

산악 지형에서 회절 손실에 관한 연구

이찬우, 김의성  
 광운대학교 전자통신공학과

Study on Diffraction Loss over Hilly Terrain

이찬우, 김의성, Lee Chan-U, Kim Yi-Sung  
 Dept. of Electronic Comm., Kwang Yoon Univ.

Abstract

Diffraction loss occurs when the propagation path is obstructed by mountains and hills between a base station antenna and a moving vehicle antenna in mobile radio communication.

In this paper an approximate mathematical modeling using Fresnel-Kirchhoff diffraction theory is considered to predict the path loss by natural obstacles with lateral profiles having simple geometrical shapes. Double-knife-edge diffraction can also be used to describe more than one obstacle.

I. 서론

산악 지형에서 이동통신은 종종 산이나 구릉과 같은 지형지물의 영향을 받는다. 이와 같은 장애물에 의한 신호의 감쇠를 '회절 손실(diffraction loss)' 이라고 한다[1]. 회절에 관한 Fresnel-Kirchhoff 이론에서는 장애물을 반 무한 평면으로 가정하고 전파의 강도 변화를 계산하였으나 산이나 구릉이 독립적으로 존재하거나, 장애물의 횡단면이 기하학적으로 복잡한 형태를 가진 경우에는 적용하기가 어렵다.

본 연구에서는 장애물의 폭을 제한하거나 장애물을 n개의 knife-edge로 모델링하여 신호의 주파수 의존 특성과 차량의 이동 궤적을 따라서 발생하는 회절에 의한 손실을

계산하였으며 주어진 전파 경로를 따라서 연속적인 장애물이 존재하는 경우도 고려해 보았다.

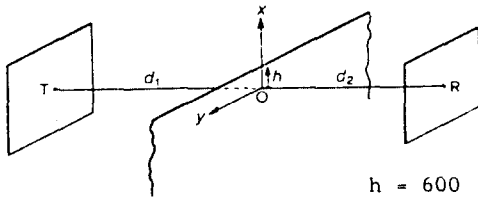
II. 회절 이론

Huygens는 파동(wavefront)의 각 점들을 spherical wavelet을 형성하는 secondary source로 생각하였고 Fresnel은 이 secondary source들이 서로 간섭한다는 가정을 모호하여 회절현상을 설명하였으며 Kirchhoff는 이 원리를 수학적으로 입증하였다. 회절에 대한 Fresnel-Kirchhoff이론은 산악 지형에 의하여 shadow가 발생하는 경우에 장애물을 knife-edge로 가정하고 신호의 감쇠량을 예측하는데 유용하다 [2].

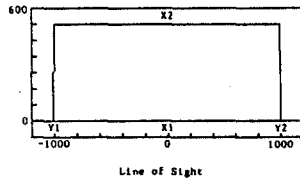
그림 1(a)처럼 송신기에서 발생된 신호가 장애물을 거쳐서 수신기에 도달한 경우 field strength는 자유 공간의 Green함수와 장애물이 없는 공간에 대한 면적분으로부터 얻을 수 있다 [3][4]. 그림 1(a)에서 송신기에서 장애물, 장애물에서 수신기까지의 거리를 d1, d2, 송수신기를 연결하는 직선위에서 장애물의 높이 X라고하면 장애물이 반 무한 평면일때 수신된 신호를 장애물이 없는 경우에 자유 공간에서 수신된 신호로 정규화시켜서 나타내면

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{2} \left[ \int_W \int_{-\infty}^{\infty} \text{EXP} [j\pi (U^2 + V^2) / 2] dUdV \right] = \frac{1}{2} \left[ C + j S \right] \quad (1)$$

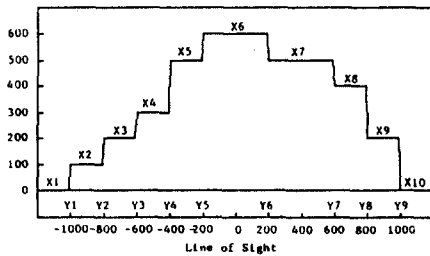
이며, 여기서



(a) model A : 반 무한 평면



(b) model B : 폭을 제한한 사각형



(c) model C : n 개의 사각형

그림 1. 장애물에 의한 회절 손실을 계산하기 위한 모델

$$W = X \left[ \frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right]^{1/2} \quad (2)$$

$$C = \int_{-W}^W \int_{-\infty}^{\infty} \cos \left[ \frac{\pi}{2} (U^2 + V^2) \right] dU dV \quad (3)$$

$$= \left[ \frac{1}{2} - C(W) \right] - \left[ \frac{1}{2} - S(W) \right]$$

$$S = \int_{-W}^W \int_{-\infty}^{\infty} \sin \left[ \frac{\pi}{2} (U^2 + V^2) \right] dU dV \quad (4)$$

$$= \left[ \frac{1}{2} - S(W) \right] + \left[ \frac{1}{2} - C(W) \right]$$

이것 U와 V는 새로운 적분 변수이며 C(W)와 S(W)는 각각 Fresnel의 COSINE과 SINE 적분식으로

$$C(W) = \int_0^W \cos \left[ \frac{\pi}{2} U^2 \right] dU \quad (5)$$

$$S(W) = \int_0^W \sin \left[ \frac{\pi}{2} V^2 \right] dV \quad (6)$$

로 표시된다. 따라서 회절에 의한 손실 (diffraction loss)은 식(1)에서

$$LOSS = 10 \log |E/E_0|^2 \quad (7)$$

이다.

이 이론을 이용해서 그림 1(b)와 같이 유한한 폭을 가진 장애물에 적용하면(5) 장애물이 존재하지 않는 공간에 대한 적분식의 합으로

$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{2} \left[ \int_{-W_1}^W \int_{-\infty}^{\infty} \left[ T_1 \right] \cdot \int_{-W_2}^W \int_{-\infty}^{\infty} \left[ T_2 \right] \right] \cdot \exp [j\pi(U^2 + V^2)/2] dU dV \quad (8)$$

표시되며, 여기서

$$T_i = Y_i \left[ \frac{2(d_1+d_2)}{\lambda d_1 d_2} \right]^{1/2} \quad (9)$$

이다.

그림 1(c)와 같이 횡단면(lateral profile)이 좀 더 복잡한 구조를 가진 경우는 장애물을 n개의 사각형으로 구성하며 이 n개의 knife edge 영향에서 field strength는

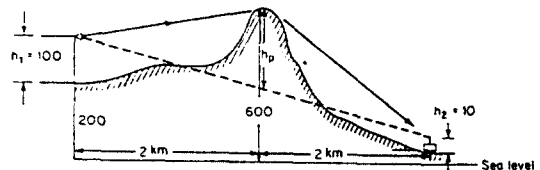
$$\frac{E}{E_0} = \frac{1}{2} \left[ \int_{-W}^W \int_{-\infty}^{\infty} \left[ T_1 \right] \cdot \sum_{i=1}^n \int_{-W_i}^W \int_{-\infty}^{\infty} \left[ T_i \right] \cdot \int_{-W_n}^W \int_{-\infty}^{\infty} \left[ T_n \right] \right] \cdot \exp [j\pi(U^2 + V^2)/2] dU dV \quad (10)$$

이다.

### III. 수치 해석 및 결과

그림 2에서는 우리 나라에서 사용하고 있는 셀룰라 (cellular) 방식인 AMPS (Advanced Mobile Phone Service)의 주파수 대역(800MHz 대역)에서 각 모델에 대한 신호의 감쇠를 예측해 보았다.

주파수가 증가할수록 평균 손실은 증가하며 장애물의 기하학적 구조에 따라서 평균에서 손실의 변동 폭에 변화를 가져온다. 모델 B의 폭을 무한히 증가시켰을 때 모델 A와 같은 결과를 얻었으며 모델 C의 결과는 Mauro(5)의 실험치와 근사적으로 일치하였다.



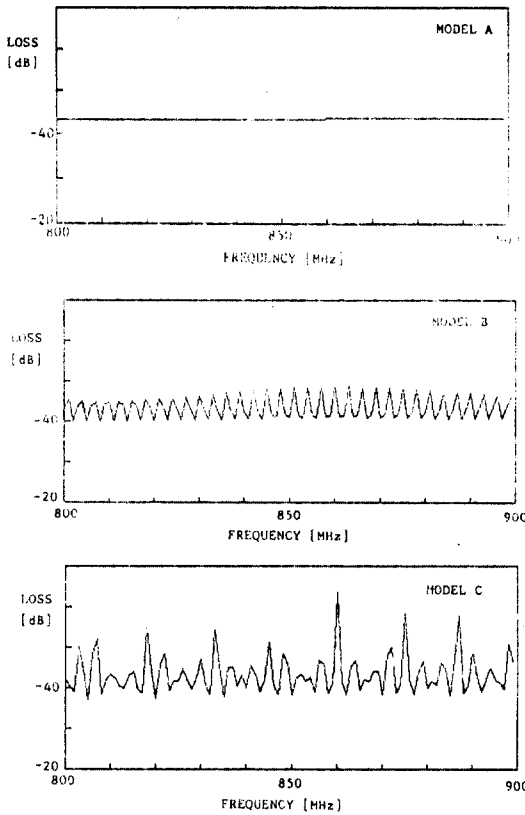


그림 2. 산악 장애물에 의한 최절 손실과 주파수 특성

실제적인 경우 장애물의 전파 경로 방향의 이동 경로에 수직하다고 가정하므로 그림 3에서 차량이 A에서 B로 이동했을 때 여기서  $[1 \text{ km}] \sim [2 \text{ km}]$  떨어진 최절 손실의 영향은 그림 4와 같다. 차량의 기지국(base station)에서 멀어지면 이동 차량의 수신 안테나 위치가 변동하므로 기지국(line of sight)도 변하게 된다. 거리의 변동에 따른 수신 안테나의 위치를 샘플 데이터를 주고 Lagrange Interpolation을 이용해서 차량의 이동 궤적을 얻었다.

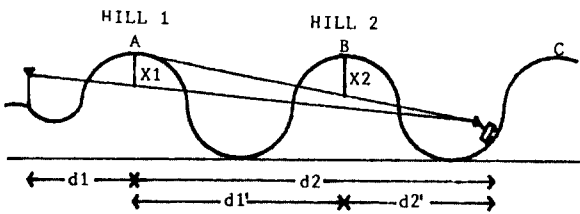


그림 3. 산악 장애물에 의한 최절 손실을 계산하기 위한 모델

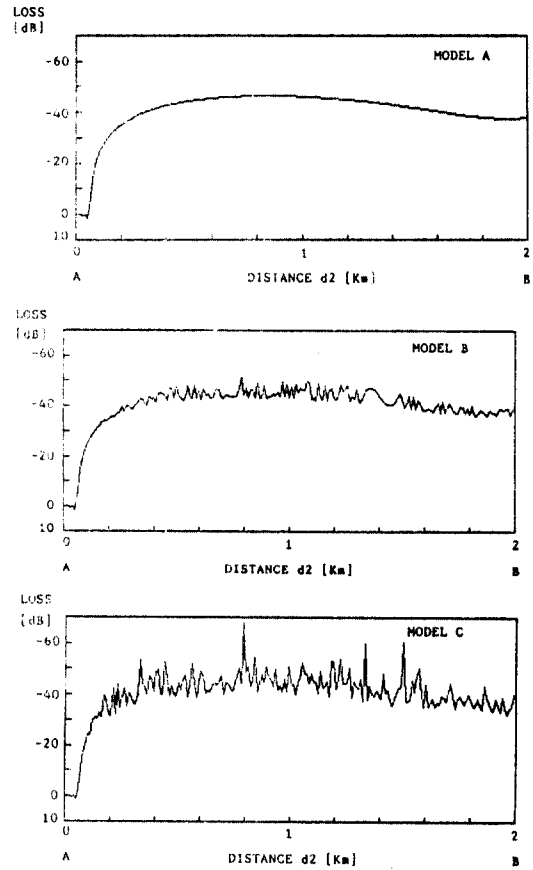


그림 4. 하나의 장애물에 의한 최절 손실

그림 4에서 장애물에 의한 shadow가 클수록 신호의 감쇠가 급격히 증가하고 수신 거리가 멀어지면 최절의 영향이 적음을 알 수 있다. 그리고 장애물에 근접한 곳에서는 오히려 이득을 가져온다는 것도 확인할 수 있다.

많은 경우에 주어진 전파 경로를 따라서 하나 이상의 장애물이 존재하므로 Double Knife Edge Diffraction 을 고려해 보아야 한다. 그림 3에서 이동 차량이 A 와 B 사이에 있는 경우라면 HILL1의 영향만을 고려하면되나 B를 지나서 C까지는 HILL2도 장애물의 역할을 하므로 각 장애물에 대한 손실을 중첩해서 계산해야 하며[6] 그림 5와 같다.

두 개 장애물로 인한 손실은 앞 장애물의 영향에 따라 증가하며 정점에서는 손실이 적고 기하학적 구조가 복잡할수록 변동의 폭이 커진다.

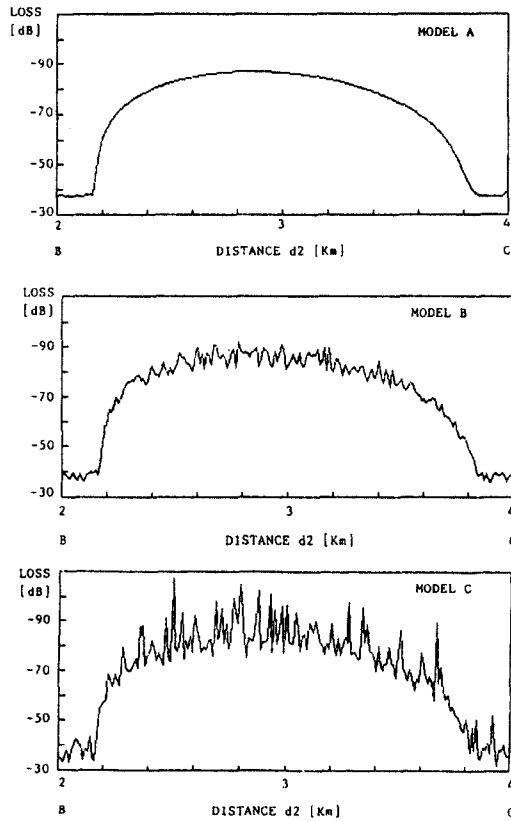


그림 5. 연속되는 장애물에 의한 회절 손실

#### IV. 결론

본 논문에서는 산악 지형에서 주어진 전파 경로를 따라서 차량이 이동할 경우에 발생하는 회절 현상에 대하여 연구하였다. 송수신 안테나의 높이, 주파수 대역, 차량의 이동 경로와 장애물 높이를 변화시키며 장애물 횡단면의 기하학적 구조가 다른 여러 모델을 통하여 다양한 데이터들을 얻을 수 있다. 따라서 특히 산악 지방이 많은 우리나라의 경우 지형에 따른 수신 신호의 감쇠 정도를 예측함으로써 지상 마이크로웨이브 링크(terrestrial microwave diffraction link)를 설정하는데 도움이 될 것이다.

그러나 실제 산악 지형은 복잡한 형태를 가진 경우가 많으므로 좀 더 다양한 모델(삼각형이나 반원 등)을 설정하는 것이 필요하며[7][8], 신호 감쇠의 영향인

회절이외에 reflection이나 scattering의 영향과 주위의 수목이나 가로수의 영향[9], 차량의 이동 속도에 따른 Doppler 효과도 고려해 보아야 할 것이다.

#### 참고 문헌

1. W.C.Jakes, Microwave Mobile Communications, Wiley, New York, pp.87-88, 1974.
2. W.C.Y.Lee, Mobile Communications Engineering, McGraw Hill, New York, Chap 3-4, 1982.
3. Max Born and Emil Wolf, Principles of Optics, 6th ed., Pergamon Press, Oxford, Chap. VIII, 1982.
4. E.C.Jordan and Keith G.Balmain, Electromagnetic Waves and Radiating Systems, 2nd ed., Prentice Hall, Englewood Cliffs, N.J., Chap.13, 1968.
5. Manos S. Chassiss, "Effect of Lateral Profile on Diffraction by Natural Obstacles," Radio Science, V.17, No.5, pp.1051-1054, Sept. Oct., 1982.
6. Kenneth Bullington, "Radio Propagation for Vehicular Communications," IEEE Trans. Veh. Tech., V.26, No.4, pp.295-308, Nov. 1977.
7. Jeffrey R. Parsons, "Lateral Profile Diffraction Patterns for Triangular Obstacles," IEEE Trans. Ant. Prop., pp.121-124, Jan., 1973.
8. M.P. Feshyba and M.G. Kingsmill, "Effect of Obstacle Profile on Knife-Edge Diffraction," IRE Trans. Ant. Prop., 10, pp.201-205, March 1962.
9. W.J. Vogel and E.S. Hong, "Measurement and Modelling of Land Mobile Satellite Propagation at UHF and L-Band," IEEE Trans. Ant. Prop., V.36, No.5, May 1988.