

주파수자원분석시스템 탑재 전파모델 ITU-R P.526, P.1546, P.1812의 검증 및 분석

김동우* · 오순수**

Verification and Analysis for Recommendation ITU-R P.526, P.1546, P.1812 of Propagation Model Loaded in Spectrum Management Intelligent System

Dong-Woo Kim* · Soon-Soo Oh**

요약

무선기술 및 통신 서비스의 급속한 발전에 따라 주파수 자원의 부족과 인접 대역 전파 간섭 등의 문제가 지속적으로 제기되고 있다. 해결방안으로 정부에서는 주파수자원분석시스템(Spectrum Management Intelligent System, SMIS)을 운영 중이다. 본 논문은 주파수자원분석시스템의 신뢰성을 검증하기 위하여, SMIS 시뮬레이션 값을 상용툴 ATDI 결과값 및 ITU-R Matlab 코드 결과값과 비교하였다. 전파 모델 중 방송망과 연관이 있는 권고서 ITU-R P.526, P.1546, P.1812를 선정하였다. 분석 결과, SMIS의 추출값은 전체적으로 1dB이내의 작은 오차를 갖는다. 본 연구는 향후 주파수 분배와 인접 대역간 간섭분석 정책 수립과 연구 개발 등에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

ABSTRACT

Problems such as a limited frequency resource and interference between adjacent bands have been continuously raised because of rapidly developing wireless technology and communication service. In order to solve that problem, government has been developed and operating the Spectrum Management Intelligent System(SMIS). This paper compares the results simulated by SMIS with the ATDI and the Matlab coded provided by ITU-R for verification of SMIS operating for the public interests. The Recommendation ITU-R P.526, P.1546, and P.1812 among the propagation model loaded in SMIS were chosen because of the relation to the broadcasting service. The comparison and analysis result shows that the outputs derived by SMIS has the small error of less than 1 dB. This research could be utilized for the policy establishment and R&D for the frequency allocation and the interference between adjacent bands.

키워드

SMIS, Propagation model, P.526, P.1546, P.1812
주파수 자원 분석 시스템, 전파 전파 모델, P.526, P.1546, P.1812

* 조선대학교 전자공학부 (dwkim@chosun.kr)

† 교신저자 : 조선대학교 전자공학부

• 접수일 : 2021. 02. 19

• 수정완료일 : 2021. 03. 19

• 게재확정일 : 2021. 04. 17

• Received : Feb. 19, 2021, Revised : Mar. 19, 2021, Accepted : Apr. 17, 2021

• Corresponding Author : Soon-Soo Oh

Department of Electronics Engineering, Chosun University.

Email : ssoh@chosun.ac.kr

I. 서 론

최근 5G 이동통신서비스 상용화 등 무선기술과 통신기술이 급격하게 발전하고 있으며, 물리적인 거리 및 시간을 축소하여 사용자에게 고품질의 무선 통신 서비스 환경을 제공하였다. 반면에, 수많은 무선 서비스의 개발로 인해 중요한 전파자원인 주파수가 포화한 상태에 이르렀고 대책 방안이 시급하다. 특히 공공망 성격의 방송망과 군사망 등에서 전파간섭의 영향 분석이 중요한 현상으로 대두되고 있다[1].

국제 전기 통신 연합(: International Telecommunication Union Radiocommunication Sector, ITU-R)은 세계적으로 이용되는 무선주파수 스펙트럼의 합리적 사용을 보장하기 위한 업무를 수행한다. 매년 각 나라의 대표들을 모아 회의를 진행하고 권고안을 제정 및 개정하고 있다[2-4]. ITU-R 권고안에 참고하여 우리나라 연구진도 전파 모델 개발 연구에 적극적으로 수행하고 있다[5-6].

권고서 ITU-R P.1546은 방송망 주파수 대역에서 널리 이용되고 있는 대표적인 전파 모델이다[2]. 경험 기반의 측정결과에서 여러 파라미터, 송/수신 안테나 높이, 송/수신 지역의 장애물(clutter) 높이, TCA(: Terrain Clearance Angle), 대류권 산란 등 보정치를 계산하고 더하는 방식이다.

권고서 ITU-R P.526은 주로 다양한 장애물 유형과 경로에 대한 회절효과 평가를 다루는 모델로써, 지형 정보를 입력받아 Bullington 모델을 활용하여 장애물 회절 손실을 계산한다[3].

권고서 ITU-R P.1812 전파 모델은 고도화된 디지털 지형 데이터를 이용하여 자유 공간에서 경로 손실, 지형에 의한 회절 손실, 대류권 산란 손실 그리고 ducting 현상을 반영하여 전계강도를 산출한다[4].

현재 과학기술정보통신부의 국립전파연구원에서는 투명하고 유연한 주파수 관리체계를 위하여 주파수자원분석시스템 SMIS(: Spectrum Management Intelligent System)을 개발 및 운영중에 있다[7]. 본 시스템은 지형정보를 이용한 유허 주파수를 탐색하고 기존 무선통신망과의 양립 및 공유 가능성 분석을 수행한다. 또한 주파수 국제등록, 무선국 허가 심의, 전파 정책 업무 등에 필요한 다양한 기술분석 등의 자료를 제공하고 있다[7].

국내외에서는 방송망 관련한 전파모델을 상호 비교하는 연구를 수행하고 있다[8-10]. 국내에서는 방송망 주파수 자원분석을 위해 SMIS의 ITU-R P.1546 결과값을 실제 측정값과 비교하고 오차를 제시하였지만 [8], SMIS 구현 관점의 정확성 및 신뢰성의 검증과는 거리가 멀다고 할 수 있다. 한편 국외에서는 ITU-R P.1546 뿐만 아니라 ITU-R P.1812도 상호 비교하는 연구를 수행하고 있다[9-10]. 따라서 국내에서 공공 자원인 주파수 관리 및 간섭 분석 등을 위하여 개발 및 운영 중인 SMIS에 대하여 전파모델 구현 관점에서 정확성 및 신뢰성 검증이 필요하다. 아울러 세계적인 추세에 맞추어, ITU-R P.1546 모델 뿐만 아니라, ITU-R P.1812와 회절모델 ITU-R P.526에 대한 검증이 필요하다고 할 수 있다.

본 논문에서는 과학기술정보통신부의 국립전파연구원에서 개발 및 운영 중인 주파수자원분석시스템(SMIS)의 정확성 및 신뢰성 검증을 위하여 방송망과 관련한 권고서 ITU-R P.526, P.1546, P.18123의 3가지 전파모델을 선정하고, 비교 분석한 결과를 제시한다. 비교 대상 값은 ITU-R에서 제공하는 Matlab 코드[11-12]와 상용소프트웨어인 ATDI[13]로부터 도출하였다. 그리고 세가지 틀의 차이값을 정리하여 SMIS 예측치의 정확도를 직관적으로 제시하였다.

II. 권고서 ITU-R P. 1546

2.1 검증 과정

본 논문에서 기술하는 전파모델의 검증절차는 다음과 같다.

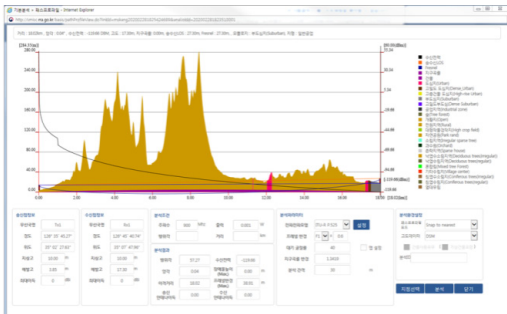
- (1) 먼저 송신과 수신지점을 선정한다.
- (2) SMIS로부터 경로 프로파일을 추출한다.
- (3) 추출한 경로 프로파일을 SMIS와 ITU-R Matlab 코드, ATDI에 입력하여 결과값을 도출한다.

표 1은 권고서 ITU-R P.1546 검증을 위하여 선정된 경로의 송신과 수신지점의 GPS 좌표이다. SMIS와 ATDI는 GPS좌표를 입력할 때 서로 다른 단위를 지원하므로, 표 1과 같이 decimal과 도분초로 각각 표현하였다.

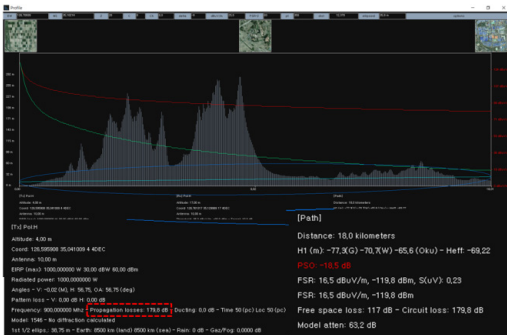
표 1. Rec. ITU-R P.1546 검증 경로의 송신과 수신 지점의 GPS 좌표

Table 1. GPS coordinate of the transmitter and receiver for the Rec. ITU-R P.1546 verification

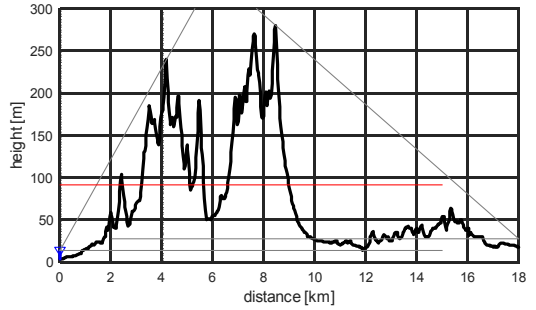
P.1546		Transmitter		Receiver	
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
Path 1	SMIS	126°35" 45.27"	35°02" 27.63"	126°45" 40.74"	35°07" 47.96"
	ATDI	126.595908	35.041009	126.761317	35.129989
Path 2	SMIS	126°47" 36.18"	34°55" 8.01"	126°45" 40.74"	35°07" 47.96"
	ATDI	126.793383	34.918891	126.761317	35.129989
Path 3	SMIS	126°38" 34.29"	34°57" 45.12"	126°38" 28.52"	35°06" 59.92"
	ATDI	126.642858	34.962533	126.641256	35.115811



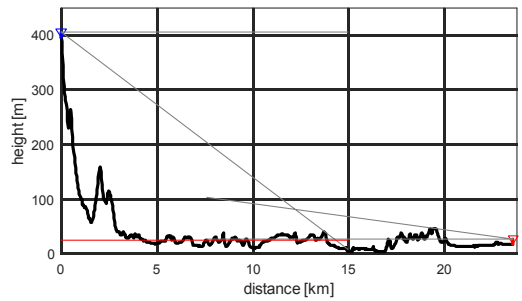
(a) 경로1의 SMIS 캡처
(a) SIMIS capture for path 1



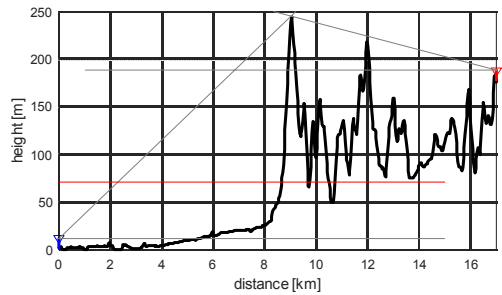
(b) 경로1의 ATDI 캡처
(b) ATDI capture for path 1



(c) 경로1의 ITU-R Matlab 캡처
(c) ITU-R Matlab capture for path 1



(d) 경로 2
(d) path 2



(e) 경로 3
(e) path 3

그림 1. Rec. ITU-R P. 1546 검증을 위한 경로 3의 경로 프로파일

Fig. 1 Path profile of Rec. ITU-R P. 1546 Matlab code for path 3

표 1의 송신과 수신지점으로부터 경로 프로파일을 추출한다. 본 논문에서는 SMIS를 활용하여 경로 프로파일을 추출하였다. 상용툴인 ATDI에서도 경로 프로파일을 추출할 수 있지만 고정 간격이 아닌 임의간격이 추출이 되는 문제점을 가지고 있다. 또한 ATDI

표 2. Rec. ITU-R P. 1546 검증을 위한 입력 파라미터
Table 2. Input parameters for verification of Rec. ITU-R P.1546

Parameter	Path 1	Path 2	Path 3
Tx power (kW)	1	1	1
Frequency f (MHz)	900	900	900
Horizontal path length d (km)	18.02	23.59	17
Land path (km)	18.02	23.59	17
See path (km)	0	0	0
Percentage time t (%)	50	50	50
Percentage location q (%)	50	50	50
Tx antenna height a. g. ha (m)	10	10	10
Rx antenna height a. g. h2 (m)	10	10	10
Rx clutter type	Suburban	Suburban	Rural
Altitude height	DEM		

에서 추출한 경로 프로파일의 고도값은 정수형으로 출력되므로 배제하였다.

그림 1은 3개 경로 프로파일을 SMIS, ATDI, Matlab을 이용해 도시한 것이다. 경로 프로파일은 동일하지만, GUI(Graphical User Interface) 화면은 틀에 따라 다를 수 있다. 이후 도시할 경로 2 및 경로 3 프로파일에 대해서는 중복성 및 지면의 부족으로 SMIS와 ATDI의 캡처화면은 생략한다. 그림 1에서 좌측끝은 송신기가 위치하고, 우측끝은 수신기가 위치한다. 그림 1(c)-(e)의 Matlab 코드 캡처화면에서 표현된 청색 실선은 송신에서 수신까지 일직선으로 도시한 것이며, 적색 실선은 송신으로부터 15km까지 거리를 나타낸 것이다.

표 2는 시뮬레이션을 위한 입력값이다. 송신출력은 1kW, 주파수는 900MHz로 설정하고, 시간 및 공간 확률은 50%로 설정하였다. 또한 송수신 안테나 높이는 공통으로 10m로 설정하였다. 수신지역의 모폴로지에 의해 수신 방해물 높이가 결정되며 결정값들은 P.1546 권고서에 정의한다. 본 논문에서 비교하는 3가지 툴 (SMIS, ITU-R Matlab, ATDI)의 입력 설정 옵션은 차이가 존재한다. 따라서 정확한 비교를 위하여 표 2와 같이 입력 파라미터를 공통으로 일치시켰다.

2.2 비교 및 분석 결과

표 3과 표 4는 SMIS의 결과를 ITU-R의 전계강도와 ATDI의 전파전파 손실값과 경로별로 비교한 표이

표 3. Rec. ITU-R P.1546에 대한 SMIS와 ITU-R Matlab 코드 출력값 비교

Table 3. Comparison of results from SMIS and ITU-R Matlab code for Rec. ITU-R P.1546

Path	SMIS (dBuV/m)	ITU-R (dBuV/m)	Difference (dB)
1	3.58	3.58	0.00
2	67.46	67.42	0.04
3	15.03	15.08	0.05

표 4. Rec. ITU-R P.1546에 대한 SMIS와 ATDI 출력값 비교

Table 4. Comparison of results from SMIS and ATDI for Rec. ITU-R P.1546

Path	SMIS (dB)	ATDI (dB)	Difference (dB)
1	180.63	179.8	0.83
2	130.97	131.30	0.33
3	177.31	177.40	0.09

다. 각각 분류해서 비교한 이유는, 각 툴의 최종 출력값 단위 및 종류가 다르기 때문이다. 즉, ITU-R의 Matlab코드는 전계강도로 산출이 되고, ATDI는 전파 손실값으로 최종적으로 산출이 된다.

표 3에서 SMIS의 전계강도 및 ITU-R Matlab 코드의 출력값은 소수점 첫째자리까지 일치하였다. 소수점 두 번째 자리의 오차는 계산과정에서 발생하는 반올림자리 차이로 판단된다.

표 4에서 SMIS 및 ATDI로 출력된 전파전파 손실차이는 1 dB 미만인 것을 확인할 수 있다. 표 3의 ITU-R Matlab코드의 차이에 비교하여 오차가 상대적으로 큰 이유는, ATDI 경로 프로파일의 해발고도 데이터 형태가 정수이기 때문인 것으로 판단된다.

III. 권고서 ITU-R P. 526

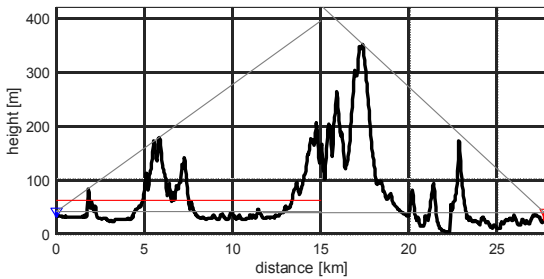
3.1 검증 과정

본 절의 권고서 ITU-R P.526의 검증도 앞 절의 P.1546과 동일한 과정으로 수행한다. 표 5는 권고서 ITU-R P.526의 검증을 위한 송신지점과 수신지점의 GPS 좌표를 정리한 것이다. 총 3개의 경로를 선정하였으며, 앞 절의 P.1546 검증 방법과 마찬가지로 Decimal 및 도분초 단위로 분류하였다. P.526의 Bullington 손실값은 P.1812 내부의 회절손실값으로

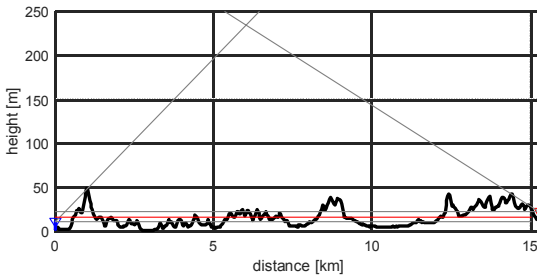
표 5. Rec. ITU-R P.526 및 P.1812 검증 경로의 송신과 수신 지점의 GPS 좌표

Table 5. GPS coordinate of the transmitter and receiver for the Rec. ITU-R P.526 and P. 1812 verification

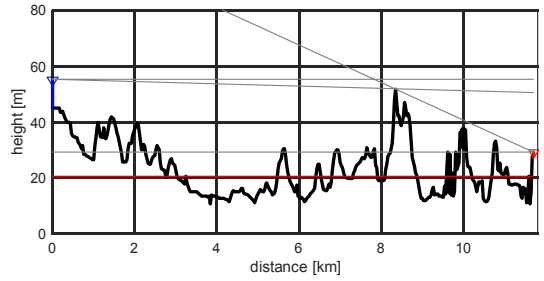
P.526/1812		Transmitter		Receiver	
		Longitude	Latitude	Longitude	Latitude
Path 1	SMIS	126° 40" 52.54"	35° 12" 1.80"	126° 41" 21.07"	34° 57" 4.03"
	ATDI	126.681262	35.200499	126.689186	34.951119
Path 2	SMIS	126° 34" 49.97"	34° 51" 44.86"	126° 42" 20.73"	34° 57" 12.95"
	ATDI	126.580568	34.862462	126.705759	34.953598
Path 3	SMIS	126° 43" 12.95"	35° 07" 16.93"	126° 43" 20.33"	35° 00" 58.01"
	ATDI	126.720263	35.121369	126.722313	35.016114



(a) 경로 1
(a) Path 1



(a) 경로 2
(b) Path 2



(c) 경로 3
(c) Path 3

그림 2. Rec. ITU-R P. 526 및 P.1812 검증을 위한 경로 1의 경로 프로파일

Fig. 2 Path profile of Rec. ITU-R P. 526 and P.1812 Matlab code capture

표 6. Rec. ITU-R P.526 및 P.1812 검증을 위한 입력 파라미터

Table 6. Input parameters for verification of Rec. ITU-R P.526 and P.1812

Parameters	Value
Ptx	1W
DN	40
NO	328.375
dct	500
dcr	500
Altitude height	DEM

이용되므로, 본 논문에서는 같은 경로에서 P.526과 P.1812의 검증 과정을 수행한다.

표 5의 송신에서 수신지점까지 경로 프로파일은 SMIS로 추출하였다. 그림 2는 표 5의 경로 프로파일을 ITU-R의 Matlab 코드로 도시한 것이다.

표 6은 ITU-R P.526 검증용 입력 설정값이다. 대기 굴절률 및 지면 굴절률은 40 및 328.375m로 설정하였다. SMIS와 ATDI는 P.526의 최종 출력값으로 회절손실값을 표시한다.

3.2 비교 및 분석 결과

앞 절의 절차에 따라 SMIS, ITU-R Matlab 코드, ATDI 상용툴을 활용하여 경로 1부터 3까지의 ITU-R P. 526 Bullington 회절손실을 값을 구하였고, 표 7에 정리하였다.

표 7의 결과값을 비교하면, 모든 경로에서 1dB 미

표 7. Rec. ITU-R P.526에 대한 SMIS와 ITU-R Matlab 코드, ATDI 출력값 비교

Table 7. Comparison of results from SMIS, ITU-R Matlab code, and ATDI for Rec. ITU-R P.526

Path	SMIS (dB)	ITU-R code (dB)	ATDI (dB)	Difference (dB)	
				SMIS-ITU-R	SMIS-ATDI
1	43.28	43.20	43.00	0.08	0.28
2	42.66	42.67	41.90	0.01	0.76
3	21.20	20.90	21.40	0.30	0.20

만의 작은 오차를 가짐을 알 수 있다. 다만, ATDI의 오차가 더 큰 이유는 SMIS와 ATDI가 다른 기반 좌표계를 사용하기 때문에 경로 프로파일이 차이가 발생한다. 즉, ATDI의 좌표계는 경위도 기반이고, 반면에 SMIS는 UTMK (Universal Transverse Mercator Coordinate System -K) 좌표계를 사용한다. 또한 ATDI는 고도데이터 및 곡률반경이 정수형으로 구성되어 있고, 반면에 SMIS는 실수형으로 구성된다. 기반 좌표계와 데이터 형태의 차이로 서로 다른 Bullington edge 형성하여 회전손실의 오차가 발생한 것으로 판단한다.

IV. 권고서 ITU-R P. 1812

4.1 검증 과정

권고서 ITU-R P. 1812는 30MHz부터 3GHz 대역에서 점 대 지역 방송서비스를 위한 고도화된 디지털 지형 데이터를 이용한다. 자유 공간에서 경로 손실 및 지형에 의한 회절 손실 값을 평가하고, 추가적으로 대류권 산란 손실과 Ducting 현상을 반영하여 전계강도를 산출해 내는 전파 모델이다. 여기서 지형에 의한 회절 손실은 P.526의 Bullington 회절손실이다. 따라서 본 장의 P.1812의 검증용 경로는 3장의 표 5의 좌표를 참고하여 동일하게 설정하였다. 따라서 경로 프로파일도 그림 2와 같다. 또한 P.1812 시뮬레이션을 위한 입력 파라미터 설정값은 3장 표 6을 참고하였다.

4.2 비교 및 분석 결과

표 8은 SMIS 결과값을 ITU-R Matlab 코드와 ATDI 상용툴 결과값과 비교한 것이다. 그림 2의 경로

표 8. Rec. ITU-R P.1812에 대한 SMIS와 ITU-R Matlab 코드, ATDI 출력값 비교

Table 8. Comparison of results from SMIS, ITU-R Matlab code, and ATDI for Rec. ITU-R P.1812

Path	SMIS (dB)	ITU-R code (dB)	ATDI (dB)	Difference (dB)	
				SMIS-ITU-R	SMIS-ATDI
1	161.11	161.03	161.00	0.08	0.11
2	155.32	155.33	154.90	0.01	0.42
3	131.55	131.24	131.40	0.31	0.15

프로파일에서 알 수 있듯이, 그림 2(c)의 경로 3이 가장 작은 손실을 가진다. 각 톨의 결과값의 차이는 모든 경로에서 1dB 미만의 차이를 보인다. P.1812는 P.526의 회절손실값을 그대로 가져온 것이므로, 표 7의 경로 2 회전손실 값의 차이가 표 8에 그대로 반영이 되어 다른 경로보다 경로 2의 차이가 상대적으로 큰 것을 알 수 있다.

V. 결론

본 논문은 과학기술정보통신부의 국립전파연구원에서 개발 및 운영중인 주파수자원분석시스템(SMIS)의 3가지 전파모델의 시뮬레이션 결과를 ITU-R에서 제공되는 Matlab 코드와 상용툴 ATDI와 비교한 내용을 기술하고 있다. 전파예측모델은 방송망과 관련한 권고서 ITU-R P. 1546, P.526, P.1812를 선정하였다. 분석 경로를 각 3개씩 선정 후 경로 프로파일을 SMIS로부터 추출하고, ITU-R Matlab코드와 ATDI에 대입하여 동일한 설정하에 시뮬레이션을 수행하였다. 본 연구는 정확한 비교를 위해 입력 설정을 최대한 맞춤으로써 불가피하게 일부 옵션은 제외되어 ITU-R 권고서 내부의 모든 수식과 기능이 검증할 수는 없었다. 전체 내용의 검증은 추가 연구를 통하여 일일이 분석해야할 것이다. 기본 옵션 설정으로 최종 결과를 상호 비교 및 분석한 결과, SMIS의 출력값은 ITU-R Matlab 코드와 ATDI와 1dB이내의 오차를 가짐을 알 수 있었다. 본 논문에서 기술한 내용은 주파수 분배와 인접 대역간 간섭분석 정책 수립과 연구 개발 등에 활용될 수 있을 것으로 예상된다.

감사의 글

본 연구는 과학기술정보통신부 및 정보통신기술진흥센터의 정보통신·방송 연구개발사업의 일환으로 수행하였음.[2018-0-01439, 40 GHz 이하 실내외 환경의 전파특성 분석 및 예측모델 개발]

References

[1] M. Park, W. Jeon, H. Kim, and S. Kwon, "Research on variation of detection performance according to altitude of radar by using modeling and simulation method," *The J. of Korean Institute of Electromagnetic Engineering And Science*, vol. 30, no. 12, 2019, pp. 964-971.

[2] ITU-R P.1546-6, *Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 4000 MHz*, 2019.

[3] ITU-R P.1812-5, *A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands*, 2019.

[4] ITU-R P.526-15, *Propagation by diffraction*, 2019.

[5] H. Lee, O. Kim, T. Choi, and S. Oh, "An Analysis on the Propagation Prediction Model of Earth-space Communication Link using Local Data," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 14, no. 3, 2019, pp. 483-488.

[6] H. Lee and T. Choi, "An Analysis of Propagation Model in Half-Canyon Structure with Slope using Multi-Ray Model," *J. of the Korea Institute of Electronic Communication Sciences*, vol. 15, no. 1, 2020, pp. 173-178.

[7] National Radio Research Agency, URL:https://rra.go.kr/ko/license/L_fre.do

[8] Y. H. Kang and J. P. Chung. "Analysis of prediction models for DTV field strength in domestic rural propagation environment," *The J. of Korea Navigation Institute*, vol. 17, no. 6, Dec. 2013, pp. 638-645.

[9] L. Paunovska and L. Gavrilovska, "Comparison of propagation models ITU-R-P.1546 and ITU-R-P.1812,"

In *Proc. Int. Conf. on Wireless Communications, Vehicular Technology, Information Theory and Aerospace & Electronic Systems*, Aalborg, 2014.

[10] F. Costa, L. Ramirez, and M. H. Costa Dias, "Analysis of ITU-R VHF/UHF propagation prediction methods performance on irregular terrains covered by forest," *IET Microwaves, Antennas Propagation*, vol. 12, no. 8, Aug. 2018, pp. 1450-1455.

[11] ITU-R Rec. P.1546 Matlab code, URL: <https://www.itu.int/md/R15-WP3K-C-0289/en>

[12] ITU-R Rec. P.1812 Matlab code, URL: <https://www.itu.int/md/R15-WP3K-C-0245/en>

[13] ATDI. version v15.1.7, URL : <https://atdi-group.com>

저자 소개



김동우(Dong-Woo Kim)

2016년 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2018년 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

2018년~현재 조선대학교 대학원 전자공학과 공학박사 과정중

※ 관심분야 : 안테나, 통신시스템, 전파전파



오순수(Soon-Soo Oh)

1998년 인하대학교 전자공학과 졸업(공학사)
2000년 인하대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)

2003년 고려대학교 대학원 전파공학과 졸업 (공학박사)

2003~2005 University of Manitoba Post-Doc Fellow

2005~2013 한국전자통신연구원(ETRI) 선임연구원
2013~현재 조선대학교 전자공학과 부교수

※ 관심분야 : 전파전파, 안테나측정시스템, 배열안테나

