

---

# 실내 환경에서 전파(傳播)특성 분석을 위한 마이크로 셀용 3D 시뮬레이터 개발

임중수\*, 손동철, 채규수

## Development of a 3D Micro-cell Simulator for Radio Wave Propagation Analysis in Indoor Environments

Joong-Soo Lim\*, Dong-Cheul Son, Gyo-Soo Chae

**요약** 본 논문에서는 실내 환경에서 전파특성 분석에 유용한 마이크로 셀용 3D 시뮬레이터를 제시하였다. 지금까지 소개된 대부분의 전파특성 분석 결과들은 2차원 평면에서 거리에 따른 신호의 손실(Path Loss) 위주로 연구가 진행되었다. 본 연구에서는 실내에서 전파특성을 분석하기 위해 다양한 ITU 모델을 사용하여 입체구조의 실내 환경에서 전파의 수신신호의 세기에 대한 분석을 수행하였다. 시뮬레이션에서 나타난 결과를 분석해보면 저 주파수(150MHz-400MHz) 대역과 고주파수 대역(2GHz-6GHz)에서 전파특성이 많은 차이를 나타내고 있다. 그리고 각 수신기의 위치에서 수신 신호는 전파경로상의 벽면에서 손실되는 전력에 따라 차이가 생기기 때문에 송신기의 출력도 중요한 요인으로 분석되었다.

**주제어** : 실내 전파(傳播), 전파(傳播)특성, 마이크로 셀, 전파 손실, 시뮬레이션, ITU-R

**Abstract** In this study, we introduce a 3D micro-cell simulator for radio wave propagation analysis in indoor environments. Previous studies treat only the path loss between the transmitter and receiver in 2D geometry. We provide the simulation results of indoor propagation prediction based on various ITU-R Recommendations. Simulation results described here indicate that the low and high frequency bands give quite different characteristics in presented indoor geometry. The propagation loss as a function of distance has two distinct regions. It is similar to that occurring in free space within 5-20m of the transmitter, however, increases significantly as the electromagnetic waves become obstructed by the walls at distances further away in the next region.

**Key Words** : Indoor propagation, Propagation characteristic, Micro-cell, Path loss, Simulation, ITU-R

---

## 1. 서론

실내에서 전자파 신호에 대한 전파(propagation)특성 해석은 이동통신 분야에서 주로 진행 되었고 1980년대 초반에 미국(AT&T Bell Lab.)에서 실내 전파의 경로 손실에 대한 연구가 처음 시도 되었다[1-14]. 최근 들어 이동통신의 서비스 영역이 작아지면서 실내에서도 셀을 설계해야 하는 경우가 많아지고 있다. 실내 환경은 일반적인 외부 환경과 차이가 많아서 통계적인 모델을 사용하

여 일률적으로 적용하기 힘들다. 그리고 다중경로 반사에 의한 수신기위치에서의 수신전계 변화에 대한 연구가 주로 실외 환경에서 이루어 졌다[8]. 이동통신 분야에서는 다중경로에 대한 고려는 하지만 반사면의 반사계수에 따른 송신 전력의 변화(PDP: Power Delay Profile)에 대한 연구가 대부분이었다. 최근에는 3D 하이브리드 기법이 소개 되어 2차원 위주의 전파환경 분석 기법이 3차원으로 확대 되어 좀 더 정확한 방법을 제시하고 있다 [15-16].

---

\*백석대학교 정보통신학부 교수(교신저자)

논문접수: 2013년 1월 1일, 1차 수정을 거쳐, 심사완료: 2013년 1월 23일

또한 단일 안테나 수신전력 기반 도래방향 추정 방법에 관한 연구도 일부 이동통신 기지국이나 WLAN 중계기 설치 위치 결정 등의 용도로 진행되었다. 그리고 신호도래 방향에 대한 연구는 군용 레이더의 회전방향 탐지 기술 위주로 개발되었고 상업용으로는 RFID 태그를 부착한 상품의 방향을 추적하는 제품이 출시되어 있으나 정확한 측위를 위한 구체적인 연구는 거의 없었다. 그리고 휴대용 측정 방법에 대한 기술이 소개된 경우는 있으나 전파도래 방향 추정 방법이 배열 안테나를 사용하는 경우에 대한 내용 위주로 소개되어 있다.

본 연구에서는 실내 환경에서 무선망 설계 및 분석을 위한 마이크로 셀용 전파(propagation) 분석 시뮬레이터를 개발하고자 한다. 시뮬레이션은 사용자가 Auto CAD를 이용하여 직접 도면과 같이 전파 환경을 도식화 하고 프로그래밍 언어를 통해 전파 분석 모델을 구현하여 분석하였다. 일반적인 전파(propagation) 예측 방법은 이론적 예측 방법과 통계적 예측 방법을 이용하여 분석하는데 이론적 예측 방법은 반사, 투과, 회절 등에 의해 수신기에 도달 가능한 전파 경로를 추적하여 그 신호 세기를 구하는 방법으로서 예측 결과가 매우 정확할 뿐 아니라 지연 확산, 데이터 전송률 등 광대역 전파 특성을 분석할 수 있는 장점이 있으나 계산 속도가 느리다는 단점이 있다. 통계적 예측 방법은 여러 가지 전파환경에서 측정 시스템에 의한 측정 데이터를 분석한 결과를 이용하여 만든 전파 예측 알고리즘에 따라 수신 신호 세기를 예측하는 방법으로서 예측 결과의 정확성은 다소 떨어지나 신속하게 예측 결과를 얻을 수 있다는 점에서 유용하다.

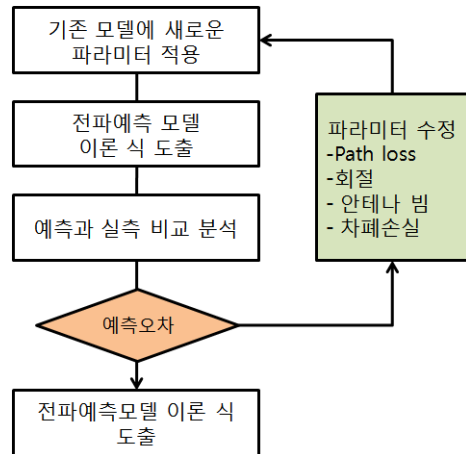
## 2. 본 론

본 연구에서는 통계적 예측 알고리즘을 이용하여 일부 구간에서의 측정 데이터와 예측 데이터를 비교하여 계산된 오차를 예측 알고리즘 보정 값을 이용함으로써 분석을 원하는 지역에서 보다 정확한 예측 데이터를 얻을 수 있는 최적의 예측 방법을 이용하였다. 본 연구에서 예측할 수 있는 전파 전파 특성으로는 무선 통신 시스템에 따른 수신 신호 세기, 시스템 특성에 따른 서비스 영역의 결정, 페이딩 특성에 따른 통신 성능 분석, 시스템 대역폭에 따른 지연 현상 분석 및 데이터 전송률 결정, 안테나 지향 특성 및 각도에 따른 서비스 영역 결정 등으

로서 요구되는 각 파라미터들을 이용할 뿐 아니라 건물, 문과 같은 건축 환경에 속한 재질, 두께 등을 함께 분석하도록 한다.

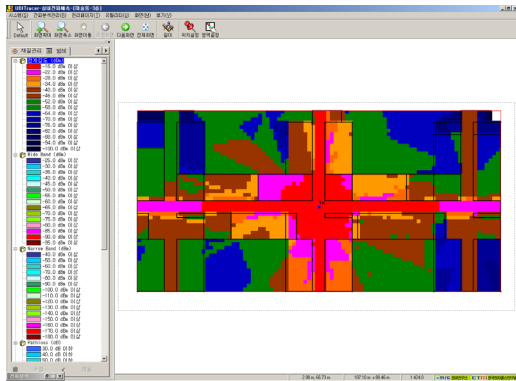
### 2.1 시뮬레이션 환경 설정

그림 1에서는 실내 전파 환경 분석 과정을 나타내었다. 기존에 사용되고 있는 전파 모델을 이용하여 예측한 결과를 제시하고 측정된 결과와 비교 할 것이다. 그리고 예측 오차를 분석하여 파라미터를 수정하는 과정을 거쳐 최적의 모델을 제시하고자 한다. 그림 2에서는 전파환경 분석 시뮬레이터 화면 구성을 보여주고 있다. 시뮬레이터는 분석정보 입력 화면과 3D도면을 보여주는 화면으로 구분되어 있다. 시뮬레이션을 위한 송수신 점들이 선정되면 먼저 그림에서 제시된 것과 같이 도면에서 가능한 전파 경로가 모두 표시된다. 그림 3에서는 본 연구에서 사용한 실내 전파 환경 분석의 건물의 단면도의 세부 내용을 보여주고 있다. 전파 분석 모델은 ITU-R에서 권고하는 표 1의 모델을 적용하였다. 특히 일반적인 분석 모델들은 단거리의 옥내용이 아니며 옥내용에서는 건물의 재질, 두께, 복도의 위치 등의 환경적인 요건에 민감하게 반응하므로 기 개발된 일반 모델을 기준으로 본 연구에 적합한 마이크로 셀용 수정 모델을 개발하였다. 그림 3의 실제 건물의 도면을 사용하여 그림 4에서와 같이 벽면의 재질과 두께를 선택하고 층고 등을 입력하였다.

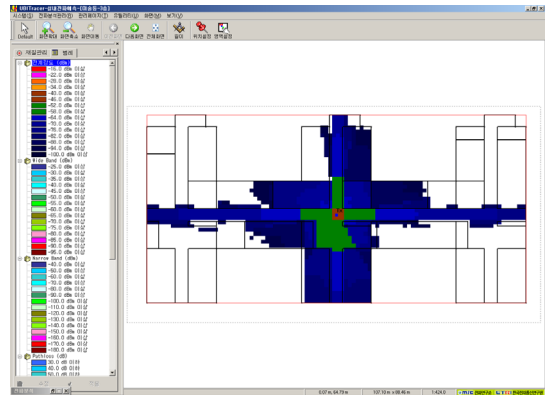


[그림 1] 실내 전파환경 분석 과정

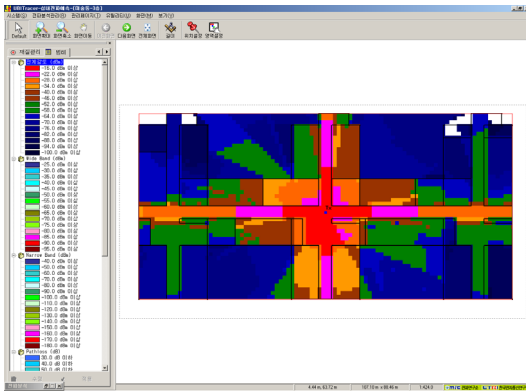




[그림 6] 실내 전파특성 분석 결과 표시(@150MHz)

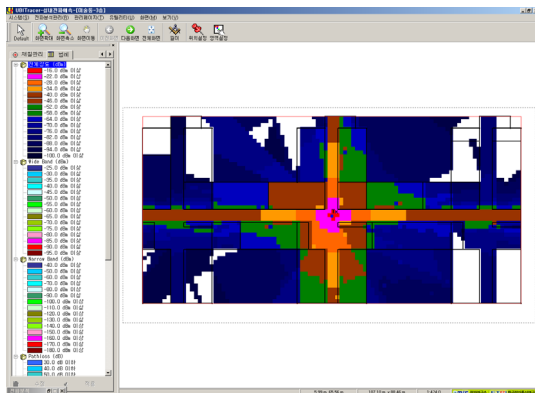


[그림 9] 실내 전파특성 분석 결과 표시(@6GHz)



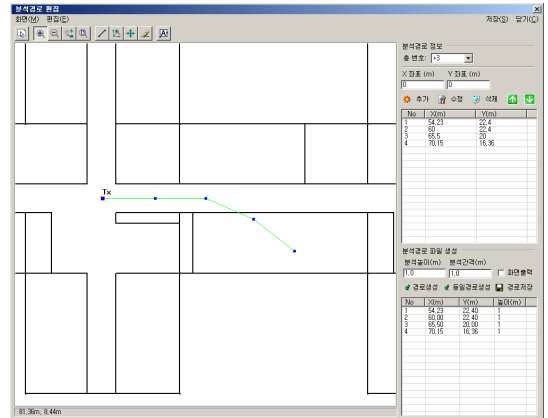
[그림 7] 실내 전파특성 분석 결과 표시(@400MHz)

그림 8, 9에서는 2GHz, 6GHz에서의 송신 신호의 세기가 나타나 있다. 6GHz에서 거리에 따른 감쇠가 급격히 나타나고 벽면을 통과하는 전파가 거의 없는 것을 볼 수 있다.



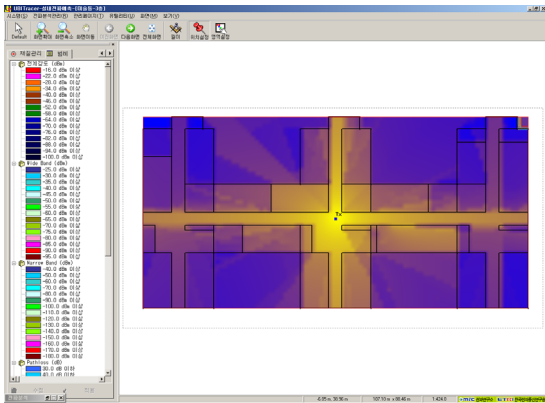
[그림 8] 실내 전파특성 분석 결과 표시(@2GHz)

그림 10에서는 본 연구에서 제안한 구조의 건물 내에서 특정한 사무실을 선정하여 사무실 문이 열려 있는 경우를 가정하여 송신 신호의 세기를 분석하기 위한 도면을 보여주고 있다. 그리고 특성 분석을 위한 송신신호 세기를 계산하기 위한 각 분석 위치를 보여주고 있다.

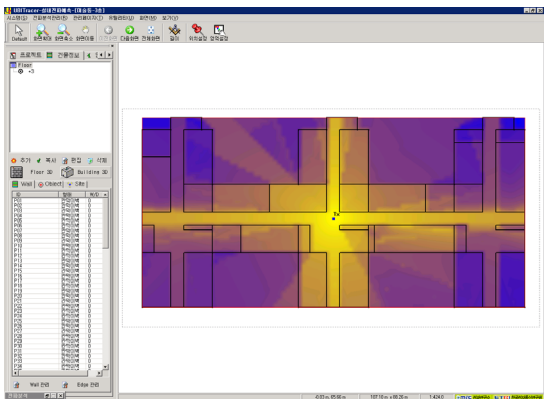


[그림 10] 사무실 문이 있는 경우 실내 전파특성 분석 경로

그림 11에서는 그림 10의 구조에서 150MHz에서 문이 있는 사무실의 송신신호 분석결과이다. 그림 12에서는 2GHz에서의 특성 분석결과이다. 저주파인 경우 보다 사무실 내부로 전파되는 신호가 큰 것을 볼 수 있다. 벽면의 재질, 반사계수, 송신 출력에 따라 사무실 내부에서의 수신신호는 다소 차이가 날 수 있다.



[그림 11] 사무실 문이 있는 경우 실내 전파특성 분석 특성 (@150MHz)



[그림 12] 사무실 문이 있는 경우 실내 전파특성 분석 특성 (@2GHz)

### 3. 결론

실내 전파환경 분석을 위해 건물의 단면도를 사용하여 광선추적 기법을 이용한 전파 특성과 선행 연구 들을 통해서 오차 요인을 분석 하였다. 실내 전파환경에서 도래방향 추정 오차는 다중경로에 의한 것이 주된 원인이라고 알려져 있다. 본 연구에서 실내 전파환경 분석 결과에서도 반사와 회절에 의한 오차가 큰 것으로 나타났다. 그리고 선행 연구 결과에서도 다중경로에 의한 오차가 상당히 큰 것을 알려져 있. 실내 전파환경에서 신호원 추정 오차요인을 극복하기위한 방안을 다음과 같이 제안한다.

첫째, 수신 안테나를 빔 폭이 좁은 고지향성으로 한다.

둘째, 보다 정밀한 방향 추정에는 배열 안테나를 사용한 신호 도래 각 추정 알고리즘이 적용된 수신기 사용이

요구된다. 마지막으로 다른 신호원이나 가전제품의 동작으로 인한 오차 요인을 줄이기 위해 신호원 주위의 전원을 차단한다. 건물의 전원에 독립적인 신호원 추정의 경우에는 효과적인 방법이 될 것으로 판단된다.

실내전파환경 분석과 신호원 위치 추정은 복잡한 전파환경 때문에 적절한 결론을 도출하기가 쉽지 않다. 다중 경로 전파환경을 정확하게 분석하기 어렵고 수신 안테나의 특성에 따라서도 오차가 상당히 차이가 있을 것이다. 그리고 단순한 실내 전파 환경의 문제가 아닌 다른 방해 신호원이 있는 경우에는 더 복잡한 문제를 야기시킨다. 정밀한 RF 신호원 추정을 위해 향후 더욱더 개선된 방안들이 제안 될 필요가 있을 것으로 사료된다.

### 참 고 문 헌

- [1] E. Tsalolihin, I. Bilik, N. Blaunstein, S. Shakya, "Analysis of AOA-TOA Signal Distribution in Indoor Environments," Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation (EUCAP), pp. 1646-1650, April 2011.
- [2] Carl Wong, R. Klukas, G. G. Messier, "Using WLAN Infrastructure for Angle-of-Arrival Indoor User Location," IEEE 68th Vehicular Technology Conference, 2008. VTC 2008-Fall. pp. 1-5, Sept. 2008.
- [3] T. Hasegawa, Y. Iwamoto, M. Omiya, "Simulation method of wireless LAN indoor propagation using FDTD technique and MATLAB/simulink," IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, pp. 4132 -4135, June 2007.
- [4] Rappaport, T. S., Wireless Communications Principles and Practice, IEEE Press, New York, 2002.
- [5] J. D. Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, John Wiley & Sons Ltd., 2000.
- [6] Hans-Jurgen Zepernick, Tadeusz A. Wysocki, "Multipath channel parameter for the indoor radio at 2.4GHz ISM band," IEEE 49th Vehicular Technology Conference, vol. 1, pp. 190-193, 1999.
- [7] Jonas Medbo, Hallenberg Henrik, Jan Erik Berg, "Propagation characteristics at 5GHz in typical

radio- LAN scenarios,” 1999 IEEE 49th Vehicular Technology Conference, vol.1, pp. 185-189, 1999.

[8] Leandro Juan-Llacer, Luis Ramos, Narcis Cardona, “Application of some theoretical models for coverage prediction in macrocell urban environments,” IEEE Transaction on Vehicular Technology, Vol. 48, No. 5, pp. 1463-1468, September 1999.

[9] N. Kita, K. Osawa, A. Sato, H. Watanabe, H. Hosoya, “Characterization of multipath delay profiles for wideband wireless access system in a 5GHz band,” presented at the Proceedings of 10th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Osaka, Japan, Sept. 12-15, 1999, paper number G5-2.

[10] Chang-Fa Yang, Member IEEE, Boau-Cheng Wu, and Chuen-Jyi Ko, “A Ray-Tracing Method for Modeling Indoor Wave Propagation and Penetration,” IEEE Trans. on Antennas and Propagat., pp. 907-919, vol. 46, no. 6, June 1998.

[11] John Doble, Introduction to radio propagation for fixed and mobile communications, Artech House, INC, 1996.

[12] C.-F. Yang, C.-J. Ko, and B.-C. Wu, “A free space approach for extracting the equivalent dielectric constants of the walls in buildings,” IEEE AP-S Int. Symp. URSI Radio Sci. Meet., Baltimore, MD, pp. 1036 - 1039, July 1996.

[13] S.-H. Chen and S.-K. Jeng, “An SBR/image approach for indoor radio propagation in a corridor,” IEICE Trans. Electron., vol. E78C, no. 8, pp. 1058 - 1062, Aug. 1995.

[14] G. T. Martin, M. Faulkner, M.A. Beach, “Wide Band Propagation Measurements and Ray Tracing Simulations at 1890MHz,” Proceedings of the 1995 4th IEEE International Conference on Universal personal Communications, pp. 283-287, 1995.

[15] W. Honcharenko, H. L. Dailing, and J. Dailing, “Mechanisms governing propagation between different floors in buildings,” IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 41, pp. 787 - 790, June 1993.

[16] G. E. Athanasiadou, J. P. McGeehan, “A new 3D

Indoor ray-Tracing Propagation Model with particular reference to the prediction of power and delay spread,” Proceedings of the 6th IEEE International Symposium on Personal, Indoor and Mobile Radio Communications, Vol. 3, pp. 1161-1165, 1995.

### 임 중 수



정보통신학부 교수

- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University (공학박사)
- 1980년 8월~2003년 2월 : 국방과학연구소
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교
- 관심분야: 전자파 이론, 광대역 주파수 소자 설계, 레이더 및 전자전 장비 설계/분석
- E-Mail : [jslim@bu.ac.kr](mailto:jslim@bu.ac.kr)

### 손 동 철



선임연구원

- 1983년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
- 1985년 8월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
- 2001년 8월 : 충남대학교 정보통신공학과(공학박사)
- 1985년 12월~ 1999년 5월 : ETRI
- 2002년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신공학과 교수
- 관심분야 : 정보통신, 지능시스템, RF
- E-Mail : [dson@bu.ac.kr](mailto:dson@bu.ac.kr)

### 채 규 수



Amphenol Mobile, RF manager

- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 2월 : Virginia Tech 전기공학과(공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 : Amphenol Mobile, RF manager
- 2003년 2월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수
- 관심분야 : 초고주파 소자, 안테나 설계
- E-Mail : [gschae@bu.ac.kr](mailto:gschae@bu.ac.kr)