

도심 환경에서의 ITU-R P.1812의 구현과 분석

*이창훈 **성유석 ***김성철

서울대학교 전기공학부, 뉴미디어 통신 공동 연구소

*lchjsa@maxwell.snu.ac.kr

*sfamily@maxwell.snu.ac.kr

*sckim@maxwell.snu.ac.kr

Evaluation of the ITU-R Recommendation P.1812 for Urban Environments *Bae,

Chang-Hoon Lee, **Yu-suk Sung, ***Seong-Cheol Kim

Institute of New Media and Communications, Seoul National University

요약

원활한 방송 서비스를 제공하고 손쉬운 방송망 구축을 위해서 가장 중요한 것은 서비스 하고자 하는 주파수 대역과 환경에 맞는 전파 모델을 선택하는 것이다. 적절한 전파 모델을 선택하여 수신 전계 강도를 정확하게 예상함으로써 효율적인 방송망을 설계할 수 있는 것이다. 방송망 주파수 대역에서 전파 분석 시 널리 이용되고 있는 모델은 ITU-R 권고안 P.1546 모델이다. 이 모델은 기존의 Okumura 나 Hata 모델처럼 측정을 기반으로 하여, 송신단 높이, 수신단 높이, 주파수, 거리, 시간율, 공간율을 고려하여 완성한 점대 영역 경로 손실 예측 모델이다. 측정을 기반으로 완성된 경로 손실 모델이기 때문에 실제 환경에 적용하기 위해서는 전계강도 예측 지역의 수신 환경 특성을 반영한 보정값을 더해줘야 한다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 ITU-R 연구 3그룹은 지형 프로파일에 기반한 새로운 모델들을 개발하였다. 송, 수신단 사이의 지형 데이터가 고도화되면서 좀 더 정밀한 송, 수신단 사이의 지형 프로파일을 추출해 낼 수 있으며 이는 정확한 전계강도 예측을 가능하게 하였다. 이에 연구 3그룹은 고도화된 디지털 지형 데이터를 이용하여 자유 공간에서 경로 손실, 지형에 의한 회절 손실, 대류권 산란 손실 그리고 ducting 현상을 반영하여 전계강도를 산출해 내는 ITU-R P.1812 모델을 제안하였다. 본 논문에서 우리는 ITU-R 권고안 P.1812를 분석 구현하고 기존의 대표 모델인 P.1546 모델과의 비교 분석을 시도하였다.

1. 서론

효율적인 지상파 라디오 통신 시스템을 구현하기 위해서는 적절한 경로 손실 모델을 적용하여야 한다. 현재 경로 손실 모델로 가장 널리 이용되고 있는 것은 Okumura, Hata 그리고 ITU-R 권고안 P.1546 모델이다. 이러한 기존의 모델들은 측정 데이터를 바탕으로 하여 기본적인 경로 손실식이나 커브를 구하고 송, 수신단 사이의 지형 프로파일을 이용하여 회절 손실을 보정하게 된다. 이러한 모델을 개발할 때는 디지털화된 송, 수신단 사이의 지형 정보가 없었기 때문에 측정 결과를 이용한 점대 영역 예측만이 가능하였다. 한편 ITU-R 제 3 연구 그룹(SG-3)에서는 고도화된 디지털 지형 프로파일 정보를 이용하여 경로 손실을 예측하는 방법을 강구하였으며 이에 개발 된 것이 ITU-R 권고안 P.1812 이다. 즉 새로운 ITU-R 권고안은 송, 수신단 사이의 경로의 특성을 최대한 반영한 새로운 경로 손실 모델이라 할 수 있을 것이다.

본 논문에서 우리는 ITU-R P.1812 모델을 소개하고 기존의 모델들, 특히 ITU-R P.1546 배교 분석할 것이다. ITU-R P.1812 모델은 회절 손실, 대류권 산란 손실, ducting 손실 그리고 송, 수신단 주변의 높이 대비 안테나 상대 높이에 대한 손실을 포함하고 있다. Ducting 과 대류권 산란 손실은 VHF/UHF 대역에서 큰 관심을 모으고 있는 사항이었으며 제3 연구그룹에서는 이러한 현상을 수식화하여 권고안에 반영하였다.

이 논문은 다음과 같이 구성되었다. 2장에서는 ITU-R P.1812를 소개하였다. 그리고 제 3장에서는 기존 모델, 특히 ITU-R P.1546에 대해서 소개하였다. 제 4장에서는 두 모델에 대한 시뮬레이션을 수행하여 그 결과를 보였다. 마지막으로 결과를 5장에서 보이고 이 논문을 맺음하였다.

2. ITU-R 권고안 P.1812

가. 개요

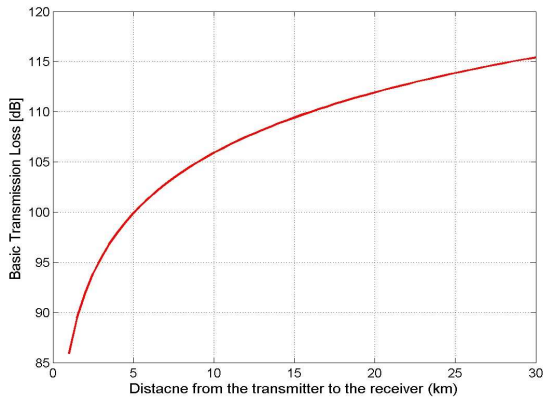
ITU-R P.1812는 0.3GHz에서 3GHz 대역에 대하여 0.2km에서 1,000km 까지의 거리에 대한 전계강도 값을 예측한다. 이 권고안의 가장 큰 특징은 송, 수신단 사이의 지형 프로파일을 이용하여 전계강도를 예측한다는 것이다. 이러한 조건을 만족하기 위해선 지형 데이터의 디지털화가 선행되어야 한다. 현재 각국에서는 이런 지형 디지털 데이터의 고도화가 진행중이며, 국내에서도 전파 연구소를 비롯한 많은 기관들이 고도화 작업에 참여하고 있다. 이 권고안은 주어진 시간율 ($p\%$)과 지역율 ($dL\%$)을 초과하는 전계강도 값을 예측한다. 본 권고안은 크게 다음의 다섯 가지 항목으로 이루어졌다.[1]

가. 기본 전송 손실

LOS 환경 때문에 생기는 기본 전송 손실식은 다음과 같다.

$$L_{b0p} = 92.44 + 20 \log f + 20 \log d + 2.6 \left(1 - \exp\left(-\frac{d_t + d_r}{10}\right) \right) \log\left(\frac{p}{50}\right) \text{ dB} \quad (1)$$

여기서 f GHz는 운용 주파수이며, d km는 송, 수신단 사이의 거리이다. d_t km와 d_r km는 송수단과 수신단에서 수평선까지의 거리이다.



<그림 1. 거리에 따른 기본 전송 손실 >

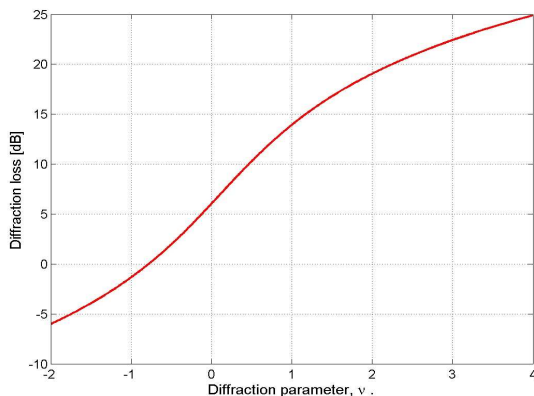
나. 회절 손실

회절 손실은 세 개의 장애물을 계산하고 계산한다. 가장 큰 장애물을 선정하고 그리고 나서 수신단쪽으로 하나, 송수단쪽으로 장애물을 하나 설정한다. 각각의 장애물에 대하여 knife-edge 회절 손실을 계산한다. 이때 이용하는 회절 손실식과 회절 파라미터 (v)은 다음과 같이 계산한다.

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \left(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \right) \text{ [dB]} \quad (2)$$

$$v = \cos \left(\tan^{-1} \left(10^{-3} \frac{h_{rc} - h_{tc}}{d} \right) \right) H \sqrt{\frac{2 \times 10^{-3} d \cdot f}{0.3 \times d_t \cdot d_r}} \quad (3)$$

이 때, d_t 와 d_r 은 장애물에서 송, 수신단까지의 거리이다.



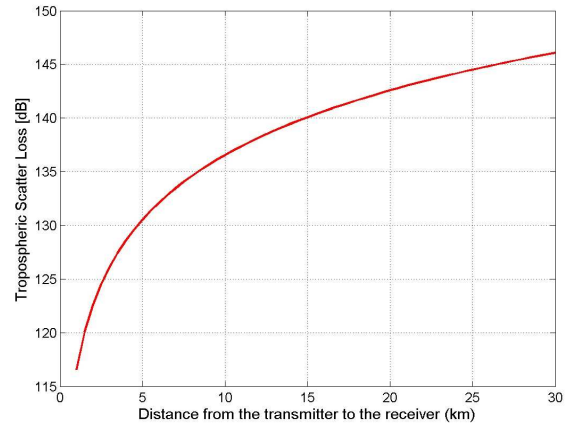
<그림 2. 회절 인자에 따른 회절 손실 >

다. 대류권 산란 손실

이 권고안에서 제안하는 대류권 산란은 실험적 모델에 근거하고 있다. 대류권 산란에 의한 기본 전송 손실을 다음과 같다.

$$L_{bs} = 190.1 + 25 \log f - 2.5 \left(\log\left(\frac{f}{2}\right) \right)^2 + 20 \log d + 0.573\theta - 0.15N_0 - 19.125 \left(\log\left(\frac{50}{p}\right) \right)^{0.7} \quad (4)$$

여기서 where N_0 은 권고안의 그림2에 있는 해수면 굴절율을 나타낸다.



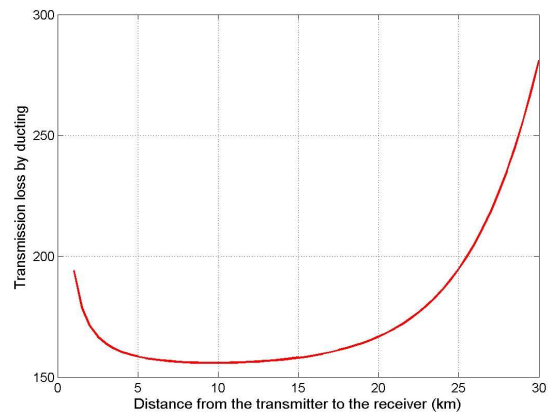
<그림 3. 거리에 따른 대류권 산란 손실 >

라. Ducting 손실

이 권고안에서 가장 큰 특징은 대류권 산란과 더불어 덕팅 현상에 의한 전계강도 변화 값을 반영한 것이다. 덕팅 현상에 의한 전계강도 손실은 다음과 같다.

$$L_{ba} = A_f + A_d(p) \quad (5)$$

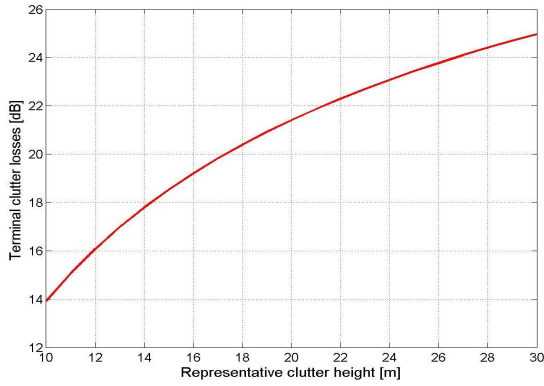
이 때 A_f 는 대기에서의 안테나와 변칙의 전파 구조사이의 커플링 손실을 나타내며 $A_d(p)$ 는 변칙적인 전파 매커니즘에서 시간율과 각거리에서 종속적인 값이다.



<그림 4. 거리에 따른 ducting >

마. Clutter 손실

송수단 또는 수신단의 안테나가 그 주변의 대표 건물보다 높이가 낮은 경우 주변 건물에 의한 회절 손실이 발생하게 된다. 그 회절 손실식은 다음과 같다.



<그림 5. 대표 건물 높이에 따른 회절 손실 >

4. ITU-R 권고안 P.1546

가. 개요

ITU-R P.1546 권고안은 방송망, 지상망, 해상망 그리고 고정망 서비스에서 점 대 점 예측값을 제공하는 모델이다. 300MHz에서 3GHz 주파수 대역에 대하여 1km에서 1000km 까지 광대역 거리에 대한 해당 전계 강도값을 예측할 수 있다. 이 권고안은 몇 개의 주파수와 송신 안테나 높이에서 1kw에 실효 복사에 대한 경로 손실 커브를 제공하고 있다. 경로 손실 커브는 유럽과 북미 지역에서 수행된 측정 결과를 바탕으로 만들어졌다. 이 권고안의 가장 큰 특징인 보간법을 이용하여 전계 강도를 예측해 내는 것이다. 구하고자 하는 송신 안테나 높이, 주파수 그리고 거리에 대하여 가장 근접한 값의 경로 손실 커브를 선택한 후에 보간법을 이용하여 기본 전계 강도를 산출해낸다. 전계강도 값은 아래와 같은 식으로 산출해 낼 수 있다. [2]

$$E = E_{inf} + (E_{sup} - E_{inf}) \frac{\log \left[\frac{(d, f, h_1)}{(d_{inf}, f_{inf}, h_{inf})} \right]}{\log \left[\frac{(d_{sup}, f_{sup}, h_{sup})}{(d_{inf}, f_{inf}, h_{inf})} \right]} + C_1 + C_2 \text{ dB}(\mu V / m) \quad (6)$$

여기서, C_1 , C_2 는 수신 안테나 높이와 지형 클레어런스 각에 대한 보정 인자를 나타낸다. 각각의 정의는 아래와 같다.

$$C_1 = \begin{cases} 6.03 - J(v) \text{ dB} & \text{for } h_2 \leq R' \\ K_n (\log h_2 - \log R') \text{ dB} & \text{for } h_2 > R' \end{cases} \quad (7)$$

$$C_2 = J(v') - J(v) \text{ dB} \quad (8)$$

나 보정값

(1) 지형 클레어런스 각

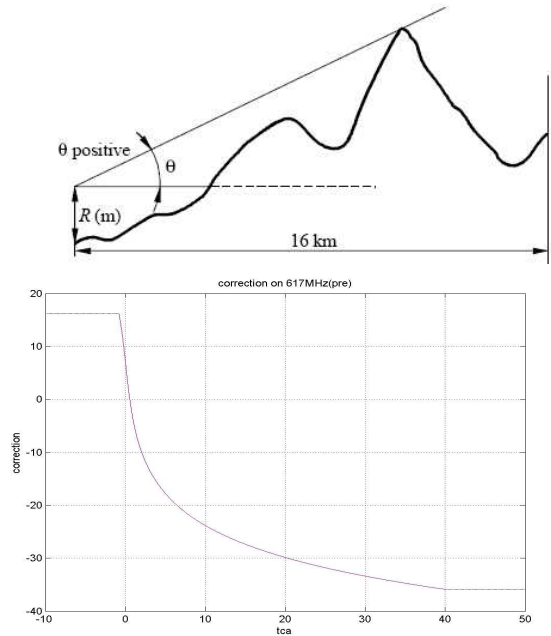
지형 클레어런스 보정은 송수신단 사이의 지형 프로파일에 의해서 결정된다. 지형 클레어런스 각의 정의는 식 (9) 와 같다.

$$\theta_{tca} = \theta - \theta_r \text{ degrees} \quad (9)$$

그림 (6)에서 지형 클레어런스 각의 정의를 나타내었다.

<그림 6. 지형 클레어런스 각(θ_{tca})의 정의 >

그림 (7)는 617MHz 대역에서 θ_{tca} 변화에 따른 보정값 변화를 나타낸 것이다. θ_{tca} 에 따른 보정값은 약 40dB 이상의 차이를 나타낼 수 있다.

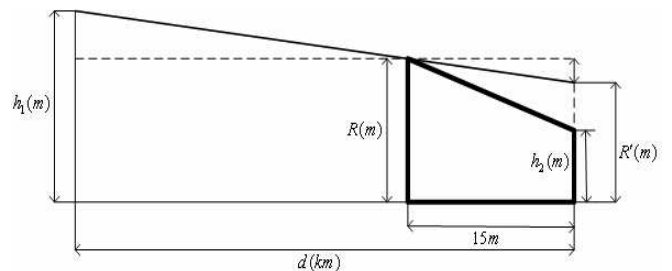


<그림 7. θ_{tca} 에 변화에 따른 보정값 변화 >

(2) 대표 지형 높이값에 대한 보정

ITU-R 권고안 P.1546 는 수신 안테나 높이에 대한 보정값을 제공하고 있다. 보정값은 대표 지형 높이 (R)에 대하여 수신 안테나의 상대적 높이에 의해서 결정되어 진다. 여기서 대표 지형 높이 (R)은 수신 지역의 환경을 나타내며 대도시 환경에서는 30m, 도시 환경 20m 그리고 교외 지역에 대해서는 10m 값을 권장하고 있다. 이 모델은 1km 이상의 광대역 지역에 대한 보정값을 가정하기 때문에 수km 이상 전파되어 온 전파에 대해서는 수정 대표 지형 높이 (R')를 이용하여 보정값을 제공한다. 그림 (8)에서 수정 대표 지형 높이(R') 을 정의하였다.

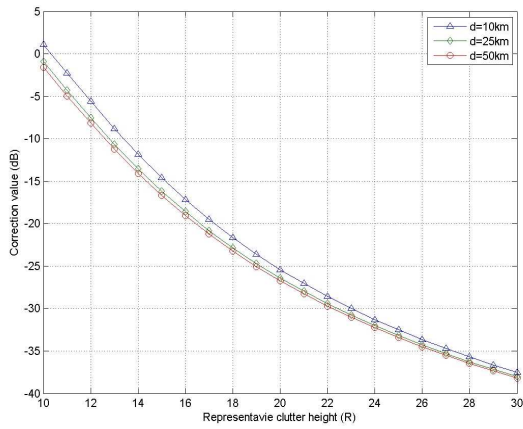
$$R' = \frac{1000dR - 15h_1}{1000d - 15} (m) \quad (10)$$



<그림 8. 수정 대표 지형 높이, R' >

<그림 9. 대표 지형 높이 (R) 의 변화에 따른 보정값 변화>

그림 (9)는 대표 지형 높이 (R) 의 변화에 따른 보정값 변화를 나타낸 결과이다. 결과에 나타나듯이 송, 수신단 사이의 거리는 크게 영향을 미치지 않는다. 송, 수신단 사이의 건물의 높이에 의해서 값의 크기가 결정되어진다. R값 변화에 따라 약 37dB 차이가 날 수 있다. 현재 이 권고문에서는 한 지역에 대해서 일정한 R 값을 정하고 동일하게 R 값을 적용하고 있다. 이런 적용 방법은 정밀한 전계 강도 예측에 어렵게 만든다. 따라서 좀 더 다양한 R 값 분류와 다양한 적용 방법을 통하



여 더욱 정밀한 모델을 만들 필요가 있다.

5. 결론

본 논문에서는 UHF/VHF 대역의 방송 서비스에서 널리 사용되고 있는 두 개의 ITU 모델을 (ITU-R P.1812, ITU-R P.1546) 소개하고 비교 분석하였다. 현재 측정 결과를 바탕으로 한 P.1546 모델이 주로 이용되고 있지만 고도화된 지형 디지털 프로파일을 이용한 P.1812 을 이용한 전계강도 예측 방법이 더욱 유용하게 쓰일 것이다. 따라서 앞으로 P.1812에 대한 정성적인 분석과 더불어 측정을 통하여 이 권고안을 검증하고 기존의 모델들과 비교 분석하는 연구가 계속 시행되어야 할 것이다.

ACKNOWLEDGEMENT

"이 논문은 2009년도 정부(교육과학기술부)의 재원으로 한국과학재단의 지원을 받아 수행된 연구임(2009-0080852).".

참고 문헌

- [1] ITU-R Recommendation P.1812 "A path-specific propagation prediction method for point-to-area terrestrial services in the VHF and UHF bands", September 2007.
- [2] ITU-R Recommendation P.1546-2, "Method for point-to-area predictions for terrestrial services in the frequency range 30 MHz to 3000 MHz," September 2005.