

마이크로 셀 환경에서 건물 밀집 지역의 전파예측모델에 관한 연구

정회원 윤찬영*, 배성수*, 이민희**, 오영환*

A Study on Cell Planning for High Density Area of Buildings in Micro Cellular Network

Chan-young Yun*, Seong-soo Bae*, Min-hui Lee**, 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. . 도심지 건물 밀집 환경에서는 수신기 주변의 자연 및 인공 장애물 때문에 송신 안테나와 수신안테나 사이에 가시선(Line-Of-Sight; LOS)내의 통신이 항상 이루어질 수는 없다. 도심지역에서 건물 차폐영역 특성을 이용한 전파예측 모델로 CCIR 모델이 있다. 그러나 CCIR 모델에서는 실제 건물이 밀집되어 있는 지역의 건물 차폐율만 고려하였기 때문에 차폐손실(Shadow Loss)이 적게 나타나므로 가시선상에 수많은 건물들로 차폐가 이루어진 도심지 건물 밀집 지역에서는 지역의 특성에 맞도록 보정인자를 재조정해 주어야 하는 단점이 있다. 본 논문에서는 이러한 문제점을 개선하기 위한 전파예측모델을 제안하였다. 제안한 모델에서는 가시선상에서 가장 큰 영향을 미치는 송수신간의 거리, 건물 재질, 그리고 건물 폭에 대한 관계식을 구하여 제안한 모델과 CCIR 모델의 예측결과를 실측치와 비교하였다. 그 결과, CCIR 모델에 비하여 오차가 개선되었다.

ABSTRACT

Wireless communication in urban of high density area, it is importance of accurately predicted microwave characteristics in optimization of wireless communication networks through base station placement and cell designs. In the dense urban environment, signals cannot always transit in the line-of-sight between the transmitting and receiving antennas because of the natural and artificial interference surrounding the receiver. The CCIR model is a microwave prediction model which utilizes shadowing by the building characteristics in urban areas. The CCIR model does not consider terrain conditions in calculating building density and because we calculate only the lateral contributions of the spacial separation between the transmitting and receiving antennas, the error increases proportionally to the transmitting antenna height. With the same density, the single shadowing by building and multi-building shadowing turns out identical, and in order to achieve effective performance we must take the trouble to apply a cumbersome correction factor corresponding to the regional characteristics. In this paper, we propose a microwave prediction model that settles these problems. In the proposed model we have compared and analyzed the prediction results of the model which determines the correlation among transmitting and receiving distance, building material, and building width, which are most influential in the Line-Of-Sight, to the prediction results of the CCIR model. Compared with measurements, the proposed model has made improvements from the CCIR model

* 광운대학교 전자통신공학과 (cksdud@explore.kwangwoon.ac.kr),
논문번호 : 00454-1129, 접수일자 : 2000년 11월 29일

** (주)한국통신프리텔

I. 서론

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. 전파가 전달 매체인 무선통신은 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 송신안테나와 수신안테나 사이에 가시선상(Line-Of-Sight, LOS)내의 통신이 항상 이루어질 수는 없다. 전파 환경에서 신호 품질을 열화 시키는 요인으로는 순시페이딩(Instantaneous Fading), 경로손실(Path Loss), 지연확산(Delay Spread), 차폐(Shadowing)등이 있다^[1-3]. 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 된다^[3-5]. 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. Lee 모델은 가시거리와 비가시거리를 실측하여 정립한 실험식이다. 그러나 1.5Km이상 지점부터 일정한 값을 유지하는 문제가 있다. Cost-231이나 JTC모델은 도심지역에서의 건물을 동일간격으로 가정한 후 전송 손실값을 구하였다. CCIR모델은 기지국과 이동국간의 차폐 영향을 직선평면형태에서 건물의 차폐율로 나타내고 있다^[3]. 그러나 실제 건물이 밀집되어 있는 지역의 건물 차폐율만 고려하였기 때문에 차폐손실(Shadow Loss)이 적게 나타나므로 가시선상에 수많은 건물들로 차폐가 이루어진 도심지 고밀도 지역에서는 적합하지 않다.

본 논문에서는 도심지 고밀도 지역에서 예측 오차 범위를 줄이기 위한 전파예측 모델을 제안하였다. 제안한 전파예측 모델에서는 송수신국간 거리를 평면상이 아닌 가시선상 거리로 대체를 하고, 건물의 외장 재질과 건물 폭에 대한 관계식을 구하였고, 도심지 전파예측프로그램인 Psimcity version 2.0을 사용하여 제안한 모델을 검증하였다. 그리고 도심지 고밀도의 대표지역인 종로구 광화문전화국 부근에서

서비스 중인 무선데이터통신 기지국의 전계레벨 수신세기를 실측한 후, 제안한 모델과 CCIR모델을 비교 분석하였다.

II. 관계 이론

1. 건물형태를 이용한 CCIR모델

CCIR모델에서는 전반손실을 자유공간손실과 건물 차폐에 의한 페이딩 현상의 실험식으로 나타내었다.

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

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.

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

여기서,

d : 수신거리[km]

d_1 : 건물1의 차폐거리[m]

d_2 : 건물2의 차폐거리[m]

d_3 : 건물3의 차폐거리[m]

건물 차폐율이 15%이하가 되면 $B \approx 0$.

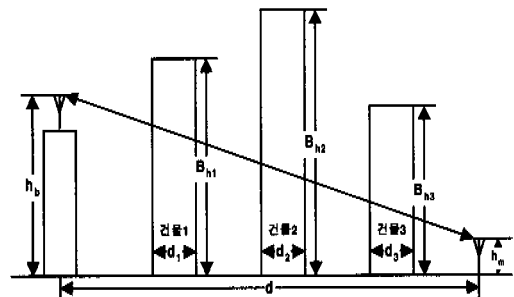


그림 1. CCIR 모델의 건물 차폐

전파경로상에 있는 장애물의 차폐손실은 장애물의 종류, 건물 외벽의 재질, 주파수, 전파의 가지상태 등 여러 요인에 영향을 받지만, 실질적으로 지형 정보에는 지형지물의 형상만을 포함하므로 전파의 가지상태와 투과 두께만을 얻을 수 있다. 장애물의 차폐손실은 장애물이 높을수록, 전파경로상에 일정한 높이의 장애물이 있더라도 그 장애물 양쪽 Site에 가까이 있을수록 커진다^[3]. 그러나 CCIR 모델에서는 지형여건을 고려하지 않고 건물의 밀도만을 계산하며, 송신안테나와 수신안테나간의 거리를 평면적으로만 계산하기 때문에 송신안테나의 높이가 증가할수록 실측치와 오차 범위가 커지는 문제점을 갖게 된다. 또한 동일한 밀도라도 단일 건물에 의한 차폐와 다중 건물의 차폐가 같게 나타난다. 그리고 건물 재질에 따라 투과 손실이 다르기 때문에 유용한 성능을 얻기 위해서는 적용되는 지역의 특성에 맞도록 보정인자를 재조정해야 한다.

2. 건물 재질에 의한 감쇠

건물을 통과하는 신호의 감쇠는 건물 외부와 건물 내부간의 신호레벨 차이에 의하여 측정된다. 건물의 형태와 사용된 재질, 건물의 크기, 그리고 높이는 빌딩감쇠의 중요한 파라미터이다. 건물 재질에 의한 전송 손실은 국내에서 연구된 바가 없기 때문에 좀 더 정확한 파라미터 값을 산출하기 위하여 표 1을 사용하였다. 표 1은 미국 워싱턴시의 고밀도 지역 건물 7곳에서 측정된 결과를 평균한 것이다. 수치는 건물 주변 도로에서 수신전력에 대한 상대적인 값이며 실측값의 평균값이다.^{[6],[7]}

표 1. 건축물 재질에 의한 감쇠

Construct Element	Attenuation (dB)	Standard Deviation (dB)
Concrete block wall	7	1
Wood and brick siding	3	0.5
Aluminum siding	2	0.5
Metal wall	12	4
Glass	5	1

III. 제안한 전파예측모델 및 시뮬레이션

1. 모델링

제안한 전파예측모델에서는 전파전파 중에서 가장 큰 영향을 미치는 건물의 점유비율과 외부 재질 및 건물 폭에 의한 차폐를 산출하였다.

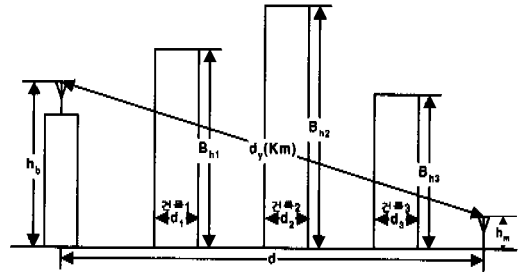


그림 2. 제안한 모델의 건물 차폐

송신기와 수신기사이의 경로에 있는 모든 장애물에 의한 투과길이를 지형도상의 직선 거리로 산출할 경우 송신기 안테나가 높아질수록, 송수신간의 거리가 증가할수록 그 오차 범위가 더 커지게 된다. 따라서 제안한 모델에서는 그림2와 같이 실제 전파전파 중 전송손실을 구하기 위하여 송수신기사이의 가지선상 거리로 계산을 하였다. 송수신간 가지선상 거리, d_y 는 다음과 같다.

$$d_y = \sqrt{(h_b - h_m)^2 + d^2} \tag{3}$$

건물 재질에 의한 관계식, B_y 는 건물의 재질을 콘크리트 외장 건물과 유리 외장 건물로 구분하여 각 재질에 따른 투과 손실을 표1의 파라미터 값을 사용하여 통계 패키지 SAS(Statistical Analysis System)로 구하였다. 차폐손실 B_y 는 다음과 같다.

$$B_y = 30 - 25 \log_{10} \left(\frac{d_1 + d_2 + d_3}{d} \right) \times (C + (0.72 \times (1 - C)) \times 100\%) \tag{4}$$

여기서,

C : 콘크리트 외장 건물의 비율 ($0 \leq C \leq 1$)

건물 폭에 의한 차폐손실은 똑같은 건물 비율을 가지고 있는 환경에서 폭이 좁은 많은 건물에 의한 차폐보다는 폭이 넓은 단일 건물에 의한 차폐손실이 크게 나타난다. 그림 2와 그림 3을 비교하면 송수신간 거리는 같고 건물차폐율도 같다. 그러나 건

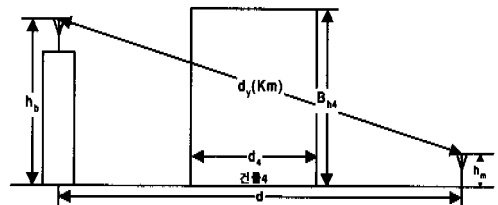


그림 3. 단일 건물에 의한 건물 차폐

물 투과손실은 건물 차폐의 길이에 따라 지수 함수적으로 증가하므로, 도심지 고밀도 환경에서는 오차 범위가 증가한다. 건물 폭에 대한 보정계수도 통계 패키지 SAS를 사용하여 구하였다.

건물 폭에 의한 차폐손실, B_w 는 다음과 같다.

$$B_w = 1.37 \times \left(\frac{d_4}{10}\right) dB \quad (5)$$

여기서,

d_4 = 수신국과 가장 가까운 건물의 폭
(단, 10 m 미만은 무시)

그러므로 전파손실(propagation Loss), L_y 는 다음과 같다.

$$L_y = 69.55 + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} d_{yKm} + 26.16 \log_{10} f_{MHz} - a(h_m) - 13.82 \log_{10} h_b - B_y - B_w \quad (6)$$

여기서,

d_{yKm} = 수신 거리 (km)

h_m = 이동국 안테나 높이

h_b = 기지국 안테나 높이

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

2. 시뮬레이션 및 결과

전파예측모델의 시뮬레이션은 도심지 전파예측프로그램인 Psimcity ver 2.0을 이용하여 광화문 전화국을 중심으로 반경 2 km이내의 지역을 시뮬레이션을 하였다. 이 프로그램은 1:10000도의 지형데이터와 1:5000도의 5층 이상 건물 데이터를 포함하고

표 2. 시뮬레이션 환경 및 파라미터

시뮬레이션 파라미터 및 환경	비고
Simulation tool	Psimcity version 2.0
Operation System	Windows 98
CPU Performance	Pentium III 550 MHz
Extended Memory	128 MByte
주파수(MHz)	939.10
지형고(m)	40.00
건물고(m)	67.50
송신출력(kw)	3.00
안테나 높이(m)	4.00
수신안테나 높이(m)	1.50

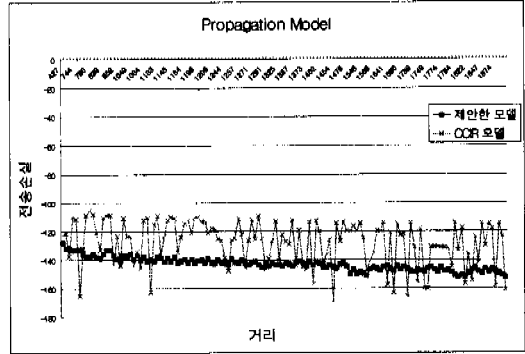


그림 4. 시뮬레이션 결과

있다. 표 2에 시뮬레이션 수행시 입력 파라미터인 주파수, 측정 지역의 평균 지형고, 송신 안테나의 건물 높이, 그리고 안테나의 높이를 나타내었고, 그림 4에 표2의 환경 및 파라미터를 이용한 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 시뮬레이션은 CCIR 모델의 유효송수신간 거리 400 m에서 2000 m 까지 수행하였으며, 전송 손실은 거리, 대형건물의 위치에 따라서 변하는 것을 보여준다.

IV. 실험 결과 및 고찰

1. 실험 결과

(1) 실측환경

수도권 인텍크 텔레콤 무선데이터 통신국 중 광화문 전화국 기지국에서 서비스중인 신호 세기를 측정하였다. 송신 공중선계 구성은 1채널 당 방사되는 출력 3 W 9 dB/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 및 시간 정보는 low profile microstrip 안테나에서 수신된 전계강도를 차량에 탑재한 스펙트럼 분석기(Spectrum Analyzer) HP-8591E를 사용하여 측정하였고, 전계강도분포 부근의 잡음 레벨 변화를 줄이기 위하여 BPF(Band Pass Filter)와 LNA(Low Noise Amplifier)를 사용하였다. 실측 시스템 구성도는 그림 5와 같다.

(2) 측정 지점 및 실측 결과

그림 6에 종로구 광화문전화국 주변 180개 측정 지점을 표시하였고, 3차원 벡터 지도에는 건물 재질

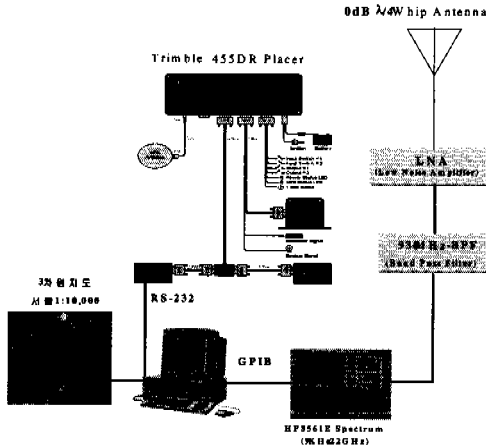


그림 5. 실측 시스템 구성도

을 고려하지 않았으므로, 1:5000의 지형도를 이용하여 건물 재질을 육안으로 판단, 지도에 표기하였다. 이 지역에서의 실측결과를 그림 7에 나타내었다. 그림 7의 실측 결과는 CCIR모델의 유효송수신간 거리 400 m에서 2000 m까지를 나타내었고, 전송 손실은 거리에 따라서 일정하게 증가하며, 대형 건물의 위치하는 곳에서는 시뮬레이션과 마찬가지로 실측값이 크게 변하는 것을 보여준다.



그림 6. 측정지점(중로구 광화문 지역)

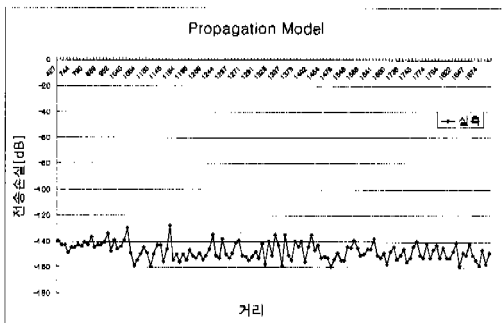


그림 7. 측정지점의 실측결과

2. 고찰

실측을 토대로 기존의 CCIR모델과 제안한 예측 모델과 비교하여 본 결과 건물의 차폐에 영향을 미치는 것은 차폐율이 아니라 송수신국간 가시선상 거리, 건물의 외장 재질, 그리고 건물 폭인 것을 보였으며, 건물이 밀도가 높은 지역일수록 실측치와 근접함을 알 수 있었다.

고밀도 지역에서 제안한 모델은 빌딩의 블록이 많을수록 기존의 모델보다 실측치에 근접하였으며 또한 CCIR모델에서는 건물의 차폐율에 따라 큰 오차가 나타났다. 즉, 실측결과를 토대로 제안한 전파 예측모델이 CCIR모델보다 오차가 개선되었다. 그림 8에 실측한 전계강도 수신레벨과 CCIR모델의 예측 결과, 제안한 모델의 예측결과를 나타내었다. 실측치와 비교한 결과 CCIR모델은 23.84 dB 그리고 제안한 모델은 7.02 dB의 평균오차가 발생하였다. 즉, 제안한 모델이 16.82 dB 개선되었다.

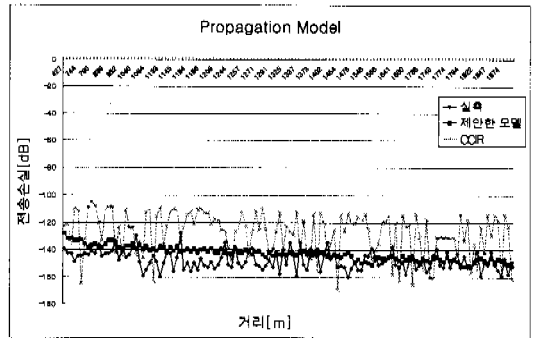


그림 8. 비교 그래프

표 3. 실측치와 CCIR모델, 제안한 예측모델 비교

측정지점	실측치와 제안한 모델의 평균오차	실측치와 CCIR 모델의 평균오차	비교
중로구	7.02	23.84	16.82

V. 결론

본 논문에서는 도심지 건물 밀집 지역에서 무선 통신에 적합한 전파예측모델을 제안하였다. 제안한 전파예측 모델에서는 송수신국간 거리를 평면상이 아닌 가시선상 거리로 대체를 하고, 건물의 외장 재질과 건물 폭에 대한 관계식을 구하였다. 제안한 모델을 검증하기 위하여 도심지 건물 밀집 지역의 대

표적인 종로구 광화문지역을 선정하고 현재 서비스 중인 무선데이터통신 기지국의 전계레벨 수신세기를 측정하였으며, 실측치를 토대로 하여 CCIR 모델과 제안한 전파예측모델을 비교 분석하였다.

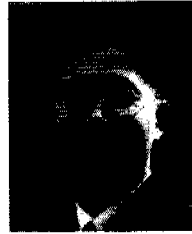
실측치와 비교한 결과, 제안한 모델이 CCIR 모델에 비하여 16.82 dB 개선되었으며, 제안한 모델을 이용하여 예측한 값과 실측치를 비교해 볼 때 평균 예측오차가 약 7 dB 발생하므로 수도권 도심지 지역의 전파 예측에 제안한 모델을 이용할 경우 이동통신서비스 범위예측, 기지국 선정 및 서비스 불능 지역 해결에 활용할 수 있을 것으로 사료된다.

참 고 문 헌

- [1] Shibuya, *A Basic ATLAS of radio Wave Propagation. John Wiley and Sons*, 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), 1993.
- [5] R. E. Fisher, "UHF Television Interference Associated with Cellular Mobile Telephone System," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-33, pp. 244-249, August 1984.
- [6] T. S. Rappaport *Wireless Communication*. Prentice Hall PTR, pp. 69-133, 1996.
- [7] Seidel, S.Y., et. al., "The Impact of Surrounding Building on Propagation for Wireless In-building Personal Communication System Design," 1992 IEEE Vehicular Technology conference, Denver, pp. 814-818, May 1992.

윤 찬 영(Chan-young Yun)

정회원



1999년 2월 : 홍익대학교

전자전산공학과 졸업
(공학사)

2001년~현재 : 광운대학교

전자통신공학과
석사과정

<주관심 분야> 이동통신 최적화, UMTS, Mobile IP

배 성 수(Seong-soo Bae)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 제9호 참조

이 민 회(Min-hui Lee)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 제11B호 참조

오 영 환(Young-hwan Oh)

정회원

한국통신학회 논문지 제25권 제9호 참조