

# 송신국 파라미터를 이용한 ITU-R Rec. P.1546-3 전파예측 모델 시뮬레이터 설계

이경량\* · 최성웅\*\* · 차재상\*\*\* · 김성권\*\*\*\*

ITU-R Rec. P.1546-3 Propagation Prediction model Simulator using additional transmitting parameter

Kyung-ryang Lee\* · Sung-woong Choi\*\* · Jae-sang Cha\* · Seong-kweon Kim\*

## 요 약

국제전기통신연합(ITU)은 ITU-R을 통해 현재 많은 서비스가 이루어지고 있는 방송 및 통신 분야에서 다양한 전파 환경에 적용할 수 있는 각각의 예측 모델을 권고하고 있다. 각 전파예측모델은 예상되는 많은 채널환경의 차이를 보완하기 위한 절차를 통해 수정되며, 전파예측 판단을 위한 평가 기준으로 준비된다. 본 연구에서는 방송 환경에 적합한 점 대 영역(Point-to-Area) 모델, ITU-R Rec. P.1546-3에서, 송신국 스펙이 고려되어 있지 않은 파라미터를 보충함으로써, 각 송신국에서의 요소를 고려한 실질적인 전파 예측 모델의 구현이 가능하도록 하였다.

## ABSTRACT

International Telecommunication Union(ITU), recommended a propagation prediction models that can be applied to a various propagation environments that many services have been established in the field of broadcasting and telecommunications using ITU-R.. Each propagation prediction models are revised with the complement procedures of an expected difference of channel environment and prepared for a standard of a propagation prediction.

In this research, it is possible to realized a practical propagation prediction in each transmitting station for a broadcasting environments of ITU-R Rec. P.1546-3 model, so called the point-to-area, using supplementary parameters of the transmitting station specification.

## 키워드

ITU, propagation, 1546, prediction model, field strength

## 1. 서 론

방송통신과 같은 점 대 영역 (Point to Area) 모델의 무선통신이 이루어지는 과정에서, 전파가 지역적 경

계를 벗어나 다른 지역의 통신망에 간섭을 주는 경우가 빈번히 발생하고 있다. 특히 인접국가 사이의 통신망 또는 자국 내의 타 통신망 간에 영향을 미치는 경우에는 국가 간 외교적 문제 야기 등의 분쟁을 일으킬

\* 서울과학기술대학교 NID융합기술대학원(corenc@snut.ac.kr) \*\* 한국전자통신연구원(ETRI)(swchoi@etri.re.kr)

\*\*\* 서울과학기술대학교 매체공학과(chajs@seoultech.ac.kr)

\*\*\*\* 교신저자 : 서울과학기술대학교 매체공학과(kim12632@seoultech.ac.kr)

접수일자 : 2011. 02. 28

심사(수정)일자 : 2011. 03. 30

게재확정일자 : 2011. 04. 12

소지가 있다. 이를 위해 국제전기통신연합 (ITU : International Telecommunication Union)에서는 인접 국가간 조정 절차나 간섭 예측 및 분석 방법, 그리고 간섭기준 등에 대한 연구를 통하여 권고안을 제시하고 있다. 또한 북미지역이나 유럽 선진국 간에는 이러한 지상망간 간섭문제를 위해 ITU 권고안을 근거로 하여 실질적인 연구와 협정이 이루어져 지상망을 운용하고 있다. 위성망에 관한 조정 기준은 ITU-R의 전파규칙 (RR : Radio Regulations)에 상세히 기술되어 있으며 이를 활용한 국가 간 협정이 이루어 지고 있다.[1] 우리나라 역시 WRC(World Radio communication Conference)를 통하여 주변 국가들과의 지속적인 협의를 통해 망을 운용중이다. 하지만 지상망과 관련하여서는 우리나라 주변 국가 간 전파 간섭 문제 방지 및 해결을 위한 협정이 이루어지지 않은 상태로 사안별로 처리하고 있어, 일관성과 효율성이 결여되어 인접한 상대국으로부터의 전파 간섭 분쟁의 소지가 여전히 남아 있다.

특히, ITU-R Rec. P.1546-3 모델은 한일 간의 전파월경문제가 빈번히 일어나는 사항에 관해서 적용되는 전파예측모델로, 우리나라와 일본은 수시로, 각국의 송신국에 의한 전파월경을 측정하며, ITU-R Rec. P.1546-3 모델에 의한 실질적인 무선망 설계 가능성을 검토하고 있으나, ITU-R Rec. P.1546-3 모델에는 송신국의 자료가 반영되지 못하여, 전파월경에 관한 연구에서 실측데이터와 ITU-R Rec. P.1546-3 모델과의 오차를 비교하는데 번거로움이 있었다.

이에, 본 논문에서는 ITU-R Rec. P.1546-3 전파모델 시뮬레이터를 설계하며, 송신국의 파라미터가 포함될 수 있도록 하여, ITU-R Rec. P.1546-3 모델을 통한 한일 간의 전파월경의 실측모델 연구가 가능하도록 하였다.

## II. ITU-R Rec. P.1546-3 모델

ITU-R Rec. P.1546-3 권고안은 방송에 적합한 점대 영역(point-to-area) 전파모델에 관한 것으로 30~3000MHz 까지의 운용 주파수, 1~1000km 까지의 경로 거리, 전계강도의 확률분포인 1~50% 까지의 시간을 범위에 대한 파라미터를 사용하여, 수신전계강도를

나타내도록 되어있는 예측모델이라고 할 수 있다.[2]

표 1. Annex 6, ITU-R Rec. P.1546-3 구현 절차[1]  
Table 1. Annex 6, ITU-R Rec. P.1546-3 Application Procedure[1]

항목	구현 내용
Step 1	경로에 대한 판별 (육상경로 또는 해상 경로 또는 혼합된 다중경로)
Step 2	시간율에 대한 결정
Step 3	요구되는 주파수에 대한 결정
Step 4	요구되는 거리에 대한 결정
Step 5	근접 주파수, 거리, 송신 안테나 높이, 시간율에 대한 전계강도 결정 (송신 안테나 높이에 대한 고려)
Step 6	거리에 대한 보간
Step 7	송신 안테나에 대한 보간
Step 8	주파수에 대한 보간
Step 9	시간율에 대한 보간
Step 10	다중 경로인 경우 육상과 해상의 전계강도를 거리에 대한 보간
Step 11~17	다중 경로에 대한 전계 강도를 변환 등의 보정

이 권고안은 기본적으로 1kW ERP 송신출력으로 북해와 지중해를 중심으로 측정된 전계강도값을 활용하여 필요한 경우 누적분산함수를 통한 보간/외삽법을 수행하여, 전계강도 예측값을 산출하도록 되어있으며, 또한, TCA(Terrain Clearance Angle), tropospheric scattering, refractivity gradient 등이 고려된 채널 환경을 보정하기 위한 요소들이 고려되어 있다.

ITU-R Rec. P.1546-3 권고안은 Annex 1~8로 구성되어 있고, Annex 6 에서는 step 1~16 으로 구성되어, step 1~5 까지는 초기 파라미터 판단과 관련된 절차들이 기술되어 있고, step 6~10 까지가 전계강도에 관한 보간절차, step 12~16 까지는 보정절차가 기술되어 최종 전계강도가 계산되도록 되어 있다.

ITU-R Rec. P.1546-3 권고안 Annex 6의 보정단계는 Step 11~17의 보정 절차를 통해 보정 전계강도의 총합을 산출한다. Step 6~10까지의 보간 단계는 보간법 절차를 통해 보간 전계강도를 계산한다. Annex 8은 보정 전계강도와 보간 전계강도를 합산하고, 굴절률 요소를 적용한 전계강도를 산출함으로써 최종 예측 전계강도를 산출한다. ITU-R Rec. P.1546-3의 응

용을 위한 Annex 6의 Step 절차는 표 1과 같다.

표 2는 최종 전계 강도 산출을 위해 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안의 Annex 6에서 Step 1~17 까지지를 통하여 고려되는 입력 파라미터를 나타낸다.

### III. 송신국 파라미터를 사용한 전파모델 시뮬레이터 구현 및 결과

표 2. Annex 6, ITU-R Rec. P.1546-3 모델 입력 파라미터[1]

Table 2. Annex 6, ITU-R Rec. P.1546-3 model parameter

파라미터	단위	정의	조건
f	MHz	운용 주파수	30~3000 MHz
d	km	경로 길	1~1000 km
t	%	시간율, Annex 1, § 8에서 정의	1~50%
h <sub>1</sub>	m	송신안테나 높이, Annex 5, § 3의 수식 (4)~(7)	§ 4.1
h <sub>a</sub>	m	지면으로부터 송신안테나 높이, Annex 5, § 3.1.1.에서 정의	Annex 5, § 3
h <sub>b</sub>	m	지형정보를 사용할 수 있을 경우 0.2d와 d km사이 평균 지형높이 이상의 베이스 안테나 높이	d <15 km 인 지면경로의 경우에만 존재
송신국주변 대표장애물	m	송신국 주변의 대표장애물높이	없음
R	m	수신국 주변의 대표장애물높이	없음
θ <sub>ca</sub>	degrees	지형이격각도	0.55~40°
θ <sub>eff</sub> , θ <sub>atn</sub> , θ <sub>eff2</sub>	degrees	송신/베이트 실효 지형보정각도. Annex 5, § 9 에서 정의	양수

ITU-R Rec. P.1546-3 권고안을 응용한 전파모델에는 Annex 6의 Step 1~17 단계의 절차를 통하여, 파라미터 결정, 보간과 보정 단계를 거쳐, 최종 전계 강도를 산출하는 과정이 포함된다. 특히, 보정이 필요한 경우 Step 12~16까지의 보정단계는 Step 6~10 단계 보다 먼저 적용되어 계산이 이루어진다.

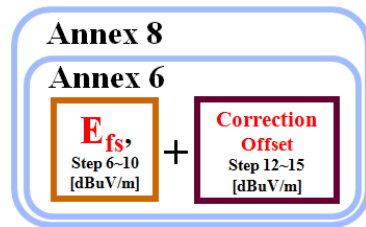


그림 2. 예측 전계강도 Efs  
Fig. 2 Field Strength Prediction Efs

Step 6~10까지의 보간 절차에 대한 diagram은 그림 1과 같으며, 시뮬레이터 시작점인 P1546FieldStr

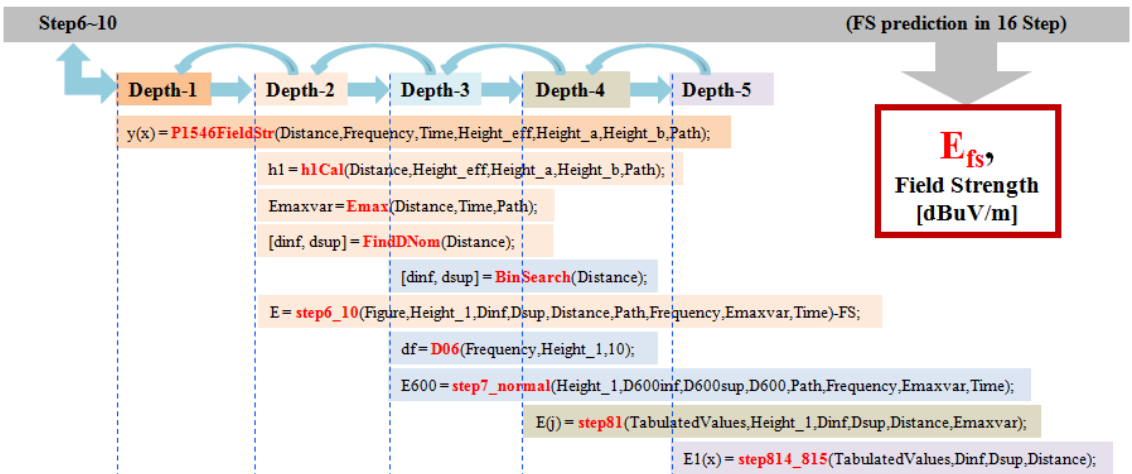


그림 1. Annex 6, Step 6~10 구현 다이어그램  
Fig. 1 Annex 6, Step 6~10 implementation Diagram

함수는 h1Calc, Emax, FindDNom, BinSearch, step6\_10, D06, step7\_normal, step81, step 814\_815 함수를 조건에 따라 분기하면서 호출한다. 각 함수는 Step 별로 요구되는 기능을 수행하며, 파라미터 변수를 주고받으며 보간 절차를 수행한다.

모든 경로 거리에서의 보간 절차를 수행하기 위한 중간값의 경로 거리와 시간을, 전계강도를 구하기 위해 step6\_10 함수는 재귀적으로 누적분산함수와 Step7~8까지의 절차를 호출하며 종료된 결과 전계강도 값을 반환한다. 내부적으로 전역변수로 선언되어 있는 Efs 전계강도 변수는 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안 step6\_10과 같이 호출된 각 함수의 내부 수식이 수행된 결과값을 유지하고 있으며, 그림 2와 같이 전계강도  $E_{fs}$  값을 유지하며 Annex 8 까지의 과정을 거친다.

ITU-R Rec. P.1546-3 권고안을 구현하고 있는 P1546FieldStr 함수는 해당 경로거리에서 자유경로 손실에 따른 최대전계강도를 기준으로 전계강도를 계산하고 있다. 권고안에서 제시하고 있는 자유경로 손실에 따른 최대 전계강도 수식은 다음과 같다.

$$E[dB\mu V/m] = 106.9 - 20\log(d[km]) \quad (1)$$

수식 (1)과 같이, ITU-R Rec. P.1546-3 권고안의 전계강도 값 예측을 위한 최소 요구 파라미터는 경로 거리, 운용주파수, 시간을, 안테나 높이(해수면 기준)에 대한 입력을 요구하고 있다. 본 연구에서 요구되는 송신국 파라미터 입력을 위해서는 송신출력, 안테나 이득, 송신국 손실합에 관한 파라미터를 추가하여 다음과 같은 수식의 수정이 필요하다.

$$E[dB\mu V/m] = 106.9 - 20\log(d[km]) + 10\log(ERP[kW]) + gain_{ANT} - loss_{TX} \quad (2)$$

수식 (2)는 LOS 환경에서 경로 거리와 송신출력에 따른 최대 전계강도를 보여주고 있으며 본 연구에서 수식 (2)와 같은 보안을 통해 수정된 최대전계강도는 그림 1의 Emax 함수에서 수행된다.[3] Emax 함수는 step6\_10 의 보간 절차뿐만 아니라 최대전계강도를 구하기 위한 각 Step에서 호출되며 산출한 결과는 Efs 전계강도 값에 반영된다.

Step 6~10의 절차가 종료된 이후, 산출된 Efs 전

계강도는 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안 Annex 6 Step 12~15 를 거친 보정 전계강도값인 correction offset[dBuV/m]과 합산되고, Annex 6가 종료된다.

Annex 6이 종료된 이후 합산된 전계강도는 굴절률 보정전의 전계강도 값을 표현하고 있다.

전계강도 산출을 위한 마지막 절차인 Annex 8은 대기환경에 대한 정보로 ITU-R Rec. P.453 권고안[4]의 [N-units/km]단위로 표현된 최저 65m 대기의 수직굴절률 정보를 사용하여 ITU-R Rec. P.1546-3 Annex 2, 3, 4의 실측값과 비교하고 전계강도값을 보정하도록 하고 있다.[5]

Annex 8의 절차는 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안 Annex 2,3,4 의 수신안테나 높이 10m에서의 전계강도 값과 최대 전계강도 값 사이에서 예측하고자 하는 수신안테나 높이와 비례적으로 동일한 위치로 조정하여 시뮬레이터의 최종 전계강도 Efs 를 산출한다.

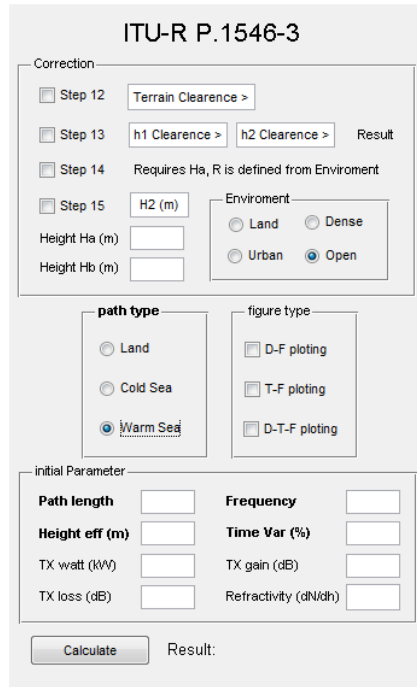


그림 3. ITU-R Rec. P.1546-3 전파예측모델시뮬레이터  
Fig. 3 ITU-R Rec. P.1546-3 Propagation model simulator

그림 3은 연구 결과인 ITU-R Rec. P.1546-3 전파 모델 시뮬레이터의 입력창을 나타내고 있으며, 이 시

플래이더는 matlab 을 통해 구현되었으며, matlab guide툴을 사용하여 GUI 인터페이스가 제작되었다. 각각의 파라미터는 보정 부분과 경로 선택 부분, 필수 입력 초기 파라미터 부분으로 구분되어 있으며, 본 연구에서 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안에 추가한 요소인 송신국 출력, 이득, 손실 입력 부분을 나타내고 있다. 수신전계 예측결과는 Result Label 을 통해 전계강도 예측값을 보여주며, 경로 거리에 따른 plotting 결과는 별도의 그래프창으로 나타내어진다.

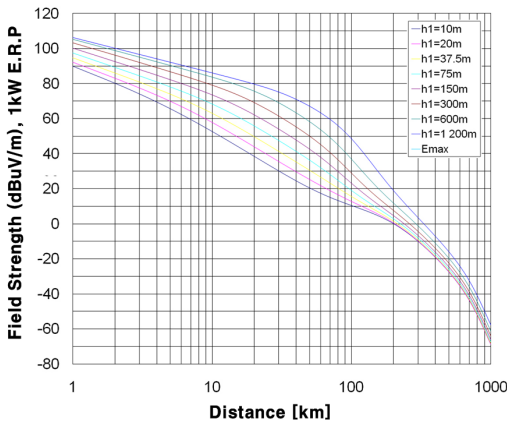


그림 4. ITU-R Rec. P.1546-3 수신전계  
Fig. 4 ITU-R Rec. P.1546-3 Receiving Field Strength

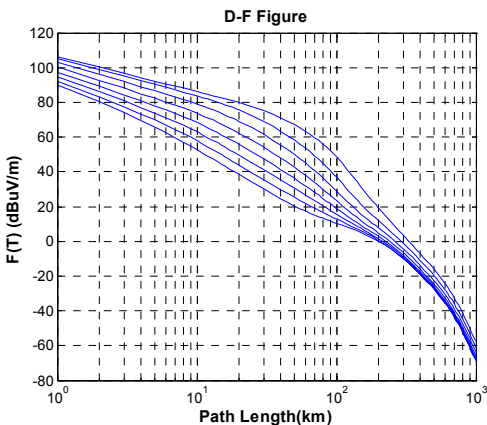


그림 5. ITU-R Rec. P.1546-3 시뮬레이터 수신전계 구현결과  
Fig. 5 ITU-R Rec. P.1546-3 Receiving Field Strength Implementation Result

그림 4는 기존 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안의 1~1000km 까지 거리에 따른 전계강도 감쇄 곡선으로써 1kW ERP, 100MHz, land 경로, 50% 시간율에서 안테나 높이에 따른 전계강도 예측값을 표현하고 있다. 각각의 그래프는 안테나의 높이에 따른 예측값을 나타낸다.

그림 5는 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안에 따라, 시뮬레이터를 설계하여 실험한 결과를 나타낸다. 특히, 송신국 출력, 이득, 손실 입력 부분을 입력할 수 있도록 시뮬레이터를 설계하여 실험한 결과로 1kW ERP, 100MHz, land 경로, 50% 시간율 조건을 그림 4의 특정 실험 결과와 같게 하여, 실험하였다.

실험결과, ITU-R Rec. P.1546-3 권고안에서의 수신전계 예측값과 송신국 입력 요소를 같게 한 실험결과가 일치함을 확인하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 ITU-R Rec. P.1546-3 권고안에서 제시한 전파예측 모델에 대한 시뮬레이터를 설계하며, 송신국의 파라미터가 포함될 수 있도록 하였다. 시뮬레이션 결과를 통하여, ITU-R Rec. P.1546-3 권고안과 송신국 요소를 포함시킨 전파 모델의 실험결과가 일치함을 확인하였다.

본 연구결과로, 향후, 구현된 전파모델을 활용하여 방송망에서 효과적인 전계강도 예측을 수행할 수 있을 것으로 기대된다.

#### 참고 문헌

- [1] Christopher haslett, "Essentials of Radio Wave Propagation", CAMBRIDGE university press, pp.256-258, 2008.
- [2] ITU-R, "Rec P.1546-3, Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz", ITU, pp.2-4, 2007.
- [3] John S. Seybold, Ph.D., "INTRODUCTION TO RF PROPAGATION", Wiley, pp.151-154, 2005
- [4] ITU-R, "Rec. P.453-9 The radio refractive index its formula and refractivity data", ITU,

pp.18-19, 2003.

- [5] ITU-R, "Rec. P.836-4 Water vapour surface density and total columnar content", ITU, pp.1-5, 2009.

저자 소개



**이경량(Kyung-ryang Lee)**

2006년 명지대학교 컴퓨터소프트웨어공학과 졸업  
 2009년 서울과학기술대학교 NID-융합기술대학원 방송통신융합프로그램(석사과정)

랩(석사과정)

※ 관심분야 : 집적회로설계, RF기술



**김성권(Seong-kweon Kim)**

2002년 일본TOHOKU대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2002년~2004년 일본TOHOKU대학교 전기통신연구소

Assistant Professor & Research Fellow

2004년~2009년 목포해양대학교 해양전자통신공학부 조교수

2009년~현재 서울과학기술대학교 매체공학과 부교수

※ 관심분야 : 무선통신용 LSI 설계, 고주파 회로설계, 차세대 무선통신시스템



**최성웅(Sung-woong Choi)**

1999년 경북대학교 대학원 졸업(공학석사)

1999년~2000년 LG정보통신 무선망연구실

2000 7월 한국전자통신연구원 전파기술연구부 선임연구원

※ 관심분야 : 무선망 설계, 디지털방송 채널 배치 및 간섭분석



**차재상(Jae-sang Cha)**

2000년 일본TOHOKU대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학박사)

2000년~2002년 한국전자통신연구원(ETRI)무선방송기술연구소 선임연구원

연구원

2002년~2005년 서경대학교 정보통신공학과 전임강사

2005년~현재 서울산업대학교 매체공학과 부교수

※ 관심분야 : 디지털 방송전송기술, Cognitive Radio, UWB, 홈네트워크 무선통신기술, 대역확산 및 다중접속기술, 4세대 이동통신기술