

마이크로 셀 환경에서의 안테나 높이 이득 해석

An Analysis of the Antenna Height Gain Factor in Microcell Environment

김병옥* · 하덕호**

Byung-Ok Kim* · Deock-Ho Ha**

요 약

이동통신에 있어서 안테나 높이에 대한 이득은 6 dB/octave로 잘 알려져 있다. 그러나 이동통신의 전파환경은 단순하지 않고 지형지물에 따라서 변하기 때문에 안테나 높이에 대한 이득도 전파환경에 따라서 달라질 수 있다. 이 논문은 도심지 마이크로셀 환경에서의 기지국 안테나 높이 변화에 따른 수신전력의 변화를 평탄지형과 경사지형을 모델로하여 이론적으로 해석한 것이다. 또한 안테나 높이 이득이 나타나기 시작하는 거리인 이득점을 시뮬레이션에 의해 실험적으로 구하였다.

Abstract

In mobile radio environment, it is well known that the base station antenna height gain factor is 6 dB/octave. But the mobile radio environment is not simple and affected by the terrain contour or the man-made structures, so the antenna height gain factor varies due to the propagation conditions. This paper represents the received signal power gain due to the base station antenna height in the microcell environment on the basis of the flat terrain and sloping terrain model. The gain point which shows the antenna height gain is derived in this paper.

I. 서 론

이동통신에 대한 수요의 급증과 기술의 발전으로 셀의 범위가 점차 작아지고 있으며, 이러한 현상은 매크로셀에서 마이크로셀로 심지어는 피코셀로의 변화를 가져오고 있다. 이러한 셀의 초소형화는 기지국 환경의 변화를 의미하며, 셀 간의 간섭을 줄이기 위하여 안테나의 위치를 바꾸어 나가고 있다. 마이크로셀은 일반적으로 셀 반경이 1 km이내로서

기지국과 이동국간의 거리가 매크로셀의 경우보다 훨씬 짧다. 이러한 마이크로셀 설계시 반드시 고려해야 할 사항 중 하나가 셀 간의 간섭이며, 이것을 정확하게 계산하기 위해서는 안테나 높이에 따른 수신전력의 변화를 고려하지 않을 수 없다. 기존 매크로셀 개념의 일반적인 안테나 높이 이득을 마이크로셀 시스템에 그대로 적용시키는 것은 전파환경이 다르기 때문에 매우 곤란하다. 그러므로 마이크로셀을 정확히 설계하기 위해서는 많은 전파전파 파라미터와 함께 안테나 높이가 수신전력에 미치는

* 한국해기연수원(Korea Marine Training and Research Institute)

** 부경대학교 정보통신공학과(Dept. of Telematics Eng., Pukyong National University of Pusan)

· 논문 번호 : 970205-007

· 수정완료일자 : 1997년 10월 9일

영향을 정확히 파악할 필요가 있다.

이동통신에 있어서 전파전파 특성에 관한 연구는 Okumura Model을 비롯하여 그 동안 많은 연구와 실험이 행해져 왔지만, 안테나 높이가 전파전파에 미치는 영향에 대한 연구는 매크로셀 환경에서의 부분적인 연구에 지나지 않고 있다. 지금까지의 기존 연구결과에 따르면 매크로셀 환경의 평탄지형에서는 기지국 안테나 높이에 따른 수신전력 이득이 6 dB/octave로 널리 알려져 있다^{[1][2]}. 그러나 이러한 안테나 높이 이득은 매크로셀 환경에서 해석된 것이기 때문에 전파환경이 다른 마이크로셀에 그대로 적용시키는 것은 곤란하다.

따라서 본 논문에서는 마이크로셀 환경에서의 기지국 안테나의 유효 높이 변화에 따른 수신전력의 변화 특성을 해석하였으며, 안테나 높이를 변화시킬 경우 이득이 나타나기 시작하는 거리인 이득점을 시뮬레이션 결과를 이용하여 실험적으로 구하였다.

II. 자유공간에서의 수신전력

자유공간에서 송신전력 P_t 가 등방성 안테나를 통하여 방사된다고 할 때, 등방성 안테나를 둘러싸는 폐곡면의 단위면적당 출력, 즉 전력밀도 ρ 는 다음과 같다^[3].

$$\rho = \frac{P_t}{4\pi r^2} \quad (1)$$

단, r 은 송신 안테나로부터의 거리이다.

따라서 등방성 수신 안테나로 수신할 경우 수신 안테나의 실효면적은 $\frac{\lambda^2}{4\pi}$ 이므로, 송신 안테나로부터 r 만큼 떨어진 수신점에서의 수신전력은 P_r 은 다음과 같다.

$$P_r = \frac{P_t}{4\pi r^2} \cdot \frac{\lambda^2}{4\pi} = \left\{ \frac{\lambda}{4\pi} \right\}^2 \cdot \frac{P_t}{r^2} \quad (2)$$

III. 평탄지형에서의 전파전파

기지국 안테나를 도로변에 있는 빌딩의 벽면이나 전봇대 또는 길가에 설치할 경우에, 주 도로를 따라서 전파의 가시거리가 형성된다. 이러한 가시거리에서의 전파전파는 마이크로 셀에서 사용하는 주파수가 UHF대 이상인 점을 감안하면 지표파 성분을 무시할 수 있기 때문에^[4] 직접파 성분과 대지 반사파, 그리고 빌딩 벽면에 의한 반사파 등에 의하여 수신전계가 형성된다. 따라서 자유공간에서의 전계강도를 E_o , 반사파의 전계강도를 E_r 라 할 때 가시거리에서의 수신전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E = E_o + \sum E_r \quad (3)$$

반사파 E_r 는 Fresnel 반사계수(R)를 이용하여 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_r = \sum_{n=1}^{\infty} E_o R_n e^{-j k d_n} \quad (4)$$

단, E_o : 자유공간의 전계강도

k : 전파상수

d_n : 전파전파 거리

따라서 수신전력은 다음과 같다.

$$P_r = P_t \left(\frac{\lambda}{4\pi} \right)^2 \left| \frac{\exp(-j k d_0)}{d_0} + \sum_{n=1}^{\infty} \frac{R_n(\theta) \exp(-j k d_n)}{d_n} \right|^2 \quad (5)$$

단, k : 전파상수

d_0 : 직접파의 전파 거리,

d_n : 반사파의 전파 거리,

$R_n(\theta)$: $R_n e^{-j\theta_n}$ 로 표시되는 복소 반사계수의 크기

θ : 반사파의 입사각도

반사계수 $R_n(\theta)$ 의 크기는 반사체가 비자성체인

경우 반사체의 도전율을 1로 근사화시키면 전파의 입사각 θ 에 따라 다음 식과 같이 나타내어진다^[5].

$$R_r(\theta) = \frac{\cos \theta - \frac{1}{\epsilon_r} \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \frac{1}{\epsilon_r} \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \quad (\text{수직편파})$$

$$R_h(\theta) = \frac{\cos \theta - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}}{\cos \theta + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta}} \quad (\text{수평편파})$$

매크로 셀에서와 같이 송수신점간의 거리가 안테나 높이 보다 매우 클 경우에는 전파 경로와 대지가 이루는 각이 매우 작게 되어(전파의 입사각이 매우 크게 되어) 대지에서의 반사계수는 -1 에 근사한다. 이 경우 직접파와 대지 반사파만 고려하면 수신 전력의 근사식은 다음과 같다^[5].

$$P_r \doteq P_t \left(\frac{h_b h_m}{d^2} \right)^2 \quad (6)$$

이 식을 [dB]형태로 표시하면

$$P_r \doteq 10 \log_{10} P_t - 40 \log_{10} d + 20 \log_{10} h_b + 20 \log_{10} h_m \quad [\text{dB}] \quad (7)$$

따라서 이 근사식에 의하면 안테나의 높이를 두 배로 했을 경우 6 dB의 이득이 생김을 알 수 있다. 그러나 이 근사식은 송수신점간의 거리를 충분히 먼 거리로 가정하여 반사계수를 -1 로 계산했기 때문에 송수신점간의 거리가 비교적 작은 마이크로 셀에 그대로 적용하기는 곤란하다.

한편 그림 1과 그림 2는 매크로 셀 환경의 근사화된 반사계수를 이용하지 않고 거리에 따른 반사계수를 정확히 고려하여, 마이크로 셀 환경에서의 각각 수직편파와 수평편파에 대한 평탄한 지형에서의 수신전력의 변화에 대하여 시뮬레이션한 결과를 나타내고 있다. 시뮬레이션은 직접파와 반사파들을 고려하였으며, 사용한 주파수는 1900 MHz, 이동국 안테나 높이는 1.5 m, 기지국 안테나 높이는

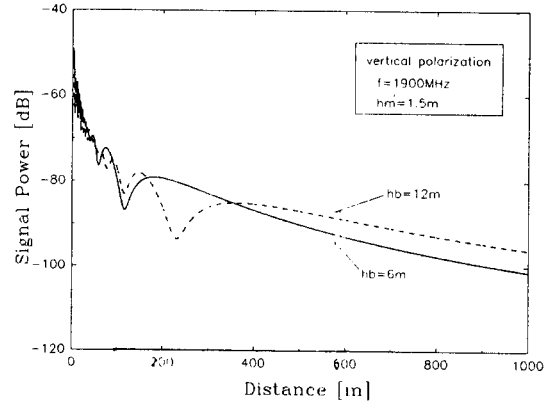


그림 1. 평탄지형에서의 수신전력의 변화 (수직편파)
Fig. 1. Signal power on the flat terrain.
(Vertical polarization)

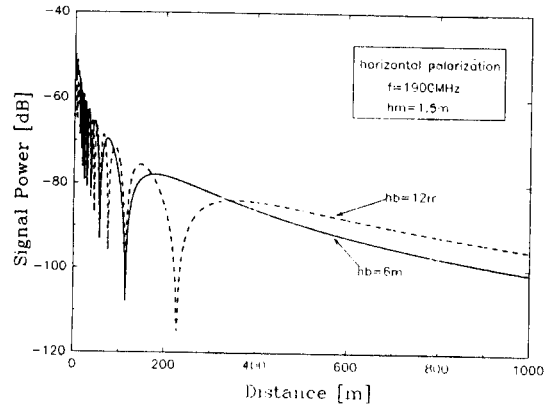


그림 2. 평탄지형에서의 수신전력의 변화 (수평편파)
Fig. 2. Signal power on the flat terrain.
(Horizontal polarization)

각각 6 m와 12 m의 등방성 안테나를 적용하였다. 이 그림에서 보는 바와 같이 수평편파의 경우가 수직편파보다 더 깊은 페이딩을 나타내고 있지만, 수직편파와 수평편파 모두 송수신점간의 거리가 멀 경우에는 일반적인 안테나 높이에 대한 이득인 6 dB/octave가 나타나고 있다.

그러나 그림 3과 같이 송수신점간의 거리가 가까울 경우(약 300 m 이내)에는 직접파와 대지 반사

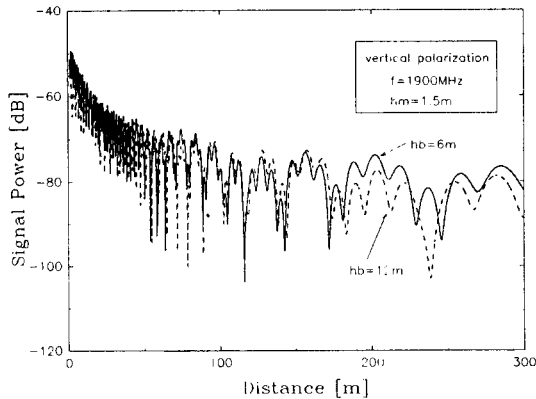


그림 3. 평탄지형 근거리에서의 수신전력의 변화 (300 m)

Fig. 3. Signal power on the flat terrain within 300 m.

파의 간섭 성분이 주요한 전파가 되어 정재파 패턴 모양의 심한 페이딩 발생을 나타내며, 안테나 높이에 대한 이득은 나타나지 않고 있다. 오히려 안테나 높이가 높을수록 근거리에서의 수신전력은 더 낮게 나타남을 알 수 있다. 이것은 안테나 높이가 높을 경우에는 전파의 입사각이 작아져서(전파경로와 지표면과의 각은 커져서) 지표면에서의 반사에 의한 감쇠가 크게 됨을 알 수 있다. 그러나 안테나 높이가 높을 경우에는 페이딩 주기가 길어지고 안테나 이득이 나타나기 시작하는 거리는 더 멀어지게 된다.

IV. 경사지형에서의 전파전파

도심지에서 기지국 안테나가 위치하는 곳과 이동국이 위치하는 곳의 형태가 경사를 이루는 경우에는 평탄지형과 달리 기지국 안테나의 실효높이 및 반사각이 달라지게 된다. 따라서 안테나 높이에 대한 이득도 평탄지형과 다르게 된다. 여기에서는 경사지형을 오르막과 내리막의 두 가지 모델로 구분하여 해석하였다.

그림 4와 같은 경사지형에서는 기지국 안테나가

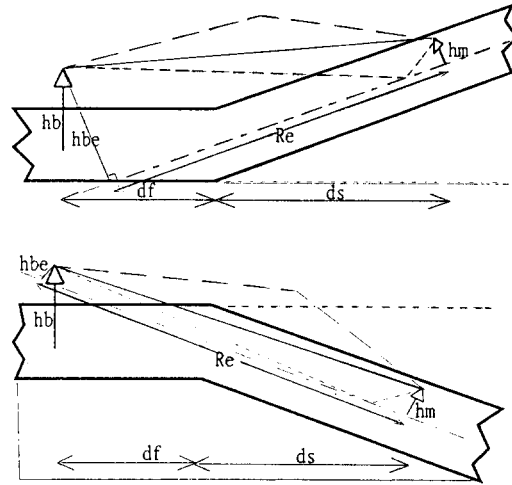


그림 4. 경사지형에서의 전파모델

Fig. 4. Propagation model on the sloping area.

경사면을 연장한 선에 수직으로 위치한 것으로 하여 전파 경로를 구할 수 있다. 이 경우 경사면의 경사 각도를 φ 라할 때 기지국 안테나의 유효 높이 h_{be} 와 송수신 안테나의 유효 거리 R_e 는 다음과 같다.

오르막 경사지형 :

$$h_{be} = h_b \cos \varphi + d_f \sin \varphi$$

$$R_e = d_f \cos \varphi + \frac{d_s}{\cos \varphi} - h_b \sin \varphi \quad (8)$$

내리막 경사지형 :

$$h_{be} = (h_b - d_f \tan \varphi) \cos \varphi$$

$$R_e = \frac{d_s}{\cos \varphi} + \frac{d_f}{\cos \varphi} - h_{be} \tan \varphi \quad (9)$$

단, 여기에서 d_f 와 d_s 는 각각 평탄거리와 경사거리를 나타낸다.

그림 4와 같은 경사지형에 있어서 유효 기지국 안테나 높이를 두 배로 할 경우의 거리에 따른 수신전력의 변화를 그림 5와 그림 6에 나타내었다. 그림 5에서와 같이 오르막 경사지형의 경우에는 안테나 높이에 따른 수신 이득이 평탄지형보다 더 먼 거리

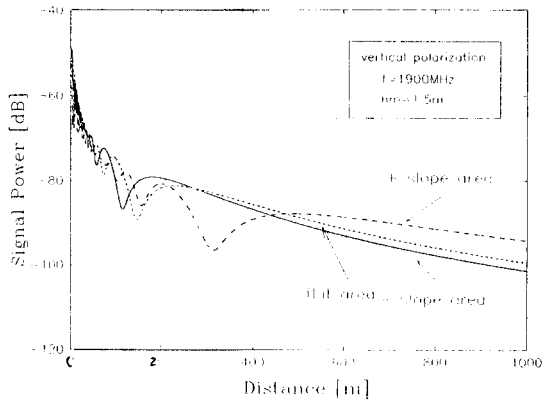


그림 5. 경사지형에서의 수신전력의 변화 (1000 m)
 Fig. 5. Signal power on the sloping area. (1,000 m)

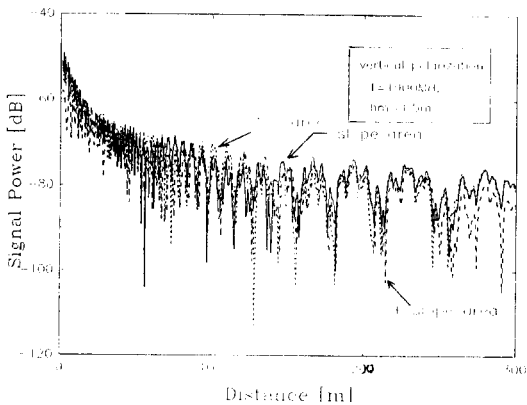


그림 6. 경사지형에서의 수신전력의 변화 (300 m)
 Fig. 6. Signal power on the sloping area. (300 m)

에서 나타나기 시작하며, 이득의 크기도 평탄지형보다 크게 됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 오르막 경사지형에서는 기지국 안테나의 유효 높이가 높기 때문에 유효 안테나 높이를 두 배로 할 경우 실제 안테나 높이는 두 배 이상으로 커지게 되므로 근거리에서는 반사파의 감쇠가 심하게 일어나는 반면, 원거리에서는 안테나 높이 이득이 크게 나타나게 된다. 또한 내리막 경사지형의 경우에는 안테나 높

이에 따른 수신이득이 평탄지형보다 더 가까운 거리에서 나타나기 시작하며 이득의 크기도 평탄지형보다 더 작아짐을 알 수 있다. 이러한 결과는 내리막 경사지형에서는 기지국 안테나의 유효 높이가 낮기 때문에 유효 안테나 높이를 두 배로 하더라도 실제 안테나 높이는 두 배가 되지 않기 때문에 반사파의 감쇠는 적게 일어나지만 안테나 높이에 대한 이득은 크게 나타나지 않는다. 또한 그림 6에서 알 수 있듯이 기지국 안테나로부터 근거리일 경우에는 유효 기지국 안테나 높이 변화에 따른 안테나 높이 이득이 나타나지 않음을 알 수 있다.

V. 각 지형에서의 안테나 높이 이득 비교

그림 7은 전파정수가 동일한 조건에서의 실제 기지국 안테나 높이가 동일할 경우 지형에 따른 수신전력을 비교하여 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 오르막 경사지형의 수신전력이 평탄지형에서의 수신전력보다 크게 나타나고 있으며, 내리막 경사지형에서는 평탄지형의 수신전력보다 작게 나타나고 있다. 이것은 실제 기지국 안테나 높이가 동일할 경우 안테나의 유효 높이가 오르막 경사지형에서는 크게 나타나며, 내리막 경사지형에서

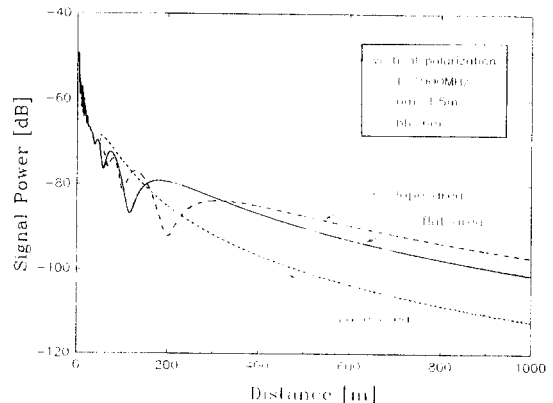


그림 7. 지형에 따른 수신전력의 비교
 Fig. 7. Comparison of the average signal power due to terrain contour.

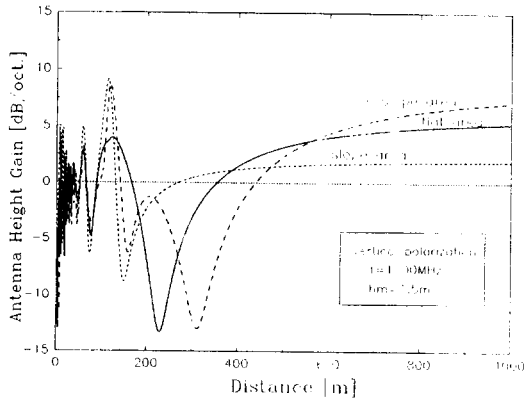


그림 8. 지형에 따른 유효 안테나 높이 이득의 비교
 Fig. 8. Comparison of the effective antenna height gain due to terrain contour.

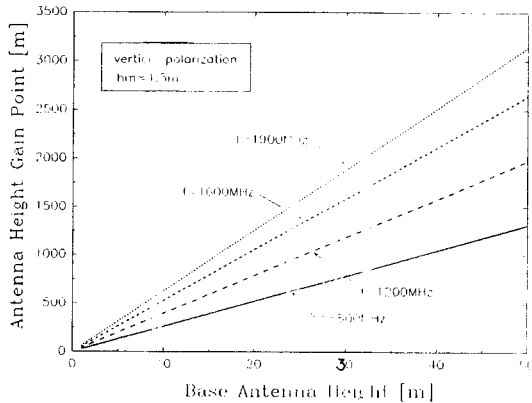


그림 9. 주파수에 따른 안테나 높이 이득점의 비교
 Fig. 9. Comparison of the gain point due to frequency.

는 오히려 작게 나타나기 때문이다.

앞에서 고찰한 바와 같이 안테나 높이에 대한 이득은 셀의 반경이 작은 마이크로 셀에서는 반드시 6 dB/octave를 적용할 수 없다. 이것은 지형의 형태에 따라서 이득의 크기가 변하며, 이득이 나타나기 시작하는 거리도 변하기 때문이다. 유효 기지국 안테나 높이를 두 배로 할 경우 지형의 형태에 따른 안테나 높이 이득을 그림 8에 나타내었다.

이 그림에서 알 수 있는 바와 같이 평탄지형에서의 안테나 높이는 6 dB/octave에 근사하고 있으나, 오르막 경사지형에서는 이보다 높고 내리막 경사지형에서는 이보다 낮게 나타나고 있다. 또한 안테나 높이의 이득이 나타나기 시작하는 점도 오르막 경사지형에서는 평탄지형보다 멀어지며, 내리막 경사지형에서는 평탄지형보다 가까워진다.

평탄지형에서의 안테나 높이에 대한 이득이 안정되게 나타나기 시작하는 거리를 이득점 R_g 라고 하면 이득점 R_g 는 유효 안테나 높이와 주파수를 변수로 시뮬레이션한 결과를 그래프를 이용하여 근사화시키면 다음과 같은 실험식으로 나타낼 수 있다.

$$R_g = \frac{h_{be2} - h_{be1}}{\tan(\exp^{\lambda/10} - 1)} \quad (10)$$

여기에서 h_{be1} 과 h_{be2} 는 각각 기지국 안테나 유효 안테나 높이를 나타낸다. 이 식은 시뮬레이션에 의해 얻어낸 실험식으로서 이 식에 의하면 주파수가 높아질수록 그리고 안테나 높이가 높아질수록 안테나 높이에 대한 이득이 나타나기 시작하는 점은 더 멀어짐을 알 수 있다. 이러한 실험식으로부터 주파수에 따른 안테나 높이 이득의 변화를 나타내면 그림 9와 같다.

결론

일반적으로 안테나 높이에 대한 이득을 6 dB/octave로 계산하여 왔으나 셀 반경이 작은 마이크로 셀에서는 매크로 셀과 전파 환경이 다르기 때문에 이 값을 그대로 적용하지 못한다. 따라서 마이크로 셀에서의 유효 기지국 안테나 높이에 대한 이득을 해석한 결과 근거리에서는 안테나 높이에 대한 이득이 나타나지 않으며, 오르막에서는 평탄지형보다 더 먼 곳에서, 내리막에서는 평탄지형보다 더 가까운 곳에서 안테나 이득이 나타나기 시작함을 알 수 있었다. 유효 기지국 안테나 높이를 두 배로 할 경우 안테나 높이에 대한 이득도 평탄지형에서는 6

dB/octave에 근사하나, 오르막에서는 이보다 높게 나타나고, 내리막에서는 오히려 낮게 나타나는 것을 알 수 있었다. 또한 평탄지형에서의 안테나 높이에 대한 이득이 나타나기 시작하는 거리인 이득 점을 시뮬레이션 결과를 통하여 식 (10)과 같은 실험식을 구하였으며, 이 실험식으로부터 안테나 높이가 높을수록, 주파수가 높아질수록 안테나 높이에 대한 이득이 나타나기 시작하는 점은 더 멀어짐을 알 수 있었다. 따라서 이 이득점 거리 이내에서는 안테나 높이에 대한 이득이 항상 일정하지 않으므로 안테나 높이에 대한 이득을 고려할 수 없고 오히려 안테나 높이가 높을수록 수신 이득이 작아지며, 페이딩의 깊이도 커짐을 알 수 있었다. 이러한 결과는 이론식과 시뮬레이션에 의해 수행한 것으로서 실제 측정 데이터와의 비교에 의해 오차의 한계를 검토 할 필요가 있다.

참고 문헌

[1] Y. Okumura, E. Ohmori, T. Kawano, and K. Fukuda, "Field Strength and its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service", *Rev. Elec. Commun. Lab.*, vol. 16, pp.825-873, Sept. 1968.

[2] Douglas O. Reudink, "Properties of Mobile Radio Propagation Above 400 MHz", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 23, pp.143-159, Nov. 1974.

[3] William C.Y. Lee, *Mobile Cellular Telecommunications* -2nd Ed., McGrawHill, Inc., pp. 157, 1995.

[4] William C.Y. Lee, "Studies of Base-Station Antenna Height Effects on Mobile Radio", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol. 29, pp.252-260, May 1980.

[5] William C.Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, Howard W. Sams & Co., pp. 63-65, 1986.

金 柄 玉



1983년 2월 : 한국항공대학교 항공통신공학과 (공학사)
 1997년 2월 : 부경대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1997년 3월 : 부경대학교 대학원 전자공학과 박사과정

1994년~현재 : 한국해기연수원 전자통신과 조교수

[주관심분야] 이동통신 전파환경, 해상무선통신

河 德 鎬



1979년 2월 : 한양대학교 전자공학과 (공학사)

1984년 3월 : 일본 Kyoto대학 전자공학과 (공학석사)

1987년 3월 : 일본 Kyoto대학 전자공학과 (공학박사)

1987년 9월~현재 : 부경대학교 정보통신공학과 부교수

1990년 8월~1991년 8월 : 캘리포니아 대학(Davis) 방문 연구교수

1987년 3월~1987년 8월 : 일본 (주)Matsushita 전기, 무선연구소 연구원

[주관심분야] PCS, FPLMTS, Wireless LAN, Diversity System, 실내외 전파특성 모델링, 디지털 이동통신방식