

도심지 무선통신의 전파예측모델에 관한 연구

정회원 정성한*, 배성수*, 오영환*

A Study on the Propagation Prediction Model of Wireless Communication in an Urban Area

Seong-han Chung*, Seong-soo Bae*, Young-hwan Oh* *Regular Members*

요 약

도심지 무선통신에서 전파전파 특성(Wave Propagation Characteristics)을 정확하게 예측하는 것은 통신 서비스 영역 결정이나 최적의 기지국 선정 및 셀 설계 등을 위해 매우 중요하다. 도심지역에서 건물 차폐영역 특성을 이용한 전파예측 모델(Propagation Prediction Model)로 CCIR모델이 있다. 이 모델은 기지국과 이동국간의 차폐 영향을 직선평면형태에서의 건물 차폐율로 나타내고 있다. 그러나 건물이 밀집되어 있는 지역이나 가시선상에 구릉이나 산이 있는 지형여건을 고려하지 않았기 때문에 예측 오차가 많이 발생한다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위한 전파예측모델을 제안하였다. 제안한 모델에서는 가시선상에서 가장 큰 영향을 미치는 건물차폐에 대한 블록수와 지형여건을 고려한 건물의 차폐높이에 대한 관계식을 통계 패키지 SAS(Statistical Analysis System)로 구하였다. 그리고 고밀도, 중밀도, 저밀도 지역에서 서비스 중인 무선통신 기지국의 전계레벨 수신세기를 실측한 후, 제안한 모델과 CCIR모델의 예측 결과를 비교 분석하였다.

실측치와 비교한 결과, CCIR모델보다 제안한 모델이 고밀도 지역에서 9.71dB, 중밀도 지역에서 9.66dB, 저밀도 지역에서 4.02dB 개선되었다.

ABSTRACT

Wireless communication in an urban area, the accurate prediction of wave propagation characteristics are very important to determine communication service areas, select optimal base-stations, and design cells, etc. The CCIR model is a propagation prediction model using a shadowing by the buildings in an urban area. This model represent the shadowing rate by the means of the effect of shadowing between base-station and mobile unit in a shaped linear plane. But, This one occurred a lot of prediction error because it did not consider that density area by the buildings and terrain configurations by the hill and mountain on Line-Of-Sight. In this thesis, an improved propagation prediction model is proposed to reduce prediction error. We presents a new equation, which is using the SAS. This equation is associated with the shadow height by the buildings that considers the topology and the number of blocks that can affect the building shadow in the Line-Of-Sight. We measure the received electrical field level of base-station that high density area, medium density area, and low density area, and then compare and analysis the result to prediction of CCIR model and proposed model.

The result compared with the measurement, the proposed model has the improvement of 9.71dB in a high density area, 9.66dB in a medium density area, and 4.02dB in a low density area better than the CCIR model.

The result compared with the measurement, the proposed model has the improvement of 9.71dB in a high density area, 9.66dB in a medium density area, and 4.02dB in a low density area better than the CCIR model.

* 광운대학교 전자통신공학과(ssbae@explore.kwangwoon.ac.kr)
논문번호 : 99170-0504, 접수일자 : 1999년 5월 4일

1. 서론

무선통신은 전달 매체가 전파이므로 주파수, 거리, 송수신 안테나 높이, 지구 곡률, 대기 환경 및 대도시의 빌딩, 구릉지, 산과 같은 지형 지물에 의해 영향을 받는다. 특히, 수신기 주변의 자연 및 인공 장애물 때문에 송신 안테나와 수신안테나 사이에 가시선(Line-Of-Sight, LOS)내의 통신이 항상 이루어질 수는 없다. 전파 환경에서 신호 품질을 열화시키는 요인으로는 순시페이딩(Instantaneous Fading), 경로손실(Path Loss), 지연확산(Delay Spread), 차폐(Shadowing)등이 있다¹⁻³⁾.

특히, 900MHz대의 주파수를 사용하는 차량과 같은 이동체는 수신안테나 주변의 건물이나 구릉 등과 같은 장애물이 차폐영역을 형성하여 회절손실의 발생원으로 작용하거나 반사에 의한 페이딩으로 인하여 이동 중 수신하는 전파 전력은 평균적으로 매우 미약하게 된다³⁻⁵⁾. 이러한 페이딩 현상 중 하나인 건물 특성 때문에 발생하는 차폐영역을 고려한 전파예측모델로는 Lee모델, Cost-231모델, JTC모델, CCIR(Comite Consultatif International des Radio-Communication)모델 등이 있다. Lee모델은 가지거리와 비가지거리를 실측하여 정립한 실험식이다. 그러나 1.5Km이상 지점부터 일정한 값을 유지하는 문제가 있다. Cost-231이나 JTC모델은 도심 지역에서의 건물을 동일간격으로 가정 한 후 전송 손실값을 구하였다. CCIR모델은 기지국과 이동국간의 차폐 영향을 직선평면형태에서 건물의 차폐율로 나타내고 있다³⁾. 그러나 실제 건물이 밀집되어 있는 지역의 지형여건을 고려하지 않았기 때문에 차폐손실(Shadow Loss)이 적게 나타나므로 가시선상에 구릉과 산이 있는 경우가 대부분인 한국 지형에는 적합하지 않다.

제안한 전파예측모델에서는 가시선상에서 가장 영향을 미치는 건물차폐에 대한 블록수와 지형을 고려한 차폐높이의 관계식을 통계 패키지 SAS (Statistical Analysis System)로 구하였다. (주)대부통신기술에서 제공하는 도심지 전파예측프로그램인 Psimcity version 2.0을 사용하여 제안한 모델을 검증하였다. 그리고 고밀도, 중밀도, 저밀도 지역에서 서비스 중인 무선데이터통신 기지국의 전계레벨 수신세기를 실측한 후, 제안한 모델과 CCIR모델을 비교 분석하였다.

II. 건물형태를 이용한 CCIR모델

CCIR모델에서는 전반손실을 자유공간손실과 건물 차폐에 의한 페이딩 현상의 실험식으로 나타내었다.

$$L_{CCIR} = 69.55 + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{km} + 26.16 \log_{10} f_{MHz} - a(h_m) - 13.82 \log_{10} h_b - B \tag{1}$$

여기서,

L_{CCIR} : 전반손실

d_{km} : 수신거리(Km)

h_m : 이동국안테나 높이(m)

h_b : 기지국안테나 높이(m)

$$a(h_m) = (1.1 \log_{10} f_{MHz} - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_{MHz} - 0.8)$$

$$B = 30 - 25 \log_{10} (\% \text{ of area covered by buildings})$$

CCIR모델에서 건물에 의한 차폐손실은 다음과 같이 구할 수 있다.

$$B = 30 - 25 \log_{10} \left(\frac{d_1 + d_2 + d_3}{d} \times 100\% \right) \tag{2}$$

여기서,

d : 수신거리[Km]

d_1 : 건물1의 차폐거리[m]

d_2 : 건물2의 차폐거리[m]

d_3 : 건물3의 차폐거리[m]

건물 차폐율이 15%이하가 되면 $B \approx 0$.

전파경로상에 있는 장애물의 차폐손실은 장애물 높이와 그 지점에서의 제1후레넬 영역(Fresnel Zone)에 의해 영향을 받는다. 차폐손실은 장애물 높이

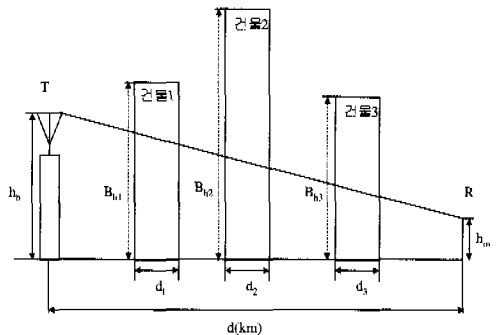


그림 1. CCIR모델의 건물 차폐

수록, 전파경로상에 일정한 높이의 장애물이 있더라도 그 장애물 양쪽 Site에 가까이 있을수록 커진다^[12]. 그러나 CCIR모델에서는 지형여건을 고려하지 않고 건물 밀도만을 계산하므로 건물 높이가 기지국보다 높은 경우에도 차폐손실은 전혀 영향을 받지 않는 문제점이 있다.

III. 제안한 전파예측모델 및 시뮬레이션

1. 모델링

제안한 전파예측모델에서는 건물의 형태를 기하학적인 모델로 분석하여 가장 큰 영향을 미치는 건물의 블록수와 건물에 의한 차폐 높이를 산출하였다. 건물 장애점 돌출높이는 그림 2와 같이 각 knife-edge 장애물에 따른 감쇄를 차례로 계산한 후, 합산하는 Epstein-Peterson 방법을 이용하여 구하였다^[10].

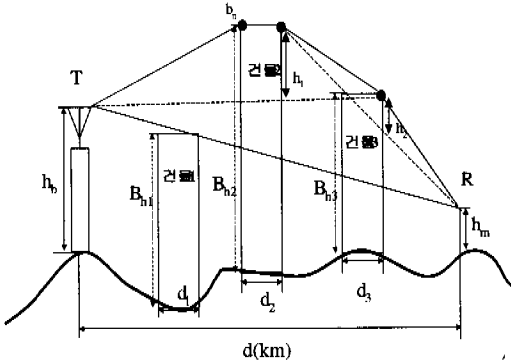


그림 2. 다중 knife-edge

건물의 블록수(b_n)와 차폐되는 건물의 높이(h_i)에 대한 관계식은 통계 패키지 SAS를 이용하여 구하였고 지형을 고려한 건물의 차폐 손실은 다음과 같다.

$$B_j = 1.52(b_n) + 0.13(h_i) \quad (3)$$

여기서,

b_n : 건물의 블록수

h_i : 장애점 돌출높이[m]

그러므로 전반손실, L_j 는 다음과 같다.

$$L_j = 69.55 + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{km} + 26.16 \log_{10} f_{MHz} - \alpha(h_m) - 13.82 \log_{10} h_b - B_j \quad (4)$$

여기서,

d_{km} = 수신거리(Km)

h_m = 이동국안테나 높이(m)

h_t = 기지국안테나 높이(m)

$$\alpha(h_m) = (1.1 \log_{10} f_{MHz} - 0.7) h_m - (1.56 \log_{10} f_{MHz} - 0.8)$$

$$B_j = 1.52(b_n) + 0.13(h_i)$$

2. 시뮬레이션 및 결과

(1) 시뮬레이션 환경

제안한 전파예측모델의 시뮬레이션은 (주)대부분신기술에서 제공하는 도심지 전파예측프로그램인 Psimcity ver 2.0을 이용하였다. 이 프로그램은 1:10,000도의 지형데이터와 1:5,000도의 5층 이상 건물 데이터를 포함하고 있으며, 안테나 모델은 400여종을 제공한다. 시뮬레이션 환경과 파라미터를 표 1, 표 2에 나타내었다.

표 1. 시뮬레이션 환경

시뮬레이션 환경	비고
Simulation Tool	Psimcity version 2.0
Operation System	Windows 98
CPU Performance	Pentium II 333MHz
Extended Memory	128MByte
Extended Cache Memory	512KByte

표 2. 시뮬레이션 파라미터

	고밀도	중밀도	저밀도
주파수 (MHz)	939.10	939.16	939.27
지형 (m)	40.00	20.00	20.00
건물고 (m)	67.5	18.0	15.0
송신출력(kw)	3.0	3.00	3.00
안테나 높이(m)	4.00	9.00	8.50
수신안테나높이(m)	1.50	1.50	1.50

(2) 시뮬레이션 결과

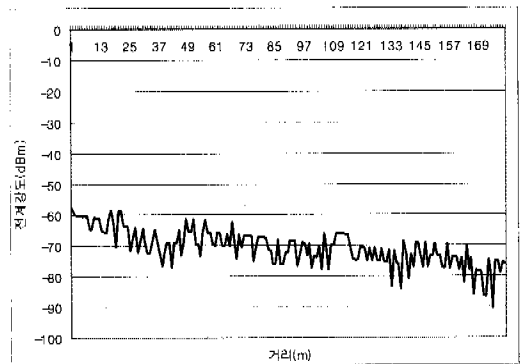


그림 3. 고밀도 지역에서의 시뮬레이션 결과

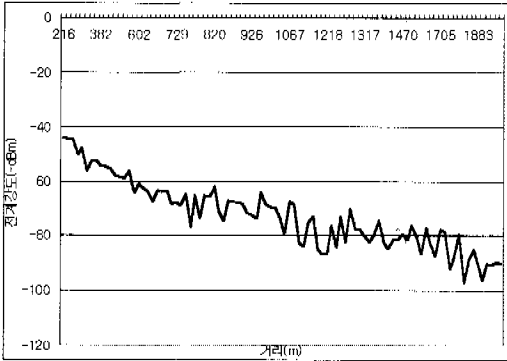


그림 4. 중밀도 지역에서의 시뮬레이션 결과

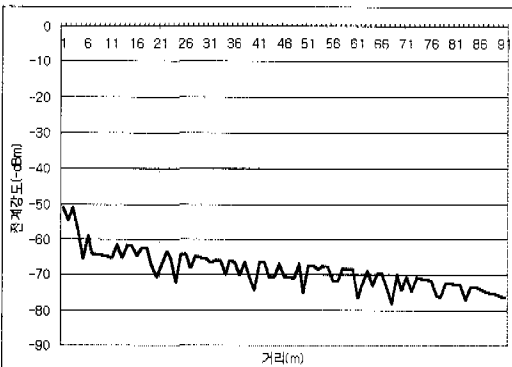


그림 5. 저밀도 지역의 시뮬레이션 결과

기 위하여 BPF(Band Pass Filter)와 LNA(Low Noise Amplifier)를 사용하였다. 실측 구성도는 그림 6과 같다.

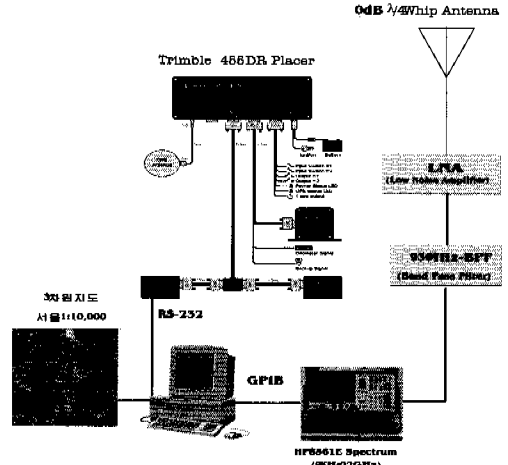


그림 6. 실측 구성도

(2) 측정 지점 및 실측 결과

실측 지역을 건물차폐에 따라 고밀도, 중밀도, 저밀도 지역으로 분류하였으며, 기지국을 중심으로 반경 2Km이내의 지점을 측정하였다. 고밀도 지역은 기지국 높이보다 높은 건물이 많은 8개 지역을, 중밀도 지역은 기지국과 건물의 높이가 비교적 같은 17개 지역을, 저밀도 지역은 기지국 주변의 건물 높이가 낮은 12개 지역을 각각 선정하였다. 표 3에 측정 지역, 측정 기지국명, 측정 지점 수 그리고 주파수를 나타내었다.

그림 7에 고밀도 지역 중 하나인 종로구 광화문 전화국 주변 180개 측정지점을 표시하였고, 이 지역에서의 실측결과를 그림 8에 나타내었다.

표 3. 기지국, 측정 지점 및 주파수

지역	주소	기지국명	측정 지점	주파수
고밀도 지역	종로구 세종로	광화문전화국	180	939.1000
	서초구 반포동	반포전화국	126	939.0750
	서초구 방배3동	서초전화국	117	939.1750
	강남구 신사동	신사전화국	133	939.1000
	강남구 역삼동	육성빌딩	160	939.2875
	동대문구 송인2동	전화번호안내	170	939.1500
	중구 충무로	중앙전화국	160	939.0750
	종로구 연건동	해화전화국	127	939.1250

IV. 실험 결과 및 고찰

1. 실험 결과

(1) 실측환경

수도권 인텔크 텔레콤 무선데이터 통신국에서 서비스중인 936~938MHz대역 20채널의 신호 세기를 측정하였다. 송신 공중선계 구성은 1채널 당 방사되는 출력 3[W] 9dB/omni-directional 무지향성 안테나를 사용하였고, 전파의 세기를 측정하기 위해 무지향 특성을 가진 $\lambda/4$ Whip 안테나를 사용하였다. 또 수신 위치마다 전파경로가 다르고 한 수신 점에서 몇 개의 반사파가 동시에 수신되는 방향에 따른 전파특성을 고려하기 위해 여러 개의 안테나 팩터를 지정하였다. 위치(position) 및 시간 정보(time information)는 low profile microstrip 안테나에서 수신된 전계강도를 차량에 탑재한 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer) HP-8591E를 사용하여 측정하였고, 전계강도분포 부근의 잡음 레벨 변화를 줄이

표 3. 기지국, 측정 지점 및 주파수

지역	주소	기지국명	측정 지점	주파수
중밀도 지역	송파구 신천동	송파전화국	38	939.0750
	양천구 신월동	동명보습학원	109	939.1500
	양천구 목동	목동전화국	119	939.1375
	송파구 오금동	현안빌딩	135	939.2500
	강동구 상일동	대영빌딩	170	939.1000
	강동구 길동	강동전화국	94	939.2750
	강동구 명일동	고덕양지학원	106	939.1750
	동작구 대방동	노랑진전화국	53	939.2000
	동대문구 휘경1동	동일빌딩	97	939.1375
	송파구 방이동	방이동사옥	56	939.2000
	마포구 동교동	신촌전화국	129	939.3125
	강남구 도곡동	양재전화국	113	939.1125
	영등포구 8가	영등포전화국	146	939.1875
	용산구 원효로1가	원효전화국	76	939.2875
	송파구 잠실동	위너스	118	939.1625
영등포구 여의도동	일신방직	150	939.1125	
동대문구 청량리동	청량리전화국	121	939.0750	
저밀도 지역	구로구 개봉동	개봉전화국	91	939.1625
	관악구 신림동	구로전화국	185	939.2750
	성북구 김춘3동	기린빌딩	200	939.2250
	강서구 화곡동	삼원빌딩	124	939.1750
	강북구 번1동	수유리코스트	215	939.2875
	송파구 석촌동	수협빌딩	33	939.1375
	동작구 사당1동	오서빌딩	120	939.2500
	강서구 방화2동	하나로교회	38	939.1250
	강서구 화곡동	화곡전화국	110	939.2625
	서초구 양재동	화원빌딩	83	939.1500
마포구 동교동	대화빌딩	184	939.2375	
동대문구 경안1동	동원빌딩	132	939.1125	



그림 7. 고밀도 지역 측정지점(종로구 지역)

그림 9에 중밀도 지역 중 하나인 강동구 강동전 화국 주변 94개 측정지점을 표시하였고, 이 지역에서의 실측결과를 그림 10에 나타내었다. 그림 11에 저밀도 지역 중 하나인 양천구 개봉전화국 주변 91개 측정지점을 표시하였고, 이 지역에서의 실측결과를 그림 12에 나타내었다.

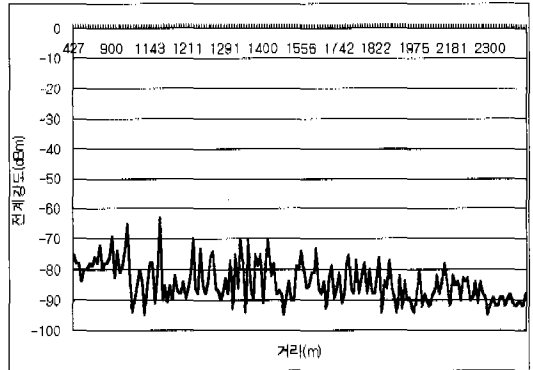


그림 8. 고밀도 지역에서의 실측결과



그림 9. 중밀도 지역 측정지점(강동구 지역)

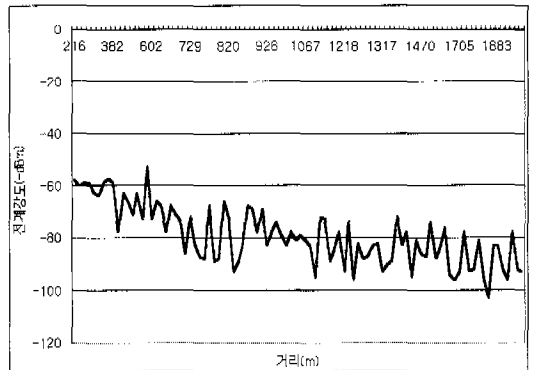


그림 10. 중밀도 지역에서의 실측결과

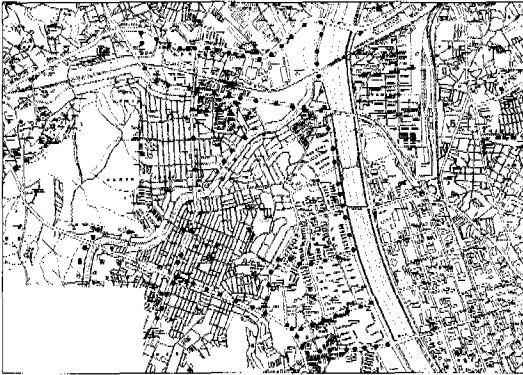


그림 11. 저밀도 지역 측정지점[양천구 지역]

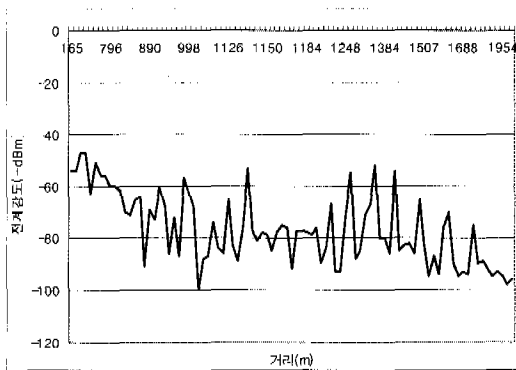


그림 12. 저밀도 지역의 실측결과

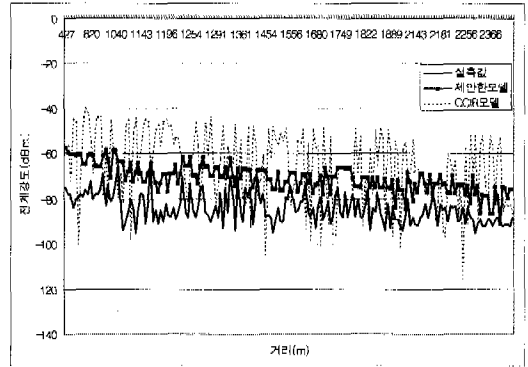


그림 13. 고밀도 지역에서의 비교 그래프

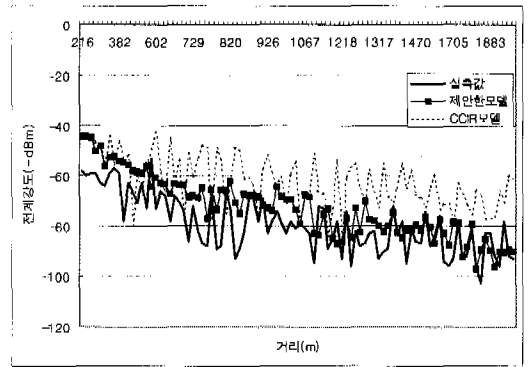


그림 14. 중밀도 지역에서의 비교 그래프

2. 고찰

본 절에서는 고밀도, 중밀도, 저밀도 지역에서 실측한 전계강도 수신레벨과 CCIR모델의 예측 결과, 그리고 제안한 모델의 예측 결과를 비교 분석하였다.

고밀도 지역에서의 실측값, CCIR모델 그리고 제안한 모델의 전파예측 결과를 그림 13에 나타내었다. 실측치와 비교한 결과 CCIR모델은 20.30dB 그리고 제안한 모델은 10.58dB의 평균오차가 발생하였다. 즉, 제안한 모델이 9.71dB 개선되었다. 중밀도 지역에서의 실측값 및 CCIR모델, 제안한 모델의 예측 결과를 그림 14에 나타내었다. 실측치와 비교한 결과 CCIR모델은 8.34dB, 제안한 모델은 18.01dB의 평균 오차가 발생하였다. 즉, 제안한 전파예측모델이 9.66dB 개선되었다. 저밀도 지역에서의 실측값 및 CCIR모델, 제안한 모델의 예측 결과를 그림 15에 나타내었다. 실측치와 비교한 결과 CCIR모델은 10.62dB, 제안한 모델은 14.87dB의 평균 오차가 발생하였다. 즉, 제안한 모델이 4.02dB 개선되었다.

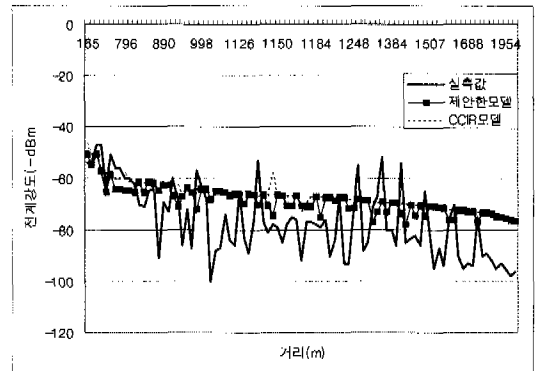


그림 15. 저밀도 지역에서의 비교 그래프

표 5. 실측치와 CCIR모델, 제안한 예측모델 비교

지역	실측치와 제안한 모델의 평균오차	실측치와 CCIR모델의 평균오차	비교
고밀도	10.58	20.30	9.71
중밀도	8.34	18.01	9.66
저밀도	10.62	14.87	4.02

제한한 모델과 CCIR모델의 예측 결과를 실측 결과와 비교하였으며, 실측치와 비교한 평균 예측오차를 표 4에 나타내었다.

V. 결론

본 논문에서는 도심지역 무선통신에 적합한 전파 예측모델을 제안하였다. 제안한 모델을 검증하기 위하여 고밀도 지역의 8개 기지국, 중밀도 지역의 17개 기지국, 그리고 저밀도의 12개 기지국을 각각 선정 후 현재 서비스 중인 무선데이터통신 기지국의 전계레벨 수신세기를 측정하였으며, 실측치를 토대로 하여 CCIR모델과 제안한 전파예측모델을 비교 분석하였다.

실측치와 비교한 결과, 제안한 모델이 CCIR모델에 비하여 고밀도 지역에서 평균 9.71dB, 중밀도 지역에서 평균 9.66dB, 저밀도 지역에서 평균 4.02dB 개선되었다. 제안한 모델을 이용하여 예측한 값과 실측치를 비교해 볼 때 평균 예측오차가 약 4~10dB 발생하므로 수도권 도심지 지역의 전파 예측에 이용할 경우 이동통신서비스 범위예측, 기지국 선정 및 서비스 불가능지역 해결에 활용할 수 있을 것이라 사료된다.

참고 문헌

- [1] Shibuya, *A Basic ATLAS of radio Wave Propagation*. John Wiley and son, pp. 159-305. 1987.
- [2] H. W. Arnold, R. R. Murray, and D. C. Cox, "815 MHz radio attenuation measured within two commercial buildings," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 37, no. 10, pp. 1335-1339, Oct. 1989.
- [3] J.D.parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, pp. 16-106,1992.
- [4] Propagation data and prediction methods for the terrestrial land mobile service using frequency range 30MHz, CCIR SG-5, Report 567-3 (MOD F)
- [5] R. E. Fisher, "UHF Television Interference Associated with Cellular Mobile Telephone System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-33, August 1984, pp. 244-249.
- [6] S. Kozono and M. Sakamoto, "Channel Interference Measurement in Mobile Radio System," *Proceedings of the 35th IEEE Vehicular Technology Conference*, Boulder, Colorado, May 21-23, 1985, pp. 60-67.
- [7] S, N, Ahmed and P. C. Constantino, "A Mobile Interference Model into UHF Television Receivers," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-32, May 1983, pp. 206-208.
- [8] T. S. Rappaport, *Wireless Communications*, IEEE Press, pp. 126-127, 1996.
- [9] W. C. Y Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, Howard Sams & Co. 1986, Chap. 4.
- [10] W. C. Y Lee, "Cellular Mobile Radiotelephone System Using Tilted Antenna Radiation Pattern," U. S. Patent 4,249,81, February 3, 1981.
- [11] W. C. Y Lee, "Elements of Cellular Mobile Radio Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-35, May 1986, pp. 48-56.
- [12] W. C. Y Lee, "Mobile Radio Signal Correlation Versus Antenna Height and Spacing," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol 25, May 1977, pp. 290-292.
- [13] W. C. Y Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, Howard Sams & Co. 1986, p. 222.
- [14] W. C. Y Lee, "Elements of Cellular Mobile Radio System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol 35, May 1986, pp. 48-57.
- [15] V. H. McDonald, "The Cellular Concept," *Bell System Technical Journal*, Vol. 58, January 1979, pp. 15-42.
- [16] W. Honcharenko, H. L. Bertoni, and D. Dailing, "Mechanisms governing propagation between different floors in buildings," *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 41, no. 6, pp. 787-790, June 1993.
- [17] 김채영, 정백호, 박지연, 목진담, "도심지 마이

