

논문-98-3-1-06

방송 전파 예측을 위한 다양한 전파전파 모델들의 비교 연구

이 영 대*, 조 한 진***, 양 경 석***, 박 천 석***, 남 상 욱**, 목 하 균****

The Comparison among Various Propagation Prediction Models for Broadcasting Wave

Yong Dae Lee*, Han Jin Cho***, Kyung Seok Yang***, Cheon Seok Park***,
Sang Wook Nam**, and Ha Kyun Mok****

요 약

본 논문에서는 국내의 방송 환경에 적합한 전파전파 예측 모델 개발을 위해 지금까지 외국에서 적용한 여러 가지 매크로셀용 모델들을 프로그래밍하여 이를 국내의 측정 데이터와 비교, 검토하였다. 검토한 모델은 Okumura 모델, Longley-Rice 모델, ITU-R 모델, Lee 모델이다. 각 모델의 예측 결과를 남산에서 송신한 320MHz 신호를 측정된 결과와 비교하였다. 비교한 결과, 전체적으로 Okumura 모델이 가장 좋은 성능을 보였다. 그리고, 송신점으로부터 10 Km이상 경로를 예측할 시에는, 10 Km이상부터 예측 가능한 ITU-R 모델 또한 좋은 결과를 보였다.

Abstract

This paper compares various propagation models developed by several researchers with the measurements in Korea. The models we have considered are Okumura model, Longley-Rice model, ITU-R model and Lee model. The measured signal is vertically polarized E-field transmitted from Mt. Namsan at 320MHz. According to the result, Okumura model shows the best performance for the overall test points, and ITU-R model has a good performance as Okumura model for receiving points above 10km from the transmitter.

I. 서 론

전파전파 특성은 주파수, 거리, 지형 특성, 기후, 그리고, 인공 지형물의 분포나 복잡도 등에 의하여 큰 영향을 받는다. 기후나 지형, 지상 건축물 등은 국가마다 서로 다

르기 때문에 국내의 전파전파 예측 시, 외국의 모델을 그대로 도입하여 적용하는 것은 적합하지 않다. 국내의 전파 예측을 위해서는 우리 나라의 기후와 지형, 도시 형태에 적합한 모델 개발이 필요하다. 여러 모델들간의 성능 비교는 [9],[10],[11] 등에서 볼 수 있다. 하지만 이들 연구는 모두 외국에서의 측정 결과와 비교한 것으로 국내 적용을 위해서는 외국에서 개발된 대표적 예측 모델을 조사하고, 국내 환경과의 적합도를 평가하는 과정이 필요할 것으로 생각된다.

본 연구에서 비교한 모델은 모두 방대한 측정 데이터를 분석하여 만든 경험적 (Empirical) 모델로서 Okumura 모델 [1],[2], Longley-Rice 모델, 방송용으로 개발한 ITU-R (舊 CCIR) 모델 [4], Lee 모델 [5],[6],[7],[8] 이다. 이들 4가지 모델은 분석한 데이터의 측정 환경에 의존적이기 때문에 국내 적용 시 주의가 필요하다.

* LG 정보통신

LG Information and Communication, Ltd.

** 서울대학교 전기공학부

Dept. of Electrical Engineering, Seoul National University

*** 성균관대학교 전자공학과

Dept. of Electrical Computer Engineering, Sung Kyun Kwan University

**** KBS 기술연구소

Korean Broadcasting System Technical Research Institute

비교한 측정 데이터는 서울 지역에서 측정된 것이다. 서울은 구릉 지형상의 대도시 지역으로 전파 예측이 어려운 지역으로 생각되므로 예측 모델을 평가하는데 가장 적합한 장소로 보인다. 따라서, 본 연구에서는 프로그래밍한 예측 모델들을 서울 지역에서 측정된 데이터와 비교하여 보고, 이로부터 국내 방송 환경에 적합한 전파 예측 모델 개발의 가능성을 살펴보고자 한다.

II. Okumura 모델을 이용한 전파전파 예측

1. 평탄 도심지역의 평균 전계강도

Okumura 모델 [1]은 평탄 도심 지역을 전계강도 예측의 표준 지역으로 설정하였으며, 이에 대한 평균 전계강도 (E_{mu})는 식 (1)으로 주어진다.

$$E_{mu} = E_{fs} - A_{mu}(f, d) + H_{tu}(h_{te}, d) + H_{ru}(h_{re}, f) \quad (1)$$

여기서 E_{fs} 는 자유 공간의 전계강도이고, $A_{mu}(f, d)$ 는 송신안테나의 유효높이가 200m이고 수신 안테나가 3m일 때, 주파수(f)와 거리(d)에 따라 E_{fs} 에 대한 E_{mu} 의 평균 감쇠값이다. 또한 $H_{tu}(h_{te}, d)$ 는 유효 송신 안테나 높이(h_{te})가 200m일 때의 감쇠값을 0dB로 하여 유효 송신 안테나 높이와 송수신 사이의 거리에 대한 보정값이며, $H_{ru}(h_{re}, f)$ 는 수신안테나 높이가 3m일 때 감쇠값을 0dB로 하여 수신 안테나 높이와 주파수에 따른 보정값이다. $H_{tu}(h_{te}, d)$ 값을 계산하기 위해 유효 송신 안테나 높이 h_{te} 를 정하는 방법은 아래와 같다. 이 값은 지형에 따라 두 가지 방법으로 나누어 구한다. 첫째, 송신 점과 수신 점 사이의 거리가 7km 이하이고 지역적으로 평탄한 구역이 존재할 경우의 h_{te} 는 기지국 안테나 높이(h_b)에서 송신 지점의 대지 높이 h_g 를 뺀 값으로 정한다.

$$h_{te} = h_b - h_g \quad (2)$$

여기서 h_g 는 수신 위치 지표면 상의 접선을 송신 점까지 연장할 때, 연장선과 기지국 위치의 교차점의 해발 고도를 의미한다. 둘째, 송신 점과 수신 점 사이의 거리가 7km 이상이거나 수신 점에서 보았을 때 평탄한 직선이 존재하지 않으면 식 (3)과 같이 d_n 을 정하여 d_n 범위 내에서 평균 지형 높이(h_{gn})를 구한 다음, (3)을 이용하여 유효 안테나 높이를 구한다.

$$d_n = \begin{cases} d/4 \text{ to } d, & \text{for } 1 < d \leq 8 \\ 3 \text{ to } d, & \text{for } 8 < d \leq 15 \end{cases} \quad (3)$$

2. 불규칙 지형에서의 보정인자 계산

불규칙 지형에서의 평균 전계강도 값을 E_{mu} 에 추가적 손실 보정값을 더하여 구한다. 우선 기복이 있는 지형에서는 기복 높이(Δh)를 구하여 이 값으로부터 보정값을 계산한다. 기복 높이 Δh 는 (4)와 같이 d_n 을 정한 다음, d_n 의 범위에서 상위 90%와 하위 10%사이의 높이 차로 정의한다.

$$d_n = \begin{cases} 0 \text{ to } d, & \text{for } 1 < d \leq 6 \\ d-6 \text{ to } d, & \text{for } 6 < d \leq 15 \end{cases} \quad (4)$$

수신 지점 7km 이내의 지역에 경사가 있을 경우 지형에서는 지형의 기울기가 수신 전계 강도 값에 영향을 준다. 따라서, 이런 지형의 경우 보정을 위한 기울기 θ_m 은 식 (5)와 같이 설정된 d_n 의 범위 내에서 평균 기울기 값으로 정하였다.

$$d_n = \begin{cases} 0 \text{ to } d, & \text{for } 1 < d \leq 3 \\ d-3 \text{ to } d, & \text{for } 3 < d \leq 15 \end{cases} \quad (5)$$

산에 의하여 송신 점과 수신 점 사이가 막히는 경우에는 [2]에 제시된 회절 식을 이용하여 예측한다.

3. 지상 건물의 밀집도에 따른 보정

최근 Okumura는 1968년도에 제안된 자신의 모델에서 간과되었던 도시지형의 건물 높이, 도로 폭등의 도시형 변수가 전계강도에 미치는 효과를 추가로 고려한 개선된 전계강도 예측 방법을 제안하였다[2].

III. ITU-R 모델을 이용한 전파전파 예측

권고 370 [4]에 바탕을 둔 ITU-R 모델은 여러 국가로부터 측정된 데이터를 통계적으로 분석하여 만든 경험적인 예측 모델이다. 전계강도를 예측하기 위한 기본 곡선은 북미와 유럽에서 발견되는 구릉지형에 적합하게 되어있다.

사용되는 주요한 파라미터들은 송신 지점으로부터 10-50 km 사이에서 지형의 상위 90%에서 하위 10%의 높이 차로 정의되는 Δh 와 송신 지점에서 수신 방향으로 3-15 km 사이에서 정의되는 평균 지면 높이, 해수면에서의 송신 안테나 높이와 평균 지면 높이와 차이인 유효 송신 안테나 높이 (Effective Transmitting Antenna Height), 수신지점 위 10m에서 볼 때 16 km 안에서 가장 높은 지점과 수신지점 위 10km를 잇는 직선과 수신지점 10m에서의 수평선 사이의 각도로 정의되는 대지 고도각 (Clearance

Angle)이 있다. 그 외에 수신 안테나 높이, 송수신간 거리, 주파수 범위 (VHF와 UHF), 지역 구분(도심, 부도심, 농촌) 등이 있다.

이 파라미터들로 기본 곡선을 보정하는데, 송수신간의 지형 변화를 고려해주기 위해 Δh 로부터 감쇠 보정 계수 (Attenuation Correction Factor)를, 수신 지역 근처의 지형을 고려해주기 위해 대지 고도각으로부터 대지 고도각 보정을, 수신지역 주변의 환경을 고려하기 위해 수정된 수신 안테나 높이 이득 보정을 각각 기본 곡선에 대해 행한다. 여기에서 수정된 수신 안테나 높이 이득 식은 $(c/6) \cdot \log_{10}(h_2/10)$ 으로 여기서 h_2 는 수신 안테나 높이이고, c 는 지역과 주파수 대역에 따라 다른 값으로, c 의 값은 [4]에 제시되어 있다. 대지 보정각 보정의 경우, ITU-R 모델의 정확성을 높이기 위해 개발된 보정인데, 유럽에서 측정된 데이터를 가지고, 기본 곡선에 적합하도록 만들었다[9].

ITU-R 모델은 기본 곡선이 10 km이상부터이기 때문에 10 km이하의 경우는 예측하지 못한다. 여러 나라의 데이터를 고려하였으므로 국제적으로 적용될 수 있고, 비교적 단순하다는 점은 장점이다[9].

IV. Lee 모델을 이용한 전파전파 예측

Lee 모델은 경험적인 모델과 이론적인 모델을 절충한 모델로서 측정된 값을 이용하는 Area-to-Area 모델과 이론적 방식을 도입한 Point-to-Point 모델로 구분된다.

기본적인 곡선에 해당하는 Area-to-Area 모델 곡선은 다음과 같은 식으로 표현된다.

$$P_r [dBm] = P_o [dBm] - \gamma \log d + \alpha_o \quad (6)$$

여기서 P_r 은 수신 전력이고, P_o 는 1 mile에서의 수신 전력으로 송신단 근처의 환경을 고려한 것[10]이고, γ 는 경로 손실의 기울기로서 송수신단 사이의 전파환경을 고려한 것이다. P_o 와 γ 는 지역에 따라 다른 값으로 주어지는데, 이 값들은 예측할 지역에 대해 [8]에서 제시하는 방법으로 실측치를 측정함으로써 주어진다. Lee는 [7],[8]에서 여러 가지 대표적인 지형에 대한 값들을 주고 있다. d 는 송수신단의 거리이고, α_o 는 예측할 수신 전력의 송수신 안테나의 높이와 이득, 그리고 송신 전력 조건이 기준 조건과 다를 때의 보정을 나타낸다.

좀더 자세한 예측을 위해 Lee는 Point-to-Point 모델을 제시하고 있다. 이 모델은 장애물이 있는 경로와 장애물이 없는 경로로 나눌 수 있다. 첫 번째, 장애물이 없는 경우는 유효 송신 안테나 높이를 정의하여 보정한다. Lee 모델에서의 유효 송신 안테나 높이는 image 개념을 이용하는데, 수신 지점과 가장 가까운 반사지점에서 그 접선이 송신 지점과 만나는 위치로부터의 안테나 높이로 정의

된다. 두 번째, 장애물이 있는 경우는 그 장애물에 의한 회절 손실을 Knife-Edge 방식을 사용하여 보정하는데, 장애물이 둘 이상 있는 경우 Atlas 모델에서와는 다른 Picquenard [5]의 방식을 사용하여 예측한다.

Lee 모델의 경우, 유효 안테나 높이를 프로그램화할 때 적용이 애매하다는 점[10]과 Lee가 제시한 장애물의 회절 손실에 관한 식[5],[8]은 자유 공간 손실에 대한 보정을 위해 사용되는 것임에도 불구하고 이 부분에 대한 보정없이 사용되고 있는 점[10]이 단점이나, 역시 비교적 단순하다는 점이 장점이 된다.

V. Longley-Rice 모델을 이용한 전파전파 예측

Longley-Rice 모델 [3]은 측정된 전계강도의 통계 데이터 및 전파 이론을 근거로하여 주파수 20MHz~10GHz 범위에서, 불규칙한 지형에 대한 long-term의 평균 전송손실, time fading, location variability 등을 계산할 수 있는 모델이다.

이 모델의 전파 예측 관련 식은 Tech. Note 101에서 유도되었다. 이후 Longley-Rice 모델은 주어진 지형 특성을 이용하여 보다 정확한 전계 강도를 예측할 수 있는 방식으로 계속 개선되어 왔다. 이 모델은 자유 공간에 대한 상대적인 전송 손실의 중앙값을 예측해 내는 방법을 제시하는데, 세부적 지형 profile을 근거로 한 점대 점 예측 방법과 지형 Profile을 획득하지 못하는 경우 측정된 전계 강도 데이터의 통계 처리로부터 얻어진 지형 Profile에 근거한 지역대 지역 예측 방법으로 나누어진다.

전송 손실 예측을 위하여 요구되는 입력 파라미터는 다음과 같다.

- ① 주파수(20MHz에서 10GHz)
- ② 편파(Polarization)
- ③ 경로 길이(1km에서 1500km)
- ④ 지표면으로부터 송신 안테나 높이(0.5m에서 3000m)
- ⑤ 지표면으로부터 수신 안테나 높이
- ⑥ 대지 굴절률(250에서 400 N-units)
- ⑦ 유효 곡률 반경
- ⑧ 기후
- ⑨ 지표의 전도도 및 유전 상수

그리고, 전송 손실을 예측하기 위해서는 예측 대상 경로내 지형에 대한 다음과 같은 특성들이 규정되어야 한다.

- ① 유효 안테나 높이(heb)
- ② 경로상 지형의 불규칙 정도(Δh)
- ③ 안테나의 지평선 거리, dLb, dLm
- ④ 지평선 각, θ_{eb} , θ_{em}
- ⑤ Transhorizon 경로에서의 각 거리, θ

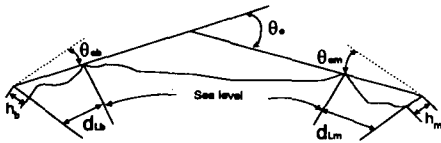


그림 1. Longley-Rice 모델의 파라미터
Fig. 1. The parameters of Longley-Rice model

입력파라미터와 지형데이터로부터 지형 특성 파라미터를 구하게되는데 주어진 지형 데이터의 세부정도에 지형 특성 파라미터를 구하는 방법이 달라지며, 결국 경로파라미터의 산출방식에의해 모델이 점대 점 예측과 지역대 지역 예측으로 구분된다.

전계강도 예측은 구체적 지형 데이터에 근거하여 각 지형의 특성 파라미터를 구한 뒤 이를 이용하는 점대 점 방법으로 구현되었다. 각 지형특성 파라미터는 그림 3-1에 나타나 있다. 안테나의 지평선 거리 dLb, dLm 는 송수신 안테나에서의 가시거리로 구해지고 각거리 θ 는 지평선 각 θ_{eb} , θ_{em} 의 합으로 정의된다. 그리고 지형불규칙 정도 Δh 송수신 구간 내에서 정의되었다.

Longley-Rice 모델에서는 전송손실의 중앙값을 경로 거리에 따라 다른 전파 메커니즘을 적용한다. 구간은 크게 다음의 3가지 경우로 구분되어 자유공간에서의 손실을 기준으로 하는 상대적 손실을 구한다. 먼저 경로거리가 지평선 거리보다 작은 경우는 하나의 직접파와 하나의 반사파를 고려한 2경로 모델과 회절손실을 고려하며, 구간이 지평선거리보다 크고 회절손실과 산란손실이 같아지는 지점까지의 경우는 회절과 산란손실로써 계산하게 된다. 마지막으로 회절손실과 산란손실이 같아지는 구간보다 먼 거리의 경우는 산란손실이 주된 전파 메커니즘으로 취급된다. 구해진 상대적 손실과 거리에 의해 결정되는 자유공간에서의 전송손실의 합이 전체 전송손실이 된다.

VI. 전파전파 예측치와 측정치의 비교

본 절에서는 실측된 전계강도 측정치와 Okumura 모델, Longley & Rice 모델, ITU-R 모델, 그리고 Lee의 모델의 전계강도 예측치를 상호 비교하였다.

측정 데이터는 남산에서 송신한 신호를 그림 2의 서울

에서의 여러 경로 상에서 수신한 것이다. 하나의 측정 데이터는 50개 순간 측정치의 Median에 해당되는 값이다. 주파수는 320 MHz이고, 송신 전력은 100 W, 송신 안테나의 높이는 지상 50 m이다. 송수신 안테나의 이득과 손실을 모두 고려하여 예측하였다.

ITU-R 모델은 송신점으로부터 10 Km이상의 지점만 예측 가능하기 때문에 10 Km이하 영역인 경로 1의 경우는 예측할 수 없다. 다른 경로에 대한 결과들은 모두 10 Km이상 영역에 대한 결과이다. Okumura 모델의 경우 지상 건물의 밀집도는 고려되지 않았다. Lee 모델에서 파라미터들은 $P_o = -84$ dBm, $\gamma = 37.2$ 이다.

예측 모델의 성능을 평가하기 위해 아래의 평가 기준을 사용하였다[9]. 여기서 E_p 는 예측치, E_m 는 측정치이다.

- Error의 평균, m

$$m = \overline{\Delta} = \overline{(E_p - E_m)} \quad (7)$$

- Error의 RMS (root mean square), σ

$$\sigma = (\overline{\Delta^2})^{1/2} = [\overline{(E_p - E_m)^2}]^{1/2} \quad (8)$$

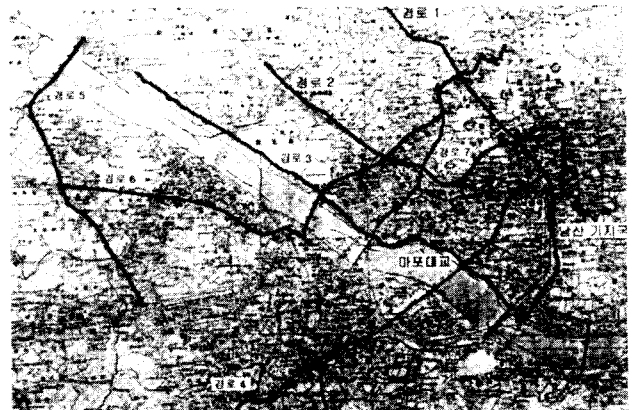


그림 2. 측정 경로
Fig. 2. The measurement Paths

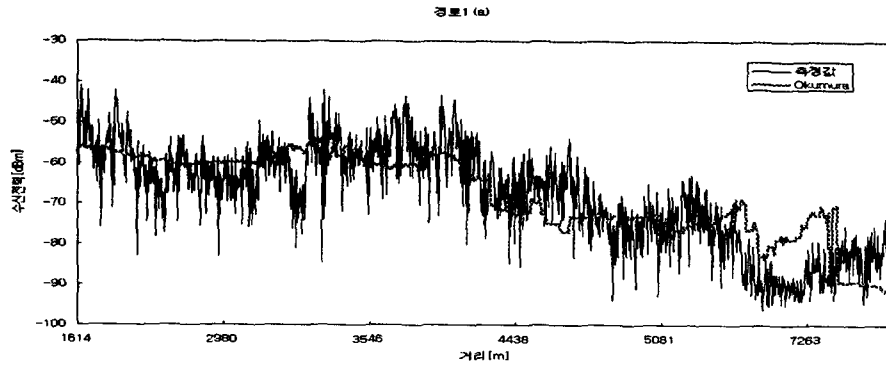
표 1과 표 2는 각 모델의 예측 결과와 측정된 데이터를

표 1. 각 모델에 대한 Error의 평균
Table 1. The average errors for each model

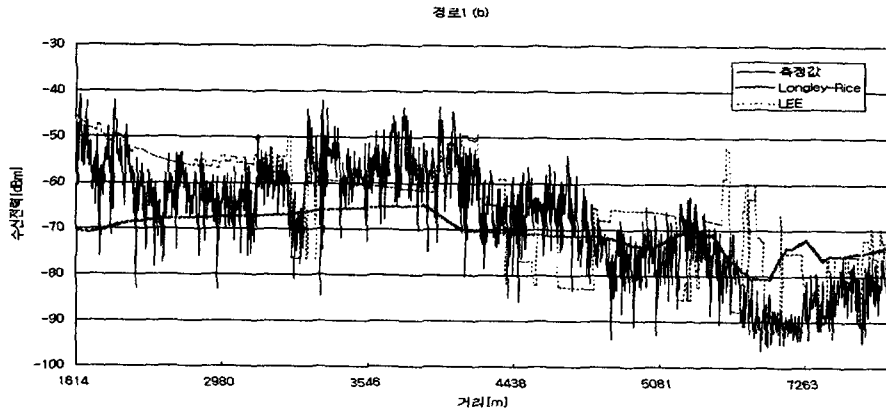
	L-R	Okumura	ITU-R	LEE
경로 1	-2.19	0.54	-	2.93
경로 2	-11.00(1.31)	-10.36(4.46)	(-1.21)	-2.59(1.85)
경로 4	3.02(9.22)	-3.83(1.22)	(4.68)	-0.37(-1.22)
경로 5	(4.08)	(3.26)	(4.61)	-6.38(-1.85)
경로 6	5.44(9.83)	-5.12(-5.43)	(-0.45)	-2.92(-7.18)

표 2. 각 모델에 대한 Error의 RMS
Table 2. The RMS errors for each model

	L-R	Okumura	ITU-R	LEE
경로 1	10.07	8.44	-	10.70
경로 2	17.33(5.48)	15.06(7.49)	(5.42)	10.83(9.72)
경로 4	11.48(11.68)	9.96(6.07)	(7.48)	8.79(7.59)
경로 5	(7.94)	(6.76)	(10.49)	(11.57)
경로 6	11.05(12.79)	14.25(9.55)	(8.28)	12.90(13.32)



(a)



(b)

그림 3. 경로 1에서의 측정값과 비교 (a) Okumura 모델 (b) Longley-Rice와 Lee 모델
Fig. 3. The comparison of estimation results among models in the path 1

비교한 결과이다. 표 1은 각 모델에 대해 Error의 평균을 비교한 결과이고, 표 2는 Error의 RMS를 비교한 것이다. ITU-R 모델은 경로내에서 10 km이상 영역만을 예측하므로, ITU-R 모델과 다른 모델들간의 비교를 위해 표에서는 10 Km이상에 대해서도 비교하였다. 표에서 괄호안의 값

은 각 경로에서 송신점으로부터 10 Km이상되는 지점만 뽑아 비교한 결과이고, 괄호밖의 값은 10 Km이상과 이하를 모두 포함하는 전체 지점들에서의 결과이다. 표 1과 표 2에서 10 Km이상과 이하 모두 예측 가능한 세 모델을 비교한 결과, Error의 평균과 RMS에 있어서 전체적으로

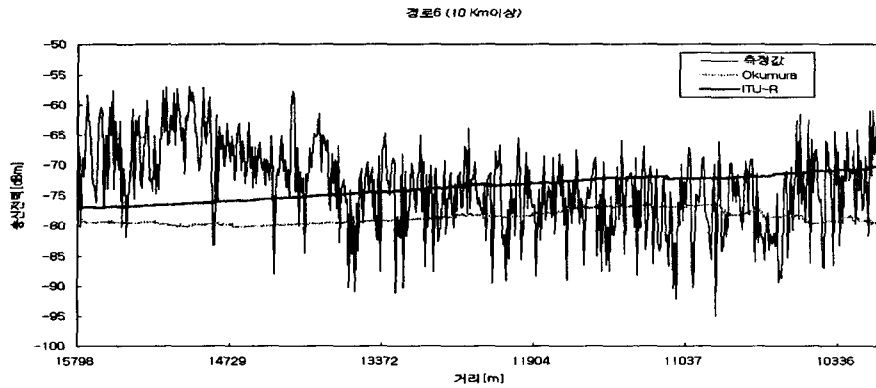


그림 4. 경로6의 10 km이상 지점에서 Okumura 모델과 ITU-R 모델의 비교
Fig. 4. The comparison between Okumura and ITU-R models in the path 6 of 10km or above locations

Okumura 모델이 가장 좋은 성능을 보임을 알 수 있다. 또한 10 Km이상 지점의 데이터만 비교한 괄호 안의 결과를 보면, 10 Km이상 지점에서는 ITU-R 모델도 Okumura 모델과 함께 성능이 좋은 것으로 생각된다. 경험적 모델은 모델을 만들기 위한 측정 지역 선택에 따라 다른 예측 결과를 보인다. Okumura 모델은 우리나라와 유사한 일본에서 측정한 데이터를 기초로 하기 때문에 본 비교 결과에서 타 모델에 비해 좋은 성능을 가진 것으로 보인다.

그림 3과 그림 4는 각각 경로1과 경로6에서의 결과를 보여준다. 그림 3은 10 Km이하를 예측하는 세 모델들을 측정치와 비교한 것이다. 그림 4에서는 경로6의 10 Km이상 지점에서의 Okumura 모델과 ITU-R 모델의 예측 결과를 보여준다.

Ⅶ. 결 론

본 연구에서는 여러 가지 매크로셀용 전파전파 예측 방식중 Okumura, Longley & Rice, Lee, ITU-R 모델을 프로그램 하여 이를 서울에서 측정한 데이터와 비교, 검토하였다. 측정값들은 남산에서 송신한 320MHz의 주파수를 갖는 신호로 서울의 서부 5개 경로에서 수신한 데이터이다. 4가지 모델을 예측치와 측정치 차이의 평균과 RMS로 비교하였을 때, 전체적으로 Okumura 모델이 가장 좋은 성능을 보였다. 그리고, 송신 지점으로부터 10 Km이상 경로에서의 결과 분석으로 볼 때, 10 Km이상에서는 Okumura 모델과 함께 ITU-R 모델도 다른 두 개의 모델에 비해 성능이 좋은 것으로 생각된다.

Okumura 모델은 일본에서 측정한 데이터의 통계적 분석으로 만들어진 것이므로 일본과 비교적 유사한 지형을 가진 우리 나라에서도 좋은 결과를 낸 것으로 보인다. 본 연구의 결과에 따라, 국내의 방송 전파 예측에는

Okumura 모델과 ITU-R 모델이 적합할 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Okumura et al. "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile radio service," *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 16, pp. 825-873, 1968.
- [2] Y. Okumura, "Mobile radio propagation. - general characteristics and prediction method for mobile field strength," 1995.
- [3] A. G. Longley and P. L. Rice, "Prediction of tropospheric radio transmission over irregular terrain. A computer method-1968," *ESSA Tech Rep. ERL79-ITS67*, U.S. Government Printing Office, Washington DC, Jul. 1968.
- [4] ITU-R Assembly, Rec. PN. 370-6, " VHF and UHF propagation curves for the frequency range from 30 MHz to 1000 MHz (broadcasting service)," Geneva, 1995.
- [5] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill Book co., 1982, chap. 4.
- [6] W. C. Y. Lee, "Lee's model," *IEEE VTS 42nd Conference Proc.*, pp. 343-348, 1992.
- [7] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, 1993, chap. 2.
- [8] W. C. Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications*, McGraw-Hill Book co., 1995, chap. 4.
- [9] D. S. Paunovic, et al. "Choice of a suitable method for the prediction of the field strength in planning land mobile radio systems," *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. 33, no. 3, pp. 259-265, 1984.
- [10] IEEE VTS Committee on Radio Propagation,

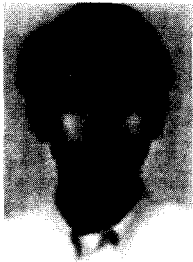
"Coverage prediction for mobile radio systems operating in the 800/900 MHz frequency range," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 37, no. 1, Feb. 1988.

[11] J. F. Aurand, R. E. Post, "A comparison of prediction methods for 800 MHz mobile radio propagation," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 34, no. 4, 1985.

저 자 소 개

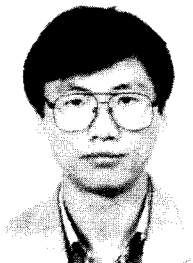
이 영 대

1996년 홍익대학교 전자공학과 졸업
1996년 ~ 현재 서울대학교 전기공학부 석사과정
주관심분야: 전파전파 예측모델, 전자파 해석



조 한 진

1997년 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 졸업
1997년 ~ 현재 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 석사과정
주관심분야: 이동통신 전파예측모델, 안테나 설계 및 해석



양 경 석

1983년 고려대학교 전자공학과 졸업
1987년 ~ 현재 한국방송공사 기술연구소 연구원
주관심분야: 지상파 디지털 TV 방송



박 천 석

1988년 서울대학교 전기공학과 졸업
1990년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업
1995년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업(공학박사)
1995년 ~ 현재 성균관대학교 전기전자및컴퓨터공학부 조교수
주관심분야: 마이크로파 image, 배열 안테나 설계, 산란파 해석

남 상 욱

1981년 서울대학교 전자공학과 졸업
 1983년 한국과학기술원 전기전자공학과 졸업
 1983년 ~ 1986년: 금성사 중앙연구소 주임연구원
 1989년 미국 텍사스주립대학교 전기공학과 졸업(공학박사)
 1990년 ~ 현재: 서울대학교 전기공학부 부교수
 주관심분야: 전자파 해석, 마이크로파 측정 및 회로설계

**목 하 균**

1980년 서울대학교 전기공학과 졸업
 1982년 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 졸업
 1982년 ~ 현재 한국방송공사 기술연구소 선임연구원
 주관심분야: 지상파 디지털 TV 방송, 위성방송