

## 산악지형에서의 UHF대역 전파손실예측을 위한 LEE모델 적용방안 연구

이창원<sup>\*,1)</sup> · 전용찬<sup>1)</sup> · 신임섭<sup>1)</sup> · 김진국<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> 국방과학연구소 제2기술연구본부

### A Study on LEE Model Application for Propagation Loss Estimation of UHF band in Mountain Area

Changwon Lee<sup>\*,1)</sup> · Yongchan Jeon<sup>1)</sup> · Imseob Shin<sup>1)</sup> · Jin-Goog Kim<sup>1)</sup>

<sup>1)</sup> The 2nd Research and Development Institute, Agency for Defense Development, Korea

(Received 24 October 2014 / Revised 6 March 2015 / Accepted 20 March 2015)

#### ABSTRACT

In this paper, we have compared some radio propagation models in order to verify the performance of W.C.Y LEE propagation model in mountain area. The four propagation models, which are Okumura-Hata, ITU-R P.525, Egli and W.C.Y. LEE, are analyzed by comparing the differences between measured values and propagation loss estimation values. And a correction method for W.C.Y LEE model is suggested to improve the performance of W.C.Y. LEE model with measured data in mountain area. Simulation results show that the estimation error using W.C.Y LEE model is the lowest among four propagation models. Also, the results show that the corrected W.C.Y LEE model with suggested method improves the performance of propagation loss estimation.

Key Words : Propagation Loss(전파 손실), Correction Factor(보정 팩터), Free Space Loss(자유공간손실)

#### 1. 서론

일반적인 전파분석시스템의 경우 국제 권고 전파모델을 적용하여 시스템을 개발하며 이를 기반으로 전파 분석을 수행한다.

그러나 대부분의 국제 권고 전파모델은 국내의 전파 환경에서 측정되어 정립된 모델이 아니므로 국내 적용

시 차이를 보이게 된다. 이러한 부분을 개선하기 위해 이동통신사들은 다양한 측정데이터 기반으로 국내 환경에 적합하도록 전파모델을 보정하여 서비스 커버리지 계산, 음영지역 개선 등에 사용하고 있다. 그러나 군의 경우 전장환경에 최적화된 전파모델 관련 연구가 부족한 실정이며 국제 권고 전파모델을 그대로 이용하거나 부분적인 보정을 하여 이용하는 상황이다. 이동통신사 등에서 주로 분석하는 시가지, 교외지와 같은 준평활지형은 건물이나 인공구조물 등의 장애물이 있는 환경인데 비하여 전장환경은 구릉지형, 산악

\* Corresponding author, E-mail: addsignal1@gmail.com  
Copyright © The Korea Institute of Military Science and Technology

지형 등의 불규칙지형으로 구분되며 산마루 등 해당 지형 특성으로 인한 전파손실을 고려해야 하고, 경로 상에 존재하는 나무와 수풀 등의 영향을 고려하여야 한다<sup>7)</sup>. 따라서 구릉지형, 산악지형과 같은 전장환경에 적합하도록 측정데이터에 기반하여 보정된 전파손실 예측모델이 필요하며 이에 본 논문에서는 국방분야에서 기존에 사용하던 국제권고 전파모델 외에 특히 국내 국방분야에서 적용사례가 없는 전파모델인 W.C.Y LEE모델의 전장환경에 대한 전파손실 예측 성능을 알아본다. W.C.Y LEE모델의 구조는 지역적 환경이 반영된 측정데이터에 의해 모델의 파라미터를 보정하기 용이하게 구성되어 있기 때문에 실측데이터에 기반한 예측 기준 모델로서 W.C.Y LEE모델을 채택하였다<sup>9)</sup>. 본 논문에서는 대표적인 전장환경인 산악지형에서 측정된 데이터를 기반으로 하여 널리 사용되는 전파모델인 Okumura-Hata모델, ITU-R P.525, Egli모델과 W.C.Y LEE모델(이하 LEE모델)의 전파경로 손실예측 성능을 비교하여 본 논문의 목적인 LEE모델의 적용성을 살펴봄은 물론, LEE모델의 보정을 통한 성능개선에 관하여 알아본다.

전파 모델의 성능을 비교하기 위해 실측데이터와 각각의 모델을 이용한 예측치 비교를 수행하였다. 그리고, LEE모델을 보정하기 위해 MSE(Mean Square Error)를 이용하여 LEE모델의 주요계수를 보정함으로써 실측치와의 오차를 줄일 수 있는 성능개선방안을 제시하고 보정전후의 전파손실 예측 성능을 비교하였다.

본 논문은 서론에 이어 2장에서 산악지형의 전계강도 측정에 대해 기술하고, 3장에서 각 전파모델, 4장에서 전파모델 각각의 실측예측 비교결과를 기술하며, 5장에서 LEE모델 보정 및 보정 후 결과를 기술하고, 6장에서 결론을 맺는다.

## 2. 산악지형 전계강도 측정

국내의 대표적 전장환경인 산악지형의 전계강도 측정을 위하여 약 1420 m의 고지를 갖는 화악산에서 송신기와 수신안테나를 설치하였고, 가평군 북면, 춘천 신포리, 화천군 사내면, 경기 포천시 등 화악산 인근지역에서 차량을 이용한 이동측정을 수행하였다. 차량속도는 30 km/h 이하로 운행하였다. 차량이 30 km/h 이상의 이동 속도일 때 측정된 데이터는 모두 제외시켰다. 측정에 사용한 송신부와 수신부의 구성을 Fig. 1에

나타내었다. 송신부는 배터리 전원을 이용하여 별도의 전원 없이 송신기 동작이 가능하도록 하였고, 수신부는 차량전원을 이용하여 스펙트럼 분석기와 신호측정용 SW를 구동하는 PC에 전원공급을 하도록 하였다.

Table 1에 측정을 위한 송수신부의 주요 구성품 목록을 나타내었고, Fig. 2에는 송신용 안테나의 모습과 해당 지역의 지도상에 송신 및 수신 지점 그리고 거리별 수신전력으로 측정 데이터를 나타내었다.

전파 측정데이터는 총 58,353개이며 측정데이터에서 가시구간은 26,123개, 비가시구간은 32,230개이다. 산악지형이므로 측정 전파 경로 상에는 나무 및 수풀이 존재한다.

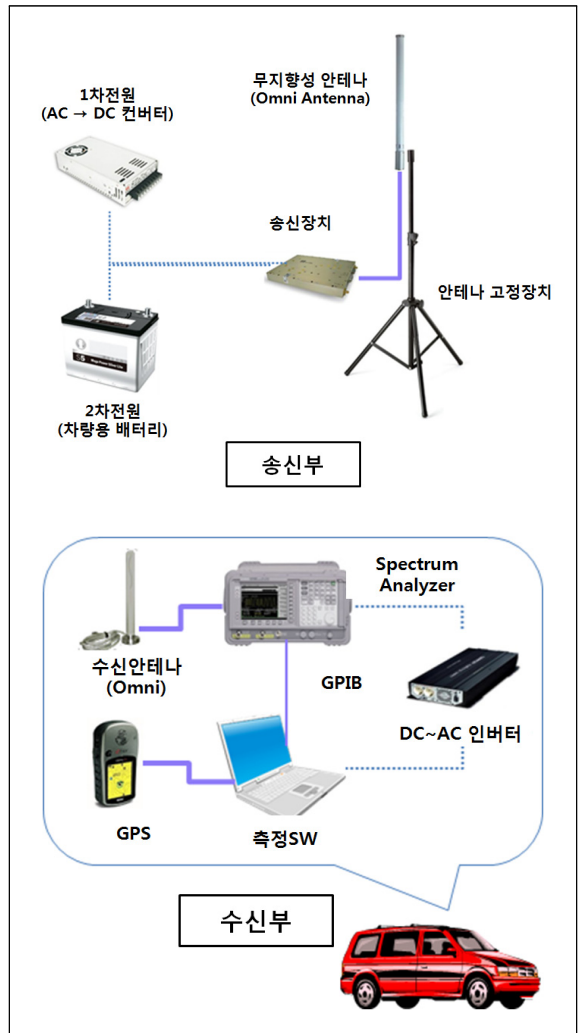


Fig. 1. Configuration of Tx and Rx

Table 1. Main part list of measurement equipment

구분	규격	비고
송신안테나	2.15 dBi	송신부
신호발생기	4 W(1.4 GHz)	송신부
송신부전원	차량용 배터리	송신부
수신안테나	2.15 dBi	수신부
저잡음증폭기	40 dB(typ.)	수신부
스펙트럼분석기	10 Hz ~26.5 GHz	수신부
수신부전원	DC-AC 인버터	수신부
계측기 연동	NI GPIB	수신부

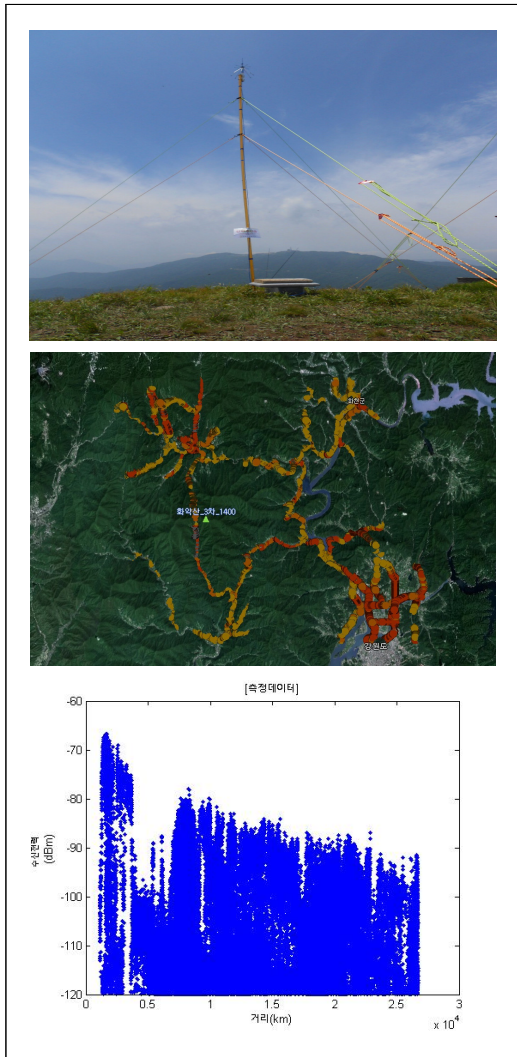


Fig. 2. Tx Antenna and measurement path/data

### 3. 전파손실 예측모델

#### 3.1 ITU-R P.525

전파분석의 가장 기본이 되는 수식으로, 장애물이 존재하지 않는 이상적인 자유공간에서의 손실(Free Space Loss)에 해당한다<sup>[3]</sup>. 식 (1)에는 자유공간손실의 수식을 나타내었다.

$$L_{fs} = 32.4 + 20\log f + 20\log d \quad (dB) \quad (1)$$

식 (1)에서  $f$ 는 주파수(MHz)이며,  $d$ 는 거리(km)이다.

#### 3.2 Okumura-Hata 모델

대표적인 경험적 모델인 Hata모델은 Okumura 예측 방법을 분석하여 전파손실의 경험적 공식을 유도한 것이다. 본 모델은 우선 도심 지역의 전파 손실을 유도하였고, 도심 지역 모델에 보정 팩터를 추가하여 부도심지역(Suburban area) 및 개방형 지역(Open area)에 대한 전파손실을 유도하였다<sup>[4]</sup>.

##### 3.2.1 도심(Urban) 지역

도심지역에서의 전파손실 공식은 식 (2)와 같다.

$$L_p \quad (dB) = 69.55 + 26.16\log_{10}f_c - 13.82\log_{10}h_b - a(h_m) + (44.9 - 6.55\log_{10}h_b)\log_{10}d \quad (2)$$

여기서  $f_c$ 는 주파수(MHz)이며 150에서 1500 MHz사이의 값이며,  $h_b$ 는 base station 안테나 높이(m),  $h_m$ 은 mobile station 안테나 높이(m),  $d$ 는 거리(km)이다.  $a(h_m)$ 은  $h_m$ 에 대한 보정 팩터이며

- Medium-small city인 경우

$$a(h_m) = (1.1\log_{10}f_c - 0.7)h_m - (1.56\log_{10}f_c - 0.8)$$

- Large city인 경우

$$a(h_m) = 8.29(\log_{10}1.54h_m)^2 - 1.1 \quad (dB), f_c \geq 200 \text{ MHz}$$

$$= 3.2(\log_{10}11.75h_m)^2 - 4.97 \quad (dB), f_c \geq 400 \text{ MHz}$$

3.2.2 부도심(Suburban) 지역

부도심지역에서의 전파손실 공식은 식 (3)과 같다.

$$L_{ps} = L_p - 2\log_{10}(f_c/28)^2 - 5.4 \text{ (dB)} \quad (3)$$

3.2.3 개방형(Open) 지역

개방형 지역에서의 전파손실 공식은 식 (4)와 같다.

$$L_{po} = L_p - 4.78(\log_{10}f_c)^2 + 18.33\log_{10}f_c - 40.94 \text{ (dB)} \quad (4)$$

3.3 Egli 모델

도심 또는 개방지역 환경에서 전파손실 예측을 위한 통계적 모델이며, 점대점 분석 시 실측예측 보정이 비교적 용이한 모델이다. Egli 모델의 전파손실 공식은 식 (5)와 같다<sup>[5,8]</sup>.

$$L = 20\log f + 40\log d - 20\log h_b + \begin{cases} 76.3 - 10\log h_m, & h_m \leq 10 \text{ m} \\ 83.9 - 10\log h_m, & h_m > 10 \text{ m} \end{cases} \quad (5)$$

여기서  $f$ 는 주파수(MHz)이며,  $h_b$ 는 base station 안테나 높이(m),  $h_m$ 은 mobile station 안테나 높이(m),  $d$ 는 거리(km)이다.

3.4 W.C.Y. LEE 모델

W.C.Y LEE모델은 미국, 일본 등의 도시들의 측정값을 바탕으로 기지국과 이동단말기 사이의 전파예측을 하는 모델로서, 기준 주파수는 900 MHz로 해당 대역의 전파예측을 위해 사용되는 것이 일반적이다. 그러나 LEE모델에는 다른 대역의 주파수 분석을 위한 주파수 보정 파라미터가 수식 내에 포함되어 있어 대역이 다르더라도 이용할 수 있는 장점이 있다. LEE 모델의 전파손실 공식은 식 (6)과 같다<sup>[1,2]</sup>.

$$L = L_0 + \gamma \log d - 10\log F_A \quad (6)$$

$$F_A = F_1 F_2 F_3 F_4 F_5$$

여기서  $L$ 은 LEE모델의 평균 경로손실이며  $L_0$ 는 1 km 기준의 경로손실이다.  $\gamma$ 는 경로손실 곡선 기울기,  $d$ 는 거리이다.  $F_A$ 는 보정 팩터(Correction factor)로 식 (7)과 같다. 식 (7)에서  $G_b$ 는 기지국(송신점)의 안테나 이득,  $G_m$ 은 이동국(수신지점)의 안테나 이득이다.

$$F_1 = (h_b(m)/30.48)^2 \quad (7)$$

$$F_2 = (G_b/4), F_3 = (h_m(m)/3), h_m(m) < 3$$

$$F_4 = (f/900)^{-n}, 2 < n < 3, f(\text{MHz})$$

$$F_5 = G_m$$

LEE모델의 수식인 식 (6)을 이용할 때 참고할 수 있는  $L_0$ 와  $\gamma$ 의 도시별 또는 환경별 경험적 수치를 Table 2에 나타내었다<sup>[2]</sup>.

Table 2. Reference median path loss for lee model

환경	$L_0$ (dB)	$\gamma$
자유공간	85	20
개방형(Open) 지역	89	43.5
부도심(Suburban) 지역	101.7	38.5
Philadelphia	110	36.8
Tokyo	124	30.5
Newark	104	43.1

4. 실측데이터와 각 전파모델 예측치 비교

4.1 전파손실 예측모델 간 Propagation Loss

3장에서 기술한 4가지 전파손실 모델인 ITU-R P.525 자유공간손실 모델, Okumura-Hata 모델, Egli 모델, LEE 모델에 대하여 거리에 따른 손실값을 Fig. 3에 나타내었다. 각 전파모델의 손실 예측 계산에 사용되는 경로손실 곡선이다.

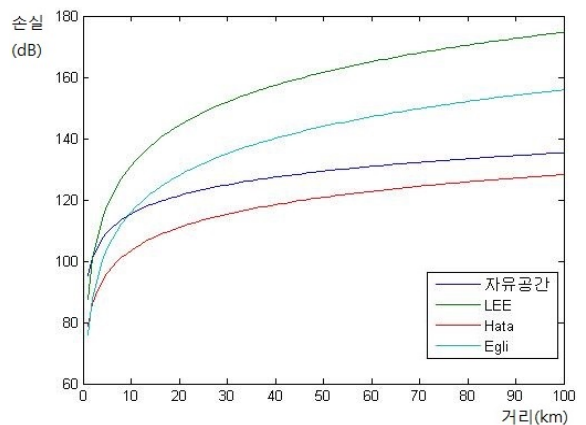


Fig. 3. Path loss for each model

4.2 실측데이터와 전파모델별 예측치 비교

대표적인 산악지형인 화악산 인근지역에서 측정한 실측데이터와 각 전파모델별 예측치를 비교하여 평균 오차 및 표준편차를 계산하였다. Fig. 2에 나타난 수신지점의 측정데이터는 총 58,353개이며 실측/예측 비교에 이용한다. 또한 송신점과 수신점간 장애물이 있어 회절이 발생할 경우 회절손실을 고려하여 예측정확도를 높여야 한다. 따라서 예측 정확도를 높임은 물론, 각 전파모델의 비교를 위하여 모두 동일하게 ITU 국제권고안인 ITU-R P.526의 Single-knife edge 회절손실을 적용하였다<sup>[6]</sup>. 또한, 해당 지역은 산악지역이므로 경로상에는 수목이 존재하기 때문에 수목손실을 고려해야 한다. 따라서 수목 손실 모델로 Weissberger 모델을 적용하였다<sup>[10]</sup>. 실측데이터와 계산된 예측치를 이용하여 평균 오차와 표준편차를 모델별로 계산하였고 Table 3에 결과를 나타내었다.

Table 3. Difference comparison between measured values and estimated values for 4 propagation models

구분	평균오차	표준편차
ITU-R P.525	14.49	9.52
Okumura-Hata	25.58	10.07
Egli	13.12	9.69
W.C.Y. LEE	9.59	6.53

건물이 없는 산악지형이므로 Hata모델의 경우 개방형 지역(Open area) 수식을 적용하였으나 Hata모델의 기본이 되는 일본 도쿄 도심지역과 지형이 상이하므로 가장 큰 오차를 나타내고 있으며 LEE모델의 경우 가장 작은 오차를 보임을 알 수 있어 산악지형에서의 전파손실 예측모델로 적용가능성이 있음을 알 수 있다. 다음 장에서는 LEE모델을 보정하는 방안을 제시하고 그 성능을 살펴본다.

5. LEE모델 보정

LEE모델의 보정을 위해 우선 실측치와 예측치 사이의 오차를 식 (8)과 같이 정의한다.

$$e(n) = \sum_{i=1}^N \{L_P(d_i) - \widehat{L}_P(d_i)\}^2 \tag{8}$$

여기서  $L_P(d_i)$ 는 거리  $d_i$ 에서의 측정된 손실이며,  $\widehat{L}_P(d_i)$ 는 예측 손실이다. 식 (8)에 식 (6)을 대입하면 식 (9)와 같다.

$$e(n) = \sum_{i=1}^N \{L_P(d_i) - L_0 - \gamma \log_{10}(d_i) + 10 \log_{10} F_A\}^2 \tag{9}$$

본 논문에서는 LEE모델의 성능개선을 위해  $\gamma$  및 상수보정을 제안한다. 먼저, 식 (9)를 최소가 되게 하는  $\gamma$ 를 구하여 LEE모델에 적용하는 방법으로서  $\frac{\delta e(n)}{\delta \gamma}$ 를 0으로 만드는  $\gamma$ 를 구하면 식 (10)과 같다.

$$\gamma = \frac{\sum \{L_P(d_i) - L_0 + 10 \log_{10} F_A\}}{\sum \log_{10}(d_i)} \tag{10}$$

또한 오차를 최소화하기 위한 상수보정을 위해 오차의 RMS(Root Mean Square)를 계산하여 식 (6)에 적용하면 식 (11)과 같다.

$$L = L_0 + \gamma \log d - 10 \log F_A + S \tag{11}$$

여기서 S는 상수보정을 위한 RMSE(Root Mean Square Error) 값으로서  $\sqrt{\frac{\sum_{i=1}^N (P_m(i) - P_r(i))^2}{N}}$ 이며,  $P_m$ 은 측정된 손실값,  $P_r$ 은 예측값이다.

보정된 LEE모델로서 식 (11)을 이용하여 실측/예측 비교를 하여 Table 4에 나타내었다.

Table 4. Difference comparison between measured and estimated values for corrected LEE model

구분	평균오차	표준편차
보정 전 W.C.Y. LEE	9.59	6.53
보정 후 W.C.Y. LEE	8.66	5.96

제안한 보정방법을 이용하여 LEE모델을 보정한 후 실측/예측치를 계산한 결과 보정전 LEE과 비교하여 평

균오차의 경우 0.93, 표준편차의 경우 0.57가 감소하였다. 자유공간 손실모델과 비교할 경우에는 5.83의 평균 오차와 3.56의 표준편차가 감소하였다.

제안된 보정방안에 의한 보정으로 전파손실 예측에 대한 LEE 모델의 성능개선이 가능함을 확인할 수 있으며, 다수의 수신지점에서 지점별로 많은 실측데이터를 확보한다면 좀 더 정확한 예측이 가능할 것으로 기대된다.

## 6. 결론

본 논문에서는 대표적인 전장환경으로 볼 수 있는 산악지형인 화악산 지역에서, UHF대역에 적합한 전파 모델의 성능을 알아보기 위하여 W.C.Y LEE모델을 이용하여 전파손실 예측 성능을 타 모델과 비교분석하였다. ITU-R P.525 자유공간손실모델, Okumura-Hata, Egli 모델과 W.C.Y LEE모델에 대해 산악지형에서의 UHF 대역에 대한 전파손실 예측 성능 비교를 수행한 결과 LEE모델이 가장 우수한 성능을 보여 산악지형에 대한 적용성이 있음을 알 수 있었다.

또한 W.C.Y LEE모델의 성능개선 방안을 제시하였으며 제시한 방안에 의한 보정을 통하여 성능이 개선됨을 확인하였다. 제안한 보정방법을 이용하여 LEE모델을 보정한 후 실측/예측치를 계산한 결과 보정 전 LEE과 비교하여 평균오차의 경우 0.93, 표준편차의 경우 0.57가 감소하였다. 자유공간 손실모델과 비교할 경우에는 5.83의 평균오차와 3.56의 표준편차가 감소하였다. 수신지점별로 더 많은 실측데이터를 확보한다면 좀 더 정확한 예측이 가능할 것으로 기대된다.

본 논문에서 사용한 측정데이터는 한 지역에서 측정된 데이터만을 이용하여 전파손실 예측 성능을 비교한 것이기 때문에 추후 다른 산악지형 및 산악지형 외에 부도심지역 또는 도심지역에 대해서도 측정된 결과를 이용하여 지형별로 각 모델의 성능을 종합적으로 분석해 볼 필요가 있다. 또한 향후 다른 여러 보정방법을 이용하여 LEE모델의 손실 예측 성능 개선에 관한 연구를 진행할 예정이다.

## References

- [1] W.C.Y Lee, "LEE's Model," Vehicular Technology Conference(VETEC) Volume 1, pp. 343-348, IEEE, 1992.
- [2] John S. Seybold, Introduction to RF Propagation, Wiley, 2005.
- [3] ITU, Rec. ITU-R P.525-2, "Calculation of Free-Space Attenuation," 1994. 8.
- [4] Masaharu Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No. 3, pp. 317-325, 1980.
- [5] Jalel Chebil, Ali K. Lwas, "Comparison of Empirical Propagation Path Loss Models for Mobile Communications in the Suburban Area of Kuala Lumpur," 2011 4th International Conference on Mechatronics(ICOM).
- [6] ITU, Rec. ITU-R P.526-13, "Propagation by Diffraction," 2013. 11.
- [7] 전파모델 적용방안 및 전파측정지역 분류방안 연구, 국방과학연구소, 연구보고서, ADDR-425-121340, 2012. 8.
- [8] J. D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel 2<sup>nd</sup> ed., John Wiley & Sons, 2000.
- [9] Aleksander Neskovic, Natasa Neskovic, "Modern Approaches in Modeling of Mobile Radio Systems Propagation Environment," Volume 3, pp. 2-12, Communications Surveys & Tutorials, IEEE, 2000.
- [10] Y. S. Meng, Y. H. Lee, "Investigations of Foliage Effect on Modern Wireless Communication Systems: A Review," Progress In Electromagnetics Research, Volume 105, pp. 313-332, 2010.