

자유 공간 모델과 하타 모델을 이용한 구간별 경로 손실 모델 설정에 관한 연구

A Study on the Partial Path Loss Model By Using the Free Space and Hata Path Loss Model

박 경 태*, 조 형 래**

Kyung-Tae Park*, Hyung-Rae Cho**

요 약

본 논문에서는 850 MHz 이동 통신 대역에서의 자유공간 및 오키무라-하타 모델 적용하여, 기지국 설치 대상 지역인 러시아 지역의 경로손실 특성을 구하였다. 기존 경로 손실 모델에 측정 대상 지역인 러시아 PNG 지역의 특성을 추가하기 위하여, 최소 자승 평균 기법을 적용하여 측정 지역의 경로 손실 보정값을 구하였다. 이렇게 구한 보정값을 이용하면, 자유 공간 경로 손실 및 하타 경로 손실 설정값과 실제 측정값의 차이가 5 ~ 10 Km 구간에서는 각각 17, 6 dB, 10 ~ 15 Km 구간에서는 각각 28, 14 dB, 15 ~ 20 Km 구간에서는 각각 35, 18 dB의 측정 대상 지역에 대한 구간별 경로 손실 모델을 설정할 수 있었다.

Abstract

In this paper, we obtained the path loss characteristics in the 850 MHz for Russia area by using the free space path loss model and Okumura-Hata path loss model. In order to extract the additional path loss model parameter from the new Russian regional properties, the mean square error technique is used to obtain the correction factor. According to the obtained correction factor, the differences for the free space and Hata path loss model are 17, 6 dB in the 5 ~ 10 Km, 28, 14 dB in the 10 ~ 15 Km, and 35, 18 dB in the 15 ~ 20 Km. By applying the correction factors, the appropriate partial path loss models for the measured Russian area are proposed.

Keywords : Mobile, Phone, RSSI, Path Loss Model, Russian PNG, Mean Square Error

I. 서 론

지난 수십년 전부터 현재까지, 이동 통신 시스템은 AMPS, GSM, CDMA, WIFI 등으로 이어지며 획기적인 발전을 이룩하였다. 이동 통신 진화는 사용 주파수 대역에 대한 고비용이 사용자에게 부과 되어 왔으나, 대량 이용을 통하여 저렴한 이동 통신 서비스가 보편화 되었다. 이동 전화 시스템은 모바일 교환기를 주축으로 하며, 다수의 기지국과 각 기지국 당 수백 ~ 수천 개의 이동국으로 구성되어 서비스 된다.

기지국을 설계할 경우에는, 먼저 동시 사용자의 크기를 우선적으로 고려하여야 하며, 다음으로 기지국의 서비스 반경을 조정하여 대상 서비스 지역에 음영 지역이 없게 하는 셀 설계 방법이 사용되어야 한다. 그리고, 3G 서비스, 와이파이 등의 새로운 데이터 서비스를 위한 시스템 효율 증가에 필요한 기지국 시스템 파라미터의 조정이 필요하다. 국산 이동 전화 기지국 제품의 성능 향상으로, 국내 셀룰라 기지국 시스템은

외국으로 수출하고 있으며, 셀룰라 기지국 시스템의 설치 및 유지 보수를 위한 셀 초기 배치 위치 선정을 통한 최적화 방법을 정립할 필요가 있다. [1]~[5].

그리고, 효율적이고 신뢰성 있는 셀룰라 서비스 지역을 제공하기 위해서는 신호 세기 측정이 무엇보다도 중요하다. 셀룰라 시스템의 통화 성능은 사용 주파수 대역의 무선 채널을 이용하여 제공되는데, 기지국 안테나와 이동국 안테나 사이의 전파 특성을 파악하는 것이 무선 통신 시스템 설계시 필수적인 것이다. 이를 규명하기 위하여 여러 가지 경로 손실 예측 모델들이 제시되어왔으나, 적용 대상 지역의 지형 및 기후 특성 등에 따라 맞는 모델이 없어서, 기존의 모델을 약간 수정하여 사용하는 실정이다. 여기서는 카자흐스탄 북쪽 1,500 Km 에 위치한 러시아 5개 도시 지역을 연결하는 이동 전화 기지국들의 경로 손실 모델에 대하여 자유 공간 모델과 오키무라-하타의 농촌 모델의 적용 가능 여부를 조사하였다.

러시아의 5 개 도시 지역에 기지국을 설치하기 위하여 초기 기지국 위치를 선정하였으며, 이때 측정한 결과를 본 논문의 데이터로 사용하였다. 자유 공간 경로 손실 모델은 기본적인 이론 모델이고, 이를 바탕으로 일본 동경의 도심 지역에서의 수신된 전력 측정 데이터를 추가로 정립한 대표적인 경로손실식인 하타 모델을 측정 데이터와 비교하여, 러시아 5개 도시 지역의 기지국

* 마산대학, ** 한국해양대(교신전자)

투고 일자 : 2011. 6. 28 수정완료일자 : 2011. 8. 1

게재확정일자 : 2011. 8. 2

배치를 위한 경로 손실식을 설정하기 위한 보정치를 구하여, 그 지역에 대한 새로운 경로 손실식을 작성하려 한다. 이를 위하여, 측정 대상 지역 환경을 기술하고, 측정에 사용된 장비를 소개하였으며, 측정 결과를 제시하였다. 본 논문을 통하여, 측정치를 분석하여 러시아 PNG 지역에 대한 새로운 경로손실 모델을 제시하였다 [5]~10

II. 본 론

1. 자유 공간 경로 손실 및 하타 경로 손실 모델

자유 공간에 대한 경로 손실 식은 점(Point) 형태의 송신 전력이 점점 커지는 풍선처럼 방사되어 일정 면적의 수신 안테나에 도달하는 수신 신호 전력으로부터 식(1)과 같이 구해진다. 송신 전력은 반지름이 d 인 공(Sphere)의 표면에 비례하여 줄어들고, 수신 전력은 수신 안테나 유효 면적에 비례하여 증가된다. 이렇게 구한 자유 공간 경로 손실식 (1)은

$$L(\text{FreeSpace}) = (P_T + G_T) - (P_R - G_R) = 20 \log \left(\frac{\lambda}{4\pi d} \right)^4 \quad (1)$$

과 같이 되는데, 여기서, P_T 는 송신 전력, P_R 는 수신전력, G_T 는 송신 안테나 이득, G_R 는 수신 안테나 이득, λ 는 사용된 전파의 파장이며, d 는 송수신 안테나 사이의 거리이다 [11]~[15].

또한, 오쿠무라의 일본 동경 지역에 대한 경로 손실 측정 그래프로부터 실험식을 유도한 하타 모델에 따른 도심 지역의 경로 손실[dB]은 식(2)와 같이 되며,

$$L(\text{Urban}) = 69.55 + 26.16 \log(f_c) - 13.82 \log(h_b) - a(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log(d) \quad (2)$$

$$a(h_m) = (1.1 \log(f_c) - 0.7) h_m - (1.56 \log(f_c) - 0.8)$$

농촌 지역에 대한 경로 손실 식은 식(2)에 일부 추가되어 식(3)과 같이 되고,

$$L(\text{Rural}) = L(\text{Urban}) - 4.78 (\log f_c)^2 + 18.33 \log(f_c) - 40.94 \quad (3)$$

식(3)에 사용 주파수 $f_c = 850$ MHz, $h_b = 50$ m, $h_m = 3$ m을 적용하면 다음 식(4)와 같이

$$L(\text{Rural}) = [90.64 + 33.77 \log(d)] \quad (4)$$

된다. 하타 모델은 기지국과 단말기 사이의 거리, 사용 주파수 이외에 송수신 안테나 높이까지 고려한 모델로, 특정 지역의 환경에 의한 요소를 많이 담고 있다 [3].

2. 러시아 5 개 도시 지역의 측정 환경 및 장비

러시아 측정 대상 지역은 카자흐스탄에서 북쪽으로 1,500 Km 정도에 위치해 있다. 다섯 개의 주요 도시를 연결하는 주요 도로 주위에서 이동 전화 서비스를 위하여 초기 예상 기지국을 선정하

여 측정이 이루어졌다. 측정 대상 지역의 주변은 주로 농촌 지역으로 이루어져 있고, 낮은 초목이 산재되어 있는 지역이다. (그림 1)과 같은 지역의 건물 옥상에 테스트용 기지국을 세우고 RSSI 측정을 실시하였다 [15]~[19].



그림 1. 이동전화시스템 기지국 초기 배치

Fig.1. The intial constellation of the mobile base station

러시아 지역에 대한 측정 데이터 수집을 위하여 (그림2)와 같은 장비를 기지국과 단말용 이동 밴(Van)에 설치하였다. 총 5개의 기지국을 세워서 이동전화서비스를 제공하려고 하였으며, 사용주파수는 850 MHz 대역이다. 기지국 및 이동국 각각에서 GPS 장치를 사용하여 위치 및 시간 정보를 수집하여, 기지국과 이동국 장치 사이의 거리를 계산하였다. 그리고, 기지국에 사용된 안테나는 전방향성 안테나를 대부분 사용하였으나, 보엔토(Voento) 기지국에는 60도 지향성 안테나를 사용하였다 [4].

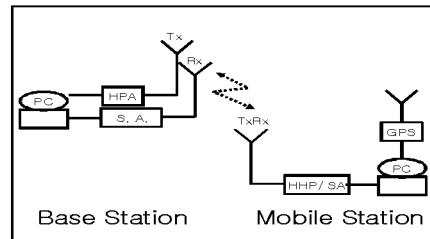


그림 2. 필드 측정 장치 구성

Fig.2. The measurement system configuration for the field test
각 기지국에서의 송신전력은 10Watts 이며, 측정시 고려된 장비의 파라미터 값은 <표 1> 과 같다.

<표. 1> 측정 장치의 링크 버짓(Link Budget) 사양
<Table 1.> Link budget for the measurement system.

기지국	안테나	옵니(Omni)	8
	이득(dBd)	60도 지향성	12
		기지국케이블손실(dB)	8 ~ 20
	LNA 이득(dB)	12	
이동국	LNA의 잡음지수(dB)	2	
	안테나이득(dBd)		3
		케이블손실(dB)	3 ~ 6

측정은 단말기를 실은 차량에서 실시되었고 평균 시속 20 Km/h로 간선 도로를 이동하면서 이루어졌다.

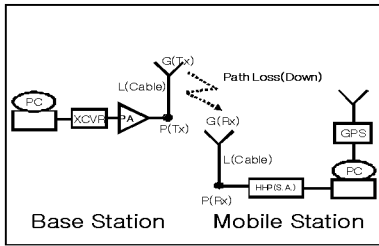
3. 측정치 비교

러시아 5개 도시 지역에서의 측정은 차량 팀과 기지국 팀으로 나누어서 각각 시행되었다. 측정 장치의 링크 버짓(Link Budget) 사양을 고려한 기지국과 단말기 사이의 경로 손실을 구해보면,

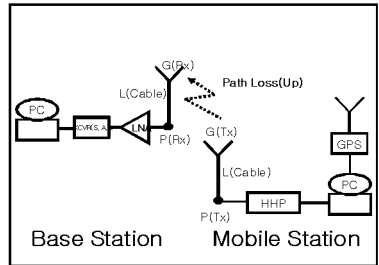
$$L_P = EIRP - (P_R - G_R + L_R). \quad (5)$$

$$EIRP = P_T - L_T + G_T$$

이 된다. 여기서, P_T 는 기지국 송신전력, L_T 는 기지국 안테나 케이블 손실, G_T 는 기지국 안테나 이득, P_R 는 단말기 수신전력, L_R 는 단말기 안테나 케이블 손실, G_R 는 단말기 안테나 이득이다.



(a) 순방향 링크 버짓



(b) 역방향 링크 버짓

그림 3. 필드 측정 장치의 링크 버짓(Link Budget)
Fig.3. The link budget for the measurement system

GPS 장비를 사용하여 기지국과 이동국사이의 거리를 계산하였는데, 송신 신호 레벨에서 수신 신호 레벨까지의 링크 버짓으로부터 경로 손실을 계산하여 (그림4)에 나타내었다.

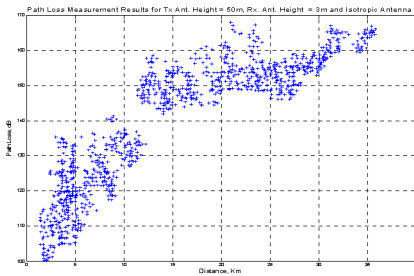


그림 4. 필드 측정 경로 손실
Fig.4. The measured path loss

(그림4)로부터 5 Km 간격으로 평균치를 식(6)의 최소 자승법을 적용하여 구하고, 이를 (그림5)에 5 Km, 10 Km, 15 Km, 20 Km 에 각각 별표(*)로 표시하였으며 [9],

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{n} \sum_{k=1}^n (m - x_k)^2} \quad (6)$$

(그림5)에, 자유 공간 경로 손실 모델에 대한 식(1)과 농촌 지역에서의 하타 경로 손실 모델 식(4)를 같이 나타내었다.

(그림5)에서 기지국으로부터 동일한 거리 5 Km, 10 Km,

15Km, 20 Km, 25 Km 지점에서의 필드측정 경로 손실 값과 자유 공간 경로 손실, 농촌 지역 하타 경로 손실 이론값과의 차이에 대한 평균값은

$$(\text{차이값 평균}) = \left[\sum_{i=1}^N (\text{측정값} - \text{이론값}) \right] / N \quad (7)$$

와 같이 구할 수 있다 [8].

4. 새로운 모델을 위한 보정값 제시

식(7)로부터, 1 Km ~ 30 Km 전 구간에 대한 자유 공간 경로 손실과 하타 모델 이론값에 대한 측정 경로 손실의 차이 값 평균을 구해보면, 각각 28, 13 dB로 계산 되었으며, (그림6)에 나타내었다.

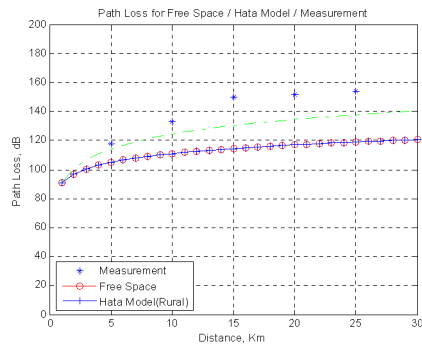


그림 5. 필드측정 경로손실과 이론모델의 경로손실
Fig.5. The measured path loss and the theoretical path loss

이러한 오차의 발생 원인은 기본적으로 러시아 5개 도시 지역의 지형적, 기후적 차이에서 비롯되며, 기타 여러 가지 요소에 의해 기존의 일반적인 경로 손실 모델을 설정할 경우에는, 보정값이 필요 불가결 함을 알 수 있다.

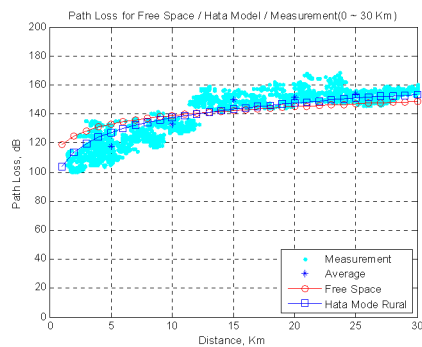


그림 6. 필드 측정 경로 손실과 수정된 경로 손실 이론 모델(전 구간)
Fig.6. The measured path loss and the modified and theoretical path loss model(The entire area)

본 논문에서 측정치와의 비교를 통한 차이 값은 보정치 F_c 를 도입하여 수정해 주어야 할 만큼 큰 값이다. 전체 구간 1 Km ~ 30 Km 에 대하여, 자유 공간 경로 손실 모델에 이를 적용해 보면, 보정된 자유 공간 손실 모델은

$$L_N(\text{FreeSpace}) = 20\log\left(\frac{\lambda}{4\pi d}\right) + Fc_{FS} \tag{8}$$

$$Fc_{FS} = 28 \text{ [dB]}$$

과 같음을 알 수 있고, 하타 경로 손실 모델에 이를 적용해 보면,

$$L_N(\text{Rural}) = L(\text{Urban}) + 4.78(\log f_C)^2 + 18.33\log(f_C) - 40.94 + Fc_{HATA} \tag{9}$$

$$Fc_{HATA} = 13 \text{ [dB]}$$

이 된다는 것을 알 수 있었다. 이를 (그림6)에 나타내어 보았는데, 전체적으로 필드 측정 경로 손실에 가까운 모양을 나타내고 있음을 알 수 있다.

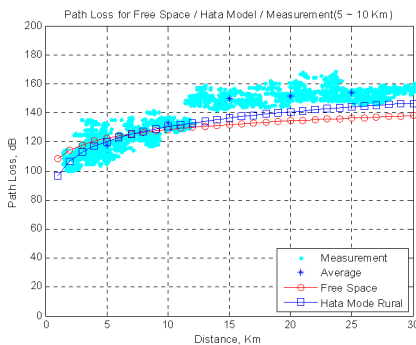


그림 7. 필드 측정 경로 손실과 수정된 경로 손실 이론 모델(5 ~ 10 Km)
Fig. 7. The measured path loss and the modified and theoretical path loss model(5 ~ 10 Km)

이번에는 기지국과 이동국 안테나 사이의 거리를 전체 구간에서 5 ~ 10 Km 구간으로 줄여서 적용하면 자유 공간 보정 계수 $Fc(\text{자유공간})$ 는 17 dB, 하타 모델 보정계수 $Fc(\text{HATA})$ 는 6 dB가 되며, 이를 (그림7)에 나타내었다.

기지국과 단말기 안테나 사이의 거리를 전체 구간에서 10 ~ 15 Km 구간으로 한정하면, 자유 공간 보정 계수 $Fc(\text{자유공간})$ 는 28 dB, 하타 모델 보정 계수 $Fc(\text{HATA})$ 는 14 dB가 되며, 이를 (그림8)에 나타내었다.

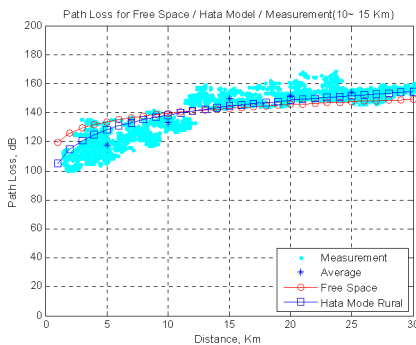


그림 8. 필드 측정 경로 손실과 수정된 경로 손실 이론 모델(10 ~ 15 Km)
Fig. 8. The measured path loss and the modified and theoretical path loss model(10 ~ 15 Km)

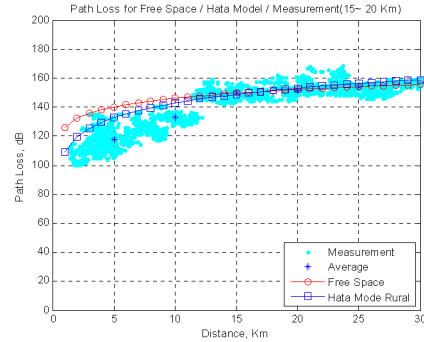


그림 9. 필드 측정 경로 손실과 수정된 경로 손실 이론 모델(15 ~ 20 Km)
Fig. 9. The measured path loss and the modified and theoretical path loss model(15 ~ 20 Km)

또한, 기지국과 단말기 안테나 사이의 거리를 전체 구간에서 15 ~ 20 Km 구간으로 줄여서 적용하면, 자유 공간 보정 계수 $Fc(\text{자유공간})$ 는 35 dB, 하타 모델 보정 계수 $Fc(\text{HATA})$ 는 18 dB가 되며 이를 (그림9)에 나타내었다.

III. 결론

수신 신호 전력과 경로 손실은 주로 기지국과 단말기 안테나 사이의 거리, 측정 대상 지역 환경 및 기후, 사용 주파수, 기지국 송신 전력, 단말기 수신 이득 등에 의하여 결정 된다. 측정 값으로부터 계산된 경로 손실 값은 자유 공간 손실 이론 식과 하타 모델식과 비교하였다. 자유 공간 손실 모델과 하타 경로 손실 모델을 측정치와 비교하면, 러시아 5개 도시 지역의 측정 환경이 다른 것이 가장 큰 오차 요인임을 알 수 있었다.

<표 2.> 구간별 자유공간 및 하타모델 보정인수
<Table 2.> The Correction factor for the free space and Hata propagation models.

구간	$Fc(\text{자유공간})$	$Fc(\text{HATA})$
전체구간	28	13
5 ~ 10 Km	17	6
10 ~ 15 Km	28	14
15 ~ 20 Km	35	18

본 논문에서 측정 대상 지역인 러시아 PNG 지역에 대한 측정치로부터 자유 공간 경로 손실 모델과 하타 경로 손실 모델과의 차이점을 전체 구간 및 5 Km 간격으로 계산해보면 <표2>와 같은 경로 손실 보정이 필요함을 알 수 있었다. 이렇게 설정된 경로 손실 모델은 미 측정 지역에 대한 수신 신호 레벨을 예측하기 위한 자료로 활용된다.

참고 문헌

[1] William C. Y. Lee, "Mobile Cellular Telecommunications", McGraw-Hill Book Co., 1995.
[2] Popoulis, "Probability, Random Variables, and Stochastic

Processes”, McGraw Hill Book Co., 1991.

[3] 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, Aug. 1980.

[4] 박경태 외 2, "이동 통신 대역의 경로 손실 모델 설정에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 제13권 제7호, pp. 726-731, Aug. 2002.

[5] IEEE Vehicular Technology Society Committee on Radio Propagation, "Coverage Prediction for Mobile Radio System Operating in the 800/900 MHz Frequency Range", IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-37, No. 1, pp. 3-72, Feb. 1988.

[6] Nazar. Elfadhil, M. A. Salam, A. Al-Lawati, O. Al-Qasmi, M. Al-Gheithi and Z. Nadir, "Modification of an Open Area Okumura-Hata Propagation Model Suitable For Oman", TENCON 2005 IEEE Region 10, 2005.

[7] W. A. Shinttu, B. G. Bajoga, F. Anwar, and M. J. E. Salami, "Prediction of Received Power and Propagation Path Loss in Open/Rural Environments using modified Free-Space Loss and Hata Models", 2008 IEEE International RF and Microwave Conference Proceedings, pp. 126-130, Kuala Lumpur, Malaysia, Dec. 24 2008.

[8] B. S. L. Castro, I. R. Gomes, F. C. J. Robeiro, and G. P. S. Cavalcante, "COSTA231-Hata and SUI Models Performance Using a LMS Tuning Algorithm on 5.8 GHz in Amazon Region Cities", Antennas and Propagation, 2010 Proceedings of the Fourth European Conference, 2010.

[9] Arturas Medeisis, and Algimantas Kajackas, "On the Use of the Universal Okumura-Hata Propagation Prediction Model in Rural Areas", Vehicular Technology Conference Proceedings, 2000-Spring Tokyo, pp. 1825-1818, 2000.

[10] N. A. Mansour, "RF predictions and Modeling For Micro Cells and PCS Cell Design", Universal Personal Communications, pp. 1745-1749, 1994.

[11] 조한신, 육종관, "마이크로 셀룰라 환경에서의 차세대 이동 통신을 위한 전파전파 특성", 한국전자과학회논문지, 제17권, 5호, pp. 430-439, May. 2006.

[12] 김승민, "밀리미터파 대역에서 전파 경로 손실 예측 모델", 전자공학회논문지 제42권 TE 제2호, pp. 23-28, Jun. 2005.

[13] Hironari Masui, Takehiko Kobayashi, and Masami Akaike, "Microwave Path-Loss Modeling in Urban Line-of-Sight Environments", IEEE Journal on selected areas in communications, Vol.20, No.6, pp. 410-418, Aug. 2002.

[14] 정남호, 백정기, 김준철, 황정환, 한동필, "전파 환경에 따른 밀리미터파 대역 경로 손실 측정 및 분석", 한국전자과학회 논문지, 제11권 제3호, pp. 410-418, Apr. 2000.

[15] 송기홍, 정인명, 김종호, 양기곤, "서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로 손실 분석", 한국전자과학회논문지, 제4권 제2호, pp. 4-10, Jun. 1993.

[16] Mahdi Orooji and Bahma Abolhassani, "New Method for Estimation of Mobile Location Based on Signal Attenuation and Hata Model Signal Prediction", Proceedings of the 2005 IEEE Engineering in Medicine and Biology 27th Annual Conference, pp. 6025-6028, Sep. 2005.

[17] 이상수, 이동진, 최학진, 김준철, 박원진, "국내지형환경에서의 IMT-2000 주파수 경로 손실 측정 및 고찰", 전자공학회 지, 제39권, 12호, pp. 547-552, Dec. 2002.

[18] 송기홍, "8 GHz 대역에서의 마이크로셀용 전파전파 예측 모델 개발", 한국전자과학회논문지, 제17권 제12호, pp. 1212-1223, Dec. 2006.

[19] 이상근, 방효창, "CDMA 무선기술", 세화출판사, 2000.



박 경 태(Kyung-Tae Park)

정 회 원

1990년 2월 한국과학기술대학 전기및전자과(공학사)

1992년 2월 한국과학기술원 전기및전자과(공학석사)

2011년 한국해양대학교 전파공학과(공학박사)

1999년 3월 ~ 현재 마산대학 조선전자통신학부 부교수

※주관심분야 : 이동통신, 마이크로웨이브 소자



조 형 래(Hyung-Rae Cho)

1982년 광운대학교 응용전자공학과(공학사)

1984년 2월 연세대학교 전자공학과(공학석사)

1993년 연세대학교 전자공학과(공학박사)

2004년 - 2007년 (재)한국조선기자재연구원(원장)

1996년 - 현재 한국해양대학교 전파공학과(교수)

※주관심분야 : 이동통신