

B-WLL에서 지붕형 건물 및 나무에 의한 전파 음영 지역 해석

채찬병*, 박성욱*, 서경환**, 정한욱***, 이재원***

한국정보통신대학원대학교*, 강남대학교**, 한국통신***

Propagation Study of the Shadow Region by Roof-top Building and Tree in B-WLL

Chan-Byoung Chae*, Seong-Ook Park*, Kyoung-Whoan Suh**, Han-Wook Jung*** and Jae-Won Lee***

Information and Communications University*, Kangnam University**, Korea Telecom***

Abstract - This paper presents the radio propagation effects in the shadow region due to the presence of obstacle, like building and tree, along the path at the B-WLL band. Using the Uniform Theory of Diffraction(UTD), the total field was obtained as the sum of contributions with diffraction ray from the each obstacle's edge, the direct ray, and the reflected rays from ground. The normalized signal level(in dB) is calculated with the parameters of the base station elevation and the distance between obstacle and receiver. This results are used to provide the suitable radio cell planning and coverage prediction in the area of shadow region.

I. 서론

최근 정보화 사회가 급속히 진행됨에 따라 정보 사용자의 다양한 멀티미디어 정보 서비스에 대한 욕구가 증가하고 있다. 97년 PCS의 등장으로 인해 가속화된 무선 통신 서비스는 현재 고정 가입자를 대상으로 한 음성, 데이터 및 영상의 광대역 신호를 양방향 고속 전송 사업인 B-WLL(Broadband-Wireless Local Loop)가 시험 중에 있다. 현재 국내에서는 3개의 사업자가 선정되어 본격적인 서비스 구축에 힘쓰고 있다. 그러나 Ka 대역을 이용하는 B-WLL의 경우 전파의 직진성이 강하기 때문에 건물 및 나무 등의 전파 방해물이 밀집해 있는 도심지와 같은 경우 서비스 해당 셀 영역에서 많은 음영 지역이 발생하게 된다. 따라서 전파 방해에 가장 큰 영향을 미치는 건물 및 나무에 의한 전파 특성을 고찰해 볼 필요가 있다. 지금까지의 연구는 Ka 대역의 B-WLL에서 외국 도심 환경에서의 전파 신호 강도를 측정 한 결과만이 보고되고 있다.[1,2,3] 국내의 경우, 평평한 지붕 모양을 갖는 건물에 대한 연구 결과가 보고되고 있다.[4] 그러나, 건물의 다양성 등의 이유로 좀 더 넓은 연구가 필요하다. 따라서 본 논문에서는 Ka 대역에서의 지붕형 건물

및 나무 영향에 따른 음영 지역을 Uniform Theory of Diffraction (UTD)와 기하 광학(Geometrical Optics)을 결합한 Ray Tracing 방법을 이용하여 해석하였다. 기지국과 지붕형 건물 및 나무(장애물)와의 각도, 그리고 장애물과 수신자와의 거리 변화에 따라 회절된 전파 신호의 특성을 정규화된 신호 레벨(normalized signal level)로 나타내어 해석하였다.

II. 전파 모델

본 논문에서는 여러 가지 장애물 중에 지붕형 건물과 나무에 대한 Ka 대역 통신의 영향을 해석하였다. 주파수는 B-WLL 서비스에 따라 하향 채널 28GHz로 가정하였다. 본 논문에서는 다음의 가정이 사용되었다.

- 장애물에 입사되는 파는 평면파이다.
- 지표면은 평평하고 손실이 있다.
- 장애물은 완전 도체이다.

기지국과 장애물과의 각도, 장애물과 수신자와의 거리에 따라 다른 경로의 전파들이 수신자에게 도달한다. 수신된 신호의 ray contribution은 다음과 같이 구분할 수 있다.

$0.0 \leq \theta \leq \phi_{ISB}$: 지표면 반사 후 회절파, 직접 회절되는 파

$\phi_{ISB} \leq \theta \leq \phi_{RSB}$: 직사파, 회절파

$\phi_{RSB} \leq \theta \leq 90$: 직사파, 회절파, 반사파

여기서 ϕ_{ISB} , ϕ_{RSB} 는 각각 incident shadow boundary, reflection shadow boundary의 각을 나타낸다.

2-1. 지붕형 건물

그림 1은 지붕형 건물이 존재할 때 다양한 각도에 따라 수신자가 수신할 수 있는 전파 특성을 나타낸 것이다.

(a) 입사파

등방형 안테나에서 방사되는 파는 구형파의 형태를 갖지만 source로부터 먼 거리에서 관찰할 경우 방사된 구형파를 평면파로 근사할 수 있다. B-WLL 서비스에서는 수 Km의 셀 크기를 가지므로 평면파 근사 모델을 적용할 수 있다. 따라서 soft, hard polarization이 z축 방향 벡터 성분을 갖는 입사파의 경우 각각 다음과 같이 나타낼 수 있다.

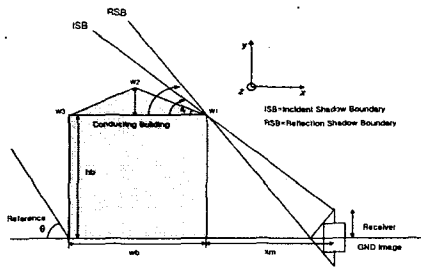


그림 1. 지붕형 건물 전파 모델

$$E_z^i(\text{receiver}) = E_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}[(w_1+x_m)\cos\phi+h_m\sin\phi]}$$

$$H_z^i(\text{receiver}) = H_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}[(w_1+x_m)\cos\phi+h_m\sin\phi]} \quad (1)$$

(b) 반사파

기지국과 수신자와의 각도가 ϕ_{RSB} 보다 커지면 수신자에 지표면에서 반사되는 파가 발생하게 된다. 또한 지표면에 반사된 후에 빌딩의 모서리 w_2 에 의해 다시 회절되어 수신되는 성분도 고려해야 한다. 따라서 soft, hard polarization에서의 반사파는 다음과 같이 나타낼수있다.

$$E_z^r(\text{receiver}) = E_z^i(\text{reference}) \cdot \Gamma^s(\psi) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}[(w_1+x_m)\cos\phi-h_m\sin\phi]}$$

$$H_z^r(\text{receiver}) = H_z^i(\text{reference}) \cdot \Gamma^h(\psi) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}[(w_1+x_m)\cos\phi-h_m\sin\phi]} \quad (2)$$

$\Gamma^{s,h}(\psi)$ 는 반사계수이며 다음과 같이 주어진다.[5]

$$\Gamma^{s,h}(\psi) = \frac{\cos\psi - \frac{1}{a}\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\psi}}{\cos\psi + \frac{1}{a}\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\psi}}, \quad \text{where } \begin{cases} \psi = \frac{\pi}{2} - \theta \\ \epsilon_r = 15 - j\frac{90.0}{f(\text{MHz})} \end{cases}$$

soft polarization일 경우 $a=1$, hard polarization일 경우 $a=\epsilon_r$ 이다. ψ 는 지표면에서의 입사각이며 기준 지점에서 법선 방향으로부터의 각을 나타내며, ϵ_r 은 무선 통신 환경에서의 지표면 상대 유전율을 나타낸다.

(c) 회절파

수신자에게 전달되는 회절파는 각각 w_1 , w_2 의 모서리에서의 1차, 2차 함수로 나타내어진다. w_1 에서 soft polarization일 경우 1차 회절 성분은

$$E_z^d(\rho_1) = E_z^i(w_1) \cdot D^s(L, \phi_1, \phi_1', n_1) \cdot \frac{e^{-jk_0\rho_1}}{\sqrt{\rho_1}} \quad (3)$$

이며, UTD 회절 상수 D 는 다음과 같이 주어진다.[6,7]

$$D^{s,h}(L, \phi, \phi', n) = \frac{e^{-j\pi/4}}{2n2\pi} \cdot \sqrt{\lambda_0} \cdot \left\{ \cot\left[\frac{\pi+(\phi-\phi')}{2n}\right] F\left[2\pi\frac{L}{\lambda_0}g^+(\phi-\phi')\right] \mp \left\{ \cot\left[\frac{\pi+(\phi+\phi')}{2n}\right] F\left[2\pi\frac{L}{\lambda_0}g^+(\phi+\phi')\right] + \cot\left[\frac{\pi-(\phi-\phi')}{2n}\right] F\left[2\pi\frac{L}{\lambda_0}g^-(\phi-\phi')\right] + \cot\left[\frac{\pi-(\phi-\phi')}{2n}\right] F\left[2\pi\frac{L}{\lambda_0}g^-(\phi+\phi')\right] \right\} \right\}$$

중괄호 안의 -부호는 soft polarization을 +부호는 hard polarization을 나타낸다. 또 L 은 거리 매개 변수

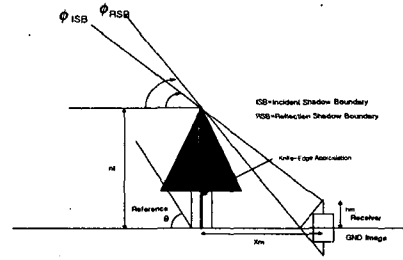


그림 2. 나무 전파 모델

이며, F 는 Fresnel integral[8]을 나타내며, wedge angle=(2-n) π 이다. w_1 에서의 1차원 회절파를 기준 지점의 관점에서 표현하면,

$$E_z^d(\rho_1)_{w_1} = E_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j2\pi\left(\frac{w_1}{\lambda_0}\cos\phi + \frac{h_m}{\lambda_0}\sin\phi\right)} \cdot D^s(L_1, \phi_1, \phi_1', n_1) \cdot \frac{e^{-j2\pi\frac{\rho_1}{\lambda_0}}}{\sqrt{\rho_1}} \quad (4)$$

같은 방법으로 hard polarization도 나타낸다. 또한 w_2 에서 w_1 으로의 2차 회절 성분은 source 지점이 처음모서리 w_1 이고, ρ' 는 처음 모서리 w_1 에서 두 번째 모서리 w_2 까지의 거리이다. 즉 $\rho'=w_2$ 이다. 관찰 지점은 수신자이고 $\rho = \rho_1$ 이므로,

$$H_z^d(\rho_1)_{w_1} = H_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j2\pi\left(\frac{h_m}{\lambda_0}\sin\phi\right)} \times D^h(L_2, \phi_2, \phi_2', n_2)_{\rho_2=w_2} \cdot \frac{e^{-j2\pi\frac{\rho_1}{\lambda_0}}}{\sqrt{\rho_2}} \cdot D^h(L_{21}, \phi_1, \phi_1', n_1)_{\rho_1=w_1} \cdot \frac{e^{-j2\pi\frac{\rho_1}{\lambda_0}}}{\sqrt{\rho_1}}$$

2-2. 나무 장애

B-WLL 통신 시스템에서 전파 신호의 큰 장애로 건물 외에 나무를 들 수 있다. 대도심의 가로수, 시골의 큰 나무들이 그 예인데, 본 절에서는 나무를 knife edge로 근사하여 모델링하였다. 그림 2는 나무가 존재할 때 다양한 각도에 따라 수신자가 수신할 수 있는 전파 특성을 도시화 한 것이다.

(a) 입사파

knife edge에서의 soft, hard polarization에 대한 입사파는 각각,

$$E_z^i(\text{receiver}) = E_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}(x_m\cos\phi+h_m\sin\phi)}$$

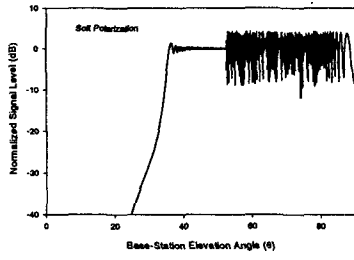
$$H_z^i(\text{receiver}) = H_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}(x_m\cos\phi+h_m\sin\phi)} \quad (6)$$

(b) 반사파

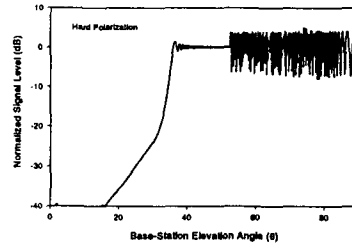
앞의 건물에서의 반사파와 같이 입사각이 ϕ_{ISB} 보다 클 경우 지표면에 반사된 파가 수신자에게 전달되므로 soft, hard polarization 각각 다음과 같이 표현한다.

$$E_z^r(\text{receiver}) = E_z^i(\text{reference}) \cdot \Gamma^s(\psi) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}(x_m\cos\phi-h_m\sin\phi)}$$

$$H_z^r(\text{receiver}) = H_z^i(\text{reference}) \cdot \Gamma^h(\psi) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}(x_m\cos\phi-h_m\sin\phi)} \quad (7)$$

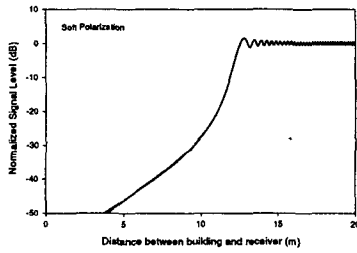


(a) Soft Polarization

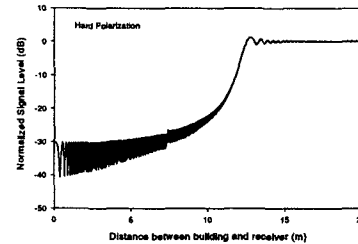


(b) Hard Polarization

그림 3. 기지국과 지붕형 건물 사이 각에 따른 정규화 신호 레벨



(a) Soft Polarization



(b) Hard Polarization

그림 4. 지붕형 건물과 수신자 거리에 따른 정규화 신호 레벨

$\Gamma^i(\psi)$ 는 지표면의 반사계수로 식 (2)와 같다.

(c) 회절과

knife edge 근사 나무의 경우 모서리가 1개이며 $n_I=2$ 이다. 따라서 1차 회절과만 고려하면 된다.

$$E_z^i(\rho_1)_{w_1} = E_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}(h_1 \sin \theta)} \cdot D^s(L_1, \phi_1, \phi_1', n_1) \cdot \frac{e^{-j2\pi \frac{\rho_1}{\lambda_0}}}{\sqrt{\rho_1}}$$

$$H_z^i(\rho_1)_{w_1} = H_z^i(\text{reference}) \cdot e^{j\frac{2\pi}{\lambda_0}(h_1 \sin \theta)} \cdot D^h(L_1, \phi_1, \phi_1', n_1) \cdot \frac{e^{-j2\pi \frac{\rho_1}{\lambda_0}}}{\sqrt{\rho_1}} \quad (8)$$

III. 해석 결과

2절에서 살펴본 지붕형 건물 및 나무에 의한 장애 모델링을 기지국과 장애물과의 각도, 장애물과 수신자의 거리에 따라 정규화된 신호 레벨(NSL)을 계산하였다. NSL은 다음과 같이 정의하였다.

$$S^s = \left| \frac{E_z^{\text{total}}(\text{receiver})}{E_z^i(\text{reference})} \right|, S^h = \left| \frac{H_z^{\text{total}}(\text{receiver})}{H_z^i(\text{reference})} \right| \quad (9)$$

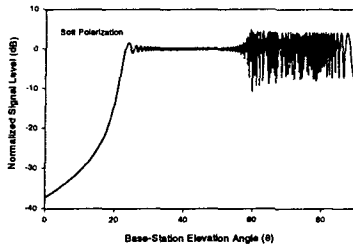
(a) 지붕형 건물에서의 정규화 신호 레벨

본 논문에서는 근래에 대표적인 5층 건물로 높이 10m, 폭 10m 규격을 사용하였다. 여기에 지붕 높이는 3m로 하였다. 수신자의 안테나는 3m로 하였는데 이는 ϕ_{ISB} 가 작으므로 위상(phase)에 따른 신호 레벨을 좀 더 자세히 살펴 볼 수 있기 때문이다. 그림 3은 수신자가 건물에서

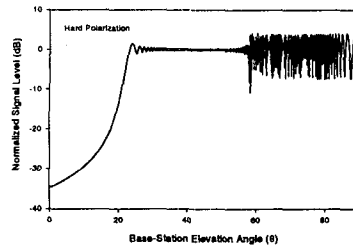
10m 떨어진 지점에서의 기지국과 빌딩의 각 변화에 따른 NSL을 soft, hard polarization에 대하여 각각 나타낸 것이다. soft, hard polarization 모두 $\phi_{ISB} = 34.99^\circ$, $\phi_{RSB} = 52.43^\circ$ 이었다. Soft polarization일 경우의 NSL이 hard polarization의 NSL보다 다소 낮음을 알 수 있다. 이는 grazing incident에서의 $D_s=0$ 이므로 2차 이상의 회절과가 존재하지 않기 때문이다. 그림 4는 기지국과 지붕형 건물과의 각이 30° 로 정해져 있을 경우, 수신자의 위치 x_m 을 0부터 15m까지 변화하면서 계산한 결과이다. 마찬가지로 soft polarization의 결과가 hard polarization의 결과보다 낮음을 알 수 있으며, 역시 위의 이유와 같은 맥락이다. 또한, NSL이 0이 되기 전 약 12m 전까지는 다중 경로 파의 영향으로 심하게 진동함을 알 수 있다. 따라서 hard polarization이 soft polarization보다 B-WLL 환경에서의 전파 음영지역의 전파 특성이 상대적으로 유리하다는 것을 알 수 있다.

(b) 나무 장애에서의 정규화 신호 레벨

knife edge 모델을 사용한 나무의 경우 높이를 5m로 하였고, 기지국과 나무의 각에 의한 계산을 할 경우 수신자의 위치는 5m로 하였다. 또한 기지국과 나무의 각을 30° 로 고정하고, 수신자의 위치를 0~12m로 변화를 주며 계산하였다. 그림 5는 그림 2의 구조물에 대한 계산 결과로서 기지국과 나무의 각 변화에 따른 NSL을 soft, hard polarization에 대하여 각각 나타낸 것이다.

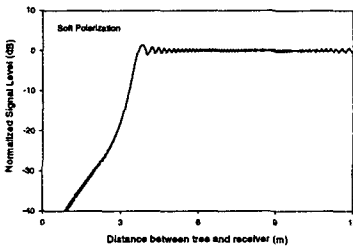


(a) Soft Polarization

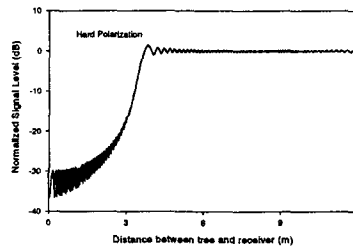


(b) Hard Polarization

그림 5. 기지국과 나무 사이 각에 따른 정규화 신호 레벨



(a) Soft Polarization



(b) Hard Polarization

그림 6. 나무와 수신자 거리에 따른 정규화 신호 레벨

Soft, hard polarization 모두 $\phi_{ISB} = 21.80^\circ$ $\phi_{RSB} = 57.99^\circ$ 이었다. knife edge 나무 모델에서 0dB에 도달하는 각도가 약 23.2° 로 soft, hard polarization의 차이를 보이지 않았는데, 이는 모서리가 1개 존재하여 2차 이상의 회절과 존재하지 않았기 때문이다. 그림 6은 그림 2의 구조물에 대한 계산 결과로서 기지국과 나무의 각이 30° 로 정해져 있을 경우, 수신자의 위치 x_m 을 0부터 12m까지 변화하면서 계산한 결과이다. 이 결과 역시 건물에서의 결과와 마찬가지로 hard polarization의 전파 특성이 더 우수함을 확인 할 수 있다.

IV. 결론

지상 무선 통신 환경에서의 지붕형 건물 및 나무에 대한 전파 전파 모델을 연구하였다. 해석방법은 건물 모서리에서의 회절, 지표면에서의 반사, 직사파가 고려된 고주파 ray-tracing method를 기본으로 하였다. 수신자에서의 NSL을 기지국과 장애물의 각도, 장애물과 수신자의 거리에 따라 각각 계산하였다. 계산 결과 soft polarization의 NSL이 hard polarization의 NSL보다 다소 낮음을 알았다. 또한 soft, hard polarization 모두 일정 각도(ϕ_{RSB})를 지나면 페이딩 현상을 볼 수 있는데, 이는 회절과, 반사파, 직사파 모두가 존재하여 위상 차에 의한 것이다. 지금까지의 B-WLL대역에서의 전파 특성

연구로 B-WLL 시스템 기지국 및 중계기 위치 선정에 도움이 되리라 생각된다. 본 논문의 결과는 특수한 일례를 들어 나타내 보았지만, 개발된 코드를 이용하여 좀 더 일반적인 결과를 얻을 수 있으리라 사료되며, B-WLL 시스템을 구축하기 위한 기본 데이터로 활용할 수 있으리라 기대된다.

V. 참고문헌

- [1] Aly F. Elrefaie and Mohammad Shakouri, "Propagation measurement at 28GHz for coverage evaluation of local multipoint distribution service" *IEEE Wireless Communications Conference* pp. 12-17 1997.
- [2] Scott Y.Seidel, "Radio propagation and planning at 28GHz for local multipoint distribution service (LMDS)," *IEEE AP Society International Symposium* vol.2 pp. 622-625 1998.
- [3] Scott Y.Seidol and Hamilton W. Arnold, "Propagation measurements at 28GHz to investigate the performance of local multipoint distribution Service (LMDS)," *Global Telecommunications Conference, IEEE*, vol. 1 1995.
- [4] 채찬병, 김병남, 박성욱, "L 및 Ka 대역에서 건물 영향에 따른 전파 특성 연구" 추계 마이크로파 및 전파 학술대회 22권 2호 99년
- [5] H. L. Bertoni, W. Horcharenco, L. R. Maciel, and H. H. Xia, "UHF propagation prediction for wireless personal communications," *Proc. IEEE*, vol. 82 pp. 1333-1359, Sept. 1994.
- [6] R. Kouyoumjian and Pathak, "A uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface," *Proc. IEEE*, vol. 62, pp. 1448-1461, Nov. 1974.
- [7] C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*. New York: Wiley, 1989.
- [8] J. Boersma, "Computation of Fresnel integrals," *J. Math. Comput.*, vol. 14, p. 380, 1960
- [9] L. A. Polka, C. A. Balanis, and A. C. Polycarpou, "High-frequency methods for multiple diffraction modeling: Application and comparison," *J. Electromagn. Waves Appl.*, vol. 8 nos. 9/10, pp. 1223-1246, 1994