

2.3 GHz 대역 산악 지형 전파 특성 분석 및 모델링

Modeling and Analysis of Propagation Characteristics for Mountain Region at 2.3 GHz

한일탁 · 최문영 · 김창구* · 배문관* · 최종찬** · 윤영기** · 백정기

Il-Tak Han · Moon-Young Choi · Chang-Gu Kim* · Moon-Kwan Bae* ·
Jong-Chan Choi** · Young-Ki Yoon** · Jung-Ki Pack

요 약

군 전술이 운영되는 산악 지형에 WiBro 시스템을 도입하기 위해서는 산악 지형에 대한 전파 예측 모델이 필요하다. 기존의 전파 모델은 도심 지역에 대한 모델이 대부분이며, 도심 지역과는 전파 환경이 다른 산악 지형에 대한 전파 모델은 부족하다. 본 논문에서는 군 전술 환경의 주를 이루는 산악 지형을 전파의 기본 메커니즘을 바탕으로 개활지, 수풀 지역, 산마루 회절 지역으로 분류하였으며, 분류된 환경에 대하여 측정을 수행하였다. 측정 결과를 바탕으로 모델링을 수행하였으며, 모델링 결과로부터 산악 지형에 적합한 전파 모델을 제시하였다.

Abstract

To implement a mobile radio system, wave-propagation models are necessary to determine propagation characteristics accurately. Currently, the empirical/theoretical prediction models for urban environments are fairly well-developed. But there is a lack of a suitable prediction model for mountain region. So in this paper, to develop the prediction model for mountain region, propagation environments are classified based on three basic mechanisms: reflection, diffraction, penetration(absorbition and scattering), and measurements have been performed for the classified mountain regions including open area, forest and ridge. Using the measurement data, empirical modeling of propagation characteristics are performed, and then a prediction model for mountain region is proposed.

Key words : Propagation Characteristics, Prediction Model, Mountain Region

I. 서 론

최근 군 전술 환경에 대하여 WiBro 시스템을 도입하기 위한 연구가 진행되고 있다. 군 전술 환경에서 WiBro 시스템을 사용하기 위해서는 군 전술이 운영되는 산악 지형에 대한 WiBro 주파수 대역의 전파 예측모델이 필요하다. 그러나 대부분의 전파전파에 관한 이론이나 모델은 수많은 실험들로 뒷받침된 통계적 자료들을 서로 접목시켜 얻어진 것들이라 할

수 있다^{[1]~[3]}. 대개의 경우 자료들의 출처가 매우 다양할 뿐만 아니라 특수한 상황 하에서 이루어진 실험들을 바탕으로 한 것이 많기 때문에 이로부터 얻어진 이론이나 모델들을 모든 지형에 맞도록 일반화하는 데는 많은 어려움이 따르게 된다. 또한 기존의 연구 결과로부터 도출된 전파 모델들은 도심, 부도심, 개활지와 같은 환경에서의 전파 특성 예측을 위해 개발된 모델들로서 도심 환경과는 다른 산악 지형에서의 전파 예측에 적용하는 것은 예측 정확도의

충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

**SK 텔레시스(SK Telesys)

· 논문 번호 : 20071130-15S

· 수정완료일자 : 2008년 2월 1일

측면에서 문제가 될 수 있다.

본 논문에서는 산악 지형에서의 전파 예측을 위한 전파 예측 모델 개발을 위하여 산악 지형을 구성하는 일반적인 환경을 분류하고 실제 산악 지형에 대한 전파 특성 측정을 수행하였으며, 측정을 통해 얻어진 데이터에 대한 타당성을 검증하였다. 또한 측정 데이터의 통계적 분석을 통해 측정 지역의 산악 지형에 적합한 전파 예측 모델을 제시하였다.

II. 산악 지형 전파전파 특성

2.1 전파 메커니즘

전파의 전파가 이루어질 때 전파는 진행하는 경로 상의 지형지물에 영향을 받게 된다. 따라서 산악 지형에 대한 전파 특성 예측을 위해서는 전파 전파에 영향을 끼칠 수 있는 지형지물에 대한 분석이 필요하다. 다음 그림 1은 전형적인 산악 환경에서의 전파 메커니즘을 보여준다.

그림 1에서 볼 수 있듯이 산악 지형에서의 기본 전파 메커니즘은 지면 및 산등성의 반사, 산마루에 의한 회절, 수풀의 산란(반사, 투과 및 회절), 가옥의 반사 및 회절로 나타낼 수 있다. 이에 본 논문에서는 산악 지형을 다음과 같은 5개의 전형적인 환경으로 분류하였다.

2.2 전파 특성 분석 모델

산악 지형에서의 전파 특성 예측을 위해서는 각 환경 별 전파 메커니즘에 대한 전파 특성 분석 모델이 필요하다.

2.2-1 개론

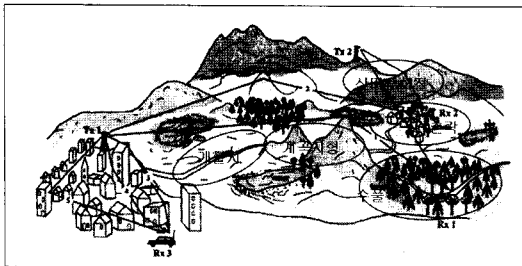


그림 1. 산악 지형에서의 전파 전파
Fig. 1. Propagation mechanism in mountain region.

표 1. 산악 지형 전파 환경 분류
Table 1. Classification of mountain region.

LOS	개활지
	계곡 지역
NLOS	수풀 지역
	촌락 지역
	산마루 회절 지역

먼저 개활지의 경우 송수신 안테나의 높이와 지면의 종류 및 거칠기 따른 지면의 반사파와 주변 장애물에 의해 자유 공간 손실 이외의 추가 손실을 가지게 되며 이는 식 (1)과 같이 주어지는 two-ray 모델⁴⁾을 통하여 알아볼 수 있다.

$$P_R = P_T \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| f_1(\theta_1) f_2(\theta_1) \frac{e^{-jkr_1}}{r_1} + \Gamma(\theta_2) f_1(\theta_2) f_2(\theta_2) \frac{e^{-jkr_2}}{r_2} \right|^2 \quad (1)$$

식 (1)에서 P_T 는 송신 전력, $f(\theta_1)$ 과 $f(\theta_2)$ 는 각각 θ_1, θ_2 에 해당하는 안테나 이득이고 Γ 는 반사 계수를 의미한다.

다음으로 산마루와 같이 일반적으로 뾰족한 형태의 장애물은 단순한 칼날(knife-edge)형 장애물로 모델링 할 수 있으며, knife-edge 회절을 이용하여 산마루에 의한 전파 특성을 예측해 볼 수 있다. Knife-edge 회절은 기하학적 파라미터를 표현하는 변수 v 로서 표현되며 다음 식 (2)와 같다⁵⁾.

$$L(v) = 6.9 + 20 \log(\sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1) \quad (2)$$

수풀 지역의 경우 현재 영국과 충남대학교 등에서 개발한 모델을 근거한 ITU-R 수풀 손실 모델을 적용하여 수풀에 의한 추가 감쇠 특성을 계산해 볼 수 있으며, 다음과 같이 주어진다^{6),7)}.

$$A_{ev} = A_m [1 - \exp(-d\gamma/A_m)] \quad (3)$$

여기서 A_m 은 수풀의 최대 감쇠량이며, γ 는 단거리 수풀경로의 감쇠계수이고, d 는 수풀내의 경로길이이다.

III. 전파 특성 측정 및 결과

3-1 측정 지역

앞서 언급한 전파 메커니즘을 고려하여 산악 지형에 대한 전파 특성 예측 연구를 수행하기 위해서는 분류한 산악 지형 모두를 포함할 수 있는 실제 산악 지형에 대한 측정 결과가 필요하다. 그러나 측정을 위해 필요한 실제 사용되고 있는 이동통신 장비의 설치와 관련하여 표 1에서 보인 5개의 측정 환경이 모두 포함되어 있는 측정 지역 선정에는 어려움이 따른다.

이에 본 논문에서는 표 1의 산악 환경 중 일반적으로 산악 지형에 가장 많이 분포할 수 있는 수풀 지역, 개활지, 산마루 회절 지역이 포함될 수 있는 측정 장소 및 실험용 기지국의 위치를 선정하였으며, 그림 2는 실제 측정 장소로서 충남 연기군 감성리와 금성리 지역의 사진이다. 또한 그림 2에서 보인 측정 장소의 현장 답사를 통해 수풀 지역, 개활지, 산마루 회절 지역으로 측정 환경을 분류 하였으며 그 결과를 그림 2에 대한 로드맵인 그림 3에 나타내었다. 또한 그림 3에서 파란색 선은 실제 측정 경로를 나타내며, 분류된 환경과 지역정보를 표 2에 나타내었다.

3-2 측정 시스템 및 방법

산악 지형에 대한 전파 특성 측정은 측정 주파수 2.3 GHz 대역에서 11 dBi 이득을 가지는 옴니 안테나를 송신 안테나로 사용하여 해발 300 m인 산의 정상에 위치한 32 m 높이의 철탑에 실험용 기지국을 설치하였다. 수신단은 31 dB의 이득을 가지는 LNA와 6.5 dBi 이득을 가지는 수신 안테나와 수신 전력

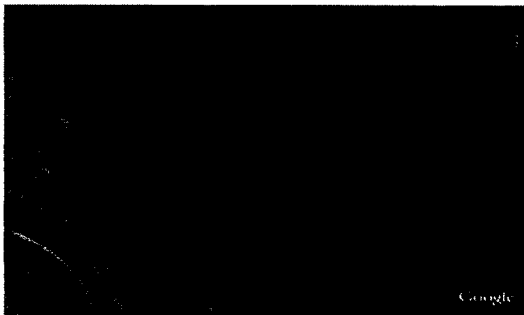


그림 2. 측정 장소
Fig. 2. Measurement site.

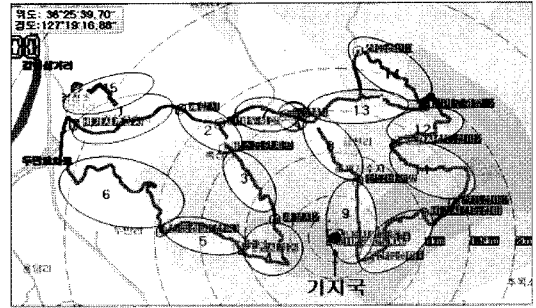


그림 3. 전파 환경에 따른 측정 지역 분류
Fig. 3. Classification of the measurement site based on the propagation environments.

표 2. 측정 지역 환경 분류 결과
Table 2. Classified result of measurement site.

측정 환경	지역
개활지	2, 4번 일부 8, 10번 일부
산마루 회절 지역	1, 3, 13
수풀 지역	9, 4번 일부 10번 일부, 11

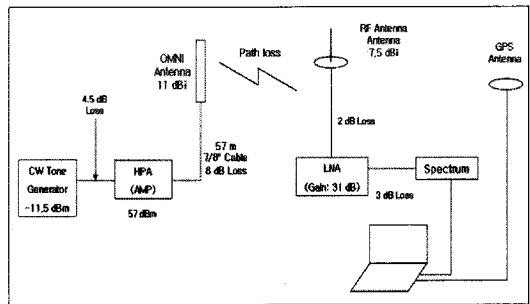
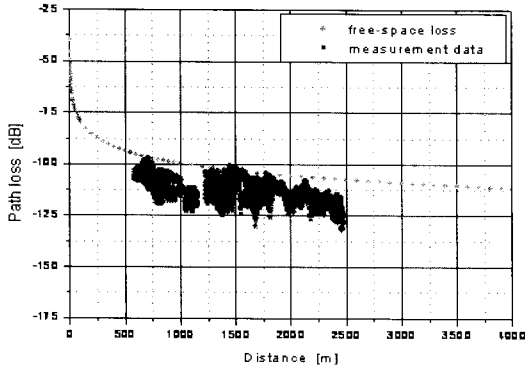


그림 4. 측정 시스템
Fig. 4. Measurement system.

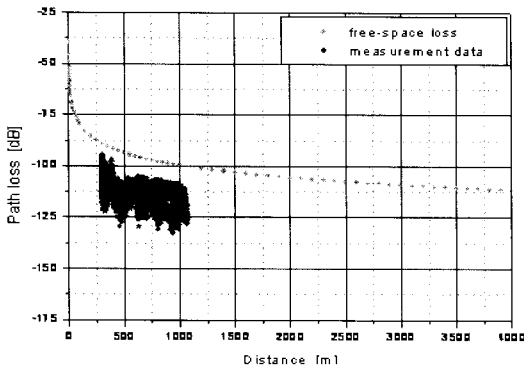
을 기록하기 위한 노트북으로 구성하였으며, 세부적인 측정 시스템 구성도는 그림 4와 같다.

측정은 수신 시스템을 차량에 탑재한 후 개활지, 수풀 지역, 산마루회절 지역의 각 환경에 대하여 시속 20 km/h 이하의 속도로 이동하면서 수신 전력을 기록하였다. 또한 송신 단으로부터 각 측정 지점까지의 거리를 계산하기 위해 GPS를 이용하여 3차원 위치 정보를 기록하였다.

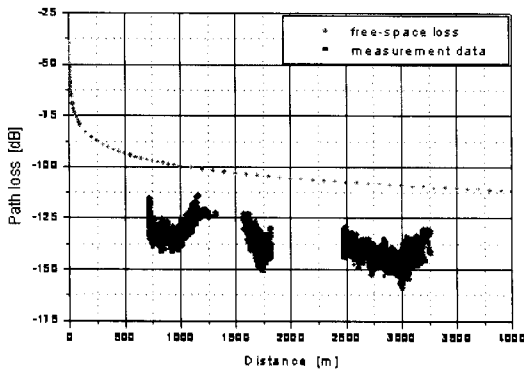
3-3 측정 결과



(a) 개활지
(a) Open area



(b) 수풀 지역
(b) Forest area



(c) 산마루 회절 지역
(c) Ridge-diffraction area

그림 5. 환경별 측정 결과

Fig. 5. Measurement results for each environment.

산악 지역에 대한 측정은 총 6회에 걸쳐 25,500개의 지점에 대하여 수행되었으며, 측정 결과로부터 사용한 안테나 패턴과 시스템 이득을 보정하여 환

경별로 송신기로부터의 거리에 따른 순수 경로 손실 데이터를 도출하였다. 그림 5는 수풀 지역, 개활지, 산마루 회절 지역에 대한 시스템 이득이 보정된 측정 결과를 나타낸 것이다.

IV. 측정 결과 분석 및 모델링

4-1 측정 결과 분석

앞서 기술한 각 환경별 분석 모델을 이용하여 측정 데이터에 대한 타당성을 검증하였으며, 다음의 그림 6은 분석 결과 중 산마루 회절 데이터에 대한 분석 결과만을 보여준다.

그림 6에서 볼 수 있듯이 측정 데이터와 시뮬레이션 결과가 잘 일치함을 알 수 있고, 개활지와 수풀 지역도 잘 일치하였다.

4-2 모델링 및 결과 분석

산악 환경은 지형 변화가 급격하게 이루어질 수 있는 환경이다. 이에 각 환경에 따라 이론 모델을 적용할 수 있으나, 앞서 언급한 이론 모델 및 경험 모델을 적용하기 위해서는 모든 지형지물에 대한 정확한 정보가 주어져야 하며(산의 높이, 산과 기지국/수신기 간의 거리 등), 지형지물의 정보의 정확도에 따라 예측 값의 차이가 많이 차이나게 된다.

일반화된 경험적 전파 예측 모델을 만들기 위해

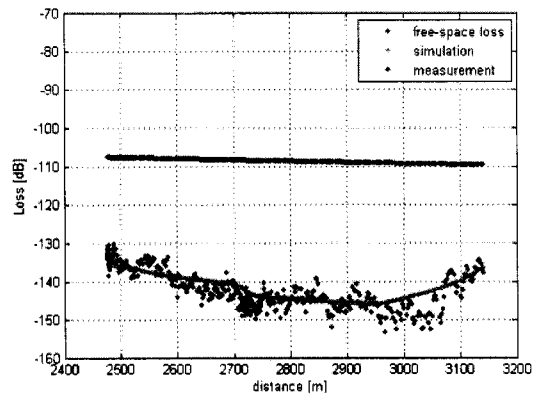


그림 6. 측정 데이터와 시뮬레이션 결과 비교(산마루 회절 지역)

Fig. 6. Comparison of the measurement data with the simulation result(ridge).

표 3. 환경별 추가 손실

Table 3. Excessive losses for each environment.

측정 환경	추가 손실 [dB]
개활지	10.62
산마루회절 지역	33.44
수풀 지역	19.59

서는 Okumura-Hata 모델과 같이 다양한 환경에 대한 광범위한 측정 데이터를 확보하고 이를 이용한 통계적인 모델링이 필요하다^{[1]~[3]}. 그러나 본 논문에서는 측정용 기지국의 설치의 어려움으로 인해 한정된 측정 지역에 대한 측정 데이터만을 확보하였다. 따라서 본 논문에서는 실제 측정 지역에 대한 전파 특성 예측 모델링을 수행하였다.

그림 5에 보인 환경별 측정 데이터에서 자유 공간 손실을 제외한 추가 손실을 그림 7에 나타내었다.

그림 7에서 알 수 있듯이 환경 별 추가 손실의 경우 거리에 따라 값의 변화가 없고 일정한 범주 안에 추가 손실 값이 존재함을 알 수 있다. 이로부터 자유 공간 손실 값에 환경별 추가 손실 값을 보정하여 환경 별 전파 특성을 예측할 수 있음을 알 수 있고, 각 환경별 대표 추가 손실로는 측정 데이터가 가장 많이 분포하는 중앙값으로 선정하였으며, 표 3과 같다.

따라서 본 논문에서는 다음과 같이 산악 지역에 대한 전파 모델을 제시하고자 한다.

$$L_p = L_f + L_{open_area} + L_{forest} + L_{ridge_diff}. \quad [dB] \quad (4)$$

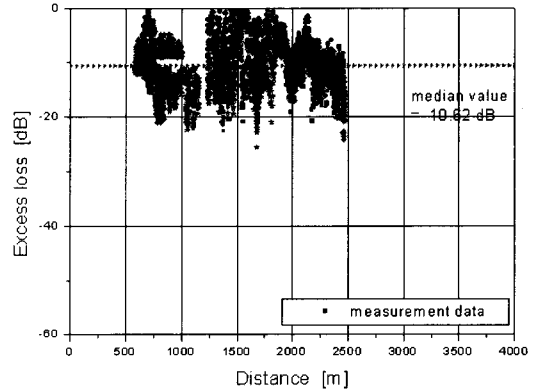
식 (4)에서 L_{open_area} , L_{forest} , L_{ridge_diff} 는 각각 개활지, 수풀, 산마루 회절 지역에 대한 추가 손실이며, L_f 는 자유 공간 손실로서 다음과 같다.

$$L_f = 32.4 + 20 \log R + 20 \log f_{MHz} \quad (5)$$

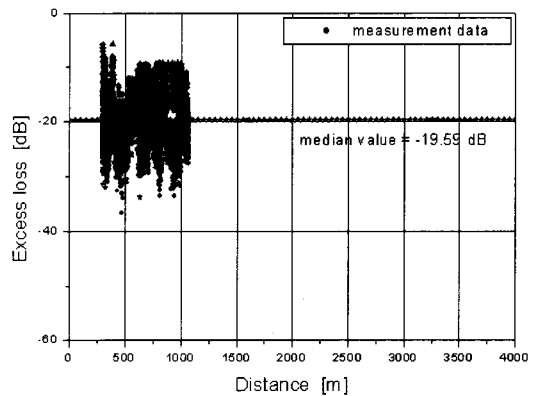
본 논문에서 제시한 전파 모델과 측정 데이터와의 비교 예를 그림 8에 나타내었으며, 측정 데이터와의 평균 오차 (Δ_{mean}) 및 표준 편차 (σ)는 표 4에 보인 것과 같이 평균 오차는 4 dB, 표준 편차는 3 dB보다 작음을 알 수 있다.

V. 결 론

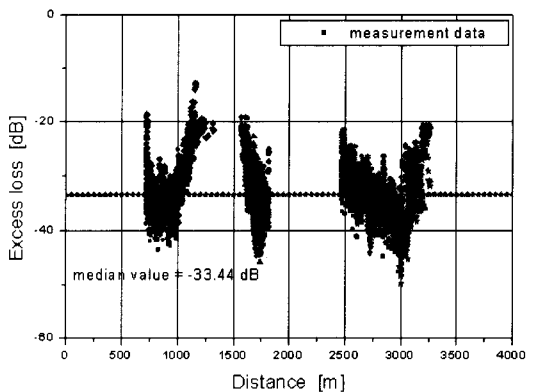
본 논문에서는 산악 지역에 대한 전파예측 모델



(a) 개활지
(a) Open area



(b) 수풀 지역
(b) Forest area



(c) 산마루 회절 지역
(c) Ridge-diffraction area

그림 7. 환경별 추가 손실

Fig. 7. Excessive loss for each environment.

개발을 위하여 산악 지역의 전파 메커니즘에 따라

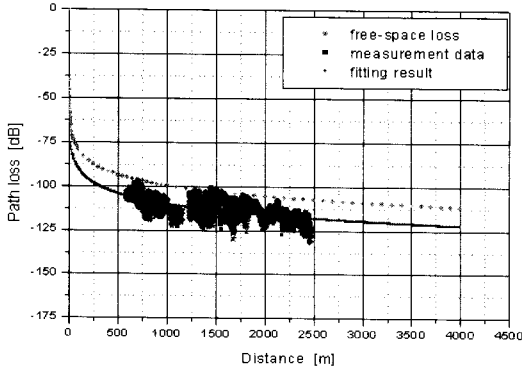


그림 8. 측정 데이터와 제안 모델의 비교(개활지)
 Fig. 8. Comparison of the measurement data with the proposed model(open area).

표 4. 환경별 제안 모델의 오차 결과
 Table 4. Error of the proposed model for each environment.

	Δ_{mean} [dB]	σ [dB]
개활지	3.31	2.61
산마루 회절 지역	3.78	2.97
수풀 지역	4.05	2.74

산악 지역을 5개의 전형적인 환경으로 분류하였다. 분류한 환경 중 수풀 지역, 개활지, 산마루회절 지역을 포함하는 산악 환경에 대하여 실험용 기지국을 설치하여 측정을 수행하였으며, 측정 결과로부터 얻은 데이터를 기존의 이론 및 경험 모델을 이용하여 검증하였다. 또한 검증된 측정 데이터를 바탕으로 전파 특성 모델링을 수행하여 모델링 결과로부터 산악 지역에 맞는 전파 모델을 제시하였으며, 측정 데이터와의 비교를 통해 평균 오차는 4 dB, 표준 편차

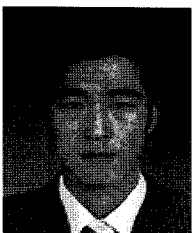
는 3 dB보다 작음을 알 수 있었다.

그러나 본 논문에서 제시한 예측 모델은 측정 지역에 국한된 모델이다. 따라서 산악 지형에 대한 보다 일반화된 전파모델 개발을 위해서는 여러 다른 측정 장소에 대한 측정 데이터와 송·수신 안테나의 높이, 주파수에 따른 추가의 측정 데이터를 확보하여 일반화된 전파 모델로 개발해 나아갈 필요가 있으며, 향후 추가 연구를 통해 이에 대한 연구를 수행할 것이다.

참 고 문 헌

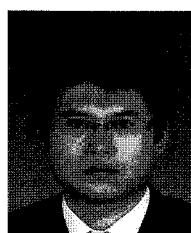
- [1] COST 231, "Urban transmission loss models for mobile radio in the 900- and 1,800 MHz bands (Revision 2)", *COST 231 TD(90)119 Rev. 2*, The Hague, Netherlands, Sep. 1991.
- [2] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 29, pp. 317-325, 1980.
- [3] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field strength and its variability in VHF and UHF land-mobile service", *Review of the Electrical Communication Laboratory*, vol. 16, no. 9-10, pp. 825- 873, 1968.
- [4] H. L. Bertoni, *Radio Propagation for Modern Wireless Systems*, Prentice Hall PTR, 2000.
- [5] ITU-R P.526-10, "Propagation by diffraction.", 2007.
- [6] ITU-R P.833-6. "Attenuation in vegetation.", 2007.
- [7] 한일탁, 정명원, 백정기, "1~6 GHz 대역 수풀 손실 특성 측정 및 모델링", 한국전자과학회논문지, 18(1), pp. 96-104, 2007년 1월

한 일 탁



2006년 2월: 충남대학교 전자전파 정보통신공학부 (공학사)
 2006년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전파전파 특성 예측 모델링

최 문 영



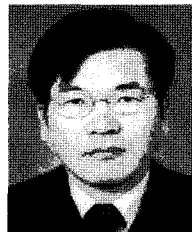
2007년 2월: 충남대학교 전자전파 정보통신공학부 (공학사)
 2007년 3월~현재: 충남대학교 전파공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전자파 전파 및 산란, 전파전파 특성 예측 모델링

김 창 구



2001년 8월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
1990년 3월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] 전자파 전파, 안테나 구조 설계

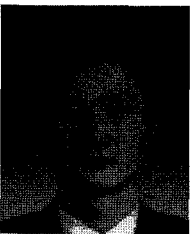
윤 영 기



1980년 2월: 광운대학교 전기공학과 (공학사)
1985년 2월: 연세대학교 산업공학과 (공학석사)
1998년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1984년~2000년: 대우통신(주) 연구소

2000년~2005년: (주)머큐리 근무
2005년~현재: SK텔레시스 연구소 시스템개발실장
[주 관심분야] 휴대인터넷, SDR, MIMO 시스템

배 문 관



1992년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
1993년 3월~현재: 국방과학연구소 연구원
[주 관심분야] 신호처리, 통신시스템, 안테나 구조 설계, 전파전파

백 정 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 9월: Virginia Tech. 전자파 전파 (공학석사)
1988년 9월: Virginia Tech. 전자파 전파 (공학박사)
1978년 3월~1983년 2월: 국방과학 연구소

1988년 10월~1989년 2월: 한국전자통신연구원
1989년 3월~1995년 2월: 동아대학교 전자공학과 부교수
1995년 2월~현재: 충남대학교 전자공학과 교수
2002년 3월~현재: 충남대학교 전자파환경기술연구(EM-ERC) 센터장
[주 관심분야] 전자파 전파, 전자파 산란, 전자파 인체 영향

최 중 찬



2004년 2월: 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학사)
2006년 2월: 한국항공대학교 정보통신공학과 (공학석사)
2006년~현재: SK텔레시스 시스템 개발실 근무
[주 관심분야] 휴대인터넷, MIMO

시스템, DSP