

이동 통신 망에서 측정하여 계산된 경로 손실의 급격한 변동 위치 추출 방법

The Singular Position Detection Method from the Measured Path Loss Data for the Cellular Network

박경태*, 배성혁*

Kyung-tae Park*, Sung-hyuk Bae*

요 약

이동 통신망의 기지국과 이동국 사이의 거리 차로 인하여 발생하는 경로 손실 데이터를 분석하였다. 본 논문에서는, 측정된 수신 신호세기(RSSI)로부터 송수신기 거리 차이에 따른 경로 손실을 계산하여 이를 그래프로 표시하고, 평균한 데이터를 이용하여 기존의 경로 손실 모델들(자유공간 모델, 지면반사파 모델, 하타 모델,...)과 그래프를 동시에 그려서 비교하였다. 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 간격으로 평균한 경로 손실 데이터에 대한 표준 편차를 구해 보니, 각각 2.29 dB, 3.39 dB, 4.75 dB가 되었다. 본 논문에서는 거리별로 계산된 경로 손실 평균값들의 미분 값을 구하여, 앞에서 구한 경로 손실 표준 편차의 1 또는 2배수를 초과하여 변동하는 위치를 찾아내는 방법을 제안 하였다. 이렇게 제안한 방법을 적용하여 분석한 결과, 송수신기 사이에서 손실이 급격하게 발생하는 지점이, 2 Km 간격으로 경로 손실을 평균한 경우에는 5 지점, 1 Km 간격으로 평균한 경우에는 7 지점, 0.5 Km 간격으로 평균한 경우에는 19 지점이 됨을 알 수 있었고, 구체적인 위치를 파악하는 성과를 얻었다.

ABSTRACT

The path loss data was re-calculated according to the distance between the base station and a mobile station in the mobile telecommunications network. In this paper, the averaged path loss data was plotted with the conventional path loss models(free space, plane earth, Hata model ...). The standard deviations for the 2 Km, 1 Km, 0.5 Km-interval averaged path loss were 2.29 dB, 3.39 dB, 4.75 dB, respectively. Additionally, the derivative values for the 2 Km, 1 Km, 0.5 Km-interval averaged path loss were evaluated to find the positions with more than 1 times or 2times of the standard deviation. The situations with the sharply fluctuated path loss were calculated to 5 positions in the 2 Km interval, to 7 positions in the 1 Km interval, to 19 positions in the 0.5 Km interval, respectively. And, the exact distances between the base station and a mobile station were found with the sharply fluctuated path loss.

Keywords : Base station, Mobile station, Mobile Telecommunications Network, Path loss, Standard deviations, Derivative values, the sharply fluctuated path loss

I. 서 론

이동 통신 시스템을 구축하기 위해서는 기지국에서 이동국 단말기까지의 채널 특성을 반드시 파악하여야 한다. 통신 채널 특성을 파악하는 방법은 송신기와 수신기 사이의 경로 손실을 측정하는 것이다.[1] 송수신기 사이의 거리에 따른 경로 손실은 기지국의 통화 사용자 용량 다음으로 그 중요도가 높다고 할 수 있다. 특히, 사용자 수가 적은 농어촌

지역이나 산악 지역에서는 이동 전화 시스템의 성능을 결정하는 가장 중요한 요소로 알려져 있다. 필드에서 측정된 수신 신호 세기(RSSI)에 대한 데이터 분석 방법은 주로 신호의 크기에 대한 분석 방법을 다루고 있다.[2][3] 자유 공간에서의 경로 손실 모델을 비롯하여, 지표면의 반사파를 고려한 지면반사파 모델, 에글리 모델, 하타 모델 등으로 송수신기 사이의 거리에 따른 측정된 신호 세기로부터 경로 손실을 계산하여 분석하였다. 그러나, 측정 데이터가 방대할 뿐 아니라 다중 경로로 인한 반사파의 영향으로 이동 전화 시스템의 구체적인 성능 개선 해결책을 뚜렷하게 제공하기에는 미비한 점이 많았다. 그리하여, 경로 손실에 대한 분석결과로는 감쇠 정도를 도심 지역, 부도심 지역, 농촌 지역, 개활 지역 등으로 분류하는 개략적인 단계에 머

* 마산대학교 조선전자통신학과

투고 일자 : 2013. 11. 20 수정완료일자 : 2014. 1. 28

계재확정일자 : 2014. 2. 4

물려 있다. 본 논문에서는 측정된 RSSI 데이터로부터 한 단계 더 분석하여, 특정 거리에서의 특이 현상, 즉 갑자기 신호 크기가 크게 변하는 지점들의 구체적인 위치들을 미분 방식으로 파악하는 방법을 제시하였다. II장에서는 이론적인 배경과 실제 측정에 사용된 장비 및 환경 파라미터들을 소개하였고, III장에서는 필드에서 측정하여 계산한 경로 손실을 그래프로 나타내었으며, 이를 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 거리별로 평균하여 기존의 경로 손실 모델들과 비교하여 그래프로 표시하였다. IV장에서는 평균한 경로 손실 데이터의 표준 편차를 구하였고, 경로 손실 미분 값으로부터 표준 편차의 2 배수(또는 1 배수)를 초과하여 변동하는 위치를 파악하였다. V장에서는 결론을 맺었다.

II. 이론적 배경 및 측정 환경

2.1. 이론적 배경

전파가 송신기에서 출발하여 수신기에 도달하는 과정을 표현하는 모델은 공통적으로 송수신기간의 거리에 반비례하여 수신 신호의 세기가 감소하는 과정을 표현한 모델들이 대부분이다. 송수신기 사이의 경로 손실은 수식 (1) 과 같이 표현될 수 있으며,

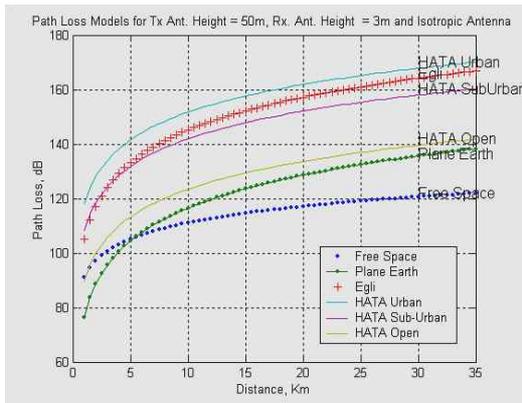


그림 1. 기존의 경로 손실 모델들
Fig. 1. The conventional path loss models

$$PL = L(R) + L(Gt, Gr, f, h_t, h_m \dots) \quad (1)$$

여기서, L(R)은 송수신기 사이의 거리 차이에 의해 발생한 경로 손실이며 식(2)와 같이 주어진다.

$$L(R) = \alpha \log_{10}(R) \quad (2)$$

$L(Gt, Gr, f, h_t, h_m \dots)$ 은 송수신기 안테나 이득(Gt, Gr), 주파수(f), 송수신기 안테나 높이(ht, hr) 등의 전파 환경 파라미터에 의한 영향을 모두 고려한 요소이다.

전파가 공 모양으로 퍼져 나가는 자유 공간 모델에서의 경로 손실은 거리의 제곱 지수에 반비례하여 감소하므로

식(2)의 감쇠 지수 α 는 2의 값을 가지게 되고, 지면 반사파의 영향을 고려한 모델에서는 거리의 네제곱 지수(α 는 4의 값)에 비례하여 증가한다고 알려져 있다.[4] 오쿠무라가 측정하여 분석한 실험적 경로 손실 모델인 하타 모델에서는 거리의 네제곱에 가까운 의존성을 보이고 있다.[5] 이러한 경로 손실 모델에 본 논문의 측정 환경 파라미터를 적용하여 그림 1에 나타내었다.[11]

2.2. 전파 측정 환경

본 논문에서는 대표적인 이동 통신 주파수인 800 ~ 900 MHz 대역의 전파 환경 파라미터를 적용하여 수신 신호 세기(RSSI, Received Signal Strength Intensity)를 측정하였다. 이동 통신 기지국의 위치를 선정하고, 송신 장비 및 송신 안테나를 설치하였으며, 기지국의 정확한 위치 파악을 위하여 GPS 시스템을 이용하였다.

이동전화 기지국 필드 측정 장치

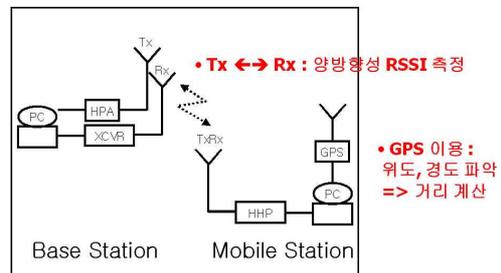


그림 2. 이동전화 전파 환경 측정 시스템의 구성

Fig. 2. The measurement system for the base station - mobile communications

또한, GPS 위치 파악이 가능한 이동국 차량(VAN)에 수신 신호 세기(RSSI)를 측정할 수 있도록 수신 안테나, 측정 장비인 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer)를 통해서 순방향(Down-Link) 특성을 측정하였다. 이동국에서 기지국으로의 역방향(Up-Link) 특성도 이동국의 고전력 증폭기(High Power Amplifier)와 기지국의 스펙트럼 분석기를 통하여 측정하였다.[6]

전파 환경 측정 장치의 링크 버짓(Link Budget) 사양을 고려한 기지국과 단말기 사이의 경로 손실을 구해보면,

$$L_P = EIRP - (P_R - G_R + L_R). \quad (3)$$

$$EIRP = P_T - L_T + G_T \quad (4)$$

이 된다.(PT 는 기지국 송신 전력, LT 는 기지국 안테나 케이블 손실, GT 는 기지국 안테나 이득, PR 는 단말기 수신 전력, LR 는 단말기 안테나 케이블 손실, GR 는 단말기 안테나 이득)

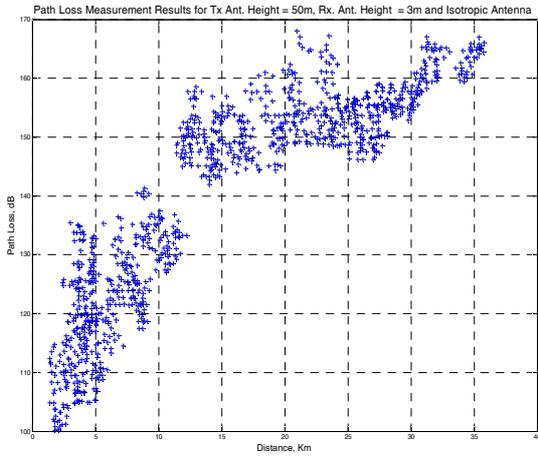


그림 3. 필드에서 측정하여 계산한 경로 손실
Fig. 3. The calculated path loss from the measured RSSI

그래서, 기지국과 단말기 사이의 송수신 신호 세기를 측정하여 계산한 경로 손실을 그림 3에 나타내었다.

III. 측정 데이터 분석

3.1. 필드에서 측정하여 계산한 경로 손실의 거리별 평균값 계산

앞에서 구한 경로 손실 그림 3을 간략화 하여 하나의 선 그래프로 나타내기 위하여, 특정 거리에서의 경로 손실 값을 평균하여 하나의 값으로 나타내면, 거리에 따른 경로 손실 정보를 한 눈에 파악하기 용이하다. 이를 위하여, 일반적 관점에서 계산이 편리하고 데이터 분석이 가장 용이하다고 알려진 거리인 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 간격을 평균을 산출하기 위한 거리로 가정하였다. 평균 산출 거리 별로 경로 손실 평균값을 기지국과 단말기의 거리별로 계산하여 그림 4에 나타내었다. 이로부터, 산출 거리가 짧아질수록 전파 환경이 많이 고려되어 변화가 심한 것을 알 수 있다.[7][8][9]

3.2. 기존의 경로 손실 모델들과의 비교

그림 4에서 구한 측정하여 평균한 데이터 그래프와 자유 공간 경로 손실 모델, 지면 반사파 모델, 에글리 모델, 하타 모델 그래프들을 함께 그림 5에 나타내었다.[10] 이로부터, 10 Km 이전까지는 하타 개활지 모델(Hata Open Model)이 측정하여 평균한 데이터 그래프와 가장 유사하고, 10 Km 이후에는 하타 부도심 모델(Hata Suburban Model)이 측정하여 평균한 데이터 그래프와 가장 가깝다는 것을 직관적으로 알 수 있다. 전체적 관점에서, 측정하여 평균한 경로 손실 데이터와 가장 가까운 모델은 10 Km ~ 30 Km 거리에서 측정 데이터가 가장 유사한 하타 부도심 모델을 유추 할 수 있다.

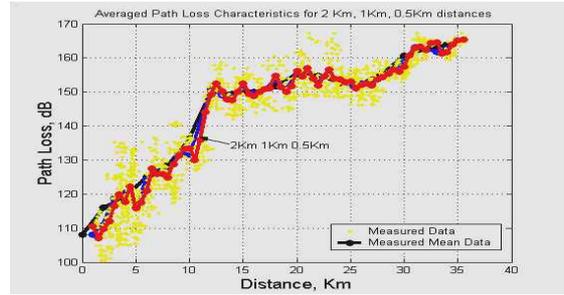


그림 4. 거리별(2Km 1Km 0.5Km) 경로 손실 평균값 계산
Fig. 4. The averaged path loss according to the 3 different 2 Km, 1 Km, 0.5 Km intervals.

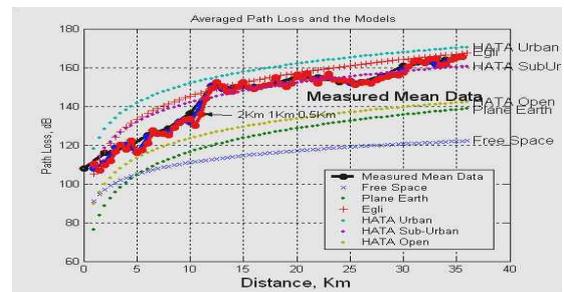


그림 5. 기존의 경로손실 모델들과 측정하여 평균한 경로 손실 그래프

Fig. 5. The conventional path loss model and averaged path loss

3.3. 기존의 경로 손실 모델과 측정하여 계산된 경로 손실 평균값 모델의 거리에 따른 미분 값 그래프

그림 5의 경로 손실 모델들과 측정 데이터 평균 그림에서 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 거리에 따른 경로 손실 미분 값을 수식 (5)와 같이 계산하여 그림 6에 나타내었다.[11]

$$\frac{\Delta PL}{\Delta R} = \frac{PL(k) - PL(k-1)}{R(k) - R(k-1)} \quad (5)$$

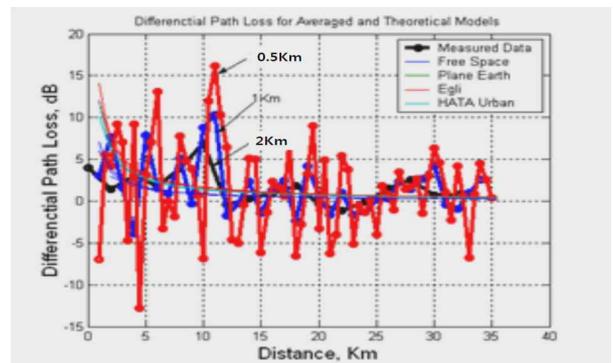


그림 6. 선형적 거리에 따른 측정하여 계산된 경로 손실의 미분 계산값 그래프

Fig. 6. The differential value of the path loss according to the linear scale distance

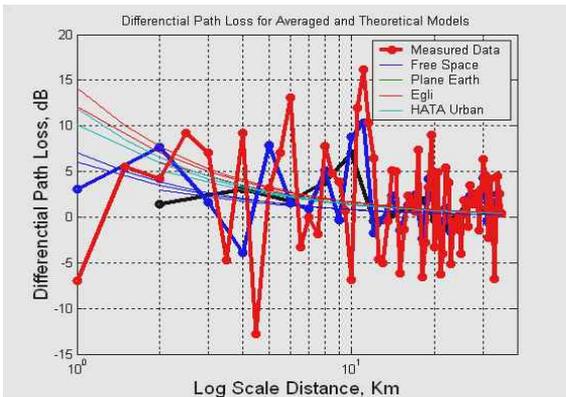


그림 7. 로그적 거리에 따른 측정하여 계산된 경로 손실의 미분 계산값 그래프

Fig. 7. The differential value of the path loss according to the logarithmic scale distance

2 Km 간격으로 그린 미분 값 그래프에 비하여, 0.5 Km 간격으로 그린 미분 값 그래프의 변동 폭이 큰 것을 관찰할 수 있다. 또한, 가로 축의 표기 방법을 선형에서 로그 스케일로 변경하여 그림 7에 그려보니, 10 Km 이내의 영역에서 미분 값이 큰 위치를 파악하기 용이하여서 소형 기지국의 분석에 더욱 용이한 자료로 활용될 수 있겠다.

IV. 측정 데이터 분석 결과

4.1. 측정하여 계산된 경로 손실의 미분 계산 값으로부터 급격히 변동하는 위치 추출

그림 6 으로부터 각 거리 별로 계산된 미분 값에 대한 표준 편차를 식(6)와 같이 구하여서, 그 결과를 표 1에 나타내었다. 거리가 0.5 Km로 짧아질수록 데이터의 계산 영역이 좁아져서 전파 환경 특성이 뚜렷이 나타나게 되어, 그에 따른 표준편차가 2.29 dB에서 4.75 dB로 두 배 이상으로 커짐을 알 수 있었다.(여기서, m은 평균값)

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

표 1. 경로 손실 평균을 산출한 거리에 따른 미분값의 표준편차

Table 1. The standard deviations for the differential values of the path losses according to the 3 different intervals.

	경로 손실 평균을 산출한 거리		
	2 Km	1 Km	0.5 Km
표준편차 σ , dB	2.29	3.19	4.75

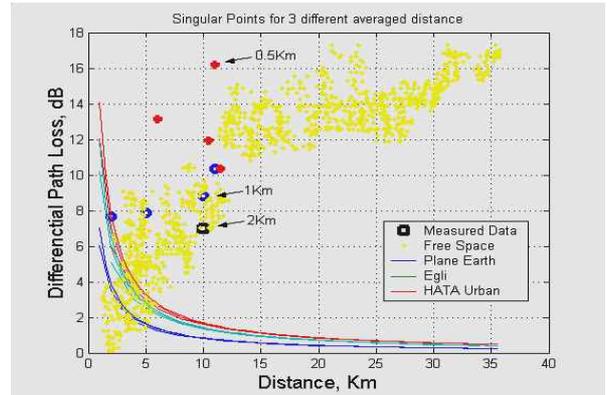


그림 8. 경로 손실 급변동 위치(표준 편차의 2배수 이상)

Fig. 8. The singular points from the path loss data(more than 2 times of the standard deviation)

그림 6에서 경로 손실 미분 값들의 표준편차 σ 값의 2 배수 이상을 갖는 미분 값을 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 거리별로 각각 구하여 그림 8에 나타내었다. 그림 8로부터, 공통적으로 10 ~ 11 Km 지점에서 경로 손실이 갑자기 변동하는 지점이 발생하고 있다는 것을 알 수 있다. 이는 측정하여 계산된 방대한 경로 손실 데이터와 교차하여 보았을 때 확실히 일치함을 알 수 있다.

표 2. 제안된 알고리즘에 의하여 구한 경로 손실 급변동 위치들(표준편차의 2배 이상)

Table 2. The singular positions of the path loss by the suggested algorithm(Criteria : 2 times standard deviation)

	경로 손실 평균을 산출한 거리		
	2 Km	1 Km	0.5 Km
특이 위치, Km	10	2, 5, 10, 11	6, 10.5, 11, 11.5

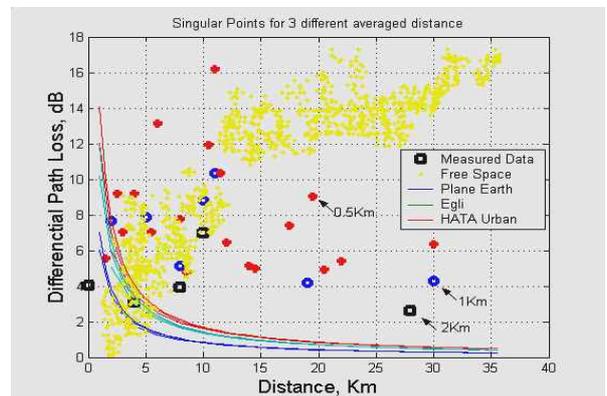


그림 9. 경로 손실 급변동 위치(표준 편차의 1배수 이상)

Fig. 9. The singular points from the path loss data(more than 1 times of the standard deviation)

표 3. 제안된 알고리즘에 의하여 구한 경로 손실 급변동 위치들(표준편차의 1배 이상)

Table 3. The singular positions of the path loss by the suggested algorithm(Criteria : 1 times standard deviation)

	경로 손실 평균을 산출한 거리		
	2 Km	1 Km	0.5 Km
특이 위치, Km	0, 4, 8, 10, 28	2, 5, 8, 10, 11, 19, 30	1.5, 2.5, 3, 4, 5.5, 6, 8, 8.5, 10.5, 11, 11.5, 12, 14, 14.5, 17.5, 19.5, 20.5, 22, 30

또한, 표준 편차 σ 값의 1 배수 이상의 미분 값을 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 거리별로 각각 구하여 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서는, 그림 8과 달리 기준치를 표준 편차의 1 배수로 낮추어 주었기 때문에, 그림 8에서 경로 손실 측정 데이터로는 구분하기 힘들었던 급격하게 변동하는 위치들을 손쉽게 파악이 가능하였다.

그림 8과 그림 9로부터 표 2, 표 3와 같은 경로 손실이 급변동하는 구체적 위치를 손쉽게 파악할 수 있다. 기준치가 표준 편차의 2 배수로 하여 구한 표 2에서 구분 가능한 특이 위치들의 수에 비해, 표준 편차의 1 배수로 하여 구한 표 3에서는 구분 가능한 특이 위치들의 수가 2배수 이상 증가함을 알 수 있다. 또한, 경로 손실이 급변동하는 구체적인 위치 파악이 프로그램을 이용하여 쉽게 이루어지는 성과를 얻었다.

V. 결 론

본 논문에서는 측정된 수신신호세기(RSSD)로 부터 송수신기 거리에 따른 경로 손실을 계산하여 그 데이터를 그래프로 나타낼 수 있었다. 방대한 경로 손실 데이터를 간략하게 나타내기 위하여, 일정 거리 구간(2 Km, 1 Km, 0.5 Km) 별로 경로 손실 측정치로부터 거리에 따른 경로 손실 평균값을 구하여 그래프로 나타내었다.

또한, 2 Km, 1 Km, 0.5 Km 간격으로 계산한 경로 손실 평균값에서 각각의 경로 손실 미분 값을 계산하여 그래프로 나타낼 수 있었다. 이렇게 계산한 미분 값들의 표준편차는 각각 2.29, 3.19, 4.75 dB 로 평균한 거리가 2 Km, 1Km, 0.5 Km로 짧아질수록 증가하는 경향을 보였다.

본 논문에서는 측정하여 계산한 경로 손실의 거리에 따른 미분 값이 표준 편차의 2 배, 또는 1 배 초과하는 특이 위치들을 찾아내는 방법을 제안 하였다. 그리하여, 기준 값이 표준 편차의 2배수에서 1배수로 낮아지면, 경로 손실이 급격하게 감소하는 지점을 두 배 이상 많이 발견할 수 있었다.

이렇게 찾아낸 특이 위치들을 통하여 송수신기 사이에서 경로 손실이 급격하게 발생하는 구체적인 위치를 파악 할

수 있었다. 이러한 특이 위치들은 단순히 경로 손실 측정치 그래프로부터는 그 데이터의 방대함으로 인하여 파악하기 힘들었다. 본 논문에서는 몇 번의 분석 절차를 통하여, 간단하게 경로 손실 발생 위치들을 파악할 수 있는 알고리즘을 제안하는 성과를 얻었다. 향후에는, 이렇게 구한 특이 위치들을 근거로 전파 장애물을 역으로 파악할 수 있는 방법을 모색하여 보겠다.

참 고 문 헌

[1] William C. Y. Lee, Mobile Cellular Telecommunications, McGraw- Hill Book Co., 1995.

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

[3] 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.

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

[5] Masaharu Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Transactions on Vehicular Techology, vol. VT-29, No. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.

[6] 이상근, 방효창, CDMA 무선기술, 세화출판사, 2000.

[7] J. F. Aurand and R. E. Post, "A comparison of prediction methods for 800 MHz mobile radio propagation", IEEE Trans. VT. Technol., vol. VT-34, pp. 149-153, 1985.

[8] G. Delisle, J. P. Lefevre, M. Lecours, and J. Y. Chouinard, "Propagation loss prediction : A comparative study with application to the mobile radio channel", IEEE Trans. VT. Technol., vol. VT-33, pp. 86-96, 1985.

[9] D. S. Paunovic, Z. D. Stojanovic, and I. S. Stojanovic, "Choice of a suitable method for the prediction for the field strength in planning land mobile radio systems", IEEE Trans. VT. Technol., vol. VT-33, pp. 259-265, 1986.

[10] Masaharu Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services", IEEE Transactions on Vehicular Techology, vol. VT-29, No. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.

[11] 박경태, 조형래, "자유 공간 모델과 하타 모델을 이용한 러시아 PNG 지역의 경로 손실 예측에 관한 연구", 한국ITS학회논문지, 제10권 제5호, pp. 87-92, Oct. 2002.



박 경 태 (Kyung-Tae Park)

正會員

1990년 2월 한국과학기술대학 전기및전자과
(공학사)

1992년 2월 한국과학기술원 전기및전자과
(공학석사)

2011년 한국해양대학교 전과공학과(공학박사)

1999년 3월 ~ 현재 마산대학 조선전자통신학과 부교수

※주관심분야 : 이동통신, 마이크로웨이브 소자



배 성 혁 (Sung-Hyuk Bae)

1985년 2월 동국대학교 전자공학과(공학사)

2009년 2월 목원대학교 IT공학과(공학석사)

2012년 2월 목원대학교 IT공학과
(공학박사수료)

1999년 3월 ~ 현재 마산대학 조선전자통신학과 부교수

※주관심분야 : 전자정보보호공학
