

이동통신시 도심환경에서 전계강도 예측에 관한 연구

正會員 朴鍾國*, 洪義錫**

A Study on the Field Strength Prediction in Urban Area for Mobile Communication

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

要 約

무선을 이용하는 도심지역 통신에 있어서 전파의 전파특성(propagation characteristics)을 정확하게 분석하는 것은 중요한 과제이다.

본 논문에서는 건물에 의한 전파의 회절과 반사를 고려하여 건물이 밀집된 도심에서의 전계강도를 예측할 수 있는 새로운 알고리즘을 제안하였다. 다양한 환경 파라미터와 건물의 기하학적 구조를 알고리즘에 적용하여 수신신호의 강도변화를 계산하였다. 이론적 결과와의 비교를 위하여 도심 건물 주변에서 VHF 대역의 주파수를 대상으로 측정을 수행하였으며 오차는 10% 이내임을 보였다.

이러한 결과는 제안된 알고리즘이 도심지역의 수신전력 레벨의 예측과 페이딩현상의 해석 및 마이크로 셀룰라 시스템에서 최적의 서비스 영역을 결정하는데 활용할 수 있음을 나타내고 있다.

ABSTRACT

It is very important to analyze the wave propagation characteristics accurately in urban area.

In this paper, a new algorithm is proposed to predict the field strength on urban streets considering diffraction and reflection by buildings.

The variation of received signal strength is calculated using various environmental parameters and geometrical shapes of buildings. Propagation tests at VHF band were carried out in the urban area which is surrounded with buildings to compare with the proposed theoretical results, and the error is approximately within 10% in dB.

The results indicate that the newly proposed algorithm is useful for predicting the level of received power in urban area, analyzing fading phenomena and optimizing service area of microcellular system.

*광운대학교 전자통신공학과

**광운대학교 전파공학과

論文番號 : 95023-0117

接受日字 : 1995年 1月 17日

제1장. 서론

이동무선통신(mobile radio communication)은 시간과 공간에 구애받지 않고 신속, 원활한 정보교환을 가능케 하여 통신영역을 확대시켜준다는 장점 때문에 그 필요성이 점차 증가하고 있다.

이에 따라, 관련 시스템의 개발과 함께 고품질의 통신서비스가 제공되고 있으나, 도심지역에서는 건물등의 영향으로 기지국과 이동체 간에 지속적인 가시선(Line-of-Sight : LOS) 내의 통신로가 유지될 수 없게 된다. 이러한 전파 환경에서는 신호의 품질을 열화시키는 여러가지 장애요소가 상존하고 있으며, 이에 대한 정확한 해석과 대책이 필요하다⁽¹⁻³⁾.

셀룰라 시스템 설계시, 셀의 크기결정과 주파수할당등을 위한 평균전계강도의 예측은 필수적이다. 그러나 대부분의 예측방식은 실험치를 근거로 한 것이며^(4,5), 보정인자를 이용한 예측방식들도 발표되었으나, 수 백 평방미터의 영역에서 거시적 평균 전계강도를 예측할 수 있는 것이었으며^(6,7), 셀의 크기가 점점 작아지는 추세로 볼 때 이러한 예측방식들의 정확성은 기대하기 어려운 실정이다.

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

본 연구에서는 건물 배치형태를 모델링하여, 건물의 기하학적 구조와 회절파 및 반사파를 적용한 이론식을

유도하였으며 거리, 안테나의 높이 등이 수신신호에 미치는 영향을 분석하였다. 이에 대한 결과는, VHF 대역에서의 field test를 통하여 얻은 결과와 비교하여 그 타당성을 입증하였다.

제2장. 예측 모델 및 이론적 해석

제1절. 예측 모델

VHF대역 이상의 주파수를 이용하는 무선통신에 있어서 그림 1과 같은 전파 환경이 형성되어 있는 경우에는 전파의 다중경로현상(multi-path effect)이 발생한다. 특히, 수신기가 장애물과 장애물 사이에 위치한 경우에는 이와 같은 현상이 더욱 현저하게 나타나게 되므로 정확한 결과를 예측하여 시스템을 설계하기 위해서는 송수신기의 제원과 장애물의 위치, 높이 및 구성매질 등의 여건을 고려해야만 한다⁽⁵⁻⁸⁾.

고찰대상 장애물은, 폭과 높이가 유한한 knife edge 형태로서 그림 2와 같은 배치구조의 건물로 모델링하였다.

제 2 절. 이론적 해석

그림 2에서, 건물-1에 의하여 회절된 신호의 전계강도 E_1 은 Fresnel-Kirchhoff의 회절이론을 이용하여

$$E_1 = \frac{-jE_0}{2} \left[\left(\int_{w_1}^{\infty} \int_{-\infty}^{t_1} + \int_{w_2}^{\infty} \int_{t_1}^{t_2} + \int_{w_1}^{\infty} \int_{t_2}^{\infty} \right) \left(e^{-\frac{j\pi(u^2+v^2)}{2}} \right) dudv \right] \quad (1)$$

로 유도되며, 여기서 E_0 는 자유공간의 수신전계강도이

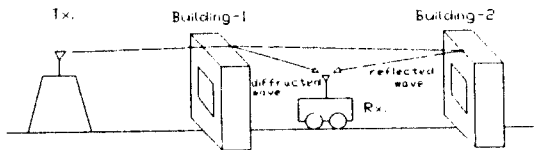


그림 1. 전파 환경 모델
Fig. 1. Propagation environment model

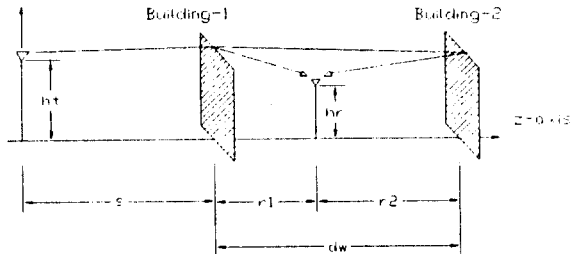


그림 2. 평면 모델
Fig. 2. Plane model

고, u 와 v 는 장애물의 크기를 결정하는 새로운 적분구간이며 w_i , $t_i(i=1, 2)$ 는

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

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

이다. 식 (2), (3)에서, λ 는 대상 주파수의 파장이고, s 는 송신기와 건물-1 간의 거리, r_1 은 건물-1과 수신기 간의 거리이며 x_i , y_i 는 장애물의 크기를 결정하는 좌표이다. 식 (1)의 회절파 E_1 은 기존의 적용모델인 반 무한평면의 경우와는 달리 건물의 상단면과 측면으로부터 회절된 신호를 모두 포함하게 된다⁽⁹⁻¹¹⁾.

또한, 수신기 전면의 건물-1에 의하여 회절된 신호가 수신기 후면의 건물-2에 의하여 반사된 신호의 전계강도 E_2 는

$$E_2 = \frac{-jE_0}{2} \left[\left(\int_{w_1}^{\infty} \int_{t_1}^{\infty} + \int_{w_2}^{\infty} \int_{t_2}^{\infty} + \int_{w_1}^{\infty} \int_{t_2}^{\infty} \right) \left(e^{-\frac{\pi(u^2+v^2)}{2}} \right) dudv \times \Gamma(\alpha) \right] \quad (4)$$

로 표현된다⁽¹²⁾

식 (4)에서 $w_{i'}$, $t_{i'}$ 은

$$w_{i'} = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r_{1'}} \right)} y_i \quad (5)$$

$$t_{i'} = \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{s} + \frac{1}{r_{1'}} \right)} x_i \quad (6)$$

이고, $r_{1'}$ 은 건물-1과 영상 수신기(image receiver) 간의 거리이며

$$r_{1'} = 2d_w - r_1 \quad (7)$$

으로 구할 수 있고⁽⁷⁾, 여기서 d_w 는 건물-1과 건물-2 사

이의 거리이다.

식 (4)의 $\Gamma(\alpha)$ 는 반사계수로서

$$\Gamma(\alpha) = \frac{\cos\theta - \alpha\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}}{\cos\theta + \alpha\sqrt{\epsilon_r - \sin^2\theta}} \quad (8)$$

이며, 이 때 α 는 수평편파인 경우에는 1, 수직편파인 경우에는 $1/\epsilon_r$ 이 되고, 건물의 유전율 ϵ_r 은 2.25를 적용하였으며, θ 는 $90^\circ - \alpha$ 로 구한다. 또한, α 는

$$\alpha = \tan^{-1} \left(\frac{2d_w - r_1}{h_t - h_r} \right) \quad (9)$$

이 되고^(13,14), 여기서 h_t , h_r 은 각각 송신 및 수신 안테나의 높이이다.

따라서, 합성파의 평균 수신 전계강도 E_t 는

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

로 계산할 수 있다.

제3장. 수치해석 결과 및 고찰

그림 3은, 그림 2의 모델을 대상으로 표 1의 파라미터를 적용하여 계산한 결과로서, 송수신기 사이의 전파 경로 상에 위치한 건물-1에 의해 차폐영역이 형성된 경우, 수신기의 위치에 따른 수신강도의 변화이다.

즉, 건물-1에 의한 회절파 전계 E_1 과, 회절된 임의의 전파가 건물-2에 의하여 반사된 전계 E_2 의 변화를 나타내고 있다.

이 때, 수신기의 위치가 건물-1의 바로 후면일 경우에는 건물-1에 의하여 Fresnel영역이 차단되므로 회절파 E_1 의 수신은 거의 불가능해지고, 건물-1로 부터 멀어짐에 따라 그 영향권에서 점점 벗어나고 있음을 볼 수 있다.

표 1. 시뮬레이션에 사용된 파라미터

Table 1. Parameters used simulation

Freq.	Tx. height	Rx. height	bldg. height	bldg. width	Distance from Tx.	street width	Polarization
870MHz	100m	2.5m	40m	50m	10Km	30m	Horizontal

반대로 반사파 E_2 는, 건물-1의 후면에서의 세기가 건물-2의 근처에서 보다 우세함을 확인할 수 있는데, 이는 수신기가 건물-1의 근처에 있을 경우, 영상수신기 (image receiver) 까지의 실질적인 전파경로가 길어지기 때문이다.

그림에서, y-축은 송수신기 사이에 장애물이 없는 자유공간 전계강도에 대하여 정규화 된 값(normalized value)을 나타내고 있다. 건물-2의 반사계수는 대략 $-0.1 \sim -0.5$ 의 범위가 되며⁽¹³⁾ 여기서는 -0.25 를 적용하였다.

그림 4는 E_1 과 E_2 의 합성과 전계 E_t 의 변화를 기존의 방식에 의한 결과와 비교한 것이다. 즉, Ikegami는 건물의 높이가 균일하고 그 폭이 무한대라고 가정한 이상적인 도심환경에 대하여 위상정보가 고려되지 않은 이론식에 의하여 회절파와 반사파를 계산하였으므로 수신기

의 이동에 따른 수신강도의 변화는 단조로운 증가로 나타나고 있다. 그러나, 본 논문에서는 건물의 기하학적인 구조는 물론 회절파와 반사파의 위상항이 포함된 수식에 의하여 전계의 세기를 계산하므로써 수신신호의 요동(fluctuation)이 나타나게 되며, 그래프의 전반적인 변화추세는 Ikegami의 결과와 크게 벗어나지 않음을 보여준다.

그림 5는 송신기로 부터 건물-1까지의 거리변화에 대한 수신신호의 변화를 비교한 것이다. 이 때, 건물-1과 수신기 간의 거리 r_1 은 7m를 적용하였다. Ikegami의 이론식에서는 송신안테나의 높이와 송신거리가 파라미터로 사용되고 있지 않기 때문에 송신거리의 변화에 따른 신호강도의 변화가 나타나지 않고 있으나, 본 논문의 결과에서는 송신거리가 짧아질수록 급격한 신호강도의 변화를 보이고 있다.

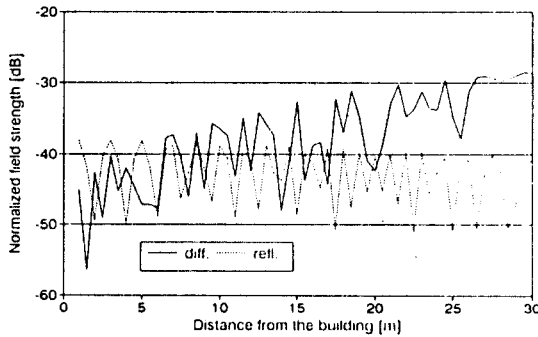


그림 3. 건물-1과 수신기의 거리에 대한 변화
Fig. 3. Variation for distance between building1-Rx.

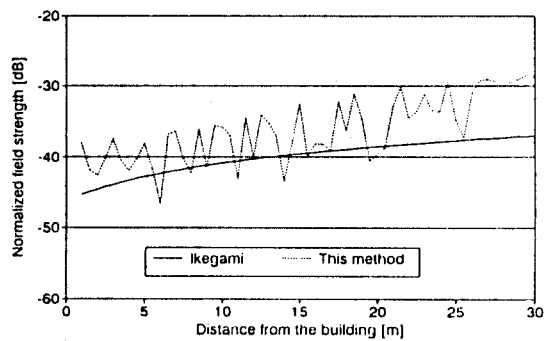


그림 4. 합성파의 영향
Fig. 4. Effect for total field

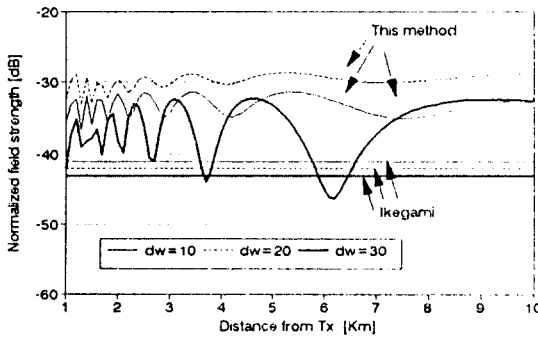


그림 5. 송신기로 부터의 거리에 대한 변화
Fig. 5. Variation for distance from Tx.

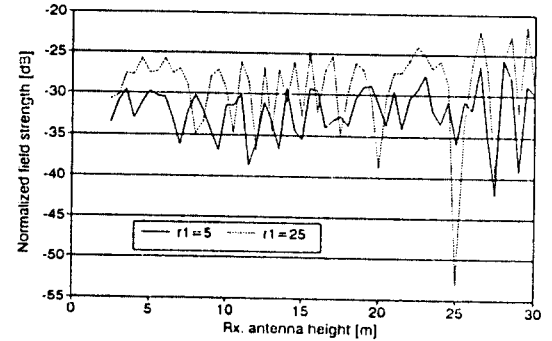


그림 6. 수신안테나의 높이에 대한 변화
Fig. 6. Variation for Rx. antenna height

그림 6은 수신 안테나의 높이에 따른 수신강도의 변화인데, 일반적으로 수신안테나의 높이의 증가는 수신강도의 이득증가에 기여하게 되지만 수신기가 건물의 차폐 영역 내에 있기 때문에 수신안테나의 높이의 증가가 신호의 세기를 크게 개선시키지 못하고 있다. 그러나, $r_1 = 5m$ 인 경우 즉, 건물-1에 근접한 위치에서의 손실은 더 큼을 알 수 있다.

그림 7은 송신 안테나의 높이에 따른 수신강도의 변화를 나타내고 있으며, 미세한 변화를 보이는 것은 송신 안테나로부터의 거리를 10Km로 적용했기 때문이다. 그러나, 마이크로 셀룰라 시스템과 같이 송신안테나의 거리가 1-2Km 이내라면 송신안테나의 높이변화에 따른 신호강도의 변동은 매우 커질것으로 사료된다.

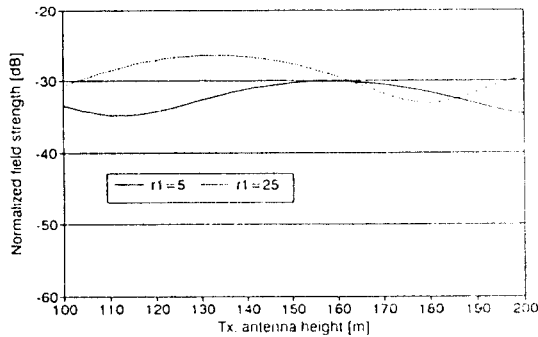


그림 7. 송신안테나의 높이에 대한 변화
Fig. 7. Variation for Tx. antenna height

제4장. 측정 및 결과비교

제1절. 측정 환경

제2장의 이론적 해석결과가 타당함을 입증하기 위하여 VHF대역 이상의 주파수를 송출하는 송신 안테나로부터 약 7Km 떨어진 도심의 전파환경에서 측정을 수행하였으며, 표 2의 파라미터를 사용하였고 측정지역의 상세도는 그림 8과 같다.

측정 장비는 LOHDE & SCHWARZ 사의 Feild strength meter인 ESV와, 이득이 13dBi인 8소자 야기 안테나이며, 안테나의 높이는 지상 5m이다.

한편, 시뮬레이션을 위한 측정환경은 다음과 같은 사항을 고려하여 모델링하였다.

1. 건물의 높이는 건물의 층 (floor) n_1 에 따라 변화한다. $(3.8 \times n_1 + 2)$
2. 송신 안테나로부터 도래한 신호는 수신점에 normal 입사된다.
3. 각 수신점에 대한 환경은 다음과 같다.
 - (1) 측정지점 1 : 송수신기 사이의 전파경로가 건물에 의하여 영향을 받지 않는 가시(LOS) 지점이다.
 - (2) 측정지점 2 : 송수신기 사이의 전파경로가 건물에 의하여 영향을 받지 않으나, 수신기가 위치한 도로변에 가옥과 수목이 있으므로 이로 인한 반사

표 2. 측정에 사용된 파라미터
Table 2. Parameters utilized in the field test

		KBS 1 TV		KBS 2 TV		MBC TV		SBS TV	
		voice	video	voice	video	voice	video	voice	video
Tx.	Freq.(MHz)	191.75	187.25	179.75	175.25	203.75	199.25	87.76	83.26
	Power(kw)	2.5	50	2.5	50	2.5	50	2.5	50
	Height(m)	476.6		440.1		455.1		425.1	
	Gain(dbi)	4.7		11.2		9.35		4.5	
Rx.	Height(m)	5							
	Gain(dbi)	13							
	Distance(km)	7							
Bldg.	Height(m)	59							
	Width(m)	90							

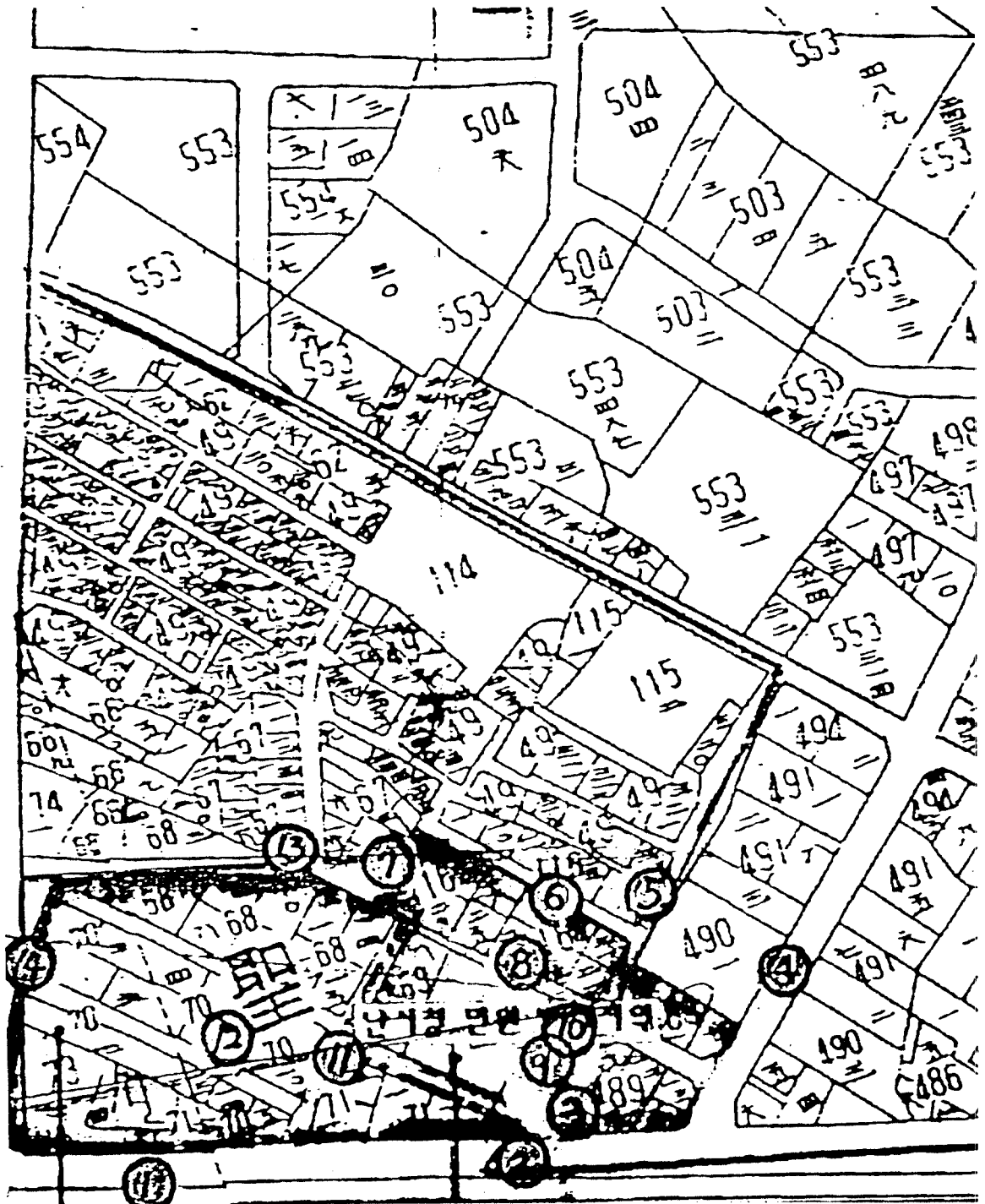


그림 8. 측정지역 상세도
Fig. 8. Detailed map for measurement region

표 3. 이론 및 측정 결과의 비교

Table 3. Comparison of theoretical & measured results (단위 : dB μ V/m)

Test point		Voice			Vodeo		
		measured	theore.	Error	measured	theore.	Error
# 1 LOS	KBS-1	113.5	107.3	5.4%	122.2	120.6	1.3%
	KBS-2	114.7	114.4	0.2%	125.5	127.6	1.6%
	MBC	111.0	111.5	0.4%	119.8	124.7	4.0%
	sbs	114.8	113.9	0.7%	124.0	127.4	2.7%
# 1 LOS & Ref.	KBS-1	93.5	93.3	0.2%	95.2	106.5	11.0%
	KBS-2	86.7	100.4	15.8%	104.5	113.6	8.7%
	MBC	95.0	97.5	2.6%	103.8	110.7	6.6%
	sbs	99.8	99.9	0.1%	109.0	113.4	4.0%
# 14 Diff. & Ref.	KBS-1	74.5	81.3	9.1%	95.2	91.5	3.8%
	KBS-2	79.7	84.1	5.5%	79.5	98.7	24.1%
	MBC	85.0	81.0	4.7%	91.8	98.3	7.0%
	sbs	77.8	82.7	6.2%	86.0	90.0	4.6%

의 영향이 작용된다.

- (3) 측정지점 14 : 송수신기 사이가 건물에 의해 차단되어 있으며, 수신기 후면에는 가옥들이 있으므로 회절과 반사의 영향이 동시에 작용된다.

제2절. 이론 및 측정치의 비교

이론 및 측정결과와의 비교내역은 표 3과 같다.

측정지점 1에 대하여 기존의 전력법칙^{11,12)}에 표 2의 파라미터를 적용하였을 때 6% 이내의 오차가 발생되었다.

측정지점 2는, 전력법칙에 반사경로와 반사계수를 고려한 수식⁶⁾에 표 2의 파라미터를 적용하였으며, 그 결과 특정 주파수를 제외하고는 오차가 9% 미만이었다.

측정지점 3은, 회절과 반사에 의한 영향이 복합적으로 작용되는 지점으로서 표 2의 파라미터를 식 (1)~(10)에 적용한 결과, 측정치와의 오차는 10% 이내였다. 그러나 특정 주파수에서 오차가 크게 나타난 것은 고려대상에 포함되지 않은 미지의 장애물의 영향으로 보인다.

실제의 전파환경에서는 건물 이외의 지형지물과 예기

치 못한 주변환경에 의해서도 영향을 받을 수 있으며, 수신지역의 여건을 최대한으로 고려하여 제안한 본 논문의 이론식에 대한 결과는 타당성이 있음을 확인하였다.

제5장. 결 론

도심지역의 복잡한 전파환경에서 무선주파수를 이용하는 통신의 경우, 장애물 후면, 특히 건물과 건물 사이에 수신기가 위치하였을 때 수신되는 전파의 강도변화를 예측할 수 있는 알고리즘을 제안하였다. 알고리즘에 건물의 기하학적 구조를 고려하였으며 거리, 송수신 안테나의 높이 등의 환경 파라미터를 적용하였다.

이론적 계산결과와의 타당성을 입증하기 위하여 현장의 측정결과와 비교하였으며, 그 오차가 10% 이내임을 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. Daivid 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. Veh. Technol.*, 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, Vol. 16, No. 9-10, Sept.-Oct., 1968.
6. F.Ikegami, et al, "Propagation Factors Controlling Mean Field Strength on Urban Streets," *IEEE Trans. on Ant. & Propa.*, 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. Veh. Technol.*, VT-26, pp.323-327, Nov. 1977.
8. F. Ikegami, et al, "Theoretical Prediction of Mean Field Strength for Urban Mobile Radio," *IEEE Trans. on Ant. & Propa.*, Vol. AP-39, No. 3, Mar., 1991.
9. Max Born and Emil Wolf, *Principles of Optics*, 6th ed., Pergamon Press, Oxford, Chap VIII, 1980.
- 10 James. G. L., " Geometrical Theory of Diffraction for Electromagnetic Waves." 3rd edition, Peter Peregrinus Ltd, 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," 한국통신 학회 하계 학술발표회, pp.281-285, 1993.
13. Howard H.Xia,et al, "Radio Propagation Measurments & Modeling for Line-Of-Sight Microcellular System," *Proc. IEEE Veh. Tech. Society 42nd VTS Conference*, Vol. 1 of 2, pp.349-354, 1992.
14. W. C. Y. Lee, " Lee's Model," *Proc. IEEE Veh. Tech. Society 42nd VTS Conference*, Vol. 1 of 2, 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.on Ant. & Propa.*, Vol. 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 錫(Ui Seok Hong)

정희원

1968년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 졸업(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(Austln) 객원교수

1987년 3월~1992년 2월 : 광운대학교 전자통신공학과 교수

1992년 2월~현재 : 광운대학교 전파공학과 교수

1984년 3월~현재 : 한국통신학회 상임이사

1991년 1월~현재 : 한국전자과학기술학회 평의원

*주관심 분야 : MIC 회로 설계, Mobile & Ant. propagation