

다중장애물에 의한 전파장애의 예측에 관한 연구

正會員 朴鍾國*, 洪義錫**

A Study on the Prediction of Wave Interference by Multiple Obstacles

Jong Kook Park*, Ui Seok Hong** Regular Members

要 約

본 논문에서는 도심지역에서의 전계강도와 특정 장애물이 전파장애에 미치는 영향을 예측할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 건물이 밀집된 지역의 전파환경은 신호의 품질을 저하시키는 요소가 되고 있으며 그 영향을 해석하여 적절한 대책을 강구해야만 한다. 다중 장애물에 의한 전파의 회절 및 반사의 영향과 장애물의 기하학적 구조를 알고리즘에 적용하여 수신신호의 강도변화를 계산하였고, 그 결과는 160MHz대에서의 현지측정 결과와 비교하였으며 10dB 이내의 차이를 보였다. 제안된 알고리즘은 셀룰라 시스템이나 무선 LAN의 설계 및 특정지역에서의 전파장애 현상의 분석에 유용하다.

ABSTRACT

In this paper, a new algorithm is proposed for predicting field strength on urban area and the effects of wave interference by obstacles. The radio wave propagation in built-up area is an important problem to reduce the quality of radio signals, so it is necessary to analyze the problem and to take proper counterplans. The variation of field intensity is calculated with respect to the effects of diffraction and reflection, and the geometrical structures of multiple obstacles. Theoretical calculations are compared with measurements made in urban area at 160MHz band and good agreement is obtained within 10dB. It is useful for designing cellular system, wireless LAN and for analyzing radio wave interference in the particular regions.

*광운대학교 전자통신공학과

**광운대학교 전파공학과

論文番號 : 95257-0802

接受日字 : 1995年 8月 2日

1장. 서 론

이동무선통신은 시간과 공간적인 제약을 거의 받지 않고 정보를 전송할 수 있다는 장점 때문에 그 유용성이 증가되고 있다. 이에 따라, 관련 기술의 개발과 함께 고품질의 통신 서비스가 제공되고 있으나, 고층건물 등이 복잡하게 밀집된 도심지역에서는 기지국과 이동체 간에 지속적인 가시선(LOS:Line-of-sight) 내의 통신로가 유지될 수 없게 된다. 이러한 현상은 신호의 품질을 열화시키는 전파장애의 요인이 되고 있으며 정확한 해석과 대책이 강구되어야 한다^[1-3].

특히, 셀룰라 시스템(cellular system)을 설계할 때 셀(cell)의 크기, 기지국의 위치 및 할당주파수, 송신출력 등을 결정하기 위한 평균전계강도를 예측하거나, 특정 지형지물에 의한 전파장애의 영향을 분석하여 적절한 대책을 강구하는 것은 필수적이다. 그러나 대부분의 예측방식들은 실험치를 근거로 하거나^[4,5], 보정인자를 이용하여 수 백 평방미터의 영역에 대한 거시적 평균 전계강도를 예측할 수 있는 것이었다^[6,7]. 셀의 크기가 작아지는 추세로 볼 때 이러한 예측방식의 정확성은 기대하기 어려운 실정이다.

최근, 도시의 건물에 대하여 전파의 회절과 반사를 고려한 2-ray 모델을 이용하여 평균 전계강도를 예측할 수 있는 알고리즘이 발표되었으나, 건물의 폭이 무한하고 높이는 균일하다고 가정한 것으로서 차폐(shadowing)가 심한 건물밀집지역에 적용하기는 어려운 단점이 있다^[8].

본 연구에서는 다중장애물의 배치형태를 모델링하여,

장애물의 기하학적 구조와 회절과 및 반사파를 적용한 이론식을 유도하였으며 특정 장애물이 수신신호에 미치는 영향을 분석하였고, 160MHz 대역에서의 현지측정을 통하여 얻은 결과와 비교하여 10dB 이내의 오차와, 변화추세의 유사성을 확인하였다.

이것은 제안된 알고리즘이 무선호출, 무선전화 및 무선 LAN의 설계와 TV의 난시청문제 해소 등에 활용될 수 있음을 보이는 것이다.

2장. 예측 모델 및 이론적 해석

제 1 절. 예측 모델

VHF대역 이상의 주파수를 이용하는 무선통신에 있어서 그림 1(a)와 같은 전파 환경이 형성되어 있을 경우에는 전파의 다중경로(multi-path) 현상이 발생한다. 수신기가 장애물과 장애물 사이에 위치한 경우에는 전파장애의 영향을 심하게 받게 되므로 그 결과를 예측하여 시스템을 설계하기 위해서는 송수신기의 제원과, 장애물의 위치, 크기 및 구성매질 등의 여건을 고려해야만 한다^[5,8].

고찰대상 장애물은, 그림 1(b)와 같은 형태로 모델링하였으며, 임의의 폭과 높이를 갖는 평면(screen)으로 가정하였다.

제 2 절. 이론적 해석

그림 2에서, 장애물 #1, #2 및 #3에 의하여 회절된 신호의 전계강도 E_1 은 Fresnel의 회절이론을 이용하여

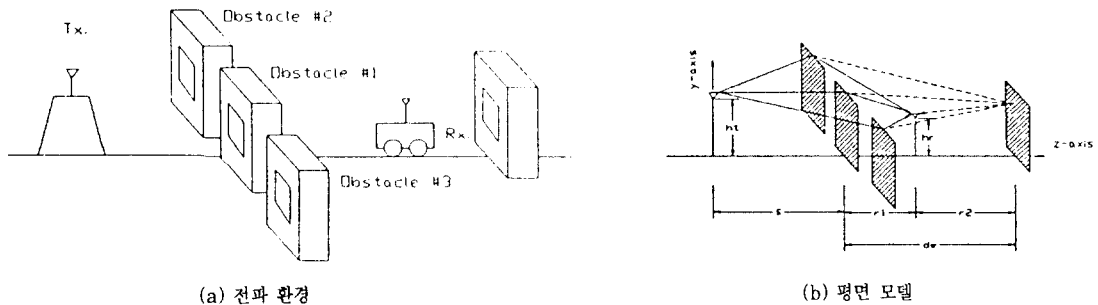


그림 1. 다중장애물에 대한 모델
Fig. 1. Model for multiple obstacles

$$E_1 = \frac{-jE_0}{2} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} - \left(\int \int_{\text{obst.1}} + \int \int_{\text{obst.2}} + \int \int_{\text{obst.3}} \right) \right] dudv \quad (1)$$

와 같이 구할 수 있다⁽⁹⁾.

식 (1)의 E_0 는 자유공간의 수신전계강도이고, obst.i(i=1,2,3)는 해당 장애물에 대한 적분을 나타내며

$$\int \int_{\text{obst.i}} = \left[\left(\int_{w_1}^{\infty} \int_{-\infty}^{t_1} + \int_{w_2}^{\infty} \int_{t_1}^{t_2} + \int_{w_1}^{\infty} \int_{t_2}^{\infty} \right) \left(e^{-\frac{j\pi(u^2+v^2)}{2}} \right) \right] dudv \quad (2)$$

와 같고, 여기서, w_i, t_i (i=1,2)는

$$w_i = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r_1} \right)} y_i \quad (3)$$

$$t_i = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r_1} \right)} x_i \quad (4)$$

이고, u 와 v 는 w_i, t_i 로 결정되는 적분변수이다. 식 (3), (4)에서, λ 는 대상 주파수의 파장, s 는 송신기와 장애물 간의 거리, r_1 는 장애물과 수신기 간의 거리이며 x_i, y_i 는 장애물의 크기에 의하여 결정되는 좌표이다.

기존의 방식과는 달리, 식 (1)의 회절파 E_1 에는 장애물의 상단면과 양측면으로 부터 회절된 신호가 모두 포함되어 있다⁽⁹⁻¹¹⁾.

또한, 수신기 전면의 장애물에 의하여 회절된 신호가 다시 수신기 후면의 장애물에 의하여 반사된 후의 신호의 전계강도 E_2 는

$$E_2 = \frac{-jE_0}{2} \left[\int_{-\infty}^{+\infty} \int_{-\infty}^{+\infty} - \left(\int \int_{\text{obst.1}'} + \int \int_{\text{obst.2}'} + \int \int_{\text{obst.3}'} \right) \right] dudv \times \Gamma(\alpha) \quad (5)$$

이고⁽¹²⁾, 식 (5)의 $\Gamma(\alpha)$ 는 장애물의 반사계수이며, obst.i'은

$$\int \int_{\text{obst.i}'} = \left[\left(\int_{w_1}^{\infty} \int_{-\infty}^{t_1} + \int_{w_2}^{\infty} \int_{t_1}^{t_2} + \int_{w_1}^{\infty} \int_{t_2}^{\infty} \right) \left(e^{-\frac{j\pi(u^2+v^2)}{2}} \right) \right] dudv \quad (6)$$

와 같이 정의되고, 여기서, w_i 와 t_i 은

$$w_i = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r_1'} \right)} y_i \quad (7)$$

$$t_i = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r_1'} \right)} x_i \quad (8)$$

로 결정되며, r_1' 은 장애물과 영상 수신기(image receiver) 간의 거리로서

$$r_1' = 2d_w - r_1 \quad (9)$$

이고,⁽¹³⁾ 여기서, d_w 는 수신기 전면의 장애물과 후면에 위치한 장애물 사이의 거리이다.

따라서, 합성파의 전계강도 E_i 의 크기는

$$E_i = \sqrt{E_1^2 + E_2^2} \quad (10)$$

로 계산할 수 있다.

3장. Simulation 및 결과고찰

표 1의 파라미터를 시뮬레이션에 적용하였고, 전파환경은 그림 2(a) 및 그림 3(a)와 같다.

그림 2(b)는, 그림 2(a)에서 장애물 #1만 존재할 경우이며, 그림에서 y축은 장애물이 없는 자유공간의 전계강도에 대하여 정규화된 값(normalized value)이다.

장애물 #1과 #2 사이의 간격을 10m로 가정하였으므로 장애물 #1은 LOS에서 벗어나게 되어 수신기의 위치에 따른 회절손실은 큰 변화가 없고, 반사손실은 장애물의 반사계수의 작용을 받게 된다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터
Table 1. Parameters for simulation

주파수	170MHz
송신안테나의 높이	50m
수신안테나의 높이	1.5m
장애물의 높이	40m
장애물의 폭	70m
송신기-장애물 #1의 거리	1500m
장애물 #1-수신기의 거리	40m
전, 후방 장애물간의 거리	50m
인접 장애물간의 간격	10m
장애물의 반사계수	6dB

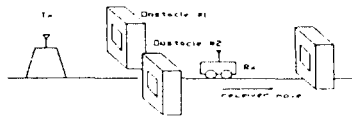
그림 2(c)는 장애물 #1과 #2가 동시에 존재할 때의 영향을 나타내고 있는데, 두 장애물은 LOS로 부터 좌우로 5m씩 벗어나 있으므로 회절에 의한 장애가 크게 나타나지 않고 있으며, 반사손실은 장애물 #1만 존재하는 경우와 거의 동일하다.

위의 두 가지 결과로부터, 장애물이 LOS에서 약간만 벗어나도 그 장애물에 의한 회절손실은 거의 받지 않게 된다는 것을 확인할 수 있다.

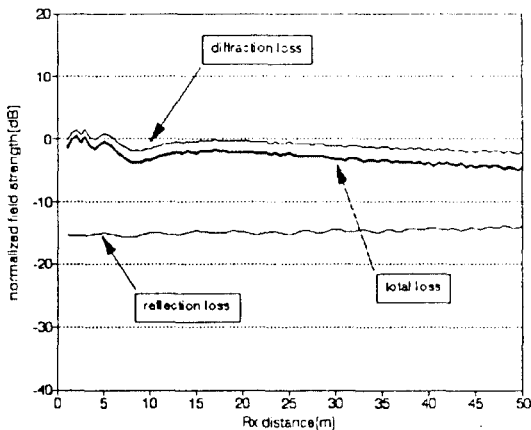
그림 3(b)는, 그림 3(a)와 같이 3개의 장애물이 배치되어 있을 경우, 전면 장애물의 후방 40m 지점에서 #2-#1-#3의 방향으로 수신기를 이동시켰을 때의 신호강도의 변화를 보여주고 있다. 이 때, LOS는 중앙에 위치한 장애물 #1의 중심부를 통과하며, 장애물 #1, #2, 및 #3의 폭은 각각 20m, 40m, 60m라 하고 높이는 40m로서 균일하다고 가정하였다. 또한, #1-#2의 간격은 5m, #1-#3의 간격은 10m로 하였으며 기타의 파라미터는 표 1의 내용을 사용하였다. 이것은, 양측에 다양한 형태로 건물이 밀집된 도심의 간선도로를 따라 이동하는 이동체의 수신상태를 분석할 수 있는 경우이다.

즉, 그림 3(b)에서 장애물 #1에 의하여 LOS가 차단되는 장애물 #1의 중간 부근에서 감쇠가 커지고, 장애물과 장애물 사이에서는 감쇠를 거의 받지 않고 있으며, 장애물이 존재하는 영역에서는 증가된 감쇠를 나타내고 있다. LOS를 중심으로 $\pm 40m$ 부근에서 감쇠가 크게 나타나는 것은 대부분의 Fresnel영역이 차단되기 때문이다. 또한 장애물의 존재가 끝나는 위치를 지난 이후에는 회절과 반사의 영향을 받지 않고 있음을 볼 수 있다.

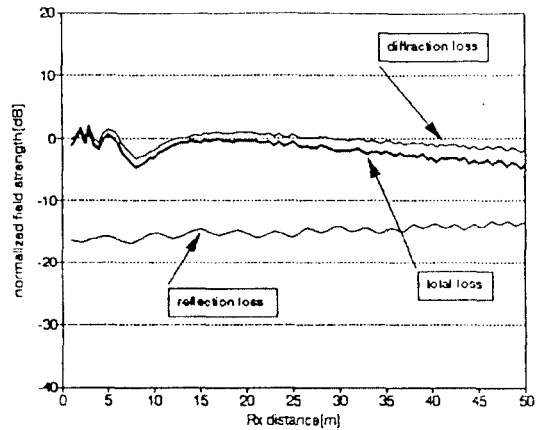
높이와 폭이 다른 장애물이 배치된 실제환경에 적용하기 위하여, 3개의 장애물 중 #1, #2 및 #3의 높이를 각각 변화시켰을 때, 그림 3(c)의 결과를 얻을 수 있다. 이 경우, 장애물의 폭과 간격은 그림 3(b)에 적용한 것과 동일하고, 기타의 파라미터는 표 1의 내역을 사용하였으며, 한 개의 장애물 높이가 변화할 때 다른 두 장애물의 높이는 40m로 가정하였다. 장애물 #1의 높이가 8m 이상일 때 감쇠의 변화가 심하게 나타나고 있는 것은 이 장애물이 LOS를 방해하기 때문이며, LOS를 벗어난 위치에 있는 #2와 #3의 높이의 변화는 수신신호에 큰 영향을 미치지 않고 폭에 따른 약간의 차이를 나타내고 있다.



(a) 전파 환경
(a) Propagation environment



(b) 장애물 #1의 영향
(b) Effects of obstacle #1

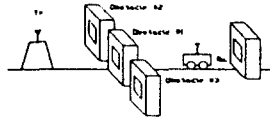


(c) 장애물 #1, #2의 영향
(c) Effects of obstacle #1, #2

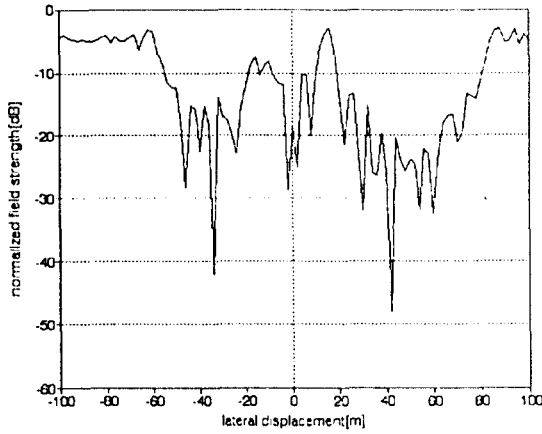
4장. 측정 및 결과검토

제 1 절. 측정 환경

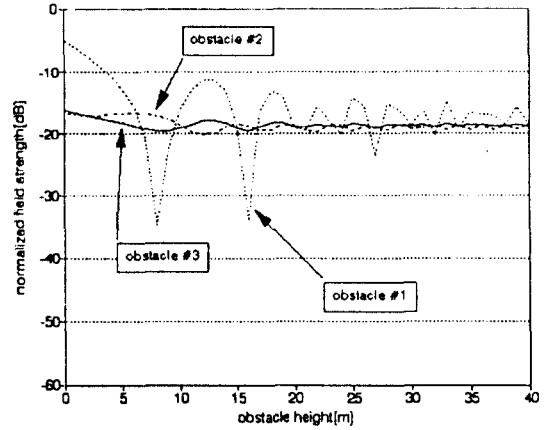
그림 2. 인접 장애물이 2개일 경우
Fig. 2. The case of 2 obstacles



(a) 전파 환경
(a) Propagation environment



(b) 수신기의 이동에 따른 변화
(b) Variations for Rx. displacement



(c) 장애물 높이의 영향
(c) Effects for obstacle height

그림 3. 인접 장애물이 3개일 경우
Fig. 3. The case of 3 obstacles

표 2. 측정에 사용된 파라미터
Table 2. Parameters for field test

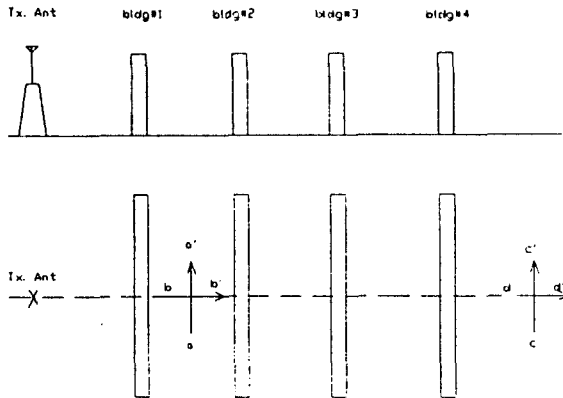


그림 4. 측정지역 프로파일
Fig. 4. Profile for measurement area

주파수	168.225MHz
송신기 출력	30w
송신안테나 이득	9dB
수신안테나 이득	0dB
송신안테나 높이	51m
수신안테나 높이	1m
건물의 높이	38.5m
건물의 폭	70m
송신기 - 건물 #1의 거리	300m
건물 #1 - 수신기의 거리	40m
건물 #1 - #2의 간격	50m
송신기 - 건물 #4의 거리	450m
건물 #4 - 수신기의 거리	40m
건물의 반사계수	6dB

측정지역의 프로파일은 그림 4와 같고, 그림의 a-a', b-b', c-c' 및 d-d'는 측정경로를 나타내고 있으며, 표 2는 측정에 사용된 파라미터의 내역이다.

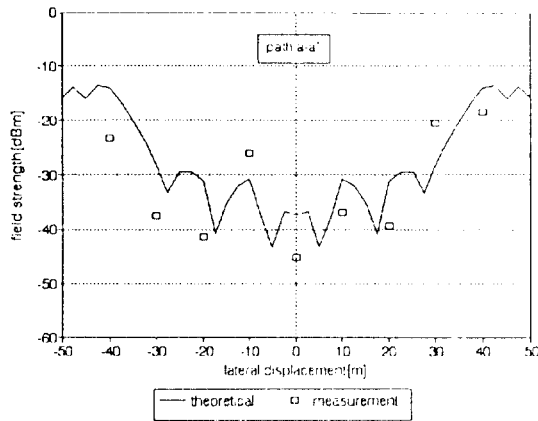
측정장비는 HP사의 8561E spectrum analyzer와 X-Y recorder, CHASE사의 GPR4403 receiver 및 1/4파장 표준안테나 등을 사용하였다.

제 2 절. 측정결과 및 검토

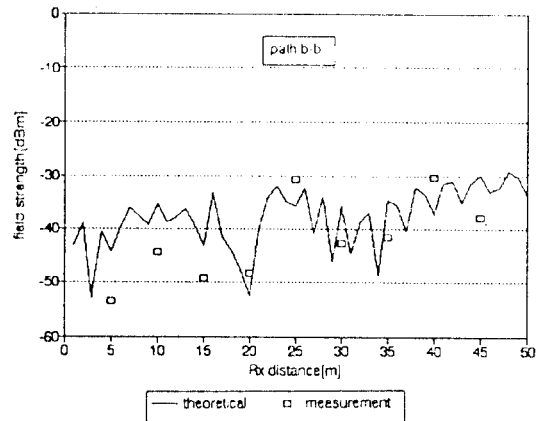
그림 5(a)는 건물 #1의 후면 40m 지점에서 수신기를 a-a' 방향으로 10m씩 이동시키며 측정한 값을 이론치와 비교한 것이다. 그림의 x축은 LOS가 통과하는 건물

의 중심을 기준으로 표시된 위치이다.

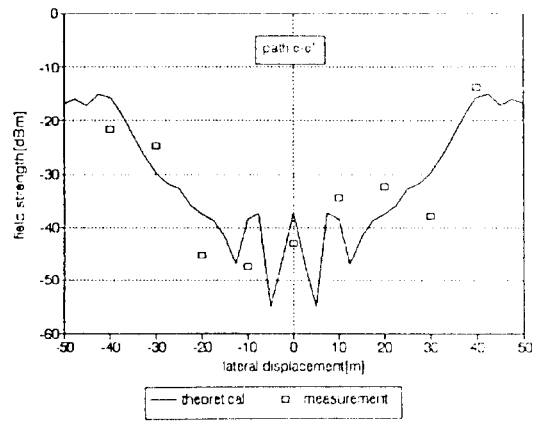
건물 #1에 의하여 회절된 신호와, 회절된 신호가 건물 #2에 의하여 반사된 신호는 모두 건물의 중심부에서 큰 영향을 받게 되는데, 그것은 LOS가 건물의 중앙을 지나고 있어 건물 중심부에서의 차폐가 심하게 되기 때문이다. 건물의 폭을 벗어난 좌우 40m 부근에서는 건물 #1과 #2의 영향을 거의 받지 않고 있음을 알 수 있다. 따라서, 건물의 중앙에서는 -40dB정도의 손실이 발생되고 있으나, 수신점에서 송신안테나가 보이기 시작하는 ±40m를 지나서는 손실이 -20dB 이내로 감소되고 있다.



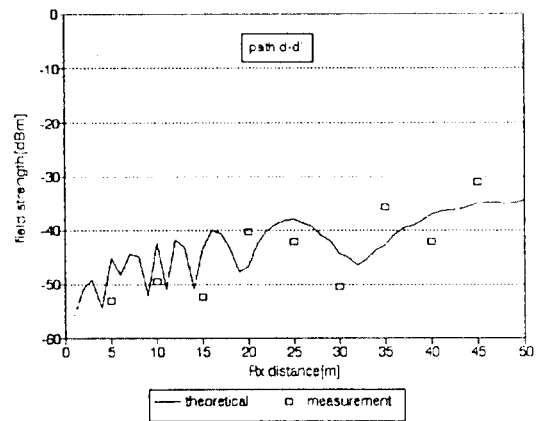
(a) 경로 a-a'에서의 변화
(a) Variations at path a-a'



(b) 경로 b-b'에서의 변화
(b) Variations at path b-b'



(c) 경로 c-c'에서의 변화
(c) Variations at path c-c'



(d) 경로 d-d'에서의 변화
(d) Variations at path d-d'

그림 5. 이론치와 측정치의 비교
Fig. 5. Comparison of theoretical & measurement data

그림 5(b)는 건물 #1의 후면에서 LOS를 따라 b-b' 방향으로 5m씩 이동하며 측정된 결과를 이론치와 비교한 것으로서, 회절파와 반사파가 복잡하게 합성되므로 거리에 따른 변화가 다소 심하게 나타나고 있다. 이 경우, 반사손실 보다는 회절손실이 주가 되므로 건물에 가까운 위치에서는 상대적으로 심한 손실을 보이며, 후면 장애물에 근접할 수록 회절손실은 감소되고 반사의 영향이 커지게 됨을 알 수 있다.

그림 5(c)는 반사 장애물이 없는 건물 #4의 후면 40m 지점에서 c-c' 방향으로 10m씩 이동하며 측정된 결과와 이론치를 나타내고 있다. 반사에 의한 장애는 받지 않으나, 거리에 따른 감쇠가 포함되어 있고 건물의 중심에서 좌우로 약 40m 부근을 지나면서 회절의 영향을 거의 받지 않고 있다. 그림 5(b)와 비교해 보면, 상대적으로 경로의 증가로 손실이 커진 것을 알 수 있다.

그림 5(d)는 건물 #4의 후면에서 LOS를 따라 d-d' 방향으로 5m씩 이동하며 측정된 결과를 이론치와 비교한 것이다. 반사에 의한 신호감쇠는 없고 거리에 따른 회절신호의 변화만을 볼 수 있다. 따라서 수신신호의 손실은 반사의 영향이 포함된 그림 5(c)에서와 같이 복잡하게 진동하지는 않게 된다.

5장. 결 론

고층건물이 복잡하게 밀집된 도심지역의 전파환경에서 무선주파수를 이용하는 통신의 경우, 건물과 건물 사이에 수신기가 위치하였을 때 수신되는 전파의 강도변화를 예측할 수 있는 이론식과 알고리즘을 제안하였다. 특히, 다중장애물에 의한 회절 및 반사의 영향과 장애물의 기하학적 구조를 고려하였으며 거리, 송수신 안테나의 높이 등의 환경 파라미터를 적용하였다.

이론적 계산결과의 타당성을 입증하기 위하여 현장의 측정결과와 비교하였으며, 그 차이가 10dB 이내로서 유사한 변화추세를 보이고 있음을 확인하였다.

따라서, 본 연구는 복잡한 도심지역의 무선통신에서 최적의 서비스 영역을 제공하는 효율적인 마이크로 셀과 무선 LAN의 설계는 물론 전파의 전파특성에 대한 연구에 활용할 수 있다.

참고문헌

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. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, Halsted-Press, Chap.2-5, 1992.
4. M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, Vol.VT-29, pp.317-325, 1980.
5. Y. Okumura, et al, "Field Strength and Variability in VHF & UHF Land-Mobile Radio Services," *Review of The Electrical Communication Lab. NTT*, Vol16, No9-10, Sep.-Oct. 1968.
6. F. Ikegami, et al, "Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-32, No. 8, Aug. 1984.
7. J. Durkin, "Computer Prediction of Service Area for VHF and UHF Land Mobile Radio Services," *IEEE Trans. Vehic. Technol.*, Vol. VT-26, pp.323-327, Nov. 1977.
8. F. Ikegami, et al, "Theoretical Prediction of Mean Field Strength for Urban Mobile Radio," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-39, No. 3, Mar. 1991.
9. M. Born and E. Wolf, *Principles of Optics*, 6th ed., Pergamon Press, Oxford, Chap VIII, 1980.
10. G. L. James, *Geometrical Theory of Diffraction for Electromagnetic Waves*, 3rd ed., Peter Peregrinus, 1986.
11. 이찬주, 홍의석, "이동통신시 여러 형태의 장애물로 인한 신호 감쇠," *전자공학회 논문지*, Vol.29, No.4, pp.277-283, 1992.
12. 이현상, 박종국, 홍의석, "장애물 후면에서의 전파장애 해석," *한국통신학회 하계 학술발표회*, pp.281-285, 1993.

13. H. H. Xia, et al, "Radio Propagation Measurements & Modeling for Line-Of-Sight Microcellular System," *Proc. IEEE Vehic. Technol. Society 42nd VTS Conference*, Vol.1, pp.349-354, 1992.
14. W. C. Y. Lee, "Lee's Model," *Proc. IEEE Vehic. Technol. Society 42nd VTS Conference*, Vol.1, pp.343-348, 1992.
15. W. J. Vogel and U. S. Hong, "Measurements and Modelling of Land-Mobile Satellite Propagation at UHF and L-Band," *IEEE Trans. Antennas Propagat.* Vol.Ap-36, No. 5, pp.707-719, May, 1989.

朴 鍾 國(Jong Kook Park)

정희원

1946년 5월 2일생

1983년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업(공학사)
 1986년 8월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 졸업(공학석사)
 1990년 2월 : 광운대학교 대학원 전자통신공학과 박사과정수료

洪 義 鎬(Ui Seok Hong)

정희원

1968년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과(공학사)
 1973년 9월 : 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1982년 11월 : 독일 Aachen공대 전자공학과 졸업(공학박사)
 1976년 10월~1982년 12월 : 독일 Aachen공대 초고주파연구소 연구원

1983년 1월~1986년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 부교수
 1986년 2월~1987년 2월 : 미국 University of Texas(Austin) 객원교수
 1987년 3월~1992년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 교수
 1992년 2월~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수
 1984년 3월~현재 : 한국통신학회 상임이사
 1991년 1월~현재 : 한국전자파기술학회 평의원

※주관심 분야 : MIC회로 설계, Mobile & Ant. propation