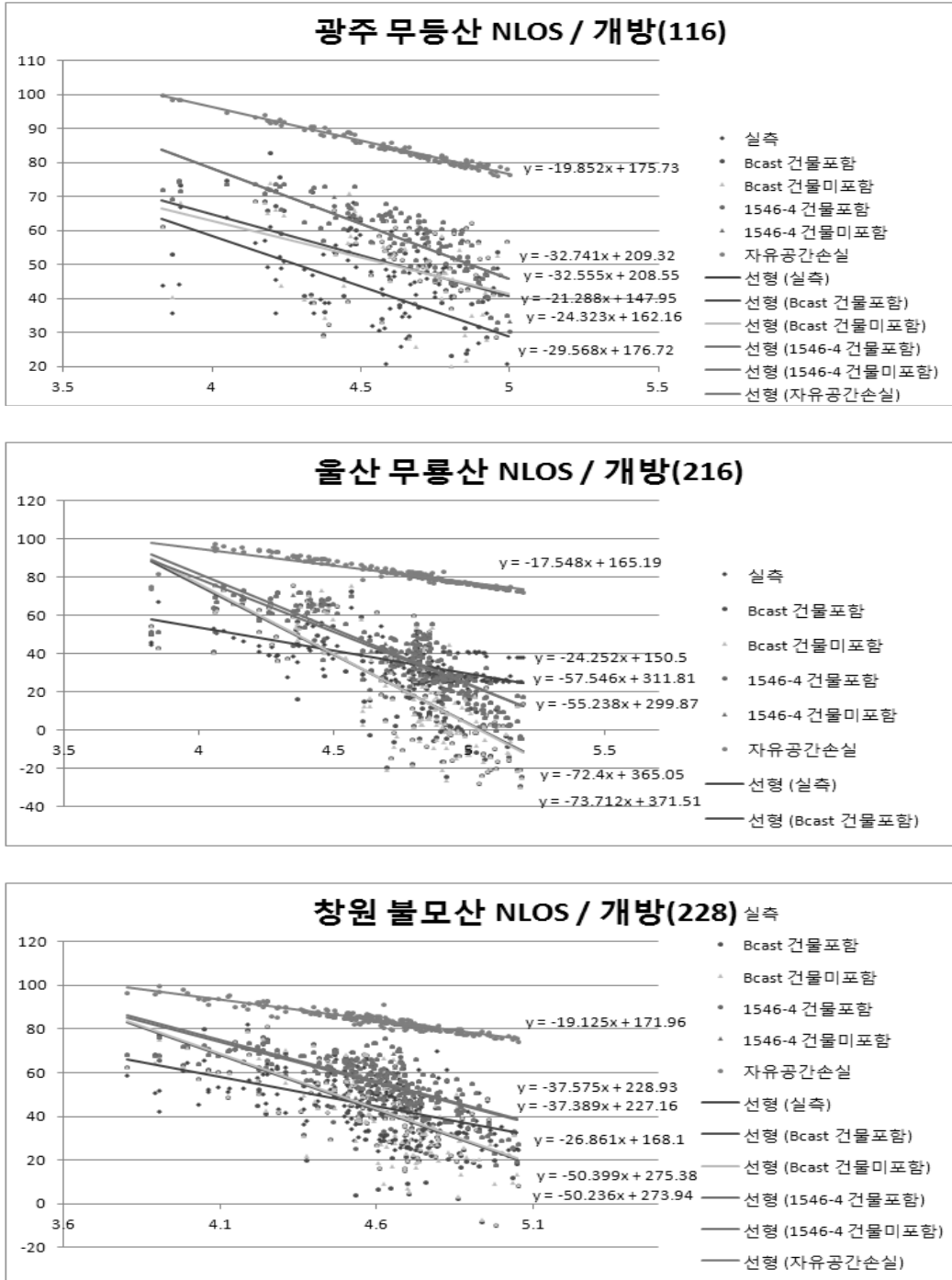
<표 3-4> 가시영역/밀집지역 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차

구 분	평 균				표준편차			
예측모델	Bcast 건물포함	Bcast 건물미포함	1546-4 건물포함	1546-4 건물미포함	Bcast 건물포함	Bcast 건물미포함	1546-4 건물포함	1546-4 건물미포함
서울	-10.27	-13.11	8.77	9.86	10.96	11.03	13.69	12.56
대구	-10.66	-11.72	-0.19	3.92	10.71	10.71	15.79	13.65
광주	-5.03	-6.68	14.07	16.82	10.42	10.63	11.87	10.36
울산	-17.93	-17.94	3.36	3.36	14.24	14.25	17.68	17.68
창원	-5.43	-6.02	13.93	14.71	9.13	8.89	9.37	9.13
평 균	-9.86	-11.09	7.98	9.73				

모델별 분포를 보면, Bcast와 1546-4모델 모두 건물미포함시보다 건물포함시 실측값에 조금 더 가까운 것으로 보이며, 평균적으로는 건물포함시 Bcast는 예측값이 실측값보다 9.86dB 높게, 1546-4는 실측값이 예측값보다 7.98dB 높게 예측함으로써 차이는 있으나 1546-4가 가시영역의 밀집지역에서 Bcast보다 실측에 가까움을 알 수 있다. 그러나 광주지역의 경우 실측값대비 Bcast는 5.03dB 예측값이 높고, 1546-4는 14.07dB 실측값이 높다. 또한 창원의 경우 실측값대비 Bcast는 5.42dB 예측값이 높고 1546-4는 13.93dB 예측값이 낮아 전체적으로 1546-4모델이 실측에 더 근사하게 예측한다는 결론을 내리긴 어렵다. 광주 지역의 결과가 왜 다른 지는 추후 더 많은 데이터를 갖고 분석할 필요가 있다.

3. 비가시영역/개방지역





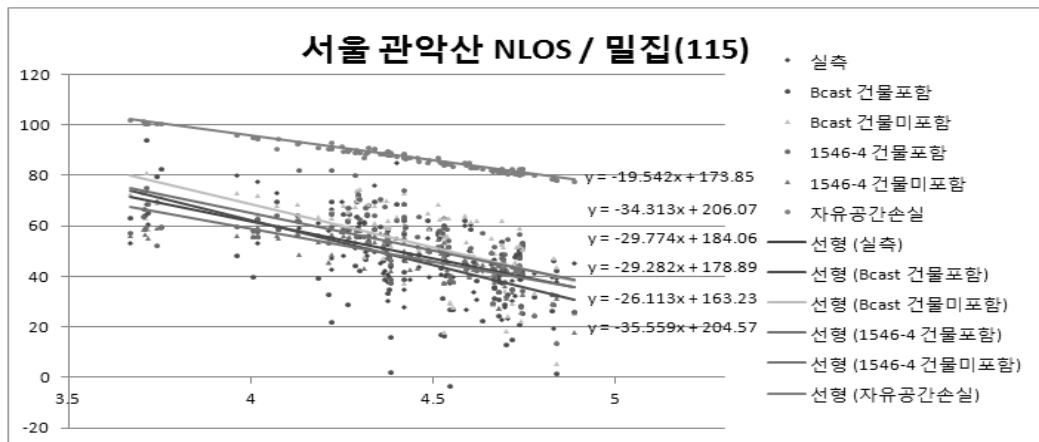
(그림 3-16) 지역별 비가시영역/개방지역 실측-예측 분포

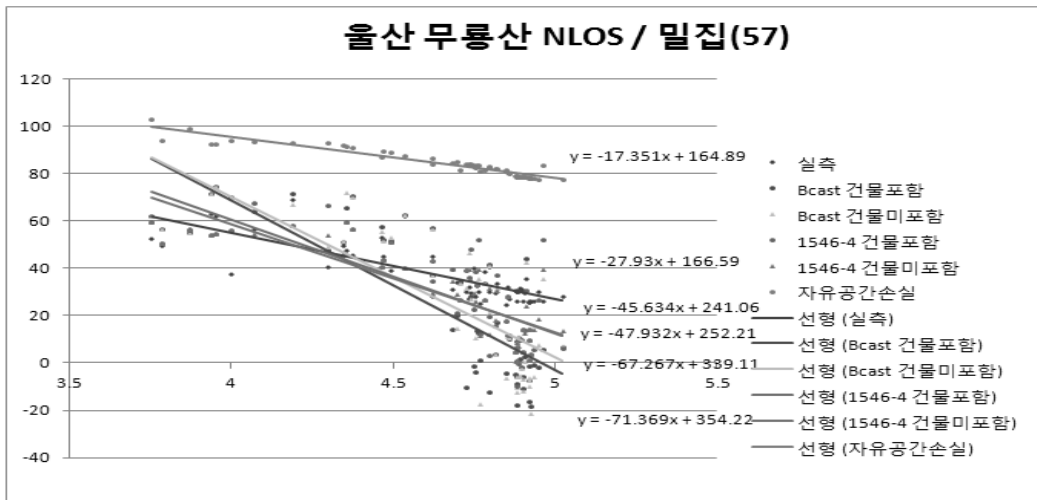
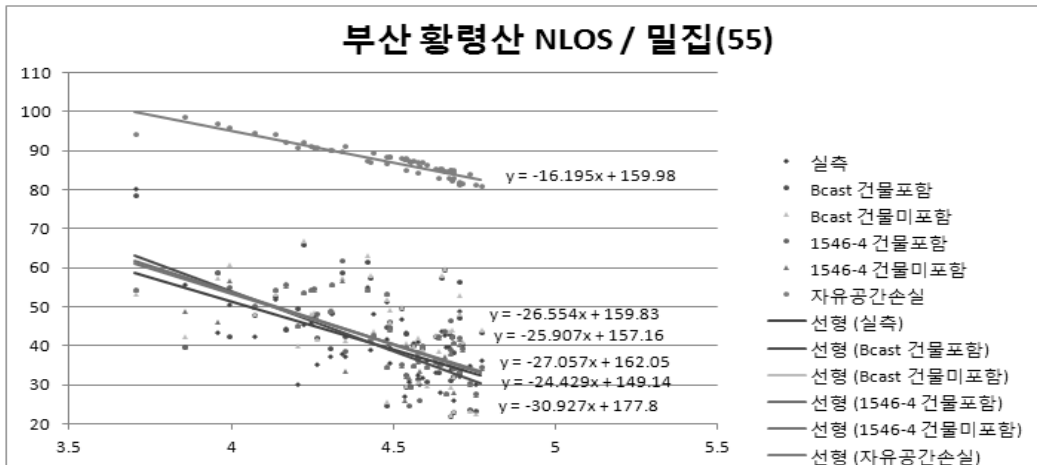
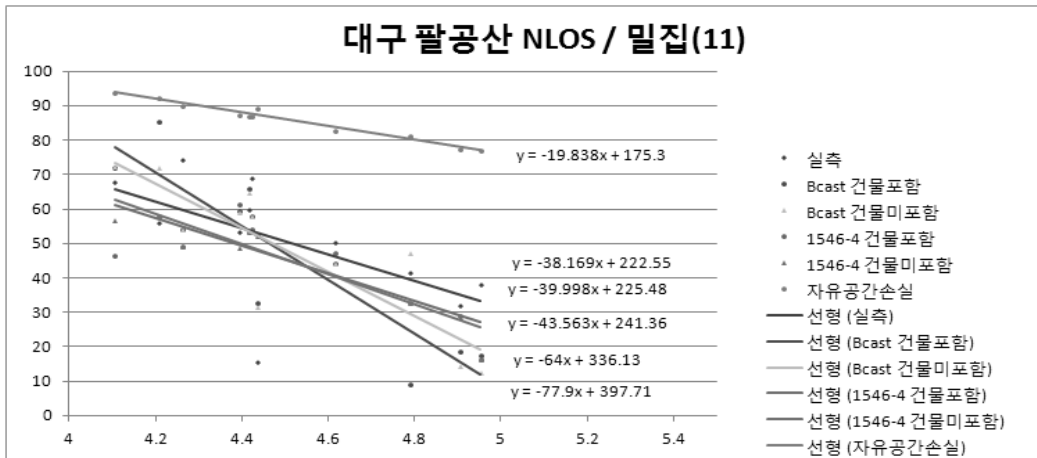
<표 3-5> 비가시영역/개방지역 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차

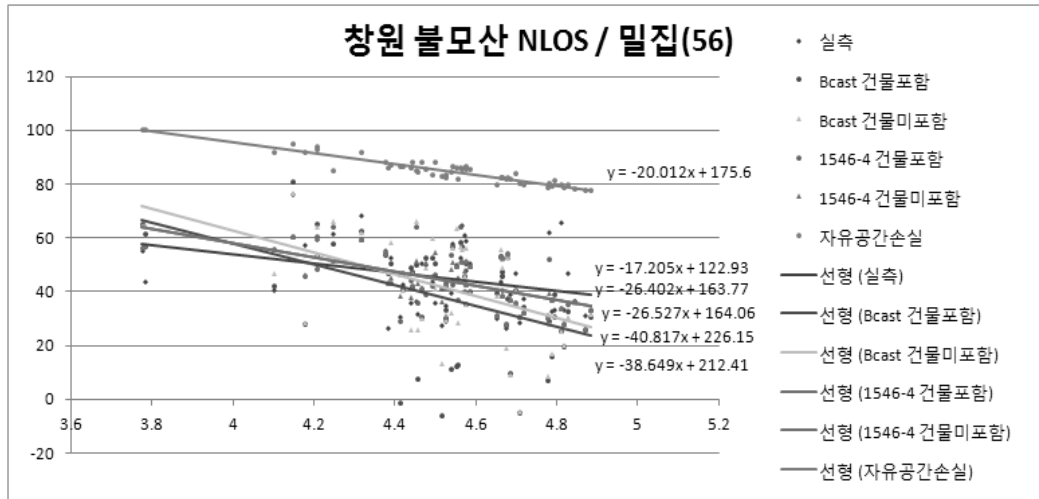
구 분	평균				표준편차			
예측 모델	Bcast 건물 포함	Bcast 건물 미포함	1546-4 건물 포함	1546-4 건물 미포함	Bcast 건물 포함	Bcast 건물 미포함	1546-4 건물 포함	1546-4 건물 미포함
서울	-4.50	-8.36	-12.89	-12.11	15.73	15.07	12.54	12.18
대구	-4.06	-4.33	-13.80	-13.95	17.45	17.32	12.86	12.94
부산	3.64	1.92	-9.37	-10.20	14.42	15.59	12.62	12.57
광주	-9.63	-9.43	-17.94	-18.04	15.67	15.62	12.86	12.88
울산	14.57	14.35	-1.91	-2.86	21.05	21.49	14.94	14.77
창원	1.48	0.79	-10.72	-11.63	12.48	12.66	10.43	10.04
총 평균	0.25	-0.843 33	-11.10 5	-11.46 5	-			

모델별 분포를 보면, Bcast와 1546-4모델 모두 건물 미포함시와 건물포함시 거의 차이가 나지 않았다. 건물포함시 Bcast는 예측값이 0.25dB 실측값보다 높게, 1546-4는 예측값이 실측값보다 11.1dB 낮게 예측되어, 평균적으로는 Bcast모델이 실측값에 가깝게 예측함을 알 수 있다. 그러나 표준편차는 Bcast가 1546-4보다 큰 것을 주목할 필요가 있다.

4. 비가시영역/밀집지역







(그림 3-17) 지역별 비가시영역/밀집지역 실측-예측 분포

<표 3-6> 비가시영역/밀집지역 예측모델별 실측-예측 평균 및 편차

구 분	평균				표준편차			
예측모델	Bcast 건물포함	Bcast 건물미포함	1546-4 건물포함	1546-4 건물미포함	Bcast 건물포함	Bcast 건물미포함	1546-4 건물포함	1546-4 건물미포함
서울	2.17	-4.86	-2.98	1.59	14.59	11.55	9.48	6.47
대구	3.69	2.69	5.29	5.46	18.16	14.39	17.41	16.18
부산	0.38	-1.18	-1.15	-1.41	12.25	11.15	9.09	7.80
울산	14.32	10.36	7.36	7.83	20.25	20.34	15.59	12.12
창원	7.52	3.59	0.76	1.04	15.53	14.31	10.35	9.79
평균	5.616	2.12	1.856	2.902	-			

모델별 분포를 보면, Bcast와 1546-4 각각 건물포함시와 미포함시에 큰 차이가 없으며, 전반적으로 1546-4모델이 Bcast모델보다 실측-예측의 편차가 좀더 좁게 분포하나, 각 모델별 평균값을 비교해보면 서울, 대구, 부산지역은 Bcast모델이 좀더 실측값에 가깝게 예측하고, 울산, 창원지역은 1546-4모델이 실측값에 좀더 가깝게 예측하는 현상을 보여 비가시영역/밀집지역에서는 어느 모델이 더 실측에 근사하다라고 판별하기 어렵다.

제4절 결 론

앞에서 살펴본 바와 같이 중관소에서 측정한 DTV방송 수신신호 실측값을 기준으로 Bcast모델과 P.1546-4모델의 건물포함시와 건물미포함시 등 총 4가지 모델을 비교한 결과를 보면, 가시영역의 개방지역에서는 Bcast와 1546-4모델 모두 건물미포함시보다 건물포함시 실측값에 조금 더 가까운 것으로 보이며, 평균적으로 건물포함시 Bcast는 예측값이 실측값보다 15.87dB 높게 예측하고, 1546-4는 5.35dB 높게 예측함으로써 차이는 있으나 1546-4가 가시영역의 개방지역에서 Bcast보다 실측값에 가까움을 알 수 있다.

가시영역의 밀집지역에서는 Bcast와 1546-4모델 모두 건물미포함시보다 건물포함시 실측값에 조금 더 가까운 것으로 보이며, 평균적으로 건물포함시 Bcast는 예측값이 실측값보다 9.86dB 높게 예측하고, 1546-4는 실측값이 예측값보다 7.98dB 높게 예측함으로써 차이는 있으나 1546-4가 가시영역의 밀집지역에서 Bcast보다 실측값에 가까움을 알 수 있다. 그러나 광주지역의 경우 실측값대비 Bcast는 5.03dB 예측값이 높고, 1546-4는 14.07dB 실측값이 높다. 또한 창원의 경우 실측값대비 Bcast는 5.42dB 예측값이 높고 1546-4는 13.93dB 예측 값이 낮아 전체적으로 1546-4모델이 실측값에 더 근사하게 예측한다는 결론을 내리긴 어렵다.

비가시영역의 개방지역에서는 Bcast와 1546-4모델 모두 건물미포함시와 건물포함시 거의 차이가 나지 않았다. 건물포함시 Bcast는 예측값이 0.25dB 실측값보다 높게 예측하고, 1546-4는 예측값이 실측값보다 11.1dB 낮게 예측된다. 따라서 비가시영역의 개방지역에서는 평균적으로 Bcast가 다소 실측값에 가깝게 예측하지만, 표준편차는 Bcast가 1546-4보다 크다는 사실을 고려하여야 한다.

비가시영역의 밀집지역에서는 Bcast와 1546-4 각각 건물포함시와 미포함시에 큰 차이가 없으며, 전반적으로 1546-4모델이 Bcast모델보다 실측-예측의 표준편차가 좀더 좁게 분포하나, 각 모델별 평균값을 비교해보면 서울, 대구, 부산지역은 Bcast모델이 좀더 실측값에 가깝게 예측하고, 울산, 창원

지역은 1546-4모델이 실측값에 좀더 가깝게 예측하는 현상을 보여 비가시영역/밀집지역에서는 어느 모델이 더 실측값에 근사하다고 판별하기 어렵다.

전반적으로 Bcast와 P.1546-4모델을 이용하여 서울, 대구, 부산, 광주, 울산, 창원 등 6개 방송국 KBS2 DTV방송신호에 대한 측정지역별 가시 및 비가시의 개방 및 밀집지역의 총 4가지 경우로 구분한 측정지점을 동일 지점을 중심으로 재분류하는 과정에서 비교데이터수가 약 50%정도의 삭제되어 보다 세밀한 비교가 되지 못하였다. 또한 위의 4가지 경우에 실측값에 가장 근사한 전파예측모델을 각각 찾으려 했으나, 가시영역의 개방지역에서는 Bcast모델이, 비가시영역의 개방지역에서는 P.1546-4모델이 좀더 근사하게 예측한다는 결과와 함께 나머지 가시, 비가시영역의 밀집지역에서는 더 적합한 모델을 찾지 못하였다. 사실 실측값과 각각의 예측모델이 예측한 값과 차이가 발생하는 것은 자유공간손실, 대기흡수손실, 장애물에 의한 회절, 반사, 산란 등 다양한 전파특성이 나타나기 때문에 모델간 단순비교를 통해 어느 모델이 더 실측에 가깝기 때문에 그 모델을 사용해야한다 라고 결론을 내리기는 어렵다. 영국에서 2007년 IEEE에 기고한 전파예측모델 검증 자료[37]를 예로 들면 산악지역이라는 특정지역을 설정하고, 그 일대를 실측을 통해 측정데이터를 확보하고, 여러 모델을 각각 회절, 반사, 산란, DEM 분해능 등 다양한 전파특성의 고려유무에 따라 구분하여 비교하는 등 수신신호에 영향을 미치는 많은 요소들을 세부적으로 나누어 비교·분석할 필요가 있다. 이를 통해 가장 적합한 모델과 설정 및 고려 조건을 발견함으로써 전파전파를 예측하는데 활용할 수 있다.

제4장 전파잡음 전파잡음 측정·분석 및 제도 개선

제1절 개 요

오늘날 다양한 용도의 전기·전자 기기 및 생활 가전기기의 등장, 자동차 및 고속 철도, 방송·통신 서비스의 급속한 보급과 발전은 우리 생활을 편리하고 윤택하게 하지만, 그 이면에는 의도되지 않은 전자파가 발생하여 우리 주변의 전파 잡음 수준을 높이는 부정적인 결과를 초래하기도 한다.

전파잡음이란 우리가 살고 있는 임의의 장소에서 임의의 시간에 존재하는 의도되지 않은 모든 전자파의 총합을 말한다. 전파잡음은 자연계에 의해 원초적으로 존재하는 자연 잡음과 인류에 의해 인위적으로 만들어진 인공 잡음으로 구분된다. 인공적인 전파 잡음은 통신을 목적으로 이용할 때 발생하는 의도적인 전파 잡음과 전파 통신을 목적으로 하지는 않지만 부차적으로 전파가 발생하여 생성되는 비의도적인 전파 잡음으로 구분할 수 있다.

본 장에서는 2012년 우리원에서 수행한 전파잡음 측정 및 분석 결과를 중심으로 다음과 같은 내용을 차례대로 기술한다. 제1절에서는 전파잡음의 정의 및 일반적 특성 등을 기술한다. 제2절에서는 우리원, 중앙전파관리소, 한국방송통신전파진흥원이 합동으로 전파잡음을 측정한 결과를 기술한다. 제3절에서는 외국의 전파잡음 측정방식을 조사, 분석하고 국내 방식과 비교하여 국내 전파잡음 측정방식 개선 방향을 기술한다. 그리고 제4절에서는 앞에서 논의한 내용에 기초하여 2012년 11월에 고시한 전파잡음 측정방법 고시 제정에 대하여 상세히 기술하며 제5절에서는 주요 결론 및 향후계획을 기술한다.

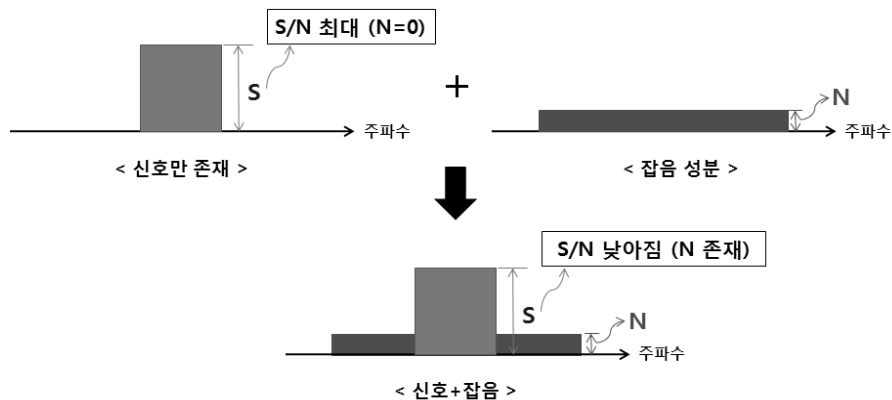
1. 전파잡음

가. 전파잡음의 정의

ITU-R 권고 P.372와 V.573에서는 전파 잡음을 "정보를 전달하지 않으면서

필요한 신호(wanted signal)에 겹쳐지거나 결합될 수 있는 무선 주파수 범위의 전자기파"라고 정의하고 있다. 즉 전파 잡음이란 서비스 목적의 신호 성분을 제외한 모든 주파수의 전자기파를 의미한다.

전파를 이용하는 모든 신호는 주파수를 점유하여 이용되는데 이때, 주파수를 점유한 신호에 방해가 되는 성분을 전파 잡음이라 한다. 따라서 전파 잡음이 존재한다면, 그림 4-1과 같이 전파 잡음으로 인해 신호가 방해를 받아 신호의 품질이 떨어지게 된다. 여기서 신호 품질이란 신호 전력(S)에 대한 잡음 전력(N)의 비(S/N)로 정의할 수 있으며 S/N비가 클수록 신호 품질이 우수함을 의미한다. 즉, 서비스 품질은 신호 전력의 절대값이 의해 결정되는 것이 아니라 신호 전력에 대한 잡음 전력의 비(S/N)에 의해 결정된다. 따라서 일정 수준 이상의 무선 서비스 품질이 제공되도록 무선국을 설계하기 위해서는 해당지역의 전파잡음 전력에 대한 정보를 사전에 알고 있어야 한다.



(그림 4-1) 신호 성분에 대한 잡음영향

나. 전파 잡음원

전파 잡음원은 자연현상에 의해 항상 존재하는 자연 잡음과 인간에 의해 만들어진 인공 잡음으로 구분되는데 ITU-R 권고 P.372 및 SM.1753에서는 전파 잡음원을 다음과 같이 규정하고 있다.

- 낙뢰 방전으로 방사(낙뢰에 의한 대기 잡음)

- 대기 가스 및 대기 수분 현상으로 방출
- 우주 전파원으로부터의 방사
- 빔 안테나 내의 지표면 또는 기타 장애물
- 전기 기기, 전기 및 전자 장비, 송전선 또는 내연기관 점화(인공 잡음)의 의도되지 않은 종합적인 방사

자연 잡음은 오랜 시간이 지나도 크게 변할 가능성이 낮은 반면, 인공 잡음은 새로운 형태의 기기가 도입되거나, 전기·전자 기기 사용 밀도가 증가될 때 그 강도는 변하는 특성을 가진다. 한편 인공잡음은 일반적으로 주파수 대역 일부에 국한되어 나타날 수 있다. 전파 잡음원에 따른 전파 잡음의 주요 주파수 대역은 표 4-1과 같이 주어진다.

한편 전파잡음 측정시스템을 기준으로 전파 잡음원을 구분할 때 측정 시스템 내에 존재하는 내부 잡음과 외부 잡음으로 구분할 수 있다. 여기서 내부 잡음이란 시스템 내의 소자들에 의한 열잡음이 대표적이다. 우리가 전파 잡음을 측정한다는 것은 외부 잡음을 측정하는 것을 말하며 측정시스템 외부에 존재하는 모든 자연 잡음과 인공 잡음을 측정하는 것을 의미한다.

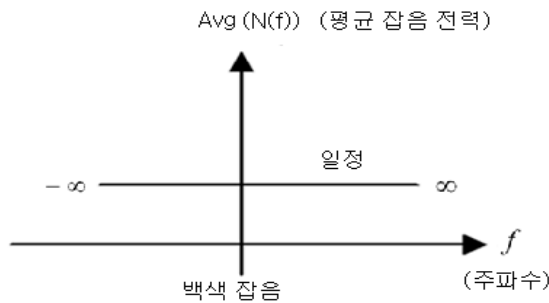
〈표 4-1〉 주파수 범위별 주요 전파 잡음원

잡음원	중요한 주파수 범위
낙뢰에 의한 대기 잡음	9 kHz ~30 MHz
우주 잡음	4 MHz ~100 MHz
인공 잡음	9 kHz ~1 GHz
대기 가스 등의 방출	10 GHz 이상

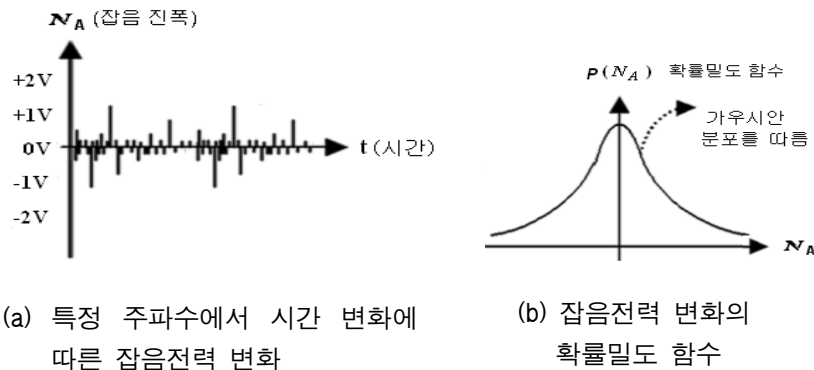
2. 전파잡음 특성

무선 시스템에서는 송·수신기간 정보 전달을 위하여 약속된 신호 규약과 약속된 특정 주파수 및 대역폭의 전파를 이용하는데 반해, 전파 잡음은 상대적으로 넓은 주파수 대역에 걸쳐 비교적 균일한 크기를 갖는 성질을 가진다. 이러한 전파 잡음의 특성을 통상 백색 가우시안 잡음 성질을 가진다고

표현하며 이는 백색 잡음 특성과 가우시안 잡음 특성을 함께 가진다는 것을 의미한다. 여기서 백색 잡음이란 잡음이 그림 4-2와 같이 모든 주파수 대역에 대해 균일한 전력스펙트럼밀도(Power Spectral Density)을 갖는 특성을 가진다는 것을 의미한다. 한편 특정한 주파수의 잡음 전력 변화를 시간 변화에 따라 관찰하면 그림 4-3 (a)과 같이 나타난다. 즉 잡음 진폭 변화는 시간 변화에 따라 임의 값으로 변동하지만 이를 통계적으로 확률밀도 함수로 처리하여 살펴보면 그림 4-3 (b)와 같이 가우시안(Gaussian) 확률 분포를 나타냄을 의미한다. 따라서 잡음의 이러한 특성을 가우시안 잡음 특성이라 한다. 이와 같이 전파 잡음은 백색 잡음 특성과 가우시안 잡음 특성을 함께 가지며 이러한 특성을 종합하여 전파잡음은 백색 가우시안 잡음 특성을 가진다고 표현한다.



(그림 4-2) 잡음의 특성 : 백색 잡음



(a) 특정 주파수에서 시간 변화에 따른 잡음전력 변화

(b) 잡음전력 변화의 확률밀도 함수

(그림 4-3) 잡음의 통계적 특성: 가우시안 잡음

전파잡음이란 무선 시스템에서 서비스를 위한 신호 성분이 아닌 다양한 전파 발생원에서 발생하는 전파잡음 성분의 총합을 말한다. 따라서 전파잡음은 일반적으로 앞에서 기술한 바와 같이 백색 가우시안 잡음 특성을 가진다고 표현하나, 실제 전파 잡음원의 특성에 따라 전파잡음은 순간적으로 발생하는 잡음이 존재하기도하고 때로는 특정한 주파수 대역에 뚜렷하게 발생하는 전파잡음이 존재할 수도 있다. 즉 낙뢰나 차량의 점화장치와 같은 전파 잡음원은 시간축 상에서 볼 때, 순간적으로 높은 세기를 가지는 전파 잡음을 발생하는 반면, 무선기기에서 발생하는 불요파(Spurious)나 제2, 제3 고조파 등은 특정한 주파수에서 뚜렷하게 나타내는 잡음 특성을 보인다.

실제 특정한 위치에서 전파잡음을 측정할 때, 이와 같이 백색 가우시안 잡음 특성을 완벽하게 나타내는 위치란 거의 존재하지 않는다. 일반 거주지역 주변의 경우, 생활 가전제품이나 컴퓨터 등에서 발생하는 전파 잡음이 우세하게 나타는 반면, 도심 지역에서는 차량의 점화 장치 등에서 발생하는 임펄스성 전파잡음이 우세하게 나타나는 특징을 가진다. 이와 같이 전파잡음 세기는 측정위치에 따라 인공적인 전파 잡음원의 밀집도 등에 크게 의존하여 나타나는 특징을 보이는데, 전파 잡음원의 특성에 따라 전파 성분은 표 4-2와 같이 백색가우스 잡음, 임펄스 잡음, 그리고 단일 반송파 잡음으로 구분할 수 있다.

〈표 4-2〉 전파잡음 성분

잡음 성분	특 징	잡 음 원 (예)
백색 가우시안 잡음 (WGN)	<ul style="list-style-type: none"> - 상호 무관한 전자파 벡터 - 수신기 대역폭 이상의 대역폭 - 스펙트럼 전력 수준은 대역폭에 따라 선형으로 증가한다. 	컴퓨터, 전력선, 통신 네트워크, 유선 컴퓨터 네트워크, 우주 잡음
임펄스성 잡음 (IN)	<ul style="list-style-type: none"> - 상관 관계에 있는 전자파 벡터 - 수신기 대역폭을 초과하는 대역폭 - 스펙트럼 전력 수준은 대역폭의 제곱으로 증가한다. 	점화 스파크, 낙뢰, 가스 램프 스타터, 컴퓨터, 초광대역 기기
단일 반송파 잡음 (SCN)	<ul style="list-style-type: none"> - 한 개 이상의 고유 스펙트럼선 - 수신기 대역폭 미만의 대역폭 - 대역폭과 무관한 스펙트럼 전력 수준 	유선 컴퓨터 네트워크, 컴퓨터, 스위치 모드 전원 공급장치

그러나 ITU-R 권고 P.372에서는 전파잡음을 다양한 발생원의 비의도적인 종합적 방사로 정의하면서 식별 가능한 단일 발생원에서 발생하는 단일 반송파 잡음은 전파잡음에서 제외하도록 규정하고 있다. 따라서 잡음을 측정할 때는 단일 반송파 잡음이 뚜렷하게 관측되지 않는 측정 위치 및 주파수를 선택하여 측정하여야 한다.

전파잡음이 백색 가우시안 잡음 특성을 갖는 경우, 잡음의 강도는 이를 평균한 값으로 표현하는 것이 가능하며 하루 중 중간 값을 전파 잡음 값으로 표현하는 것이 가능하다. 한편 임펄스 잡음은 매우 높은 강도로 아주 짧은 순간만 발생하는 특징을 가진다. 따라서 임펄스성 잡음은 표 4-3에서 규정한 3가지 방식중 하나로 표현할 수 있다.

〈표 4-3〉 전파잡음값 표현 방식

잡음원	잡음값 표현 방식
백색 가우시안 잡음 (WGN)	r.m.s 값 (단일 수치 또는 하루 중 매시 중앙 값으로 표시)
임펄스성 잡음 (IN)	(1) 임펄스 최고값 및 분포로 표현 (2) 임펄스 길이 및 분포로 표현 (3) 임펄스 주기 및 분포로 표현

제2절 국내 전파잡음 측정 및 분석

1. 전파잡음 측정

우리나라 전파잡음 현황을 조사하고 전파잡음 측정방식 및 측정결과를 비교, 분석하기 위하여 2012년 중 2차례(6.7~6.8, 7.17~7.18)에 걸쳐 전파잡음을 3가지 방법으로 측정하였다. 1차 전파잡음 측정은 2012.6.7.~6.8까지 상암 월드컵 공원과 신미림초등학교(서울 구로구)에서 3가지 방법으로 동일 지역, 동일시간에 전파잡음을 측정하였을 때 동일한 측정 결과를 나타내는지 확인하였다. 그리고 주파수별, 안테나 높이별로 전파잡음 발생현황을 측정하고 이를 비교, 분석하였다. 한편 2차 측정은 2012.7.17.~7.18까지 경기도 시골지역에 위치한 분원초등학교(경기도 광주시 남종면 분원리)와 신도림초

등학교(서울 구로구)에서 실시하였다. 2차 측정에서는 1차 측정과 마찬가지로 동일 조건(동일지점, 동일시간)에서 3가지 방법으로 측정한 전파잡음 측정 결과를 비교하였으며 지역별(도시/농촌), 기상 상태별 전파잡음 발생현황을 측정하여 비교 분석하였다.

<표 4-4> 전파잡음 측정항목 및 측정시스템 구성(1차 측정)

구 분	방법 1	방법 2	방법 3
측정 항목	동일조건 전파잡음 측정 및 상호비교		높이별 전파잡음 측정
- 측정 단위	전계강도	전력	전력
- 증폭기 사용	사용 (계측기 내장증폭기)	미사용	사용 (계측기 내장증폭기)
- 측정 대역	30 MHz ~ 1 GHz		
- 측정용 안테나	무지향 안테나		
- 측정 높이	1.5 m		1.5m, 4m, 9m
- 계측기	스펙트럼 분석기		
세부 계측기 설정	<ul style="list-style-type: none"> - 1 kHz - RBW의 10배(10 kHz) - 20 MHz - 자동 - rms 		
- RBW			
- VBW			
- SPAN			
- Sweep Time			
- 측정 모드			

<표 4-5> 전파잡음 측정 개요

구분	1차 측정 (6.7~6.8)		2차 측정 (7.17~7.18)	
측정 지점 (측정일)	상암 월드컵공원 (6.7)	신미림초교 (6.8)	분원초교 (7.17)	신도림초교 (7.18)
측정 목적	<ul style="list-style-type: none"> o 방법별 전파잡음 측정결과 비교 (동일지역/동일시간에 측정) o 주파수별 전파잡음 발생현황 분석 o 높이별 전파잡음 발생현황 분석 		<ul style="list-style-type: none"> o 방법별 전파잡음 측정결과 비교 (동일지역/동일시간에 측정) o 주파수별 전파잡음 발생현황 분석 o 지역별(도시/농촌) 전파잡음 발생현황 비교 분석 o 기후별 전파잡음 발생현황 분석 	
측정지점 환경특성	주변 5~10m높이 수풀 내에서 측정	구로공단 주변	한적한 시골	교통 등 주변혼잡
기상 조건	맑음	맑음	흐림	<ul style="list-style-type: none"> - 오전 흐림 - 오후 비(5mm/h)

가. 1차 전파잡음 측정

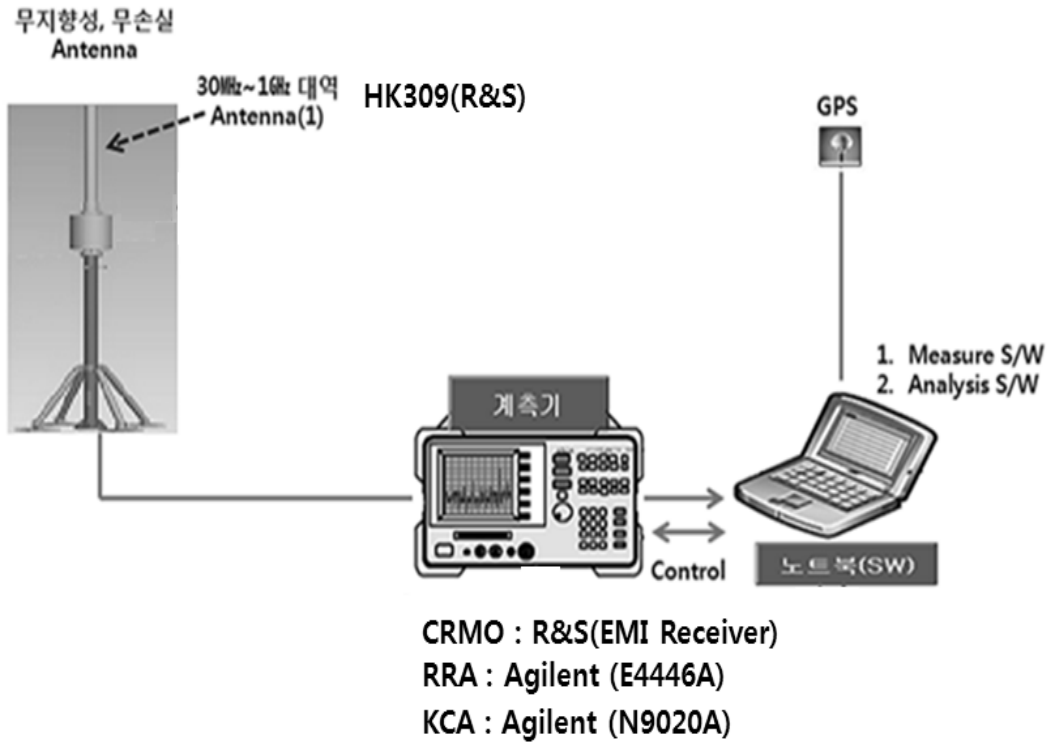
전파잡음 1차 측정을 위하여 우선 5개 지점을 대상으로 표 4-6과 같이 적절성 여부를 검토하여 상암 월드컵 공원과 신미림 초등학교(서울 구로구)를 전파잡음 측정지점으로 최종 선정하였다.

전파잡음 합동 측정을 위한 측정지점 선정 기준으로는 넓은 측정 공간 확보 가능 여부, 접근 편의성, 외부 전원 사용 여부, 기존 측정데이터 유무 등을 기준으로 평가하였다. 검토한 5개 지점중 강서구청은 측정공간이 협소하여 측정지점 선정에서 제외되었으며 성남시청의 경우, 접근성이 다소 좋지 않아 측정 지점에서 제외하였으며 한강공원, 상암 월드컵 공원, 신미림 초등학교가 전파잡음 측정지점으로 적합한 것으로 최종 평가되었다. 그러나 한강 공원과 상암 월드컵 공원은 공원이지역이라는 환경 특성이 유사하여 1차 측정에서는 가능한 환경 특성이 다른 2개 지점에서 전파잡음을 측정하기로 함에 따라 상암 월드컵 공원과 신미림 초등학교(서울 구로구)를 전파잡음 측정지점으로 최종 선정하고 6.7~6.8일까지 2일간 전파잡음 측정을 실시하였다.

<표 4-6> 1차 전파잡음 측정지점 검토 및 선정

구분	한강공원 (동부 이촌동)	상암 월드컵 공원	성남시청	강서구청	신미림초교 (서울 구로구)
넓은 공간	◎	◎	○	×	◎
접근 편의성	◎	◎	△	△	◎
외부전원공급	○	○	○	○	○
기존 데이터 유무	○	○	○	○	○
휴식 공간	○	○	○	○	○
비 고	월드컵 공원과 유사 환경			공항 인접	
최종 선정 지점		○			○

1차 전파잡음 측정에서 방법 1과 2에 따라 동일 지점, 동일 시간에 전파 잡음을 동시에 측정하여, 측정결과를 상호 비교하는 측정을 수행하였고 방법에 따른 전파잡음 측정 시스템은 표 4-6과 같이 구성하였다. 방법 1과 2간 전파잡음 측정결과를 상호 비교하는 측정에서는 안테나 종류 및 높이, 계측기 설정, 측정 대역 등을 동일하게 두고 측정하였다. 다만 측정 단위의 경우, 방법 1에서는 전계강도를 측정한 반면, 방법 2는 잡음전력을 측정하였으며, 측정후 전력과 전계강도간 변환식을 이용하여 전계강도로 변환하여 양 기관 측정결과를 상호 비교하였다. 한편 방법 2와 같이 잡음 전력을 측정하는 방법 3을 이용하여서는 1.5 m, 4 m, 9 m 에서 전파잡음 값을 측정하여 안테나 높이별 전파잡음 값 변화를 분석하였다.



(CRMO: 방법 1, KCA: 방법 2, RRA:방법 3)

(그림 4-4) 전파잡음 측정시스템 구성도

나. 2차 전파잡음 측정

‘12.6.7~6.8일간 1차 전파잡음 측정에 이어 ‘12.7.17~7.18까지 분원초등학교(경기도 광주시 남종면 분원리)와 신도림초등학교(서울 구로구)에서 2차 전파잡음 측정을 실시하였다. 2차 측정에서는 1차 측정 때와 마찬가지로 방법별 전파잡음 측정결과를 비교 분석하기 위하여 동일지점, 동일 시간에 전파잡음을 측정하였으나, 서울 시내와 농촌 지역에서의 전파잡음 레벨 비교, 기상 상태별 전파잡음 레벨을 비교 분석하였다. 측정지점 선정은 1차 측정 때와 마찬가지로 표 4-5와 같이 넓은 측정 공간 확보 가능 여부, 외부 전원 사용 여부, 기존 측정데이터 유무 등을 기준으로 평가하여 분원초등학교와 신도림 초등학교를 선정하였다. 한편 전파잡음 측정 구성도는 1차 측정 때와 동일하게 그림 4-4와 같이 구성하였다. 이와 같이 1, 2차 전파잡음 측정을 통해 측정한 측정 및 분석 결과는 2항에서 기술한다.

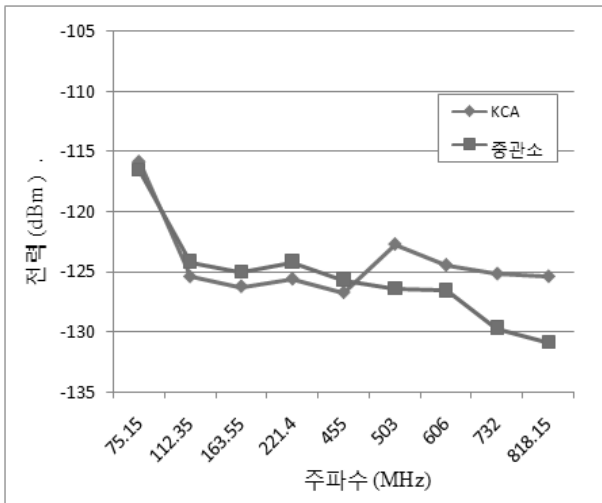
2. 측정 결과 비교·분석

1차 및 2차 전파잡음 측정 데이터를 분석한 결과는 다음과 같다.

가. 방법별 전파잡음 측정결과 비교, 분석

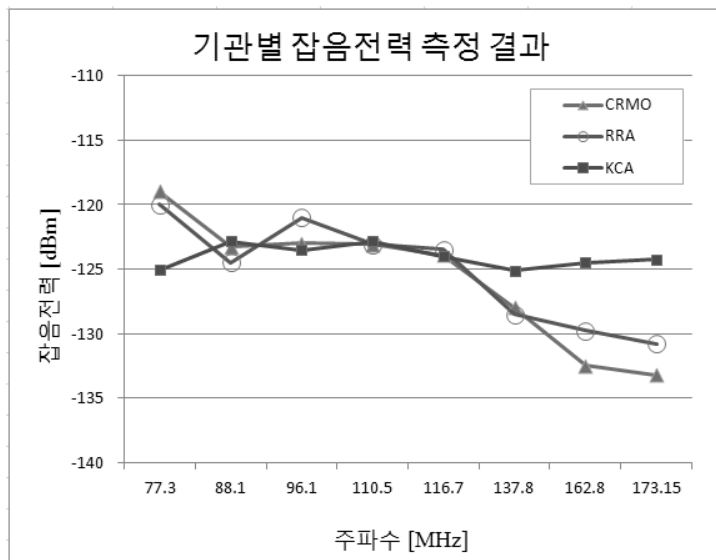
1차 전파잡음 측정 기간(6.7~6.8)중에서 방법 1과 2에서 동일한 조건(동일 시간, 동일장소)으로 측정한 전파잡음 측정 결과는 그림 4-5와 같이 나타났다. 이는 1차 측정기간인 ‘12.6.7~6.8일까지 2일간 75.15 MHz ~ 818.15 MHz 주파수 대역에 대하여 측정한 전파잡음 값을 평균한 값이다.

측정한 결과를 살펴보면 500MHz 이하 주파수에서는 방법 1로 측정한 결과가 조금 높게 나타나기는 하나 그 차이는 평균 2dB 이내에 불과하였다. 실제 측정에서 측정기기 오차, 케이블 손실 등을 고려할 때 평균 2dB 이내의 차이는 거의 유사한 결과로 평가할 수 있으며 두 방법의 측정결과는 유사한 것으로 간주할 수 있다. 한편 500MHz 이상 주파수에서는 방법 2로 측정한 값이 높으며 주파수에 따라 측정값 차이는 점차 커지는 경향을 보이고 있다.



용도	주파수 [MHz]	KCA	중관소
ATV	75.15	-115.8	-116.5
	112.35	-125.4	-124.1
	163.55	-126.2	-125.0
	221.4	-125.6	-124.2
	455	-126.8	-125.7
TV	503	-122.7	-126.4
TV	606	-124.5	-126.6
TV	732	-125.2	-129.7
	818.15	-125.4	-130.9

(그림 4-5) 1차 측정 결과(주파수별 잡음 전력 변화)



(그림4-6) 2차 측정 결과(주파수별 잡음 전력 변화)

그림 4-6은 7.18일 신도림초등학교에서 3가지 방법으로 동일한 조건(동일 시간, 동일장소)에서 측정한 2차 전파잡음 측정 결과이다. 2차 측정에서는 1GHz 이하의 주파수중 77.3MHz ~173.15MHz 주파수 대역에서만 측정을 수행하였으며 표 4-6에서 기술한 바와 같이 방법 1과 3은 계측기의 사전증폭기를 이용한 반면 방법 2는 계측기의 사전증폭기를 이용하지 않고 측정한 결과

이다. 측정한 결과를 살펴보면 116.7MHz이하 주파수(77.3MHz 주파수를 제외)에서는 3가지 방법으로 측정한 전파잡음 전력은 거의 유사한 결과를 보이고 있다. 다만, 77.3MHz 주파수는 3개 방법간의 측정결과가 다소 큰 차이(최대 6dB)를 나타내었는데 이는 80MHz 이하의 주파수에서 대기잡음에 의한 전파잡음 값의 변화가 측정 순간마다 다소 큰 값으로 변동하고 있어 나타난 결과이다. 한편 116.6MHz 이상 주파수에서는 3가지 방법에 따른 잡음전력 값이 서로 큰 차이를 나타내고 있으며 주파수가 높아짐에 따라 차이는 커지는 경향을 보이고 있다. 이는 방법 1과 3은 계측기의 사전증폭기를 이용한 반면 방법 2는 계측기의 사전증폭기를 이용하지 않아서 나타난 결과로 판단된다.

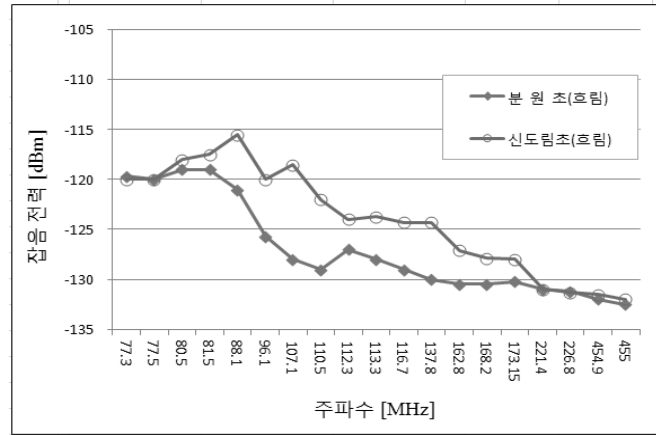
나. 주파수별, 지역별 전파잡음 발생 현황 분석

‘12년도 2차에 걸쳐 실시한 전파잡음 측정 목적은 동일한 조건(동일시간, 동일장소)으로 측정한 전파잡음 측정 결과가 측정 방법에 따라 모두 동일하게 측정되는지를 평가하기 위한 것이었으나 더불어 지역간(서울도심과 농촌), 주파수별 전파잡음 발생현황을 비교 분석할 수 있는 자료가 되었다. 그림 4-7은 2차 측정기간(‘12.7.17~7.18)중 서울도심인 신도림초등학교(구로구)와 시골 지역인 분원초등학교(경기도 광주시 남종면 분원리)의 전파잡음 발생현황을 방법 3으로 측정한 결과를 분석한 자료이다.

그림 4-7의 측정결과를 살펴보면 일부 주파수 대역을 제외하고 전체적으로 주파수가 높아짐에 따라 전파잡음 값이 낮아지는 경향을 보이는데 이는 ITU 등 국제 표준에서 기술하는 내용과 일치한다. 다만 80MHz~110MHz 대역에서 전파잡음이 다소 높은 것으로 측정되었는데 이는 전파잡음 측정시 FM 방송 주파수가 간헐적으로 유입되어 전파잡음 평균전력 값을 높게 만든 결과로 보인다.

한편 지역적인 전파잡음 발생특성을 비교해 보면 전체적으로 분원초등학교에서의 전파잡음 값이 신도림초등학교에서의 전파잡음 값보다 낮은 값을 보이고 있다. 이는 신도림초등학교가 서울도심(구로구)에 위치하는 반면, 분원초등학교는 경기도 시골지역에 위치하기 때문이며 도심지역보다는

한적한 시골지역에서 전파잡음 값이 상대적으로 낮음을 의미한다.



(그림4-7) 주파수별, 지역별(서울도심/농촌) 전파잡음 발생 현황 비교

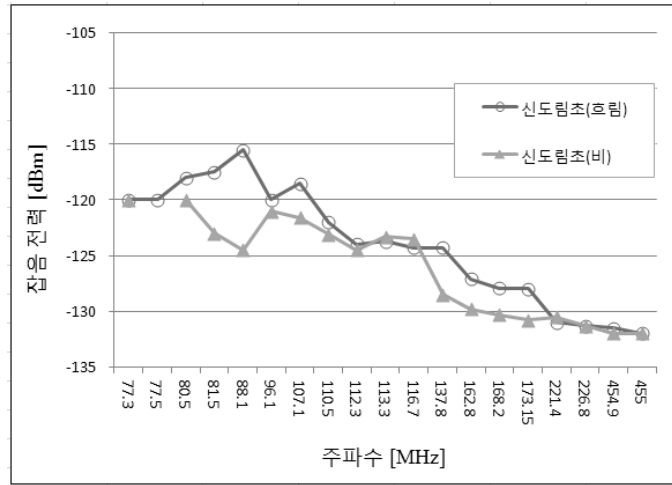
한편 200MHz 이상 주파수 대역에서는 지역별 전파잡음 값의 차이가 거의 없는 것으로 나타났는데 이는 높은 주파수에서 잡음값이 실제 낮기 때문이라기보다는 전파잡음 측정시스템의 내부 잡음에 의한 측정한계 때문에 나타난 결과로 판단된다.

다. 기상 상태별 전파잡음 발생 현황 분석

그림 4-8은 2차 전파잡음 합동측정 기간인 '12.7.18일 서울도심인 신도림 초등학교에서 기상상태 변화에 따른 전파잡음 발생현황을 측정한 결과이다. '12.7.18일 신도림 초등학교에서 오전에는 흐린 날씨였으며 오후에는 비가 약하게(약 5mm/hr) 내리는 상태에서 전파잡음을 측정한 결과를 비교한 것으로 흐린 날보다 상대적으로 비가 오는 상태에서 전파잡음 값이 낮게 나타나는 것으로 측정되었다.

전파잡음도 전파와 동일/유사한 특성을 보일 것으로 예상되므로, 실제 1GHz 이하에서 전파의 강우감쇠 특성은 무시할 수 있는 상황인데도 불구하고 500MHz 이하의 전파잡음이 강우에 의한 영향을 받는 것처럼 나타났다. 따라서 이는 전파잡음의 강우감쇠에 의한 영향이라기보다는 비오는 날 사람이나 차량의 이동 등 전파잡음 발생요인이 상대적으로 줄어들어 나타난 결과로

예상된다.



(그림 4-8) 기상 상태별 전파잡음 발생 현황 비교

라. 안테나 높이별 전파잡음 발생 현황 분석

표 4-7 및 그림 4-9는 1차 전파잡음 측정기간 동안 상암 월드컵공원과 신미림 초등학교에서 안테나 높이에 따른 전파잡음 값 변화를 측정한 결과이다. 안테나 높이별 전파잡음 변화는 상암 월드컵 공원에서 2회, 신미림초등학교에서 2회씩 측정하여 이를 평균하였으며 측정 높이는 1.5m, 4m 및 9m에서 각각 측정하였다. 표 4-7 및 그림 4-9에서 기술한 값은 1.5m 안테나 높이에서의 전파잡음 전력값을 기준으로 할 때 4m, 9m에서 전파잡음 값이 얼마나 높은지를 표시하였다.

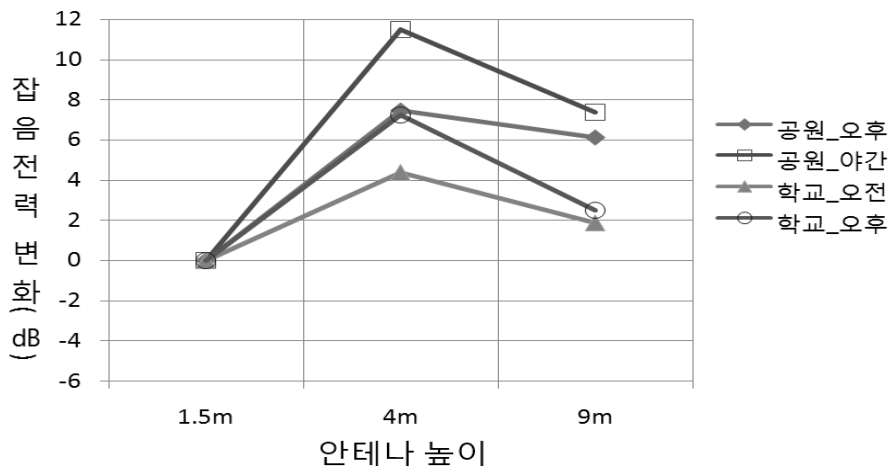
표 4-7을 살펴볼 때, 낮은 주파수(163.3 MHz 이하)에서는 안테나 높이가 높아짐에 따라 전파 잡음이 증가하는 경향을 보여주며 이는 기존 측정결과와 일치한다. 한편, 높은 주파수(221.3 MHz 이상)에서는 안테나 높이와 무관하게 전파잡음 값 변화가 거의 없는 것으로 나타났다. 이러한 결과는 실제 높이에 따라 전파잡음 값 변화가 없기 때문이라기보다는 주파수가 높아짐에 따라 안테나의 케이블 손실이 증가(800MHz에서 8.4dB 손실)하여 전파잡음 값이 계측기 잡음값보다 작아져서 나타난 결과로 판단된다.

<표 4-7> 안테나 높이별 전파잡음 발생현황

안테나 높이 주파수	1.5 m	4 m	9 m	비고
75.0 MHz	-	2.78 dB	3.84 dB	
112.35 MHz	-	7.64 dB	4.47 dB	
163.6 MHz	-	2.22 dB	2.42 dB	
221.3 MHz	-	0.06 dB	0.19 dB	
455.0 MHz	-	-0.03 dB	0.5 dB	
818.5 MHz	-	0.07 dB	0.26 dB	

※ 지상 1.5 m 높이에서 측정한 전파잡음 전력 값에 대한 상대적인 변화값(차이)임

※ 4차례 측정('12.6.7 17:00, 20:00, 6.8 10:00, 14:00) 측정한 평균값임



(그림 4-9) 안테나 높이별 전파잡음 발생현황 비교(예:112.35 MHz)

제3절 전파잡음 측정방식 표준화

1. 국외 전파잡음 측정방식 조사·분석

전파잡음 측정방법 표준화를 위하여 ITU 및 외국 규정을 조사, 분석한 결과는 다음과 같다.

<표 4-8> 전파잡음 측정방식 관련 주요 분석 자료

구 분	ITU 권고 P.372	ITU 권고 SM.1753	일본(2012)	독일(2005)	미국(2012)
목 적	전파잡음 종류 및 원인, 특성 등을 기술	전파잡음 측정방법을 기술	일본 도시/주거지역에 서 전파잡음 값 측정	인공잡음(WGN, IN, SCN)구분 위한 측정방법 제시	광대역으로 전파잡음 값 측정
주파수 대역	35~425MHz (유럽 잡음값)	HF/VHF/UHF	37~918MHz	450~1000MHz	110~1060MHz
측정지역	- 실내/실외 - 도시/시골/주 거지	- 실내(6)/ 실외(8)	- 실외 - 도시/주거지	- 실내/실외 - 도시/시골/실내	-실외 -도시/시골
전파잡음 측정종류	WGN	WGN, IN, SCN	WGN	WGN, IN, SCN	WGN, IN
안테나 높이	-	5 m	5 m	5 m	1.5 m

가. ITU 국제 표준

전파잡음과 관련한 국제 권고로는 ITU-R 권고 P.372(전파잡음)와 SM.1753(전파잡음 측정방법)이 있다. 권고 P.372에서는 전파 잡음의 발생원인 및 전파 잡음의 기본 특성 등에 대하여 규정하고 있으며 권고 SM.1753에서는 전파잡음 측정방법을 규정하고 있다. ITU-R 권고 P.372는 1951년 미국의 전파 통신 및 우주·천문 과학 분야의 연구 결과에 기초하여 최초로 권고가 만들어진 이후, 10여 차례의 수정을 거쳐 지금에 이르고 있다. 그러나 이 ITU-R 권고 P.372는 전파 잡음과 관련하여 가장 기본적인 권고이기는 하나, 실제로 전파 기상, 우주 천문 등 다양한 과학 분야의 연구 결과에 기초하고 있어 권고 내용은 다소 난해하게 기술되어 있다. 권고 P.372에서는 유럽 지역에서 측정한 도시, 농촌, 주거지에서의 전파 잡음 세기를 주파수별(500 MHz 이하)로 구분하여 측정된 결과를 제공하고 있다.

한편, 권고 SM.1753은 네덜란드의 제안에 의해 2006년 만들어졌다. 기존 ITU-R P.372 권고는 전파 잡음 측정 방법과 관련한 명확한 규정이 없어 이에 대한 필요성이 제기되어 네덜란드에서는 국방 및 학술 단체, 산업체, 무선 아마추어, 무선 통신국 등의 전문가 그룹이 중심이 되어 전파 잡음 측정

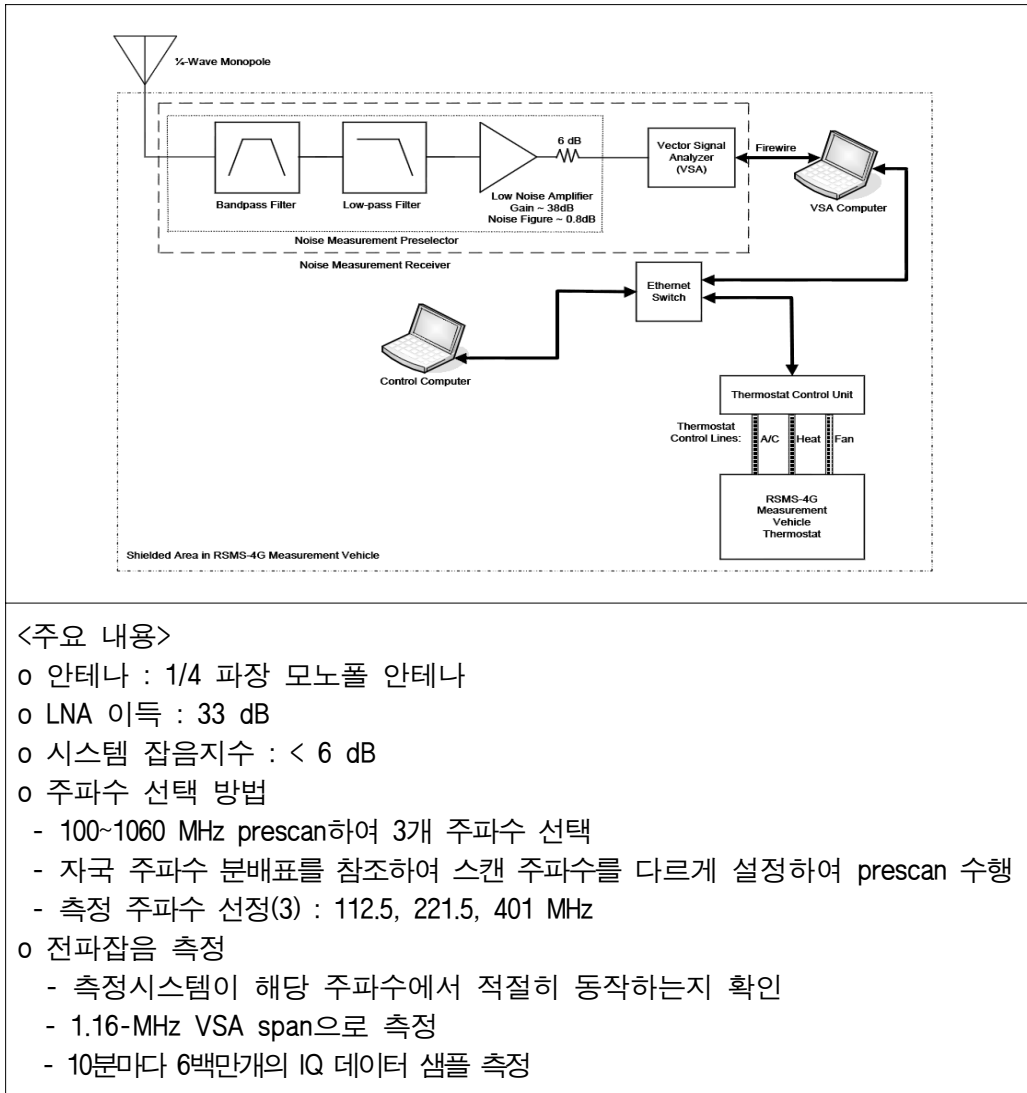
방법을 제안하였으며, 이에 기초하여 ITU-R SG1에서는 2006년 전파 잡음 측정 방법을 신규 권고 SM.1753을 제정하였다. 권고 SM.1753은 전파 잡음의 정의 및 발생원인, 전파 잡음의 기본 특성 등은 ITU-R 권고 P.372를 준용하여 규정하고 있으며, 실제 전파잡음의 특성에 따라 이를 측정하는 방법을 규정하고 있다. 그러나 권고 SM.1753에서는 전파잡음 측정 방법에 대하여 광범위하고 포괄적인 일반적 규정들로 기술하고 있어 실제 전파잡음 측정 시스템을 구현하기 위하여 참조하기에는 다소 부족한 측면이 있다.

나. 미 국

최근 통신 시스템이 광대역화 되어감에 따라 미국은 광대역 주파수대역에서 전파잡음 특성을 측정하기 위하여 2009년 미국 일부지역(볼더, 덴버)에서 전파잡음을 측정하고 그 보고서를 2012년 ITU-R SG3 국제회의에 기고하였다. 이를 위해 미국 통신과학원(ITS : the Institute for Telecommunication Sciences)에서는 그림 4-10과 같이 측정시스템을 구성하여 광대역 전파잡음을 측정하였다.

여기서 측정용 안테나는 1/4파장 모노폴 안테나를 사용하였으며 측정된 신호는 대역통과필터(BPF)와 저역통과필터(LPF)를 거친 후 저잡음 증폭기(LNA)로 신호를 증폭하여 벡터신호분석기(VSA)로 전파잡음 값을 측정하였다. 이때 저잡음 증폭기는 이득이 33 dB인 증폭기를 이용하였으며 전파잡음 측정시스템의 총 잡음지수는 6 dB 이하가 되도록 구성하였다. 전파잡음 측정대상 주파수 선정을 위하여 먼저 100MHz ~ 1,060MHz 주파수 대역에서 사전스캔을 수행하여 무선국 신호가 수신되지 않는 1MHz 대역폭의 광대역 주파수 대역을 선정하였는데 이렇게 선정된 112.5MHz, 221.5MHz 및 401MHz 3개 주파수에서 전파잡음을 측정하였다.

한편 전파잡음을 측정할 때 먼저 측정시스템이 해당 주파수 대역에서 적절히 동작하는지 확인한 후 벡터신호분석기의 스패를 1.16MHz로 설정하여 3개 중심주파수(112.5MHz, 221.5MHz, 401MHz)에 대하여 매 10분마다 6백만 개의 IQ 데이터를 수집하여 전파잡음 레벨을 측정하였다.

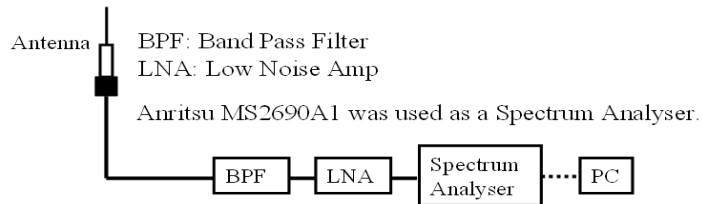


(그림 4-10) 미국 전파잡음 측정시스템 구성도 및 주요 내용

다. 일 본

일본은 2009년부터 2011년까지 5개 지역군(주거, 도시, 밀집 도시, 산업지역, 도로) 37개 지점에서 전파잡음 값을 측정하여 그 결과를 ITU-R SG3에 기고하였으며 전파잡음 측정방식에 대한 세부 내용은 ITU-R SG1에 기고하였다.

<측정시스템>



<주파수 대역별 BPF와 LNA 구성>

No	주파수 대역(MHz)	BPF*	LNA
1	37	Loss:1.0~1.1dB	Gain:18~15dB NF:1.2~1.1dB
2	67	Loss:1.0~1.1dB	
3	75		
4	99	Loss:0.9~0.8dB	
5	121		
6	163		
7	222	Loss:0.9~0.8dB	Gain:23~20dB NF:1.5~1.4dB
8	322		
9	518	Loss:1.7~1.4dB	Gain:20~23dB NF:0.9~1.8dB
10	719		
11	783	Loss:0.7~0.6dB	
12	953		

<기타 주요내용>

- o 안테나 : 동조(tuned) 다이폴 안테나
- o LNA 이득 : 15~23 dB
- o 시스템 잡음지수 : < 3 dB
- o 주파수 선택방법 : 사전측정을 통해 선택
- o 전파잡음 측정
 - 37~953 MHz 대역내 12개 주파수군 선정
 - 각 군별 5개 인접주파수 선정, 측정
 - span 0, RBW를 10, 30, 100, 1000 kHz로 4초마다 가변하며 측정
 - 측정후 무선국 신호성분 제외후 잡음평가

(그림 4-11) 일본 전파잡음 측정시스템 구성도 및 주요 내용

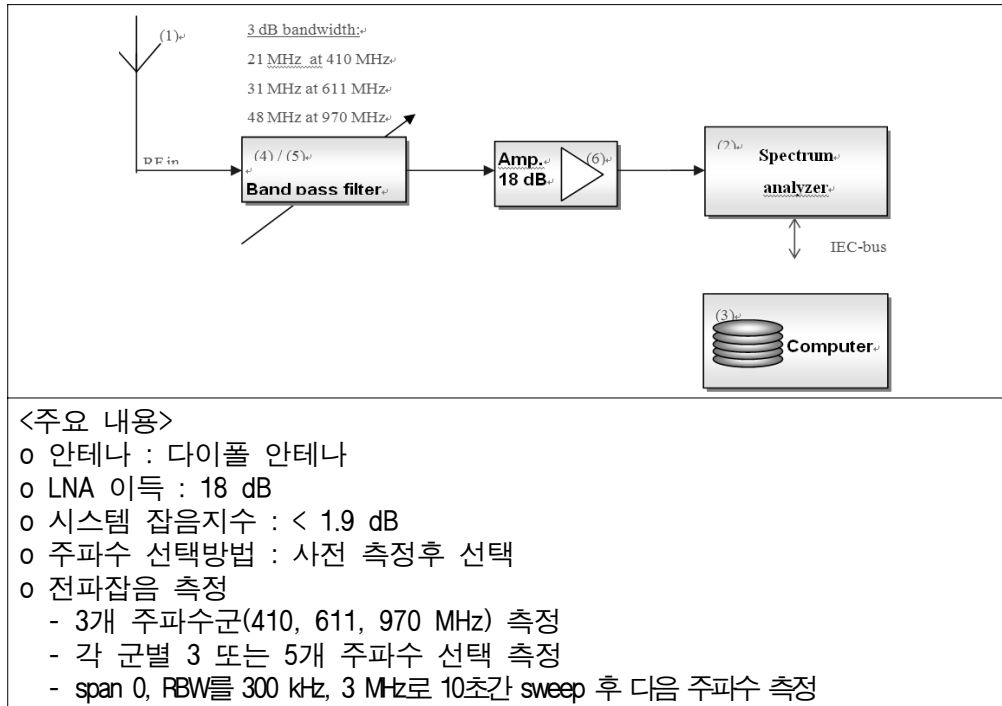
일본은 그림 4-11과 같이 측정시스템을 구성하여 30MHz ~ 1GHz 주파수 대역중 12개 주파수에 대하여 전파잡음을 측정하였다. 이때 전파잡음 측정을 위한 측정용 안테나는 동조(tuned) 다이폴 안테나를 이용하였다. 이렇게

안테나에 수신된 전파잡음 전력 값은 대역통과필터를 통과한 후 저잡음 증폭기로 증폭하여 스펙트럼분석기로 수신하였다. 이때 사용한 대역통과필터는 손실 값이 0.6~1.7 dB 이내인 필터를 이용하였으며 저잡음 증폭기는 이득이 15~23 dB인 증폭기를 이용하였으며 주파수별 세부 조합은 그림 4-11과 같이 구성하였다. 한편 전파잡음 측정시스템은 총 잡음 지수가 3dB 이내가 되도록 구성하였다.

일본은 37~953 MHz 대역 내에서 12개 세부 주파수 대역에 대하여 전파잡음 값을 측정하였다. 각 세부 주파수 대역에서 전파잡음 값을 측정할 때 세부 주파수 대역 내에 속하는 5개 주파수를 선정한 후 각 5개 주파수에 대하여 계측기 스패를 0으로 설정하고 분해능 대역폭을 10, 30, 100, 1000 kHz로 4초마다 가변하며 측정하였다. 이렇게 측정된 결과는 후처리 과정을 통해 무선국 신호성분을 제외하고 해당 주파수의 전파잡음 값을 평가하였다.

라. 독 일

독일은 자국 내 전파잡음 측정결과와 측정 시스템 구성 등의 내용을 2005년 ITU에 기고하였다. 독일에서 2005년 전파잡음을 측정할 때 이용한 측정시스템은 그림 4-12와 같다. 무지향성 다이폴 안테나에서 수신된 전파잡음 전력은 대역통과필터를 통과한 후 저잡음 증폭기로 증폭하여 스펙트럼분석기로 수신하였다. 이때 저잡음 증폭기는 이득이 18 dB인 증폭기를 이용하였으며 측정시스템은 총 잡음 지수가 1.9dB 이하가 되도록 구성하였다. 독일은 100MHz ~ 1GHz 주파수 대역중 3개 세부 주파수 대역(3개 주파수군(410, 611, 970 MHz)에 대하여 전파잡음을 측정하였으며 3개 세부 주파수 대역 내에서 실제 측정 주파수는 3 또는 5개 주파수를 선정한 후 각 주파수에 대하여 계측기 스패를 0으로 분해능 대역폭을 300kHz 및 3MHz로 설정하여 각 주파수별 전파잡음을 측정하였다. 이렇게 측정된 결과는 후처리 과정을 통해 무선국 신호성분을 제외하고 해당 주파수의 전파잡음 값을 평가하였다.



(그림 4-12) 독일 전파잡음 측정시스템 구성도 및 주요 내용

2. 국내·외 전파잡음 측정방식 비교·분석 및 표준화방향

제2절에서 살펴본 바와 같이 전파잡음 측정값은 측정 방법에 따라 다소 상이한 결과를 나타내고 있어 이에 대한 표준화가 필요하다. 이를 위해 제3절 1항에서는 ITU 및 미국, 일본 등 외국의 전파잡음 측정방법을 조사, 분석하였다.

우리나라의 전파잡음 측정방식과 미국, 일본 등 외국의 전파잡음 측정방식을 비교해 보면 그 차이는 표 4-9와 같이 나타난다. 국내외 기관의 전파잡음 측정방식에서 가장 큰 차이점은 안테나 종류, 대역통과필터(BPF), 저잡음 증폭기(LNA)의 사용 유무에 달려 있다.

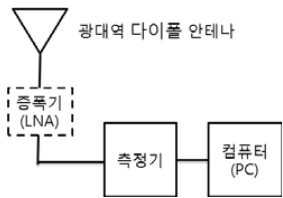
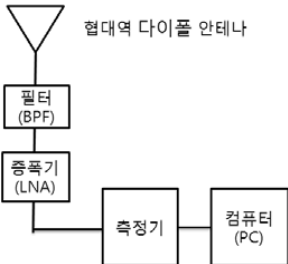
국내의 경우 광대역 다이폴 안테나를 이용하고 있으나 외국에서는 주로 협대역 다이폴 안테나를 이용하고 있다. 광대역 안테나의 경우, 하나의

안테나를 이용하여 넓은 대역의 주파수에서 전파잡음을 측정할 수 있는 장점이 있기는 하나 낮은 세기의 신호나 전파잡음은 측정할 수 없는 단점이 있다. 반면 협대역 안테나는 특정한 주파수에서 낮은 세기의 신호값도 측정할 수 있는 장점이 있으나 측정 주파수가 늘어나면 다수개의 측정용 안테나가 필요한 단점이 있다. 그러나 일반 무선국 신호세기와는 달리 전파잡음 세기는 매우 낮은 값을 가지므로 협대역 특성을 가지는 안테나를 사용하여 전파잡음을 측정할 필요가 있다.

외국의 경우 전파잡음 측정시 대역통과필터와 함께 저잡음 증폭기를 동시에 이용하고 있는데 반해 국내의 경우, 대역통과필터와 저잡음 증폭기를 이용하지 않고 있거나 또는 저잡음 증폭기만 이용하고 있다.

잡음측정 시스템에서 대역통과필터는 증폭기 사용으로 발생할 수 있는 혼변조 발생을 방지하기 위한 목적으로 이용한다. 실제 특정한 주파수에 동조된 협대역 다이폴 안테나라 하더라도 특정 주파수에서 상당히 벗어난 주파수의 신호 성분들도 실제 신호보다는 작은 세기로 함께 수신되며 이렇게 수신된 신호들은 증폭기를 통과하면서 다수개의 고조파를 생성하며 이 신호들이 증폭기에 증폭되어 전파잡음 수신대역의 잡음값을 높이는 역할을 한다. 따라서 대역통과필터는 전파잡음 측정 대역 근처에 존재하는 신호성분들을 필터링함으로써 다수의 고조파에 의한 혼변조 발생을 방지하기 위해 이용한다.

<표 4-9> 전파잡음 측정방식 비교

구분	국 내	외 국	비 고
측정 시스템 구성	 <p>광대역 다이폴 안테나</p> <p>증폭기 (LNA)</p> <p>측정기</p> <p>컴퓨터 (PC)</p>	 <p>협대역 다이폴 안테나</p> <p>필터 (BPF)</p> <p>증폭기 (LNA)</p> <p>측정기</p> <p>컴퓨터 (PC)</p>	<ul style="list-style-type: none"> o 안테나 <ul style="list-style-type: none"> - 국내(광대역 A) - 외국(협대역 A) o BPF 유무 <ul style="list-style-type: none"> - 국내(X) - 외국(O) o LNA 유무 <ul style="list-style-type: none"> - 국내(△) - 외국(O) ※ 국내 일부기관 증폭기 사용함

일반적인 전파측정 시스템에서 증폭기는 주로 낮은 세기의 신호성분을 증폭하는 목적으로 사용한다. 100 MHz 이상 주파수에서 전파잡음 세기는 통상 매우 낮은 수준으로 알려져 있어 증폭기 사용은 반드시 필요하며 잡음지수가 낮은 저잡음 증폭기를 이용하여야 한다. 따라서 전파잡음을 측정할 때 협대역 다이폴 안테나, 대역통과필터, 저잡음 증폭기를 이용하여 전파잡음 측정시스템을 구성하는 것이 필요하다.

한편 전파잡음 측정방법 및 절차와 관련하여 국내에는 표준화된 규정이 없어 측정기관에 따라 서로 다른 측정방법을 이용할 경우, 측정 데이터 공유가 어려우므로, 전파잡음의 측정 절차에 대한 통일된 방법이 필요한 실정이다.

제4절 전파잡음 측정방법 고시 제정

1. 개요

앞의 제2절에서는 국내 전파잡음 측정시스템 구성 및 문제점 등에 대하여 논의하였으며 제3절에서는 ITU 국제 표준, 미국, 일본, 독일 등의 전파잡음 측정방식을 분석하여 이러한 문제점을 개선하기 방안을 논의하였다.

따라서 이러한 문제점을 개선하기 위하여 우리원에서는 국내 전파잡음 관련 전문가로 “전파잡음 측정방법” 고시 제정 연구반을 구성하여 ITU 국제 표준, 미국, 일본, 독일 등의 전파잡음 측정방식을 분석하여 국제적 수준으로 전파잡음 값을 측정할 수 있도록 명확한 규정을 마련하여 ‘12.11월 “전파잡음 측정방법”을 신규 고시로 제정하였고 이에 대한 내용은 다음 절에서부터 논의하기로 한다.

2. 전파잡음 측정방법 고시 제정

이번에 제정한 “전파잡음 측정방법” 고시는 ITU 국제 표준 및 미국, 유럽, 일본 등의 전파잡음 측정방법을 참조하였다. 대역통과필터(BPF)와 저잡음증폭기(LNA)를 이용하여 전파잡음 측정시스템을 구성하여 전파잡음 측정

시스템의 측정 한계를 개선하도록 하였으며 측정방법 및 절차, 후처리 방법 등을 명확히 규정함으로써 서로 다른 기관에서 전파잡음을 측정하더라도 동일한 측정결과를 낼 수 있도록 하였다. “전파잡음 측정방법” 고시에서 규정한 주요 내용은 다음과 같다.

가. 측정시스템 구성 및 기기별 조건

전파잡음 측정시스템의 구성 및 기기별 조건은 고시 제4조와 제5조에 규정하였다. 전파잡음 측정시스템은 측정기, 안테나, 저잡음 증폭기 및 대역통과필터를 이용하여 그림 4-13과 같이 구성하도록 하였으며 측정시스템의 중 잡음지수가 6dB 이내가 되도록 하기 위하여 안테나와 저잡음 증폭기 사이에서 대역통과필터와 케이블에 의한 삽입손실은 3 dB 이하가 되도록 규정하였다. 한편, 측정용 안테나는 잡음 신호를 왜곡 없이 수신할 수 있도록 수직 동조 다이폴 안테나를 이용하도록 규정하였다.



(그림4-13) 전파잡음 측정시스템 구성도

나. 측정시스템 사전 점검

전파잡음을 측정하기에 앞서 측정시스템이 측정 주파수 대역의 전파잡음 레벨을 정확히 측정할 수 있는지 확인하는 과정이 필요하며 이를 위하여 고시 제8조(측정 전 점검사항)를 규정하였다. 즉, 전파잡음 측정에 앞서 전파잡음 측정시스템이 측정할 수 있는 잡음 측정레벨이 계측기 잡음 이상이 되는지를 확인하기 위하여 그림 4-13의 측정시스템에서 측정용 안테나 대신 50옴 부하를 대역통과필터에 연결하여 계측기 잡음 값을 먼저 확인하도록 하였다.

다. 전파잡음 측정 높이

전파잡음 측정을 위한 안테나 높이는 ITU 규정 및 유럽, 일본의 측정방법을 참조하여 지표면에서 5m 높이에 설치하여 전파잡음을 측정하도록 고시 제9조에 규정하였다. 그러나 방송통신위원회 고시인 “방송구역 전계강도의 기준·작성요령 및 표시방법”에서는 방송신호를 측정해야하는 높이를 표 4-11과 같이 규정하고 있다. 따라서 전파잡음을 측정할 때 측정용 안테나는 지표면에서 5m 높이에 설치하여 전파잡음을 측정함을 원칙으로 규정하면서 표 4-11에서 규정하는 업무나 특정한 무선 업무에 대하여 전파잡음을 측정하고자 할 때는 안테나 높이를 달리하여 측정할 수 있도록 규정하였다.

<표4-10> 주요 업무별 전파잡음 측정 높이

업 무	안테나 높이	비 고
FM 방송	지표면에서 4m	방송통신위원회 고시 “방송구역 전계강도의 기준·작성요령 및 표시방법” 참조
DTV	지표면에서 9m	
지상파 DMB	지표면에서 2m	

라. 전파잡음 측정 주파수 선정

전파잡음 측정을 위해서는 사전에 무선국 신호가 없는 주파수 또는 주파수 대역을 알고 있어야 한다. 이를 위해서는 무선국 인허가 DB를 활용할 수 있으나 일반인은 무선국 인허가 DB에 접근할 수 없는 문제점이 있다. 따라서 무선국 인허가 DB에 접근할 수 없는 경우를 가정하여 직접 사전 측정을 통해 전파잡음 측정 대상 주파수를 선정하는 방법을 고시 제10조에 다음과 같이 규정하였다.

- 1) 그림 4-14와 같이 전파잡음 측정시스템을 구성한다.
- 2) 측정기는 표4-12와 같이 설정. 이때 분해능 대역폭은 100kHz로 설정
- 3) 직접 측정을 통해 무선국 신호가 수신되지 않았거나 수신되지 않을 것으로 예상되는 복수 주파수를 잡정 선정

- 4) 분해능 대역폭을 10kHz로 조정한 후 제3항에서 잠정 선정한 주파수들에 대하여 다시한번 측정하여 전파잡음을 측정할 주파수를 최종 선정



(그림4-14) 전파잡음 측정대상 주파수 선정을 위한 측정시스템 구성도

<표4-11> 전파잡음 측정대상 주파수 선정을 위한 측정 시스템 설정

구 분		설 정		비고
		1차 측정	2차 측정	
측정기	RBW	100 kHz	10 kHz	변경 가능
	검출모드	r.m.s. 모드		
	표시모드	최대값유지(Max-Hold) 모드		
측정 시간		1분 이상		변경 가능

마. 전파잡음 측정방법

전파잡음 측정방법으로는 백색가우시안 전파잡음 레벨을 측정하는 방법과 백색가우시안 전파잡음 레벨뿐만 아니라 임펄스성 잡음 특성을 동시에 측정할 수 있는 방법으로 2가지 방법을 고시 제11조에서 규정하였다.

고시 제11조제1항에서 규정한 백색가우시안 전파잡음 레벨 측정방법은 다음과 같다.

- 1) 전파잡음 측정시스템을 그림4-13과 같이 구성
- 2) 측정기는 표4-13와 같이 설정
- 3) 제10조에 의해 선정된 전파잡음 측정대상 주파수를 측정기의 중심주파수로 설정하고 무선국 신호성분이 유입되지 않는 작은 주파수 대역에 대하여 전파잡음 값 측정

- 4) 전파잡음 측정대상 모든 주파수에 대하여 제3호에서 규정한 절차에 따라 전파잡음을 24시간 이상 연속 측정

<4-12> 백색가우시안잡음 레벨 측정만을 위한 측정시스템 설정

구 분		설 정	비고
측정기	RBW	1 GHz 이하 : 1 kHz 1 GHz 이상 : 10 kHz	
	Span	200 kHz	변경가능
	Sweep Time	자동	
	검출모드	r.m.s. 모드	
	표시모드	-	
데이터 추출		측정기가 sweep한 모든 데이터	

고시 제11조제2항에서 규정한 백색가우시안잡음 레벨과 임펄스잡음 특성 동시에 측정하기 위한 방법은 다음과 같다.

- 1) 전파잡음 측정시스템을 그림4-13과 같이 구성
- 2) 측정기는 표4-14와 같이 설정
- 3) 제10조에 의해 선정된 전파잡음 측정대상 주파수 각각에 대하여 0, $\pm 100\text{kHz}$, $\pm 200\text{kHz}$ 간격으로 이격된 5개의 세부측정 주파수(이하 “세부측정 주파수”라 한다)를 선정한 후 측정기의 스패를 0, 분해능 대역폭을 10kHz로 설정하여 10초간 측정한 후 다른 주파수에 대하여 전파잡음 레벨을 측정. 이때 세부측정 주파수 간격은 임의로 조정할 수 있으며 세부측정 주파수별 측정 데이터는 $1/(2 \times \text{분해능대역폭})$ 시간간격으로 샘플링하여 전파잡음 측정 데이터베이스에 저장하여야 함.
- 4) 측정기의 분해능 대역폭을 100kHz로 변경하여 제3호에서 규정한 절차와 동일하게 측정
- 5) 제3호와 제4호에서 규정에 따라 24시간 이상 연속 측정

<표4-13> 백색가우시안잡음 레벨과 임펄스잡음 특성 측정을 위한
측정시스템 설정

구 분		설 정		비고
		1차 측정	2차 측정	
측정기	RBW	10 kHz	100 kHz	변경 가능
	Span	0 Hz		
	Sweep Time	10 초		
	검출모드	r.m.s. 모드		
	표시모드	-		
데이터 추출 시간 간격		1/(2*RBW) 초		

바. 원시 측정데이터의 후처리

위에서 규정한 전파잡음 측정방법에 의해 측정한 원시 데이터에는 백색가우시안 잡음데이터와 임펄스성 잡음 데이터 이외에도 실제 무선국 신호 성분이나 연속신호와 유사한 특성을 가지는 단일캐리어 잡음 등이 포함되어 있을 수 있다. 따라서 측정데이터에서 무선국 신호성분이나 단일캐리어 잡음 성분을 제거하는 방법을 고시 제12조에서 규정하였다. 고시 제11조제1항에 의해 측정된 백색가우시안 잡음레벨 측정을 위해 수집된 원시 데이터는 다음과 같은 절차로 후처리한다.

- 1) 측정된 데이터의 최저 레벨을 기준으로 상위 80%의 데이터는 제거하고 하위 20% 데이터에 대하여만 실효값을 계산
- 2) 백색 잡음 발생기로부터 발생하는 잡음 신호를 측정기에 인가하여 수집된 모든 데이터(100%)에 대한 실효값과 하위 20% 만의 데이터에 대한 실효값을 계산하여 차이값을 구함
- 3) 제1호에서 구한 20% 실효값에 제2호에서 구한 차이값을 더하여 실제 전파잡음 실효값으로 보정

고시 제11조제2항에 의해 측정된 원시 데이터는 다음과 같은 절차로 후처리하여 전파잡음 데이터를 추출한다.

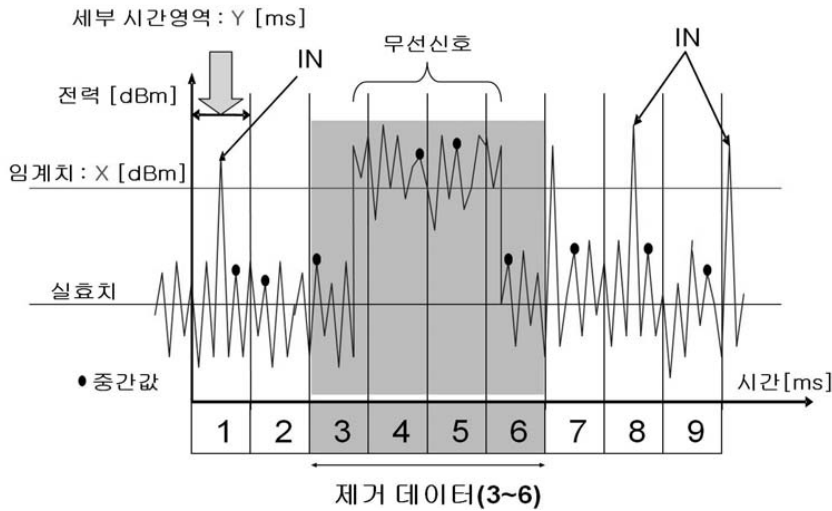
- 1) 제11조제2항에 의해 측정된 각 세부측정 주파수별 시간영역 측정데이터에 대하여 간헐적, 비주기적으로 유입된 무선국 신호성분은 별표1에서 규정한 절차를 이용하여 제거
- 2) 제1호에 의해 처리된 각 세부측정 주파수별 시간영역 측정데이터에 대하여 단일캐리어 잡음 성분이 포함된 데이터는 별표2에서 규정한 절차를 이용하여 제거
- 3) 제1호 및 제2호에 의해 처리된 주파수별 5개(또는 그 이하)의 세부측정 주파수에 대한 데이터를 이용하여 실효값을 각각 계산. 이때 가장 낮은 전파잡음 실효값보다 2dB 이상 높은 세부측정 주파수의 측정데이터는 모두 버림. 이와 같이 최종 후처리된 데이터는 백색가우시안 잡음과 임펄스성 잡음 성분만을 포함하며 이 데이터를 이용하여 해당 주파수 대역의 전파잡음 레벨을 계산하는데 이용

[별표 1]

간헐적, 비주기적으로 유입된 무선국 신호성분 제거 방법
(제12조제2항제1호 관련)

제11조제2항에 따라 측정된 각 세부측정 주파수별 시간영역 측정데이터에 대하여 간헐적, 비주기적으로 유입된 무선국 신호성분은 다음 절차를 이용하여 제거한다.

1. 세부측정 주파수별 시간영역 측정 데이터 전체에 대한 실효값(r.m.s.)을 구한다.
2. 시간영역 데이터를 그림4-15와 같이 작은 세부 시간영역으로 세분화(예: 100개 샘플단위로 구분)하여 각 영역별 중간값을 구한다.
3. 2에서 구한 중간값이 1에서 구한 실효값보다 6dB 이상 높은 세부 시간영역 데이터는 버린다. 이때 삭제될 시간영역 데이터 전후에 위치하는 세부 시간영역 데이터도 함께 버린다.
4. 이와 같이 처리된 데이터는 백색가우시안 잡음, 임펄스성 잡음과 함께 단일 캐리어 잡음 성분이 포함되어 있을 수 있다.



(그림4-15) 무선국 신호성분 제거를 위한 측정데이터의 시간 세분화

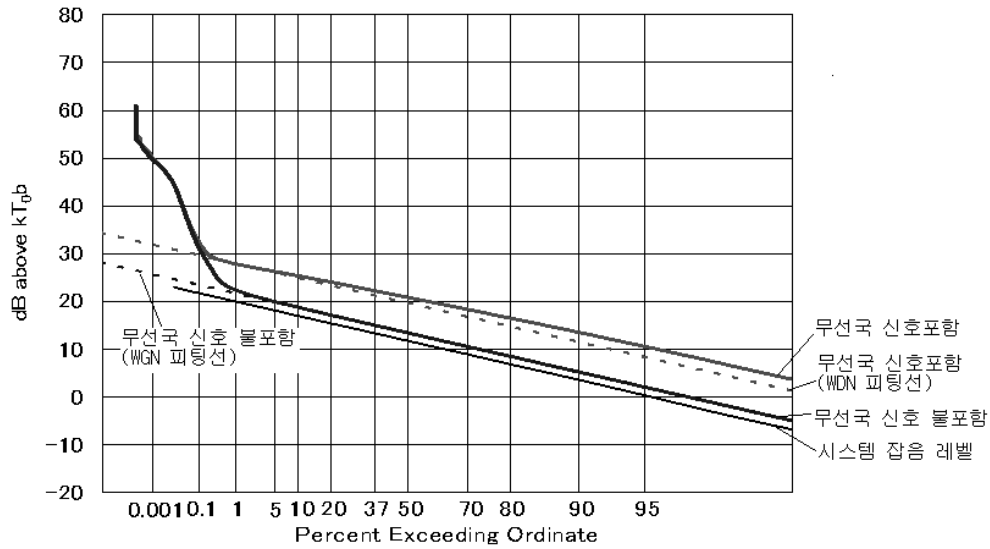
[별표 2]

단일 캐리어 잡음 성분 제거 방법

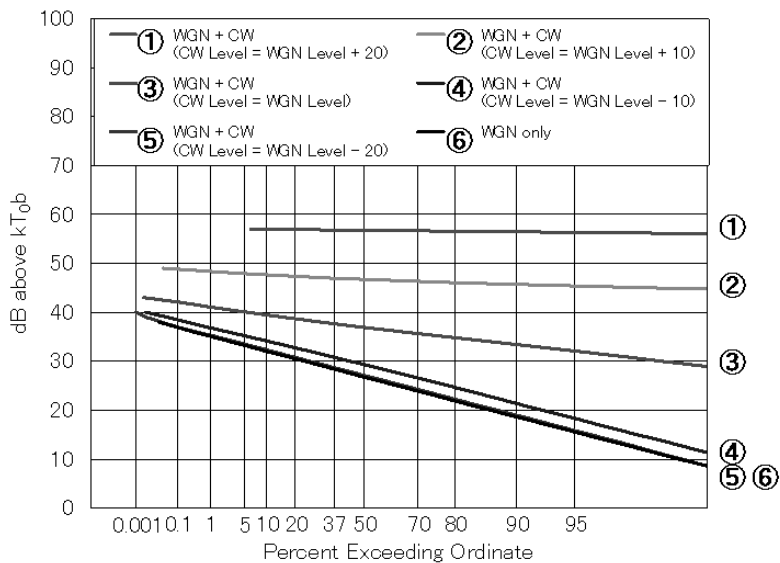
(제12조제2항제2호 관련)

제11조제2항제1호에 따라 처리된 측정데이터에 대하여 연속적인 신호 유사한 특성을 가지는 단일 캐리어 잡음 성분은 다음 절차를 이용하여 제거한다.

1. 제11조제2항제1호에 따라 처리된 측정데이터를 이용하여 그림4-15 또는 그림4-16과 같이 진폭확률분포(APD) 그래프를 그린다.
2. 이때 진폭확률분포(APD) 그래프에서 좌측 곡선 특성(임펄스성 잡음 특성을 반영)을 제외한 부분의 데이터를 근사하는 직선을 구한다.
3. 2에서 구한 직선 기울기가 0.1%, 37%, 90%, 99% 간격에서 각각 10 dB보다 작은 경우, 해당 데이터는 연속적 무선신호와 유사한 특성을 가지는 단일 캐리어 잡음 성분이 포함된 데이터이므로 데이터 모두를 버린다.
4. 이와 같이 처리된 데이터는 백색 가우시안 잡음과 임펄스성 잡음만이 포함된 데이터이다.



(그림4-16) 단일 캐리어(연속 신호) 성분이 포함/미포함된 그래프 비교



(그림4-17) 단일 캐리어 신호(연속 신호) 성분 세기변화에 따른 기울기 특성 비교

제5장 결 론

국내 전파의 강우감쇠 특성 분석, 전파전파 예측모델 분석, 전파잡음 측정 방법 연구 등 전파와 관련한 기초기반 특성 연구는 전파이용이 급증하는 스마트 사회에서 필수적으로 수반되어야 하나, 고가의 시스템 구축비, 지속적인 측정 및 데이터 축적 등 결과물 산출에 장시간이 소요되어 산업계, 학계 및 연구기관에서 적극적으로 연구를 추진하지 못하는 취약분야이다.

2000년대 초 이후, 유사한 이유로 중단되었던 전파 기초기반 특성연구 업무가 2011년 8월19일 국립전파연구원 개원과 함께 다시 우리원의 고유 업무로 시작되면서, 2차년도인 금년에는 전파의 기초기반 특성연구를 수행하기 위한 선행연구에 중점을 두고 업무를 추진하였다.

2012년도에는 전파잡음, 강우감쇠, 밀리미터파 전달 특성 연구 등 3개 분야에 대하여 강우감쇠 측정 시스템을 구축하였으며 국제 권고 등에 따라 측정 결과를 분석하기 위한 방법을 마련함으로써 향후 전파 기초기반 특성 연구를 계속 추진할 기초 기반을 마련하였다.

무궁화위성 Ku밴드(12GHz) 신호 강우감쇠 특성 측정 데이터와 ITU-R의 용산지역 강우강도 분포를 보면 실측의 경우 시간율 0.01%(1년 중 총 50분 동안 비가 내릴 확률)에서 약 113mm/h의 강우강도가 측정되었으나 ITU-R 모델은 동일 시간율에서 47.3mm/h의 강우강도를 예측하였다. 이는 급변하는 환경변화로 우리나라 기후가 아열대성으로 바뀌고 있기 때문에 연도별 강우 확률과 강우시 내리는 비의 양이 점차 증가함을 알 수 있으며 ITU-R의 강우강도 예측모델은 전 세계 지도상에 대략적인 강우강도를 예측하기 때문에 실제 강우특성을 반영하지 못한다. 이는 ITU-R 모델의 0.01% 시간율의 강우강도 값을 고려하여 시스템을 설계하였다면 이는 365일중 50분 이하로 위성통신이 두절될 것을 예상하고 있으나 실제로는 50분보다 상당히 초과하는 시간동안 통신이 두절될 수 있음을 의미한다.

따라서 향후 우리 원 뿐만 아니라 ETRI, 학계 등 강우관련 연구를 수행하고

있는 기관의 지속적인 연구와 함께 측정 자료의 공유 및 대국민 공개를 통해 위성방송서비스 사업자, 송수신 시스템 개발업체 등에서 위성링크 시스템 설계시 ITU-R 모델의 예측값을 이용하기 보다는 실제 국내 강우강도 측정 데이터를 고려하여 설계할 수 있도록 해야 할 필요가 있다.

또한 ETRI와 연구협력방안 논의를 통해 ETRI에서 구축한 전국 5개 지역의 천리안 위성 강우감쇠측정시스템에 우리원에서 용산지역에 천리안위성 측정시스템 1식을 구축함으로써 2013년도부터 본격적인 위성주파수대역의 강우감쇠특성 연구를 추진하고, 9개년 계획을 수립하여 지속적인 데이터 축적으로 국내 환경에 적합한 강우감쇠 예측모델을 개발할 계획이다.

아울러 기상청의 데이터를 활용하여 포항지역에서 3년 평균한 대기굴절률 기울기를 구할 수 있었는데 기울기의 평균값은 -44.12N/km 으로 나타났으며 최대값은 -32.42N/km (‘02년 1월), 최소값은 -58.77N/km (‘04년 7월)으로 나타났다. 이 대기굴절률 기울기는 ITU 권고보다 작게 나타났으며 특히 봄, 여름, 가을에 해당하는 5월~10월 사이에 상대적으로 작은 값을 나타내었다. 대기굴절률 기울기가 작다는 것은 전파가 더 많이 휘어지면서 진행한다는 것을 의미하며, 보다 먼 거리까지 전파가 전달될 수 있음을 의미하기도 한다. 실제 국내 해안지역에서 외래전파(일본, 중국으로부터의 전파) 유입현상은 겨울보다는 봄, 여름 가을에 높게 나타나는데 이는 이 시기에 대기굴절률 기울기가 보다 작게 되어 먼 거리까지 전파가 전달되기 때문으로 이해할 수 있다.

방송망 전파전파예측모델 비교·분석 결과, 가시영역의 개방지역에서는 P.1546-4이, 비가시영역의 개방지역에서는 Bcast모델이 실측모델에 근사하게 예측하고 있음을 확인하였다. 그러나 가시영역의 밀집지역과 비가시영역의 밀집지역에서는 지역별로 근사정도가 달라 두 모델 중 어느 모델이 더 실측값에 근사한 값을 예측하고 있는지 판단하기 어렵다. 이의 정확한 분석을 위해서는 수신 지역별로 전파환경에 의한 반사, 회절 등의 특성을 정확히 분석해 낼 수 있는 방법 마련이 필요하다.

전파잡음과 관련하여, 2012년 우리 원에서 고시한 “전파잡음 측정방법” 마련 과정을 상세히 기술하였다. 국내에서 통용되는 3가지 방법으로 전파잡음을 측정하여 국내 전파잡음 측정방식에 대한 문제점과 측정결과의 차이 발생 등에 관하여 분석하였으며 전파잡음 측정방법에 대한 체계화, 통일화된 규정 마련이 필요함을 인식하였다. 이를 위해 ITU 국제 표준, 미국, 일본, 독일 등에서 규정한 전파잡음 측정방식을 조사, 분석하여 “전파잡음 측정방법” 신규 고시 제정에 반영하였다.

[참고문헌]

- [1] Recommendation ITU-R P.372-10, "Radio noise", 2009
- [2] Recommendation ITU-R SM.1753-1, "Methods for measurements of radio noise", 2010
- [3] 정보통신단체표준(국문표준) TTAK.KO-06.0240, "전파잡음 레벨 측정 방법", 2010
- [4] 한국방송통신전파진흥원, "전파자원총조사 사업 전파잡음 측정 결과 보고서(1차년도)" 2010.2
- [5] 한국방송통신전파진흥원, "전파자원총조사 사업 전파잡음 측정 결과 보고서(2차년도)", 2011.2
- [6] 전파연구소, "전파환경종합정보시스템 구축방안 연구", 1998.12
- [7] 국립전파연구원, "전파잡음 측정결과 보고(1차 측정)", 2011.5
- [8] 국립전파연구원, "전파잡음 측정결과 보고(2차 측정)", 2011.11
- [9] 방송통신위원회 고시 제2009-27호, "방송구역전계강도의 기준 · 작성 요령 및 표시방법", 2009
- [10] 정병진, "아열대 기후", 한국일보, 2008. 06. 07 기사
- [11] 박은호, "장마 언제 끝날지 예보 안 하겠다", 조선일보, 2008. 06. 03 기사
- [12] 강우감쇠의 영향 분석을 위한 국내 각 지역의 강우강도 분포, 이형수 외 1, 1998
- [13] 서울 지역의 강우로 인한 Ka대역 위성신호의 감쇠량 추정,(2008), 윤기창 외
- [14] 위성통신 강우환경 분석기술 연구(1998), 한국전자통신연구원
- [15] Recommendation ITU-R P.618-10, "Propagation data and prediction methods required for the design of Earth-space telecommunication systems", 2009
- [16] Recommendation ITU-R P.837-5, "Characteristics of precipitation

- for propagation modelling", 2007
- [17] Recommendation ITU-R P.838-3, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", 2005
- [18] Recommendation ITU-R P.839-3, "Rain height model for prediction methods", 2001
- [19] Recommendation ITU-R P.1144-5, "Guide to the application of the propagation methods of Radiocommunication Study Group 3", 2009
- [20] Recommendation ITU-R P.525-2 "Calculation of Free-space Attenuation", 1994
- [21] Recommendation ITU-R P.530-13, "Propagation data and prediction methods required for the design of terrestrial line-of-sight systems", 2009
- [22] Recommendation ITU-R P.341-5, "The concept of transmission loss for radio links", 1999
- [23] Recommendation ITU-R P.676-8, "Attenuation by atmospheric gases", 2009
- [24] Recommendation ITU-R P.838-3, "Specific attenuation model for rain for use in prediction methods", 2005
- [25] Recommendation ITU-R P.526-11, "Propagation by diffraction", 2009
- [26] Recommendation ITU-R P.836-4, "Water vapour: surface density and total columnar content", 2009
- [27] Recommendation ITU-R P.453-9, "The radio refractive index: its formula and refractivity data", 2003
- [28] Bruce Bosco, Celestino Corral, Shahriar Emami, Gregg Levin, and Abbie Mathew, "Status Report of the Subgroup on Channel Modeling," IEEE 802.15-05-0133-00-003c, 2005.

- [29] ERC Recommendation 70-03, "Relating to the use of short range devices(SRD)", 2010
- [30] 방송통신위원회 고시 제2011-45호, "대한민국 주파수 분배표", 2011
- [31] 국내 전파환경 특성에 기반한 전파예측모델 개선방안 연구(2012), 강영홍, 전자파학회
- [32] 지상파방송(DTV, DMB) 수신율 조사검증시스템 구축에 관한 연구 (2010), 권원현, 한국전파진흥원
- [33] DTV방송 수신환경조사 결과분석(2012.1), 중앙전파관리소
- [34] 방송구역전계강도의 기준·작성요령 및 표시방법(방통위 고시 제 2012-59호)
- [35] Recommendation ITU-R P.1546-4, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3,000 MHz
- [36] 방송망 주파수 자원분석 알고리즘 연구(2007), 김성철, 서울대학교
- [37] Validation of deterministic radio propagation algorithms for UHF mobile network planning in mountain environment(2007), Macro Allegretti

[부록]

전파잡음 측정 신규 고시 제정을 위한 연구반 활동

<추진경과>

- 전파잡음 측정방법 제정 관련 사전조사, 연구 : ~ '12. 7월
 - 국내 전파잡음 합동 측정 및 결과 분석
 - 국내외 기준 및 국제표준(ITU-R) 분석
- 전파잡음 측정방법 고시 제정 계획 수립 : '12. 8. 3.
- 고시제정 연구반 구성, 운영(3회) 및 초안 작성 : '12. 9. 5.
- 고시 초안 검토 및 최종안 마련 : '12. 9. 13.
- 규제심사 및 행정예고(21일) : '12. 9. 14~10. 4
- 고시 심의위원회 심의 및 가결 : '12. 10. 25
- 고시 관보 게재 및 공포 : '12. 11. 6

<전파잡음 측정방법 고시제정 연구반 구성>

NO.	소 속	성 명	직 책	비고
1	경희대	김영수	교수	반장
2	충북대	김 남	교수	
3	ETRI	박승근	팀장	
4		김상태	선임연구원	
5	KCA	김완기	대리	
6	싱크어스	이희수	대표이사	
7	AFT	김종섭	실장	
8	방송통신위원회	이희성	사무관	
9		김기홍	주무관	
10	국립전파연구원	이용직	사무관	
11		배석희	연구관	
12		권용기	연구사	
13		김형섭	주무관	
14	중앙전파관리소	김장순	사무관	
15		정광진	주무관	
16		이인권	주무관	
17	서울관리소	박전홍	주무관	
18	서울북부관리소	박순이	주무관	

국내 전파전달 및 전파기반 특성 연구



140-848 서울시 용산구 원효로41길 29
발 행 일 : 2012. 12.
발 행 인 : 이 동 형
발 행 처 : 방송통신위원회 국립전파연구원
전 화 : 02) 710-6555
인 쇄 : 한국장애인이워크협회
Tel. 02)2272-0307

ISBN : 978-89-97525-06-5-93560 < 비 매 품 >

주 의

1. 이 연구보고서는 국립전파연구원에서 수행한 연구결과입니다.
2. 이 보고서의 내용을 인용하거나 발표할 때에는 반드시 국립전파연구원 연구결과임을 밝혀야 합니다.