

국내 Rural 전파환경에서의 DTV 전계강도 예측모델 분석

Analysis of Prediction Models for DTV Field Strength in Domestic Rural Propagation Environment

강영흥*, 정재필**0

Young-Heung Kang*, Jae-Pil Chung**0

요 약

유한한 주파수 자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 무선국 설계시 지역별 전파환경에 기반한 전파전달 특성을 정확히 예측하여 무선국의 송신출력 및 서비스 커버리지 등을 설계하는 것이 필요하다. 따라서 세계 각국에서는 자국의 환경에 맞는 전파모델을 확보하려고 노력하고 있으며, 국내에서도 BCAST와 같은 모델이 개발되어 전파분석에 이용되어 왔지만, 아직도 측정결과와 상이한 결과를 제공하고 있다. 이에 본 연구에서는 국내 Rural 지역의 DTV 방송서비스에 대해 측정된 후, 측정된 데이터와 SMIS 예측모델 P.1546 및 BCAST에 대한 실측/예측 비교분석 및 이의 오차 분석을 수행하여 SMIS 향후 개선방안을 제시한다. ITU-R 권고안 P.1546 및 BCAST 모델적용에 있어 실측/예측 오차, 특히 BCAST 모델인 경우 측정치 보다 높게 예측되는 문제점 등이 도출되어, 향후 숲과 나무에 의한 페이딩, 호수 및 바다에 의한 전파반사 등에 대한 정밀한 분석이 필요하다.

Abstract

For the efficient use of the insufficient frequency resources, a precise prediction of field strength based on various propagation environments should be set up to design of radio stations with reliable transmit power and service coverage. Therefore, many countries have tried to secure the propagation models suitable for their each geographical environments, and also, some models like BCAST were developed by Korea, but these models give the different results compared to measured values. In this paper, based on the measurements of DTV broadcasting services in domestic rural area, analysis and comparison of ITU-R P.1546 and BCAST models provide errors between measured and predicted values, and some points for improving SMI system has been proposed. As a result, P.1546 model provides the valid predicted data similar to measured data, but BCAST model has some problems of large deviation and higher prediction to measured data. In future, these problems and fading loss due to a forest or group of trees, and reflection loss due to a lake or sea need to be studied carefully.

Key words : DTV, P.1546, BCAST, SMIS, Rural environment

I. 서 론

부족한 주파수 자원의 효율적 이용과 무선통신의

* 군산대학교 정보통신공학과(Dept. of Information & Telecommunication Eng., Kunsan National University)

** 가천대학교 정보공학부(School of Information Eng., Gachon University)

· 제1저자 (First Author) : 강영흥 (Young-Heung Kang)

0 교신저자(Corresponding Author) : 정재필 (Jae-Pil Chung, tel : +82-32-820-4255, email : jpchung@gachon.ac.kr)

· 접수일자 : 2013년 10월 24일 · 심사(수정)일자 : 2013년 10월 24일 (수정일자 : 2013년 12월 23일) · 게재일자 : 2013년 12월 30일

<http://dx.doi.org/10.12673/jkoni.2013.17.6.638>

급격한 발전에 따른 동일채널 간섭 또는 인접채널 간섭의 문제를 해결하기 위해 무선통신 시스템 설계에 있어서 신뢰할 만한 point-to-area 예측 기법 등에 대한 요구가 증가되어지고 있다[1,2]. 특히 원활한 방송 서비스를 제공하고, 또한 손쉬운 방송망 구축을 위해서 가장 중요한 것은 방송을 서비스 하고자 하는 주파수대역과 환경에 맞는 전파모델을 선택하는 것으로서, Okumura 모델이나 Hata 모델 같은 대표적인 전파 모델들이 있다[3]. 하지만, 개발된 지역 환경에 대한 영향이 크게 반영되어 있지 않으므로 세계 각국에서는 자국의 환경에 맞는 전파모델을 확보하려고 노력하고 있으며, 이렇게 확보된 전파모델을 전파분석 시스템(SMIS: Spectrum Management Intelligence System)에 탑재되어 사용되었다. 그러므로 국내에서도 BCAST(Broadcast) 모델 등과 같은 여러가지 전파 모델들이 개발되었으며, 실제 이러한 전파 모델들이 방송망의 자원분석시스템에 탑재되어 전파분석에 이용되고 있다[4,5].

이에 ITU-R(International Telecommunication Union-Radio) 권고안에서는 P.370, P.529, P.1146과 같은 전파 예측 모델이 개발되어 왔지만, 이러한 권고안들은 유사하거나 동일한 방송망 환경에서조차 그 전파 예측 값이 상이한 결과를 제공해왔다[6-8]. 따라서 ITU-R 권고안 P.1546 모델은 이전의 권고안들의 한계를 극복하고 여러 방법들을 하나의 특정방법으로 압축하여 방송망 전파예측 모델로서 널리 이용되고 있다[9]. 이러한 방송망 전파예측 모델로 지상 환경에서의 지형이나 인공 장애물에 의한 산란으로 전계강도 예측은 매우 복잡한 작업이다. 이에 ITU-R 권고안 P.1546 모델은 전계강도 예측을 위해 여러가지 인자(factor)들 중에서 송신국/기지국 안테나의 실효 높이, 수신국/이동국 안테나 높이의 함수로 보정하여, TCA(Terrain Clearance Angle)의 함수로 보정을 포함하고 있다[10].

한편, 방송망 주파수 자원분석을 위해 국내에서도 진행된 측정결과를 바탕으로하여 ITU-R 권고안 P.1546 모델의 일부 인자에 대한 보정이 이루어졌다 [5,11]. 국내의 대도시 지역에서 DTV 방송서비스에 대한 전계강도 측정을 수행하여 측정된 데이터와 SMIS 예측모델인 ITU-R 권고안 P.1546 모델 및

BCAST 모델에 대한 실측 및 예측하여 비교 분석한 연구는 진행되었다[12]. 그러나 국내 Rural 전파환경에서의 DTV 신호측정 및 측정 데이터를 이용한 전파 연구소의 전파자원분석시스템 내의 전파예측 모델 및 비교 분석에 대한 연구는 미비한 실정이다. 이에 본 연구에서는 국내 전형적인 Rural 지역에서의 전파 환경으로 전주 모악산에서 변산반도에 이르는 약 50km 전파경로에 대하여 약 4000개의 측정 포인트에서 전주 모악산 중계소로부터 수신되는 551 MHz KBS 제1DTV, 587 MHz JTV DTV, 635 MHz MBC DTV, 653 MHz KBS 제2DTV, 665 MHz EBS DTV의 5개 방송서비스와 관련된 주파수에 대해 측정한 후, 측정된 데이터와 SMIS 예측모델인 ITU-R 권고안 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대한 실측/예측 비교 분석 및 이의 오차분석을 수행하여 SMIS의 성능을 개선하고자 한다.

II. 전파예측 모델

전파모델 BCAST은 방송구역 전계강도의 기준 제공, 방송서비스에 대한 예측모델로서 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.

ITU-R 권고안 P.1546 전파모델은 30 MHz ~ 3 GHz 주파수 범위에서 지상 서비스를 위한 point-to-area 전파예측을 위한 방법을 설명하고 있으며, 3000 m 이하의 유효 송신 안테나 높이에서 1~1000 km 길이의 육상, 해상 또는 육상-해상 복합경로에 대한 대류권 무선회로에서 사용한다. 예측방법은 거리, 안테나 높이, 주파수 및 % 시간의 함수의 전계강도 곡선으로부터 내삽법/외삽법에 근거하여 계산 과정은 TCA 및 TCO(Terminal Clutter Obstructions)를 보상하기 위해 내삽법/외삽법으로 얻어진 결과에 대한 보정을 포함하고 있다.

ITU-R 권고안 P.1546 모델에서 안테나 높이에 대

한 전계강도를 보정 예는 다음과 같다[9].

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log(h_1/h_{inf})}{\log(h_{sup}/h_{inf})} \text{ dB}(\mu\text{V}/\text{m}) \quad (1)$$

여기서, E_{inf} 와 E_{sup} 는 각각 원하는 거리에서 h_{inf} (h_1 보다 작은 nominal 값) 와 h_{sup} (h_1 보다 큰 nominal 값)에 대한 전계강도를 의미한다.

한편, 송신/기지 안테나 높이, h_1 은 15 km 이내의 육상경로에서 지형정보를 이용할 수 없는 경우, 다음의 식을 이용한다.

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

여기서, h_a 는 지상 안테나 높이이다. 육상경로에서 송신/기지 안테나의 실효높이, h_{eff} 는 수신/이동 안테나 방향의 송신/기지 안테나로부터 3~15 km 거리의 지상 평균 레벨상의 높이로 정의된다.

III. 전파 측정

3-1 측정 환경

그림 1과 전주 모악산 중계소에서 변산반도에 이르는 약 50 km에 이르는 한국의 전형적인 Rural 전파 환경의 전파 경로 프로파일을 보인다. 이 지역은 산악 및 건물 등에 의한 NLOS (non-line of sight) 전파환경 및 눈, 빙 등의 개방지에서의 LOS (line of sight) 전파환경이 공존하고 있다. 4 m 안테나 및 전계강도 측정기를 설치한 차량을 이용하여 그림 1의 전파경로 프로파일에 가장 가까운 근접도로를 따라 약 4000 개의 측정 포인트에서 전계강도 측정을 수행하였다.

3-2 측정 루트

그림 2는 GPS 수신에 의해 전주 모악산에서 변산반도에 이르는 약 50 km의 측정루트를 표시하고 있으며, 그림 3에 전주 모악산 중계소로부터 수신되는 전계강도의 스펙트럼 예를 보인다. 그림 3의 스펙트

럼은 LOS 환경에서의 측정된 이미지로 80 dBμV/m 의 높은 전계강도를 보이고 있다. 본 측정에서는 모악산 중계소로부터 수신되는 551 MHz KBS 전주 제 1DTV, 587 MHz JTV DTV, 635 MHz MBC 전주 DTV, 653 MHz KBS 제2DTV, 665 MHz EBS DTV의 5개 방송서비스에 대해 도로를 따라 차량으로 이동하면서 측정을 수행하였다.

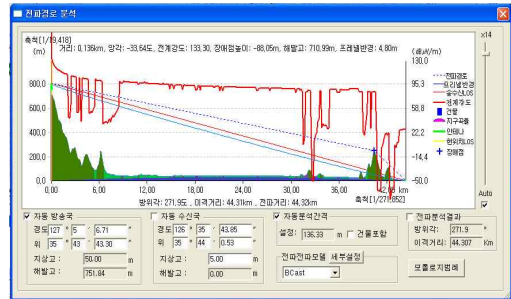


그림 1. 측정환경 프로파일

Figure 1. Profile for measuring environment

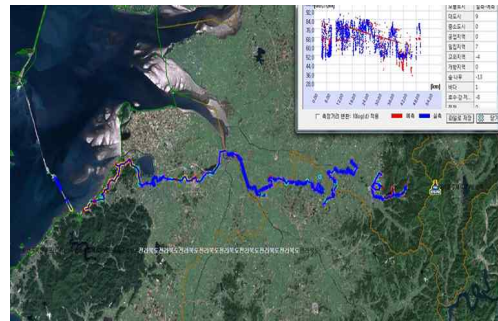


그림 2. 측정 루트

Figure 2. Measured route

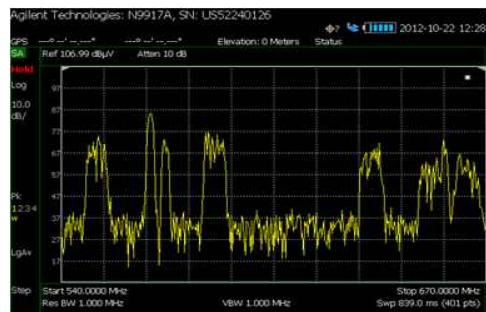


그림 3. 측정 스펙트럼 예

Figure 3. Examples of measured spectrum

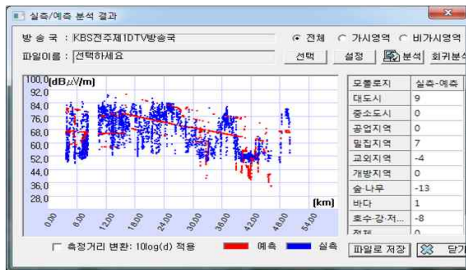
IV. 전파예측 모델과 측정 비교 분석

4-1 LOS 및 NLOS 전파환경

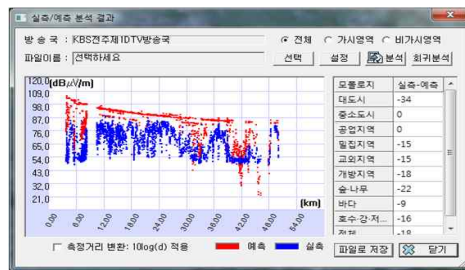
그림 4는 551 MHz KBS 전주 제1DTV 방송 서비스의 측정된 데이터를 SMIS 시스템에 입력하여 시간 및 공간을 50%, 수신기 높이 4 m에서 건물포함을 적용했을 때, 551 MHz에서 BCAST 모델 및 ITU-R 권고안 P.1546 모델을 사용하여 LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려한 실측과 예측 데이터의 분포를 비교한 것이다. 실측치는 48~94 dB μ V/m 분포에 대해, ITU-R 권고안 P.1546 모델은 34~90 dB μ V/m, BCAST 모델은 21~104 dB μ V/m로 폭넓은 분포를 보이고 있다.

좀 더 구체적으로 분석하기 위해 Matlab 프로그램에 의한 데이터 분포를 그림 5에 나타내었다. ITU-R 권고안 P.1546 모델에서는 그림 1의 지형 프로파일과 식(2)의 대표적인 입력값은 $h_a = 57$ m, $h_{eff} = 751$ m로 추정할 수 있으며, 이를 이용한 ITU-R 권고안 P.1546 모델의 이론치를 그림 5에 실선으로 나타내었

다. 실선은 전계강도분포의 추이곡선으로 이용할 수 있지만, 실제 측정 및 여러 전파특성을 고려한 보정치 반영이 되어 있지 않아 예측치로 이용하는 것은 불가능하다. 그림 5로부터 ITU-R 권고안 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 6의 실측-예측 오차에서 알 수 있듯이 오차평균은 ITU-R 권고안 P.1546 모델이 -0.49로 중심에 놓이나 BCAST 모델은 -18.2로 실측치보다 매우 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 ITU-R 권고안 P.1546 모델의 9.82에 비해, BCAST 모델은 10.13으로 오차편차가 약간 크다는 점을 알 수 있다. 마찬가지로 그림 7의 실측/예측 전계강도 분포에서 알 수 있듯이 ITU-R 권고안 P.1546 모델은 대각선의 상하로 분포하고 있지만, BCAST 모델은 예측치가 오른쪽에 치우치고 있다.



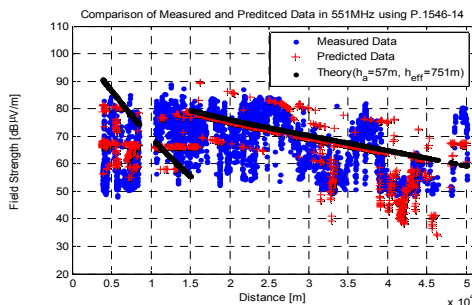
(a) P.1546



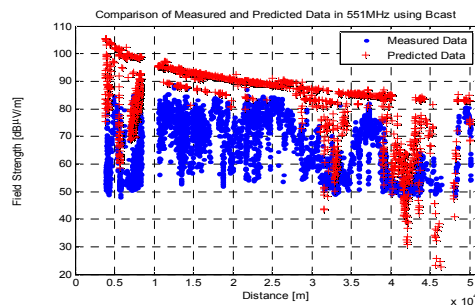
(b) BCAST

그림 4. SMIS 실측/예측 데이터 비교

Figure 4. Comparison of measured and predicted values using SMIS



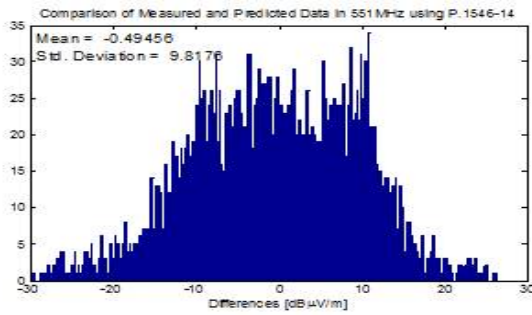
(a) P.1546



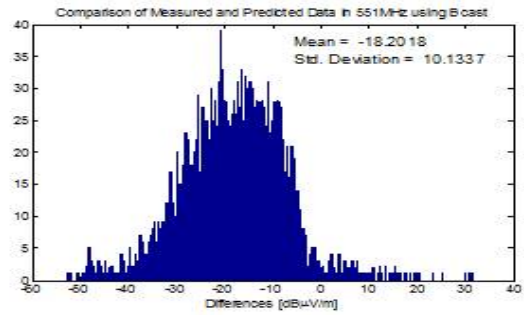
(b) BCAST

그림 5. 거리에 따른 실측/예측 전계강도

Figure 5. Measured and predicted field strength with distance

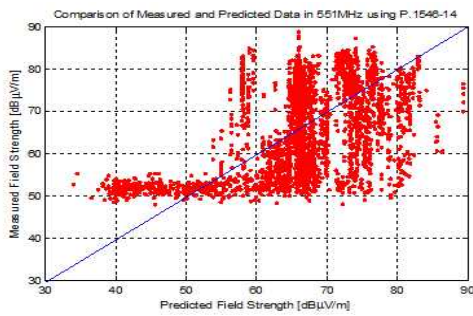


(a) P.1546

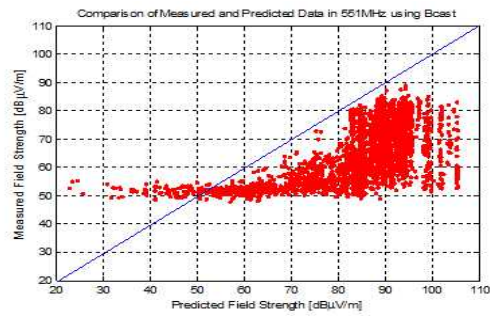


(b) BCAST

그림 6. 실측/예측 전계강도 오차 분포
Figure 6. Error distribution of measured and predicted field strength



(a) P.1546



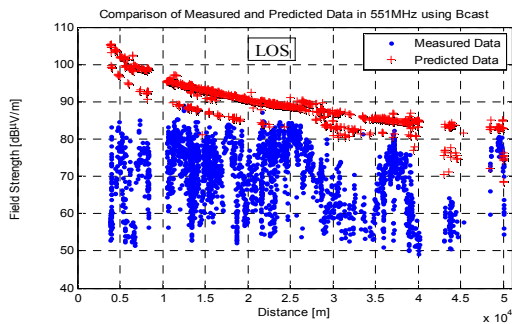
(b) BCAST

그림 7. 실측/예측 전계강도 분포
Figure 7. Distribution of measured and predicted field strength

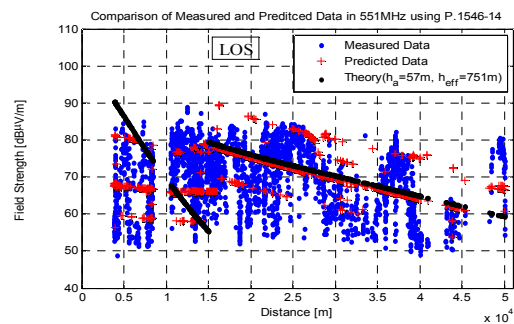
4-2 LOS 전파환경

그림 8은 SMIS 시스템에서 551 MHz LOS 전파환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 Matlab 프로그램으로 ITU-R 권고안 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. ITU-R 권고안 P.1546 모델은 예측치가 실측치내에 분포하고 있지만,

BCAST 모델은 실측치 보다 상당히 높게 분포하고 있다. 이는 그림 9에서 알 수 있듯이 ITU-R 권고안 P.1546모델이 실측-예측 오차 평균치가 0.44인데 반해, BCAST 모델은 -19.5로 평균적으로 19 dBuV/m 이상 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.8 및 9.2로 유사한 편차 분포를 보이고 있지만, 나무나 숲에 의한 페이딩 현상을 고려하지 못하고 있는 실정이다.

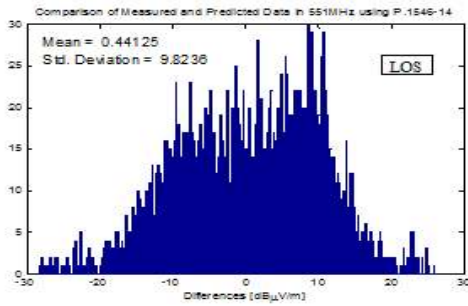


(a) P.1546

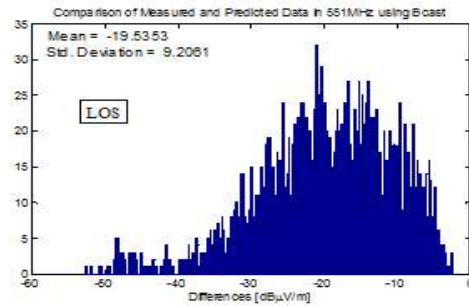


(b) BCAST

그림 8. 거리에 따른 실측/예측 LOS 전계강도
Figure 8. Measured and predicted LOS field strength with distance



(a) P.1546



(b) BCAST

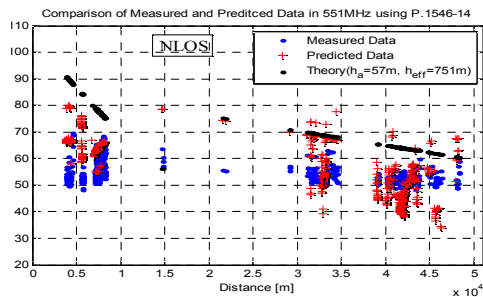
그림 9. 실측/예측 LOS 전계강도 오차 분포

Figure 9. Error distribution of measured and predicted LOS field strength

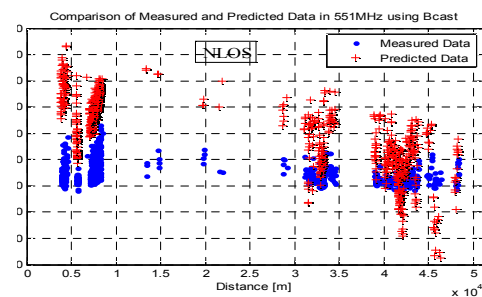
4-3 NLOS 전파환경

그림 10는 SMIS 시스템에서 551 MHz NLOS 전파 환경에 대해서만 실측 및 예측 데이터를 추출하여 Matlab 프로그램으로 ITU-R 권고안 P.1546 모델 및 BCAST 모델에 대해 비교한 것이다. 이로부터 ITU-R 권고안 P.1546 모델은 어느 정도 유사하게 분포하나, BCAST 모델의 예측치는 실측치에 비해 상당히 높게

예측되고 있다. 그림 11의 ITU-R 권고안 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 ITU-R 권고안 P.1546 모델보다 평균적으로 약 11 dBμV/m 더 높게 예측되고 있다. 한편, 표준편차는 각각 9.14 및 11.6으로 BCAST 모델이 ITU-R 권고안 P.1546 모델보다 편차가 심한 편이다.



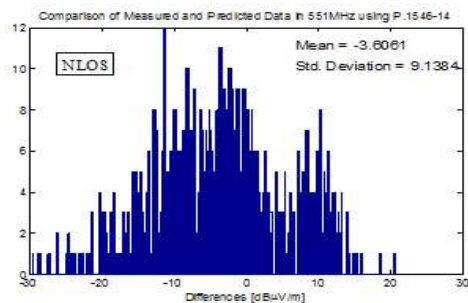
(a) P.1546



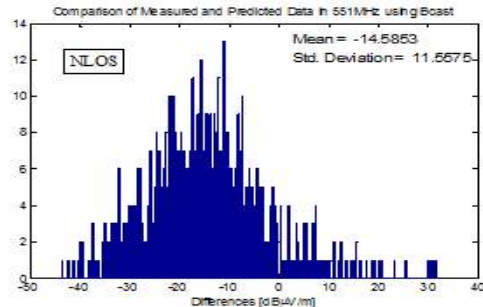
(b) BCAST

그림 10. 거리에 따른 실측/예측 NLOS 전계강도

Figure 10. Measured and predicted NLOS field strength with distance



(a) P.1546



(b) BCAST

그림 11. 실측/예측 NLOS 전계강도 오차 분포

Figure 11. Error distribution of measured and predicted NLOS field strength

V. 분석 결과

표 1은 전주 모악산에서 변산반도에 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 ITU-R 권고안 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 15 dB μ V/m 이상 높게 예측되고 있어, 숲과 나무에 의한 페이딩, 바다에 의한 반사파의 영향 등에서 큰 오차를 가져오고 있다. 한편, 표준편차 분석에서는 ITU-R 권고안 P.1546 모델이 주파수에 따라 9.82~10.4, BCAST 모델이 10.1~10.6으로 유사한 편차를 보이고 있다.

LOS만의 전파환경에서는 오차평균에서 ITU-R 권고안 P.1546 모델이 0.44~3.64로 조금 낮게 예측되고 있으나, BCAST 모델은 -16.8~-19.5의 16 dB μ V/m 이상 높게 예측되고 있다. 표준편차에서는 ITU-R 권고안 P.1546 모델이 9.82~10.5, BCAST 모델이 9.21~9.60으로 유사하지만, 전체 전파환경에서보다 오히려 ITU-R 권고안 P.1546 모델의 편차가 약간 높게 나타났다. 그러나, NLOS 환경에서는 ITU-R 권고안 P.1546 모델이 LOS 환경과 유사한 편차를 보이는 반면, BCAST 모델은 11.6~12.1로 LOS 환경보다는 약간의 큰 편차를 보이고 있다. 전주 모악산에서 변산반도에 이르는 산악 및 개방지역에서 DTV 방송서비스에 대해 ITU-R 권고안 P.1546 모델은 실측-예측 오차평가

에서 BCAST 모델보다 적합한 예측모델로 평가되고 있으며, BCAST 모델의 큰 예측 오차 원인분석 및 가로수, 숲에 의한 페이딩 현상이라든지 해안에 의한 덕팅 반사파 등을 고려한 측정 데이터 분석 등이 요구되고 있다.

VI. 결 론

본 연구에서는 국내 Rural 전파환경에서의 DTV 방송망 관련 전파자원분석시스템인 SMIS 시스템의 개선을 목표로 전주 모악산에서 변산반도에 이르는 약 50km 전파경로에서 전주 모악산 중계소에 수신되는 방송 주파수에 대한 실측-예측 오차에 대한 평균 및 표준편차를 구하였다.

LOS 및 NLOS 전파환경을 모두 고려했을 때 국내 Rural 전파환경인 전주 모악산에서 변산반도에 이르는 산악 및 개방지역에서 DTV 방송서비스에 대해 ITU-R 권고안 P.1546 모델은 실측-예측 오차평가에서 BCAST 모델보다 적합한 예측모델로 평가되고 있으며, 향후 BCAST 모델의 큰 예측 오차 원인분석 및 가로수, 숲에 의한 페이딩 현상이라든지 호수 및 해안에 의한 덕팅 반사파 등을 고려한 측정 데이터 분석 등이 요구되고 있다.

따라서 수행된 국내 Rural 지역에서 DTV 방송망 관련 전파 모델에 의한 전파측정치와 전파 분석시스템인 SMIS의 예측치의 비교 및 분석을 통한 SMIS 시스템의 개선방안에 대한 연구가 필요할 것이다.

표 1. 실측/예측 오차 평균 및 표준편차

Table 1. Error average and standard deviation of measured and predicted values

		KBS 전주 제1DTV (551 MHz)		JTV DTV (587 MHz)		전주 MBC DTV (635 MHz)		KBS 전주 제2DTV (653 MHz)		EBS 전주 DTV (665 MHz)	
		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

Reference

[1] K. Para and N. Noori, "Tuning of the propagation model ITU-R P.1546 Recommendation," *Progress in Electromagnetics Research B*, Vol.8, pp.243-255, 2008.

[2] Y. H. Kang, "Study on the Spectrum Sharing based on Analysis of Channel Interference between LTE/LTE-Advanced Systems," *JKONI*, Vol.16, No.2, pp219-226, April, 2012.

[3] Rappaport, *Wireless Communications Principles & Practice*, Prentice Hall, 2002.

[4] Notification of MSIP, *The Frame Point and the Expression Method for the Requirement of Field Strength in Broadcasting Area*, Vol.2013-155, 2013

[5] RRA Report, *A Study on the Illustration of Analysis Algorithm for Broadcasting Network*, 2008.

[6] ITU-R Recommendation P.370-7, "VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30MHz to 1000MHz," Oct. 1999.

[7] ITU-R recommendation P.529-3, "Prediction methods for the terrestrial land mobile services in the VHF and UHF bands," Oct. 1995.

[8] ITU-R Recommendation P.1146, "The prediction of field strength for land mobile and terrestrial broadcasting services in the frequency range from 1 to 3GHz," Oct. 1999.

[9] ITU-R Recommendation P.1546-4, "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30MHz to 3000MHz," Oct. 2009.

[10] E. Ostlin, H. Suzuki, H.-J. Zepernik, "Comparison and evaluation of ITU-R Recommendation P.1546 versions", *IEEE Semiannual Vehicular Technology Conference*, vol. 6, Melbourne, Victoria, pp.2896-2900, 2006

[11] RRA Report, *A Study on the Frequency Resources Analysis Algorithm for Broadcasting Network*, 2007.

[12] Y.H. Kang, Y.K. Kwon, H.S. Kim, "Comparison of propagation models based on DTV field strength measurement in urban environment", *JKONI*, Vol.17, No.5, pp.484-490, Oct., 2013.

강 영 흥 (Young-Heung Kang)



1984년 2월: 한국항공대학교 통신공학과 (공학사)
 1986년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학석사)
 1993년 2월: 한국항공대학교 전자공학과 (공학박사)
 1988년 3월 ~ 1990년 2월 한국항공대학교

통신공학과 조교

1995년 8월 ~ 1996년 8월: 일본 오사카대학 객원교수
 2003년 8월 ~ 2005년 2월: 영국 York대학 방문교수
 1990년 4월 ~ 현재: 군산대학교 전자정보공학부 교수
 관심분야 : 위성통신공학, 통신공학, 이동통신공학, 정보통신 표준화, USN

정 재 필 (Jae-Pil Chung)



1985년 2월 : 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1989년 8월 : 단국대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 2000년 8월 : 한국항공대학교 대학원 통신정보공학과 (공학박사)
 1989년 8월~1990년 12월 : (주)동양 전자통신 중앙연구소 연구원

1990년 12월~1992년 3월 : (주)케이피코 기술연구소 연구원
 1994년 2월~현재 : 가천대학교 정보공학부 교수
 관심분야 : 이동통신, 무선통신, 통신신호처리, WBAN