

마이크로 셀 환경에서의 원편파 특성 해석

김성명, 김병옥*, 하인철, 하덕호

부경대학교 정보통신공학과

* 한국해양수산연수원

An Analysis of Circular Polarization Characteristics in the Microcell Environments

Sung-Myung Kim, Byung-Ok Kim*, In-Chul Ha, Deock-Ho Ha

Dept. of Telematics Eng, Pukyong National University

* Korea Institute of Maritime and Fisheries Technology

E-mail : 2000myung@hanmail.net

요 약

본 논문은 2GHz 대역의 마이크로 셀 환경에서 원편파 특성을 분석하기 위하여 편파의 특성을 이론적 해석과 실제 측정 데이터를 비교 검토하였다. 가시거리에서는 원편파가 기수회 반사파 수신을 억제하기 때문에 다중경로 페이딩에 대한 경감 효과가 있다는 것은 널리 알려져 있다. 본 연구팀은 "E"자형 건물의 회절 음영 지역에서도 원편파의 편파 특성이 잘 유지되는지를 측정 분석하였다. 이를 위해 정선회 원편파(C), 역선회 원편파(X), 수직편파(V), 수평편파(H) 안테나를 사용하여 각각의 송수신 편파간 조합에 대하여 거리에 따른 전계강도를 이동 측정하였다. 전파 모델은 "E"자형 건물의 회절지역 모델에서 2개의 경로를 선택하여 각각에 대한 전파의 편파 특성을 분석하였다.

1. 서 론

이동통신에 대한 수요의 급증과 IMT-2000 등 새로운 무선 이동통신 서비스의 등장으로 전파 자원에 대한 수요가 확대되고 있다. 이에 따라 매크로셀에서 마이크로셀 또는 피코셀로 셀의 범위가 점차 작아지고 있으며, 수직편파 위주의 이동통신 서비스가 45° 편파 또는 원편파 등과 같이 서비스 특성에 맞는 다양한 편파를 사용하는 환경으로 바뀌어나가고 있다. 특히 2GHz대역의 ISM 밴드에 대한 활용도가 높아지면서 WLAN, Bluetooth 등 다양한 서비스가 등장하고 있다. 따라서 이러한 주파수 대역에서의 다양한 서비스와 서비스의 효율성 제고를 위해서 편파특성에 대한 연구가 필요하다.

무선 이동통신의 전파전파 환경에서는 지면이나 구조물에 등에 의한 반사, 회절, 산란 등의 원인으로 송수신 전파의 편파면이 수시로 변하게

되어 그 편파 특성을 그대로 유지하기가 매우 곤란하다. 이와 같이 송수신 편파가 동일하게 유지되지 않을 경우에는 송수신 편파의 불일치로 인한 수신 전계강도의 저하가 초래된다. 따라서, 송수신 편파면이 수시로 변화하는 상황에서는 편파 다이버시티 수신법을 고려 할 수 있다 [1,2,3]. 최근 편파 다이버시티에 대한 관심이 높아지고 있으며, 가시거리(LOS) 환경보다 비가시거리(NLOS) 환경에서 교차편파분리도(XPD)값이 작게 되어 편파 다이버시티기법이 효과적이라는 보고 사례도 있다[4]. 이러한 편파 다이버시티 기법을 사용하기 위해서는 편파의 특성을 정확하게 분석할 필요가 있다.

본 논문에서는 송수신 편파의 불일치에 따른 편파 손실 특성을 이론적으로 해석하였으며, "E"자형 건물의 회절지역 전파모델에서 실제 측정을 통해 얻어진 데이터로부터 편파의 특성을 비교 분석하였다.

II. 전파의 반사 및 회절 특성

1. 전파의 반사 특성

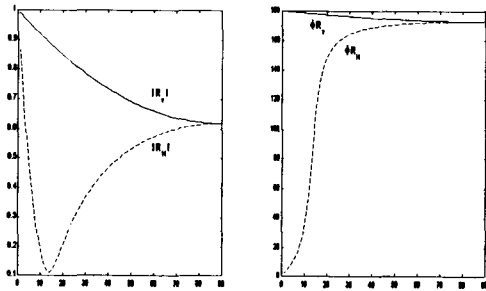
전파가 어떤 매질에 대하여 입사각 ϕ 로 입사 할 경우 이 전파의 복소 반사계수는 일반적으로 다음식과 같이 주어진다.

$$R_v = \frac{\epsilon \sin \phi - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \phi}}{\epsilon \sin \phi + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \phi}} \quad (1)$$

$$R_H = \frac{\sin \phi - \sqrt{\epsilon - \cos^2 \phi}}{\sin \phi + \sqrt{\epsilon - \cos^2 \phi}} \quad (2)$$

여기에서 $\epsilon = \epsilon_r - j60 \sigma \lambda$ 이고 침자 V와 H는 각각 편파면이 반사체와 수직인 경우와 수평인 경우를 나타낸다.

[그림 1]은 주파수 2.36GHz, 반사체의 비유전율이 15인 경우의 수평편파와 수직편파의 반사계수의 크기 및 위상의 변화를 나타내고 있다. R_v 는 수직편파 반사계수의 크기 변화를, R_H 는 수평편파 반사계수의 크기변화를 나타낸다. [그림1(a)]의 세로축은 반사계수의 정규화된 크기로서 0에서 1까지 이며 가로축은 입사각으로서 0도에서 90도 까지 이다. [그림1(b)]의 세로축은 반사파의 입사파에 대한 위상각의 변화로서 0도에서 180도 까지 이며 가로축은 입사각으로서 0도에서 90도 까지 이다[5].



(a) 반사계수 크기 (b) 위상각

[그림1] 반사계수 크기 및 위상의 변화

2. 전파의 회절 특성

일반적인 회절에서는 각 ϕ 로 코너에 부딪힌 전파는 모든 방향으로 회절 되고, 회절된 전파 중 하나만이 각 ϕ 로 수신기에 도달한다. 회절된 전파는 회절 계수에 의해 감쇠되며, 다음과 같이 주어

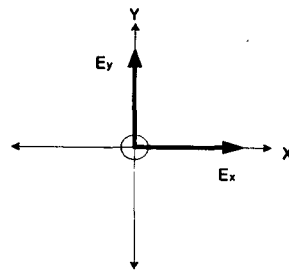
진다[6].

$$D_{h,v} = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k}} \left[\cot\left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right) \cdot F(kLa^+(\phi - \phi')) + \cot\left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right) \cdot F(kLa^-(\phi - \phi')) + R_{o(h,v)} \cot\left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right) \cdot F(kLa^-(\phi + \phi')) + R_{n(h,v)} \cot\left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right) \cdot F(kLa^+(\phi - \phi')) \right] \quad (3)$$

여기에서, $R_{o(h,v)}$ 와 $R_{n(h,v)}$ 는 입사 모서리 면 및 반대편 모서리 면에 대한 반사계수이며, 함수 $F(x)$ 는 Fresnel 상수이다.

III. 전파의 편파 특성

1. 수직 수평편파 특성



[그림2] 수직, 수평편파의 전계 벡터

수평면내 무지향성인 수직편파 안테나(Y)로부터 방사되는 수직편파의 전계벡터를 \hat{E}_y 라고 하면 $\hat{E}_y = E_y \cdot \hat{a}_y$ 로 나타낼 수 있다. 이상적인 수직 안테나로 수신할 경우 이 안테나의 유효길이 벡터를 \hat{h}_v 라고 하면 $\hat{h}_v = h_v \cdot \hat{a}_y$ 가 된다. 따라서 수직안테나로 수신할 경우 수신전압 V_n 는 다음과 같다.

$$V_n = \hat{E}_y \cdot \hat{h}_v = E_y h_v \hat{a}_y \cdot \hat{a}_y = E_y h_v \quad (4)$$

그러나 이상적인 수평안테나를 사용하여 수신할 경우에는 수평안테나의 유효길이 벡터를 \hat{h}_h 라고 할 때 $\hat{h}_h = h_h \cdot \hat{a}_x$ 가 된다. 따라서 수평안테나로 수신할 경우 수신전압 V_H 는 다음과 같다.

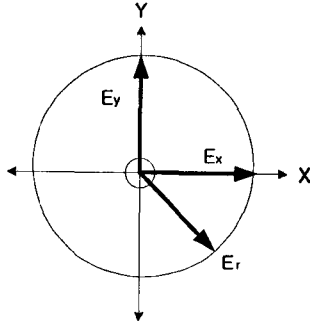
$$V_H = \hat{E}_y \cdot \hat{h}_h = E_y h_h \hat{a}_y \cdot \hat{a}_x = 0 \quad (5)$$

따라서 수직편파에 대하여 이상적인 수평안테나로 수신할 경우 그 수신전압이 0이 되므로 수신

할 수 없음을 의미한다. 또한 역으로 수평편파안테나로 송신할 경우에는 수직편파 안테나로는 수신할 수 없다는 의미도 된다. 그러나 실제의 수신안테나는 유효한 쪽을 가지고 있으며 또한 회절이나 산란현상등에 의하여 편파의 특성이 달라질 수 있기 때문에 교차편파의 수신 안테나로도 수신할 수 있게 된다.

2.원편파 특성

수직안테나(Y)와 수평안테나(X)의 전개벡터를 각각 \hat{E}_x, \hat{E}_y 라고 하면 $\hat{E}_x = E_x \cdot \hat{a}_x, \hat{E}_y = E_y \cdot \hat{a}_y$ 로 나타낼 수 있다.



[그림3] 원편파의 전개벡터

크기가 같은 수평편파와 수직편파의 직교 편파를 $\pm \pi/2$ 의 위상차를 두고 합성하면 원편파가 생긴다. 전개벡터가 시간에 따라서 일정한 크기를 갖고 시계방향으로 회전하는 우선회 원편파일 경우 합성 전개벡터는 다음과 같다

$$\hat{E}_{cr} = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{E}_x - \frac{1}{\sqrt{2}} j \hat{E}_y = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{cr} (\hat{a}_x - j \hat{a}_y) \tag{6}$$

한편 전파가 도래하는 방향에서 볼 때 우선회 원편파 수신안테나의 유효길이 벡터를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{h}_r = \frac{1}{\sqrt{2}} h_r (\hat{a}_x + j \hat{a}_y) \tag{7}$$

따라서 우선회 원편파를 송신하여 우선회 원편파 안테나로 수신하는 경우 수신 전압은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$v_{rR} = \hat{E}_c \cdot \hat{h}_r = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{cr} (\hat{a}_x - j \hat{a}_y) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} h_r (\hat{a}_x + j \hat{a}_y)$$

$$= E_{cr} h_r \tag{8}$$

그러나 우선회 원편파가 정면 반사를 할 경우 수평 편파의 위상이 180도 바뀌게 되므로 결과적으로 좌선회 원편파가 된다. 좌선회 원편파의 전개 벡터는 $\hat{E}_{cl} = \frac{1}{\sqrt{2}} \hat{E}_x + \frac{1}{\sqrt{2}} j \hat{E}_y$ 로 나타나게 되므로 우선회 원편파 수신안테나에 의한 수신전압은 다음과 같다.

$$v_{rL} = \hat{E}_{cl} \cdot \hat{h}_r = \frac{1}{\sqrt{2}} E_{cl} (\hat{a}_x + j \hat{a}_y) \cdot \frac{1}{\sqrt{2}} h_r (\hat{a}_x + j \hat{a}_y) = 0 \tag{9}$$

위 식으로부터 우선회 원편파 안테나는 좌선회 원편파를 수신 할 수 없게 된다. 원편파가 반사할 경우 수평편파 성분이 180도 위상이 바뀌게 되지만 수직 편파 성분의 경우는 그 위상이 거의 일정하게 유지되기 때문이다. 따라서 원편파의 경우 기수회 반사파에 대해서는 수신을 억제하는 효과가 있기 때문에 페이딩을 경감하는 효과를 가져올 수 있게 된다.

원편파가 지면이나 벽면 등에 반사할 경우 원편파를 구성하는 수평편파와 수직편파의 반사계수가 다르기 때문에 수직 및 수평 편파의 성분은 반사에 의한 감쇠량이 달라지게 된다. 따라서 원편파가 반사하는 경우 반사파는 원편파가 아닌 타원편파가 된다. 타원편파의 식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\hat{E}_e = \rho_H \hat{E}_x + j \rho_V \hat{E}_y \tag{10}$$

여기에서 ρ_v, ρ_h 는 각각 수직편파성분과 수평편파성분의 반사계수의 크기를 나타낸다. 이러한 타원편파성분이 수직편파 안테나에 의해 수신되는 전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

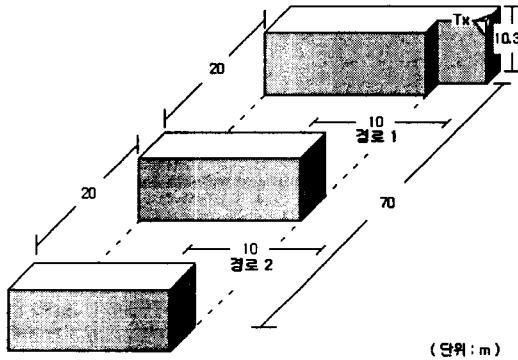
$$v_{eV} = \hat{E}_e \cdot \hat{h}_V = (\rho_H \hat{E}_x + \rho_V \hat{E}_y) \cdot \hat{h}_V = \rho_V E_V h_V \tag{11}$$

또한 타원편파성분이 수평편파 안테나에 의해 수신되는 수신 전압은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$v_{eH} = \hat{E}_e \cdot \hat{h}_H = (\rho_H \hat{E}_x + \rho_V \hat{E}_y) \cdot \hat{h}_H = \rho_H E_x h_H \tag{12}$$

IV. 측정 개요

위의 이론적인 편파 특성을 검증하기 위하여 "E"자 형태 건물에 의한 회절지역 전파모델에서 측정을 행하였다. 측정에 사용된 주파수는 2.36GHz의 무변조 반송파를 사용하였고 송신 안테나는 원편파(C) 특성을 가진 마이크로 스트립 안테나와 수직(V) 편파 특성과 수평편파(H) 특성을 갖는 반파장 다이폴 안테나를 이용하였다. 수신 안테나 역시 원편파(C), 역선회 원편파(X), 수직 편파(V), 수평편파(H) 특성을 갖는 안테나를 사용하였다. 측정 실험은 [그림 4]와 같이 "E"자 형태 건물의 회절지역에서 경로 1지점과 경로 2지점으로 나누어 측정하였고, 측정을 통하여 얻어진 데이터의 분석을 통하여 원편파의 특성을 각종 편파의 조합에 대한 특성과 비교 해석하였다.



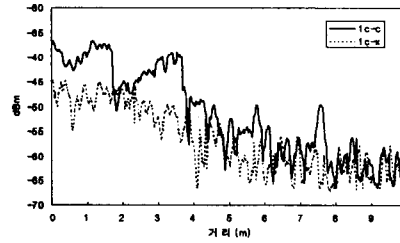
[그림4] 측정 지역

편파의 조합에 대한 기호는 정선회 원편파는 C, 역선회 원편파는 X, 수직편파는 V, 수평편파는 H로 표기하였다.

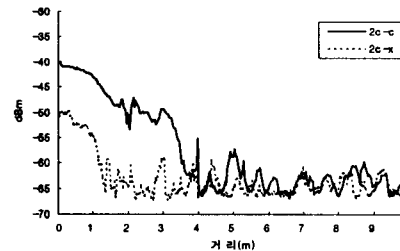
[그림4]에서처럼 송신 안테나의 높이는 10.3m이고 수신안테나의 높이는 2m의 높이로 하였으며, 경로 1 지역과 경로 2지역에 대하여 각종 편파의 특성을 가시지역에서부터 회절 음영지역 쪽으로 10m구간까지 이동 측정하였다.

V. 측정 결과 및 검토

[그림5]와 [그림6]은 각각 [그림4]의 경로 1과 경로 2에 대한 편파 특성을 정선회원편파로 송신하여 정선회원편파로 수신한 경우(C-C)와 정선회원편파로 송신하여 역선회원편파로 수신한 경우(C-X)를 보여주고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 경로 1에서는 C-C의 경우가 C-X의 경우보다 약 5dB 이상의 이득을 보였으며, 경로 2에서도 C-C가 C-X보다 약 6dB 이상의 이득을 보였다.

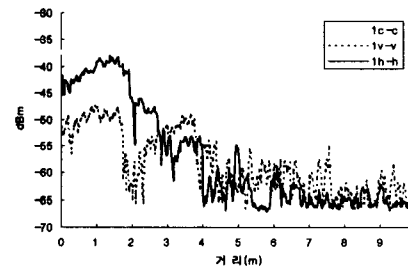


[그림5] 경로 1의 C-C와 C-X의 수신 신호강도

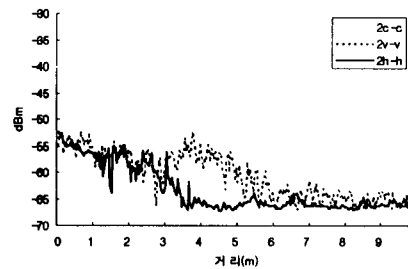


[그림6] 경로 2의 C-C와 C-X의 수신 신호강도

[그림7]과 [그림8]은 각각 경로 1과 경로 2에서의 원편파 송수신(C-C), 수직편파 송수신(V-V), 수평편파 송수신(H-H)의 경우에 대한 수신 신호의 강도를 나타낸 것이다. 이 그림에서 알 수 있듯이 동일 편파로 송수신한 경우에도 C-C의 경우가 V-V나 H-H의 경우보다 경로 1에서는 약 5dB의 이득을 경로 2에서는 약 4dB의 이득을 나타내고 있음을 알 수 있다.

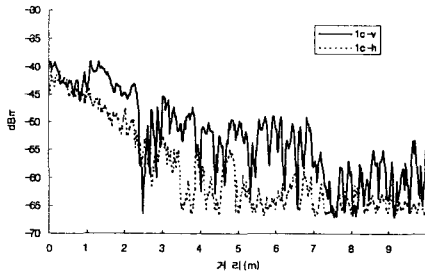


[그림7] 경로 1의 C-C, V-V, H-H 수신 신호강도

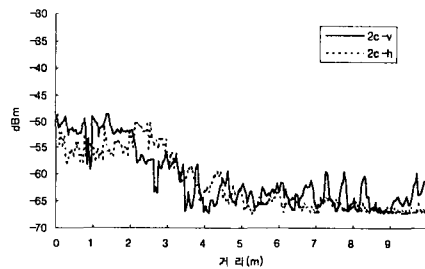


[그림8] 경로 2의 C-C, V-V, H-H 수신 신호강도

[그림9]와 [그림10]은 각각 경로 1과 경로 2에 대하여 원편파를 송신하여 수직편파로 수신한 경우(C-V)와 원편파를 송신하여 수평편파로 수신한 경우(C-H)의 수신 신호 강도의 변화를 나타내고 있다. 이 그림에서 알 수 있듯이 경로 1에서는 C-V가 C-H보다 약 4dB정도의 이득을 보였으며 경로 2에서는 C-V와 C-H가 약 1dB정도의 차를 보였다.



[그림9] 경로1의 C-V, C-H의 수신 신호강도



[그림10] 경로2의 C-V, C-H의 수신 신호강도

VI. 결론

현재 무선 환경에서는 셀 범위가 더욱더 작아지고 있으며, 또한 2GHz대역 이상의 주파수에 대한 새로운 서비스의 개발로 전파전파의 특성을 높이기 위하여 서비스 특성에 맞는 편파를 사용하는 현상이 두드러지고 있다. 본 논문은 이러한 편파 특성을 이론적으로 해석하고, 또한 건물간의 회절과 반사가 존재하는 전파환경에서의 실제 측정된 데이터를 분석하여 비교 검토하였다. 그 결과 정선회 원편파로 송수신(C-C)하는 경우가 수직 편파로 송수신(V-V)하는 경우나 수평편파로 송수신(H-H)하는 경우보다 수신신호 전계강도의 크기가 높게 나타났다. 어떤 다른 편파의 조합보다도 원편파로 송수신 하는 경우가 수신 전계의 세기가 높게 나타나는 것은 본 논문에서 적용된 회절 음영지역에서도 원편파의 특성이 잘 유지된다고 볼 수 있다. 이러한 결과는 회절 음영지역에서도 수

직이나 수평편파를 이용하는 것 보다 원편파를 이용하는 경우 보다 더 효율적이고 신뢰성 있는 통신 서비스를 제공 할 수 있음을 의미한다. 앞으로 비가시 지역에서의 편파 특성을 분석하여 페이딩에 대한 영향과 다이버시티 기법에 대한 연구가 진행되어야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] Deock-Ho Ha, Sung-Woo Jeon, et al, "A Study on Optimum Condition of Polarization Diversity Reception in Indoor Wireless Environments", *The 2nd CIC(CDMA International Conference)*, pp496-500, October 21-24, 1997, Seoul, Korea
- [2] Deock-Ho Ha, Sung-Woo Jeon, A Study of Polarization Diversity Reception in Indoor Wireless Environment", *전파통신 논문지 제3권 제 1호*, pp94-102, March 1997.
- [3] Hee-Chang Jung, Jin-Dan Mok, Deock-Ho Ha, "Analysis of Wideband Propagation Characteristics for The High Transmission Rate in Indoor Radio Channels" *IEEE 48th Vehicular technology Conference Proceedings (VTC'98)*, Vol.1, pp298-302, May 1998, Ottawa Canada
- [4] Jukka.A.Lempiaine, Jaana K.Laiho-Steffens, Achim F.Wacker, "Experimental Results of Cross Polarization Discrimination and Signal Correlation Values for a Polarization", *IEEE 47th Vehicular technology Conference Proceedings (VTC'97)* Vol.3-A, pp1498-1502, April 1997, Phoenix, Arizona, USA
- [5] H. R. Anderson, "A Ray-Tracing Propagation Model for Digital Broadcast Systems in Urban Areas", *IEEE Trans. Broadcasting*, AB-39, 951-955, 1993
- [6] R. J. Luebbers, "Propagation Prediction for Hilly Terrain Using GTD Wedge Diffraction", *IEEE Trans. Antennas Propagation* AP-32, 951-955, 1984