

해수면 자유공간의 전파경로손실 예측 모델

Prediction Model of Propagation Path Loss of the Free Space in the Sea

류 광 진*, 박 창 균**
(Kwang-Jin Ryu*, Chang-Gyun Park**)

* 조선대학교 대학원 전자공학과, ** 조선대학교 전자정보통신공학부
(접수일자: 2003년 7월 7일; 채택일자: 2003년 8월 19일)

지금까지 제안된 전파경로손실 예측모델 모두는 지표면 생활공간을 대상으로 하였을 뿐이다. 실제 해수면 자유공간은 지표면 생활공간과 물리적 계층구조가 다르다. 따라서 지표면 생활공간을 대상으로 한 전파경로손실 예측모델을 해수면 자유공간에 적용하는 경우, 전파경로손실은 실측값보다 더 적고, 한편 서비스 가능 최대 직선거리가 더 짧게 예측된다. 그러므로 본 연구에서는 CDMA 방식 이동통신 주파수대역을 중심으로 해수면 자유공간에서의 전파경로손실을 보다 정확히 예측하기 위한 모델을 제안하여 시뮬레이션하고 이를 현장 실측결과와 비교함으로써 그 실용성을 검증한다.

핵심용어: CDMA, 전파경로손실, 전파경로손실 예측모델, 해상 이동통신 서비스, 해수면 자유공간

투고분야: 음향 통신기술 분야 (6.2)

All of propagation path loss prediction models, which have been presented up to date, are only for ground living space. In reality, sea surface free space is different from ground living space in physical hierarchical structure. If the propagation path prediction model for ground living space is applied to the sea surface free space, propagation path loss will be smaller than actual value, while the maximum service straight line will become shorter. Thus this paper proposed and simulated the propagation path loss prediction model for predicting propagation path loss more accurately in sea surface free space, with its focus on CDMA mobile communication frequency band. Then the simulation results were compared to actual survey to verify its practicality.

Keywords: CDMA, Propagation path loss, Propagation path loss prediction model, Mobile communication service in the sea, Sea surface free space

ASK subject classification: Acoustic communication (6.2)

I. 서론

보편적 서비스를 기준으로 할 때, 대도시와 주거 밀집 지역에 대한 이동전화 서비스는 비교적 만족할 수준이다. 그러나 이용자 분포가 낮아 경제성이 미흡한 원·근거리 해상에 대한 이동전화 서비스 수준은 매우 낮다. 그러므로 해상에 대한 이동전화 서비스 또한 대도시와 동일한 수준으로 향상되어야 할 것이다[1-3].

실제 원·근거리 해상에 이동전화 서비스를 하는 경우의 문제점은 경영 적자, 기지국 건설장소의 부재, 그리고 위치선정의 어려움 등이다. 원·근거리 해상에 대한 이동전화 서비스를 향상하기 위한 방법 중 하나는 해수

면 자유공간에서의 전파경로손실 예측모델을 실용화하여 한 기지국당 서비스 영역을 최적으로 확장함으로써 시설 투자비와 유지보수비를 줄이는 것이다.

지금까지 이론적인 바탕과 경험적인 측정의 조합에 의해 제안된 전파경로손실 예측모델로서는 Egri 모델[4,5], Carey 모델[6-9], Okumura 모델[10] 등이 있다. 그러나 이들 모두는 지표면 자유공간을 대상으로 한 전파경로손실 예측모델일 뿐이었다. 실제 지표면과 해수면의 자유공간은 물리적 계층구조가 서로 다르다. 그러므로 지표면 생활공간을 대상으로 한 전파경로손실 예측모델을 해수면 자유공간에 적용하는 경우 전파경로손실은 실측 데이터보다 적고, 서비스 가능 최대직선거리가 더 짧게 예측된다.

따라서 본 논문에서는 원·근거리 해상을 대상으로 CDMA 이동통신 서비스를 하는 경우 해수면 자유공간에

책임저자: 박창균 (cgpark@chosun.ac.kr)
!01-759 광주광역시 동구 서석동 375번지
!조선대학교 전자정보통신공학부 통신&전파전파 LAB.
(전화: 062-230-7855; 팩스: 062-233-1221)

서의 수신전력을 보다 정확하게 예측하기 위한 전파경로손실 예측모델을 제안하여 시뮬레이션하고, 그 결과를 현장 실측 데이터와 비교함으로써 실용성을 검증하였다. 실측 데이터를 얻기 위한 사용주파수로써 CDMA 방식 각 이동통신의 중심주파수인 셀룰라 시스템의 800 MHz, PCS의 1900 MHz, IMT-2000의 2200 MHz를 선택하였다.

II. 전파환경과 지표면 자유공간의 전파경로손실

2.1. 해수면과 지표면 자유공간의 전파환경

해수면과 지표면 자유공간의 전파환경은 상당히 다르다. 지상중계에 의한 이동통신의 경우, 지표면 자유공간의 도심지역 전파환경에서 가장 고려해야 할 전파손실은 지형지물 등에 의한 반사손실과 경로손실이다. 그동안 수차례에 걸친 현장측정을 통하여 확인된 결과로서 페이딩과 위상지연에 의한 손실은 서비스 거리가 짧기 때문에 별다른 영향을 주지 않는 것으로 확인되었다. 그러나 해수면 자유공간의 전파환경은 도심지역과 달리 지형지물이 없는 반면 대기밀도가 불균일하고, 이동통신 서비스가 가능한 최대 직선거리의 등가가시거리로써 길다. 그러므로 해수면 자유공간에서 가장 고려해야 할 전파손실은 경로손실, 대기굴절손실, 위상지연손실이다. CDMA방식 이동통신 시스템에서 위상지연에 따른 운용상 문제점을 해결하기 위한 방법은 이미 논자에 의해 발표되었다.

해수면 자유공간의 대기밀도는 해수면에 가까울수록 높고 멀어질수록 기온, 기압, 습도 등의 저하로 점차 낮아지기 때문에 유전률과 굴절률이 감소한다. 따라서 해수면 위를 진행하는 전파는 직진하지 않고 얇은 대기층을 따라 위를 향해 계속 굴절한다. 그 결과 해수면 위를 진행하는 전파의 최대 직선거리의 기하학적 가시거리 즉, 지표면을 진행하는 전파의 최대 직진거리보다 더 긴 등가가시거리가 된다.

따라서 지표면과 해수면의 자유공간에서 전파가 동일 직선거리를 진행하는 경우, 해수면에서의 전파경로손실은 전파의 잦은 굴절로 인해 지표면에서 보다 증가할 뿐만 아니라 여기에 주파수에 비례한 경로손실이 추가로 발생한다.

2.2. 지표면 자유공간의 전파경로손실

안테나의 실효방사전력이 P_T 일 때, 직선거리 d [m] 인 지표면 자유공간에서의 수신전력 P_{RE} 는 식 (1), 식 (2)와 같다.

$$P_{RE} [W] = \frac{P_T}{4\pi d^2} \times A_e = P_T \times \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \quad (1)$$

$$P_{RE} [dB m] = 10 \log \frac{P_{RE}}{1 \times 10^{-3}} \\ = 10 \log P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \times 10^3 \quad (2)$$

여기서, $A_e: \lambda^2/4\pi [m^2]$, λ : 전파의 파장 [m], d : 직선경로 [m]이다. 지표면 자유공간에서의 전파경로손실 L_E 를 식 (1)으로부터 구하면 식 (3)과 같다.

$$L_E [dB] = 10 \log \frac{P_{RE}}{P_T} = 10 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right)^2 \\ = 20 \log \frac{c}{4\pi df} \quad (3)$$

여기서, c : 전파의 속도 [m/s], f : 전파의 주파수 [Hz]이다.

III. 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 실측

3.1. 실측환경 및 장비

해수면 자유공간에서의 전파경로손실은 표 1의 사양으로 충남미지역에 위치한 섬 주변에서 실측되었다.

표 1. 실측사양
Table 1. Survey specification.

| | |
|--------------------|---|
| Tx | P_T : 20 W (43 dBm) Ant. gain: 6 dB Ant. height: 22 m (building height: 20 m) Tx equipment: using existing base stations |
| Rx | Measured equipment: HP RF Coverage Measurement System (Agilent Co.) Measured method: survey using a boat (40 km/h ~ 60 km/h) Measured straight line: radius 10 m ~ 3300 m |
| Test Site Location | Latitude: 17-55-9.7 (UTM: 1981526.786) Longitude: (-)87-57-40.6 (UTM: 398186.5393) |
| Test Frequency | 800 MHz (Center frequency of cellular system) 1900 MHz (Center frequency of PCS system) 2200 MHz (Center frequency of IMT-2000 system) |

3.2. 해수면과 지표면 자유공간에서의 전파경로손실

3.2.1. 전파경로손실과 손실차

표 2는 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 실측 데이터와 식 (3)을 시뮬레이션하여 구한 지표면 자유공간에서의 전파경로손실 데이터, 그리고 두 공간에서의 주파수별 전파경로손실차이다.

표 2의 주요결과는 아래와 같다.

- 주파수 800 MHz, 1900 MHz, 2200 MHz에 대한 자유공간 경로손실은 해수면의 경우가 지표면의 경우보다 평

균 11.12 dB 많았다.

- 동일 주파수에 대한 해수면과 지표면 자유공간에서의 전파경로 손실차는 800 MHz에서 10.73 dB, 1900 MHz에서 11.22 dB, 2200 MHz에서 11.41 dB로서 그 차는 주파수에 비례하여 미소하게 증가하였다.

3.2.2. 주파수에 따른 전파경로손실 증가

표 3, 표 4는 두 비교 간 주파수에서의 거리에 따른 해수면과 지표면 자유공간에서의 전파경로손실과 손실차

표 2. 해수면과 지표면의 자유공간에서의 전파경로손실과 손실차

Table 2. Propagation path loss & loss difference of sea surface and earth in free space.

| straight path (m) | 800 MHz | | | 1900 MHz | | | 2200 MHz | | | | |
|--|------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------------------|---------------|-----------------|------------------------------------|-------------------------|-----------------|--|-------|
| | path loss and loss difference (dB) | | | path loss and loss difference (dB) | | | path loss and loss difference (dB) | | | | |
| | sea surface | earth surface | loss difference | sea surface | earth surface | loss difference | sea surface | earth surface | loss difference | | |
| 10 | -61.504 | -50.504 | 10.000 | -69.282 | -58.017 | 11.265 | -70.940 | -59.290 | 11.650 | | |
| 300 | -90.996 | -80.046 | 10.950 | -98.779 | -87.559 | 11.220 | -100.283 | -88.833 | 11.450 | | |
| 600 | -96.587 | -86.067 | 10.520 | -104.730 | -93.580 | 11.150 | -106.363 | -94.853 | 11.510 | | |
| 900 | -100.388 | -89.588 | 10.800 | -108.322 | -97.102 | 11.220 | -109.785 | -98.375 | 11.410 | | |
| 1200 | -102.897 | -92.087 | 10.810 | -110.820 | -99.600 | 11.220 | -112.350 | -100.870 | 11.480 | | |
| 1500 | -104.856 | -94.025 | 10.831 | -112.761 | -101.540 | 11.221 | -114.161 | -102.810 | 11.351 | | |
| 1800 | -106.409 | -95.609 | 10.800 | -114.339 | -103.120 | 11.219 | -115.760 | -104.400 | 11.360 | | |
| 2100 | -107.748 | -96.948 | 10.800 | -115.679 | -104.460 | 11.219 | -117.080 | -105.730 | 11.350 | | |
| 2400 | -108.908 | -98.108 | 10.800 | -116.841 | -105.620 | 11.221 | -118.230 | -106.890 | 11.340 | | |
| 2700 | -109.936 | -99.131 | 10.805 | -117.884 | -106.640 | 11.244 | -119.270 | -107.920 | 11.350 | | |
| 3000 | -110.849 | -100.050 | 10.799 | -118.780 | -107.560 | 11.220 | -120.180 | -108.830 | 11.350 | | |
| 3300 | -111.670 | -100.870 | 10.800 | -119.629 | -108.390 | 11.239 | -121.014 | -109.660 | 11.354 | | |
| average loss difference | | | 10.73 | average loss difference | | | 11.22 | average loss difference | | | 11.41 |
| average loss difference in 800 MHz ~ 2200 MHz: (10.73 + 11.22 + 11.42) / 3 = 11.12dB | | | | | | | | | | | |

표 3. 해수면 자유공간의 전파경로손실과 손실차

Table 3. Propagation path loss & loss difference of sea surface in free space.

| straight path (m) | path loss (dB) | | loss difference dB | path loss (dB) | | loss difference dB | path loss (dB) | | loss difference dB | | |
|------------------------------|----------------|----------|----------------------|------------------------------|----------|----------------------|----------------|------------------------------|----------------------|--|------|
| | 800 MHz | 1900 MHz | | 800 MHz | 2200 MHz | | 1900 MHz | 2200 MHz | | | |
| 10 | -61.504 | -69.282 | 8.778 | -61.504 | -70.940 | 9.436 | -69.282 | -70.940 | 1.658 | | |
| 300 | -90.996 | -98.779 | 7.783 | -90.996 | -100.283 | 9.287 | -98.779 | -100.283 | 1.504 | | |
| 600 | -96.587 | -104.730 | 8.143 | -96.587 | -106.363 | 9.776 | -104.730 | -106.363 | 1.633 | | |
| 900 | -100.388 | -108.322 | 7.934 | -100.388 | -109.785 | 9.397 | -108.322 | -109.785 | 1.463 | | |
| 1200 | -102.897 | -110.820 | 7.923 | -102.897 | -112.350 | 9.453 | -110.820 | -112.350 | 1.530 | | |
| 1500 | -104.856 | -112.761 | 7.905 | -104.856 | -114.161 | 9.305 | -112.761 | -114.161 | 1.400 | | |
| 1800 | -106.409 | -114.339 | 7.930 | -106.409 | -115.760 | 9.351 | -114.339 | -115.760 | 1.421 | | |
| 2100 | -107.748 | -115.679 | 7.931 | -107.748 | -117.080 | 9.332 | -115.679 | -117.080 | 1.401 | | |
| 2400 | -108.908 | -116.841 | 7.933 | -108.908 | -118.230 | 9.322 | -116.841 | -118.230 | 1.389 | | |
| 2700 | -109.936 | -117.884 | 7.948 | -109.936 | -119.270 | 9.334 | -117.884 | -119.270 | 1.386 | | |
| 3000 | -110.849 | -118.780 | 7.931 | -110.849 | -120.180 | 9.331 | -118.780 | -120.180 | 1.400 | | |
| 3300 | -111.670 | -119.629 | 7.959 | -111.670 | -121.014 | 9.344 | -119.629 | -121.014 | 1.385 | | |
| average path loss difference | | | 8.01 | average path loss difference | | | 9.39 | average path loss difference | | | 1.46 |

표 4. 지표면 자유공간의 전파경로손실과 손실차

Table 4. Propagation path loss & loss difference in free space on earth surface.

| straight path (m) | path loss (dB) | | loss difference dB | path loss (dB) | | loss difference dB | path loss (dB) | | loss difference dB |
|------------------------------|----------------|----------|---------------------|------------------------------|----------|---------------------|------------------------------|----------|---------------------|
| | 800 MHz | 1900 MHz | | 800 MHz | 1900 MHz | | 800 MHz | 1900 MHz | |
| 10 | -50.504 | -58.017 | 7.520 | -50.504 | -59.290 | 8.790 | -58.017 | -59.290 | 1.270 |
| 300 | -80.046 | -87.559 | 7.513 | -80.046 | -88.833 | 8.787 | -87.559 | -88.833 | 1.274 |
| 600 | -86.067 | -93.580 | 7.513 | -86.067 | -94.853 | 8.786 | -93.580 | -94.853 | 1.273 |
| 900 | -89.588 | -97.102 | 7.514 | -89.588 | -98.375 | 8.787 | -97.102 | -98.375 | 1.273 |
| 1200 | -92.087 | -99.600 | 7.513 | -92.087 | -100.870 | 8.783 | -99.600 | -100.870 | 1.270 |
| 1500 | -94.025 | -101.540 | 7.515 | -94.025 | -102.810 | 8.785 | -101.540 | -102.810 | 1.270 |
| 1800 | -95.609 | -103.120 | 7.511 | -95.609 | -104.400 | 8.791 | -103.120 | -104.400 | 1.280 |
| 2100 | -96.948 | -104.460 | 7.512 | -96.948 | -105.730 | 8.782 | -104.460 | -105.730 | 1.270 |
| 2400 | -98.108 | -105.620 | 7.512 | -98.108 | -106.890 | 8.782 | -105.620 | -106.890 | 1.270 |
| 2700 | -99.131 | -106.640 | 7.509 | -99.131 | -107.920 | 8.789 | -106.640 | -107.920 | 1.280 |
| 3000 | -100.050 | -107.560 | 7.510 | -100.050 | -108.830 | 8.780 | -107.560 | -108.830 | 1.270 |
| 3300 | -100.870 | -108.390 | 7.520 | -100.870 | -109.660 | 8.790 | -108.390 | -109.660 | 1.270 |
| average path loss difference | | | 7.51 | average path loss difference | | 8.79 | average path loss difference | | 1.27 |

표 5. 해수면과 지표면 자유공간의 주파수에 따른 전파경로손실과 손실차

Table 5. Propagation path loss & loss difference in free space on sea surface and earth with frequencies.

| frequency | sea surface path loss (dB) | earth surface path loss (dB) | loss difference (dB) | average loss difference/100 MHz (dB) |
|---|----------------------------|------------------------------|----------------------|--------------------------------------|
| 800 MHz & 1900 MHz | 8.01 | 7.51 | 0.50 | 0.046 |
| 800 MHz & 2200 MHz | 9.39 | 8.79 | 0.60 | 0.043 |
| 1900 MHz & 2200 MHz | 1.46 | 1.27 | 0.19 | 0.063 |
| average loss per 100 MHz in loss at 800 MHz ~ 2200 MHz frequency bands with duplicate calculation | | | | 0.051 |

이다. 표 3, 표 4의 주요결과는 다음과 같다.

- 두 비교주파수가 동일한 경우 해수면과 지표면 자유공간에서의 평균 전파경로 손실차는 직선경로에 관계없이 거의 일정하였다. 즉 두 비교주파수간 평균 전파경로 손실차는 지표면 자유공간에서 800 MHz와 1900 MHz에서 7.51 dB, 800 MHz와 2200 MHz에서 8.79 dB, 1900 MHz와 2200 MHz에서 1.27 dB이고 해수면 자유공간에서 800 MHz와 1900 MHz에서 8.01 dB, 800 MHz와 2200 MHz에서 9.39 dB, 1900 MHz와 2200 MHz에서 1.46 dB이었다.
- 두 비교주파수간 평균 전파경로 손실차는 해수면의 경우가 지표면의 경우보다 더 많았다.

표 5는 두 비교주파수가 동일한 경우에 지표면과 해수면 자유공간에서의 전파경로손실과 손실차, 그리고 100 MHz당 평균 전파경로손실 증가량이다. 이는 지표면 자유공간 대비 해수면 자유공간에서의 주파수에 비례한 전파경로손실 증가정도를 구하기 위한 데이터이다.

표 5의 주요결과는 아래와 같다.

- 지표면의 경우와 비교할 때, 해수면 자유공간에서의 100 MHz당 평균 전파경로손실 증가량은 800 MHz와 1900 MHz 주파수대역에서 0.046 dB, 800 MHz와 2200 MHz 주파수대역에서 0.043 dB, 1900 MHz와 2200 MHz 주파수대역에서 0.063 dB로서 주파수에 따른 경로손실의 등비가 증가하였다.
- 중복계산에 의하면 800 MHz~2200 MHz 주파수대역에서 해수면 자유공간 전파환경에서의 100 MHz당 평균경로손실 증가량은 약 0.051 dB이었다. 이상은 해수면 자유공간에서의 잦은 전파굴절 때문에 발생할 수밖에 없는 예측된 결과이다.

IV. 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 예측모델 제안 및 시뮬레이션

4.1. 전파경로손실 예측모델 제안

해수면 자유공간에서의 가상 전파경로손실 예측모델

L_s 는 식 (4)와 같다.

$$L_s[\text{dB}] = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi d} \right) - (k_1 + k_2 f) \\ = 20 \log \frac{c}{4\pi df} - (k_1 + k_2 f) \quad (4)$$

식 (4)의 제 1항은 지표면 자유공간에서의 전파경로 손실이고, k_1 , k_2 는 보정상수로서 아래 근거에 의하여 계산되었다.

▶ k_1 값의 결정

해수면 자유공간에서의 전파경로손실 실측 데이터와 식 (3)을 시뮬레이션 하여 구한 지표면 자유공간에서의 전파경로손실 데이터의 차를 평균한 11.12 dB (표 2)를 5.차 보정하여 k_1 값을 11.3으로 하였다.

▶ k_2 값의 결정

중복계산에 의한 해수면 자유공간 전파환경 (800 MHz ~ 2200 MHz)에서의 100 MHz당 평균전파경로손실 증가량은 약 0.051 dB (표 5)를 근거하여 오차 보정함으로써 k_2 값을 5.2×10^{-11} 로 하였다.

※ 산출근거

- 단위전환: $0.051/\text{MHz} = 5.1 \times 10^{-8}/\text{Hz}$
- 주파수에 비례한 경로손실 증가: $5.1 \times 10^{-3}f$
- 오차 보정 후 k_2 값: $5.2 \times 10^{-11}f$

이상에서 구한 보정상수 k_1 , k_2 값을 식 (4)에 대입 함으로써 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 예측모델 식 (5)를 제안한다.

$$L_s[\text{dB}] = 10 \log \left(\frac{\lambda^2}{4\pi d} \right) - (11.3 + 5.2 \times 10^{-11}f) \\ = 20 \log \frac{c}{4\pi df} - (11.3 + 5.2 \times 10^{-11}f) \quad (5)$$

4.2. 제안 전파경로손실 예측모델의 시뮬레이션 및 결과분석

표 6은 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 실측 데이터 (표 2)와 제안 전파경로손실 예측모델 식 (5)의 시뮬레이션 데이터를 비교한 것이다.

표 6은 해수면 자유공간에서의 전파경로손실 실측데이터와 제안 전파경로손실 예측모델의 시뮬레이션 결과의 비교로서 주요결과는 아래와 같다.

- 주파수대역별 평균절대오차는 800 MHz에서 0.08 dB, 1900 MHz에서 0.18 dB, 2200 MHz에서 0.07 dB이었다.
- 주파수대역 800 MHz ~ 2200 MHz에서 평균절대오차는 0.11 dB이었다.

이상의 결과, 계절에 따른 기상변화와 지표면 자유공간과 해수면 자유공간의 대기밀도의 불확실성을 고려할 때, 실측 데이터와 제안 전파예측모델의 시뮬레이션 데이터의 오차범위는 거의 없는 것으로 확인한다.

표 6. 실측 데이터와 제안 예측모델의 시뮬레이션 데이터의 비교

Table 6. Comparison between surveyed data and simulation data using the proposed prediction model.

| straight path (m) | 800 MHz | | | 1900 MHz | | | 2200 MHz | | | | |
|---|----------------------|-----------------|--------|------------------------|-----------------|--------|----------------------|------------------------|--------|--|------|
| | path loss error (dB) | | | path loss error (dB) | | | path loss error (dB) | | | | |
| | measured data | simulation data | error | measured data | simulation data | error | measured data | simulation data | error | | |
| 10 | -61.504 | -61.345 | 0.159 | -69.282 | -69.416 | -0.134 | -70.940 | -70.705 | 0.235 | | |
| 300 | -90.996 | -90.888 | 0.108 | -98.779 | -98.958 | -0.179 | -100.283 | -100.247 | 0.036 | | |
| 600 | -96.587 | -96.908 | -0.321 | -104.730 | -104.980 | -0.250 | -106.363 | -106.270 | 0.093 | | |
| 900 | -100.388 | -100.430 | -0.042 | -108.322 | -108.500 | -0.178 | -109.785 | -109.790 | -0.005 | | |
| 1200 | -102.897 | -102.930 | -0.033 | -110.820 | -111.000 | -0.180 | -112.350 | -112.290 | 0.060 | | |
| 1500 | -104.856 | -104.870 | -0.014 | -112.761 | -112.940 | -0.179 | -114.161 | -114.230 | -0.069 | | |
| 1800 | -106.409 | -106.450 | -0.041 | -114.339 | -114.520 | -0.181 | -115.760 | -115.810 | -0.050 | | |
| 2100 | -107.748 | -107.790 | -0.042 | -115.679 | -115.860 | -0.181 | -117.080 | -117.150 | -0.070 | | |
| 2400 | -108.908 | -108.950 | -0.042 | -116.841 | -117.020 | -0.179 | -118.230 | -118.310 | -0.080 | | |
| 2700 | -109.936 | -109.970 | -0.034 | -117.884 | -118.040 | -0.156 | -119.270 | -119.330 | -0.060 | | |
| 3000 | -110.849 | -110.890 | -0.041 | -118.780 | -118.960 | -0.180 | -120.180 | -120.250 | -0.070 | | |
| 3300 | -111.670 | -111.720 | -0.050 | -119.629 | -119.790 | -0.161 | -121.014 | -121.070 | -0.056 | | |
| average absolute error | | | 0.08 | average absolute error | | | 0.18 | average absolute error | | | 0.07 |
| average absolute error at 800 MHz ~ 2200 MHz frequency bands (dB): 0.11 | | | | | | | | | | | |

V. 결론

지금까지 이론적 바탕과 실험적 경험에 의해 제안된 지표면 자유공간에서의 전파경로손실 예측모델을 해수면 자유공간에 적용하는 경우 실측데이터 보다 전파경로손실이 적고 서비스 가능 최대 직선거리가 더 짧게 예측되는 문제점을 안고 있다.

따라서 본 연구에서는 CDMA 이동통신 서비스를 하는 경우 해수면 자유공간에서의 수신전력을 보다 정확하게 예측하기 위한 전파경로손실 예측모델을 제안하여 시뮬레이션하였고, 그 데이터를 실측 데이터와 비교한 주요 결과는 아래와 같다.

- 주파수대역별 평균절대오차는 800 MHz에서 0.08 dB, 1900 MHz에서 0.18 dB, 2200 MHz에서 0.07 dB이었다.
- 주파수대역 800 MHz~2200 MHz에서 평균절대오차는 0.11 dB이었다.

이상의 결과, 계절에 따른 기상변화와 지표면 자유공간과 해수면 자유공간의 대기밀도의 불확실성을 고려할 때 실측 데이터와 제안 전파예측모델의 시뮬레이션 데이터의 오차범위는 거의 없는 것으로 확인한다.

감사의 글

이 논문은 2002년도 조선대학교 연구보조비 지원에 의하여 연구되었음.

참고 문헌

1. 노순국, "이동통신의 보편적 서비스 제공을 위한 정책 분석 및 방안에 관한 연구", 공학박사 학위 논문, 조선대학교, 2000.
2. 양홍영, "CDMA 이동통신 서비스영역 확장에 관한 연구", 공학박사 학위 논문, 조선대학교, 2001.

3. 최동우, "CDMA 이동통신 기지국의 상호변조 특성에 관한 연구", 공학박사 학위 논문, 조선대학교, 2002.
4. M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, 29 (3), 317-325, Aug. 1980.
5. J. J. Egri, "Radio Propagation above 40 Mc over irregular terrain," *Proc. IRE.*, 45 (10), 1383-1391, Oct. 1957.
6. W. C. Jakes, *Microwave Mobile Communications*, Wiley, New York, 1974.
7. R. Carey, "Technical factors affecting the assignment of facilities in the domestic public land mobile radio service," *FCC Washington DC*, Rep. R-6406, 1964.
8. Y. Okumura, "Field strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service," *Rev. Elec. Commun. Lab.*, 16, 825-873, 1968.
9. R. E. Edwards and J. Durkin, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems," *Proc. Inst. Elec.*, 116 (9), 1493-1500, Sept. 1969.
10. S. Kozono, and T. Takeuchi, "Recent Propagation studies on land mobile radio in Japan," *IEICE Trans.*, E-74 (6), Jun. 1991.

저자 약력

● 류 광 진 (Kwang-Jin Ryu)



1989년 2월: 조선대학교 공과대학 전자공학과 졸업 (공학사)
 2001년 8월: 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 2002년 3월~현재: 조선대학교 대학원 전자공학과 박사과정
 1996년 8월~현재: KBS TV제작국 근무
 ※ 주관심분야: 통신 및 회로시스템, 전파전파, DTV 등

● 박 창 균 (Chang-Gyun Park)



1968년 2월: 조선대학교 공과대학 전기공학과 졸업 (공학사)
 1979년 2월: 동국대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학석사)
 1999년 2월: 전남대학교 대학원 전자공학과 졸업 (공학박사)
 1974년 3월~현재: 조선대학교 전자정보통신공학부 교수
 ※ 주관심분야: 통신 및 회로시스템, 이동통신, 전파 전파 등