

실내 무선 랜 서비스를 위한 실내 전파 모델링

The Indoor Propagation Modeling for Indoor Wireless LAN Service

김진웅 · 김기홍* · 윤영중* · 석재호** · 임재우** · 신용섭**

Jin-Woong Kim · Ki-Hong Kim* · Young-Joong Yoon* · Jae-Ho Seok** ·

Jae-Woo Lim** · Yong-Sup Shin**

요 약

본 논문에서는 ISM 대역에서의 실내 무선 랜 서비스를 위한 실내 전파 모델을 제시하였다. 실내의 벽과 바닥, 천장에 의해 발생하는 다중경로에 의한 전파의 감쇄 현상은 3차원 광선추적법을 이용하였으며, 실내 집기에 의한 산란현상은 패치산란모델을 적용하였다. 실내 전파 모델의 입력파라미터로는 실내 환경 파라미터와 안테나의 종류 및 편파를 고려했으며, 그 결과로 페이딩 특성과 시간지연확산을 도출하였다. 모델링의 정확성을 검증하기 위해 좁은 실내 공간과 넓은 실내 공간으로 나누어서 각각 페이딩 특성과 시간지연확산을 측정하였고 시뮬레이션 결과와 비교하여 유사함을 확인하였다. 이러한 결과를 통해서 본 논문에서 제시한 실내 전파 모델의 유효성을 확인하였다.

Abstract

In this paper we present an indoor propagation model for indoor wireless LAN service in the ISM band. We primarily use a 3D ray tracing as well as a patch scattering model in order to take into account the indoor fixtures. Therefore input parameters such as indoor environment parameters and antenna's types, polarizations are considered. As the results, we present fading characteristics and rms delay spread from time delay spread. In order to investigate the accuracy of the presented model, comparisons of predictions with measurement and simulations are performed in indoor wireless LAN service environments. The results show that measurements and simulations are very similar. Therefore in this paper, the effect of presented indoor propagation model is confirmed.

Key words : ISM, ray tracing, patch scattering model, RMS delay spread

I. 서 론

ISM 대역의 서비스 중 무선 랜 서비스는 요즘 사회의 가장 큰 이슈로 등장하고 있다. ISM 대역의 다른 서비스에 비해 무선 랜이 각광을 받고 있는 이유는 무선기기의 설치가 용이하고, 이동이 자유로우며, 무선 랜 접속 포인트(AP)를 설치하면 많은 컴퓨

터가 동시에 무선인터넷에 연결할 수 있고, 다른 서비스에 비해 전송속도가 빠른 장점이 있기 때문이다. 이러한 장점에 의해 무선 랜 서비스가 활발히 진행되고 있고 이에 따른 많은 연구가 진행되고 있다^{[1]-[3]}. 또한 기존의 PCS대역에서의 실외 전파 특성과는 달리 ISM 대역의 서비스는 주로 실내에서 많이 이루어지고 있기 때문에 실내 전파 특성에 대

LG전자 정보통신연구원(LG Electronics Inc. Research Eng.)

*연세대학교 전기·전자공학과(Dept. of Electrical & Electronic Eng., Yonsei Univ.)

**정보통신부 전파연구소(Radio Research Lab. MIC)

· 논문 번호: 20011214-173

· 수정완료일자: 2002년 3월 26일

한 연구가 활발히 전개되고 있다. 그러나 실내 환경은 지역적 특성이 강하므로 모델링 구현과 정확한 전파 예측은 많은 어려움이 있다. 따라서 본 논문에서는 실내 전파 예측을 좀 더 정확히 예측하기 위해서 기존의 광선추적법에 실내 집기를 고려하기 위한 패치산란모델을 첨가한 형태로 모델링에 접근하였다. 실내의 전파 특성은 다중경로에 의한 페이딩 현상이 크게 나타나고 이러한 페이딩 특성은 실내 구조의 모양과 재질 그리고 실내 집기에 의한 영향이 크기 때문에 해석적 방법에 의한 전파특성을 규명하고 있다^{[4],[5]}. 또한 광대역과 고속 데이터 전송이 필요한 무선 랜 서비스의 경우 다중경로에 의해 발생하는 시간지연에 의해 심볼간 간섭(ISI)이 발생하여 시스템 성능저하의 원인이 된다. 따라서 시간지연확산에 대한 연구가 제시되어 왔다^{[6],[7]}. 그러나 다양한 실내 무선 서비스에 대한 측정 분석은 한계가 있으며, 이러한 한계를 극복하기 위하여 실내 전파 특성을 예측할 수 있는 모델을 제시하였다. 따라서 본 논문에서 제시한 모델링을 검증하기 위해서 실내 무선 랜의 서비스가 많이 도입되는 회의실이나 강의실 같은 좁은 환경에서 수신안테나의 위치에 따른 수신신호레벨과 페이딩 특성을 측정하여 시뮬레이션과 비교하였고, 체육관이나 공항청사 같은 넓은 실내 공간에서는 시간지연확산을 측정하여 모델링의 유효성을 검증하였다. 따라서 본 논문에서 제안한 통합모델은 실내 전파 특성을 예측하기 위하여 페이딩 특성뿐만 아니라 시간지연특성을 포함함으로써 실내 전파 특성을 예측하는데 필요한 모든 파라미터를 제공한다. 향후 본 논문에서 제안한 모델은 실내 무선 랜뿐만 아니라 다양한 실내 단거리 무선 서비스에서도 유용하게 사용될 것으로 기대된다.

II. 모델링 과정 및 이론

2-1 3차원 광선추적법

실내 전파 특성을 예측하기 위한 해석적 방법으로서 가장 많이 이용되는 것은 광선추적법이다. 광선추적법은 송신안테나로부터 3차원 공간으로 방사되어 수신안테나에 도달하는 전자기파의 진행을 무수한 광선의 다중 경로로 등가화하여 해석하는 방법

으로써, 실내 공간의 반사면에서 반사 계수 계산을 위한 기하광학이론과 모서리에서의 회절파를 계산하기 위한 UTD 계산방법을 사용한다. 본 논문에서의 광선추적법은 영상법 기법을 적용한 것으로서 모든 벽면과 실내 구조물을 반사체로 가정하여 각 송신안테나의 위치에 따른 영상안테나의 위치를 구해내는 방법이다. 직육면체 구조의 실내전파환경은 유전체공동(cavity)으로 모델링 될 수 있는데, 영상안테나의 좌표를 구하기 위해, 우선 원래의 공동에 대한 영상공동의 상대적인 좌표를 결정한 후, 각각의 영상 공동 안에 있는 영상안테나의 좌표를 구하였다. 수신안테나에서의 전계를 구하기 위해, 각각의 영상 안테나에서 수신안테나까지의 반사점, 반사면에 수직인 단위벡터 및 입사면에 수직인 단위벡터를 계산한다. 전파경로를 따라 반사점을 구하고, 각 반사점에서의 재질별 전기적 특성과 입사각 그리고 반사점에 입사하는 전계의 수평 및 수직 성분으로 반사손실과 편파변화를 구한다. 이 모든 데이터들은 행렬형태로 저장된다. 따라서 수신안테나에 도달하는 신호는 다중경로에 의한 신호 성분들의 합으로 식 (1)과 같이 표현되고, 송신안테나로부터 수신안테나로 유기되는 전압은 식 (2)와 같이 행렬곱의 형태로 표현할 수 있다^[7].

$$h(t) = \sum_{n=1}^N A_n \delta(t - \tau_n) e^{-j\theta_n} \quad (1)$$

$$V_i = G_T G_R \frac{e^{-j\beta r_d}}{r_d} R_{loss} D_{loss} \Phi_N \cdot \Phi_R \quad (2)$$

식 (1)에서, N 은 반사차수이고, τ_n 은 시간지연, θ_n 은 위상지연을 나타내며, 식 (2)에서 G_T 와 G_R 은 송·수신안테나의 이득을 고려한 3차원 방사패턴 행렬이고, r_d 는 다중경로의 각 경로에 대한 길이, R_{loss} 와 D_{loss} 는 반사와 회절점에서의 손실, Φ_N 과 Φ_R 은 각각 수신안테나에 도달하는 신호들의 편파 벡터 행렬을 말한다.

2-2 패치산란모델

실내 구조물이나 집기를 고려하기 위해서 제시한 패치산란모델은 전파의 산란현상을 개개의 영상안테나를 발생시키지 않고서 산란면으로 처리하는 방법이다. 패치산란모델은 실내 집기의 유전율, 도전

을, 표면거침정도를 포함하는 산란체의 전기적 특성과, 위치와 표면의 각도 등을 포함하는 물리적인 특성을 고려하여 집기에 의한 산란 현상을 해석한다. 식 (3)은 직사각형 패치의 bistatic RCS를 통해 산란 파라미터를 정의한 것이다^{[5],[8]}.

$$S_{jk} = \frac{\sqrt{\sigma_{jk}}}{\sqrt{4\pi d_s}} \quad (3)$$

여기에서, σ_{jk} 는 편파별 프레넬 반사계수이며, d_s 는 패치에서 수신안테나까지의 거리이다.

2-3 페이딩 특성

본 논문에서 결과 파라미터로 제시한 페이딩 특성은 이론적인 페이딩 특성인 Rayleigh, Ricean 곡선을 기준으로 나타내었다. Rayleigh 분포는 주로 NLOS 환경에서 나타나는 분포로서 직적파보다는 반사파나 산란파에 의한 수신 확률이 높을 때 나타나는 분포이다. 이에 반해 Ricean 분포는 LOS의 환경에서 나타나는 분포이고, 직적파에 의한 수신률이 높을 때 나타난다. 그러나 실내 환경인 경우 공간이 막혀 있어 반사파나 실내 집기에 의한 산란파에 의한 수신률이 높기 때문에 LOS의 환경일지라도 Ricean 분포보다는 Rayleigh 분포의 특징을 보인다. 본 논문에서의 Ricean 곡선은 다중경로 성분의 전력에 대한 직적파 성분의 전력의 비를 나타내는 X값이 10 dB인 경우로 나타내었다. 식 (4)와 식 (5)는 Rayleigh과 Ricean의 PDF식을 나타낸 것이다^[9].

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2}{2\sigma^2}\right) & (0 \leq r < \infty) \\ 0 & (r < 0) \end{cases} \quad (4)$$

$$p(r) = \begin{cases} \frac{r}{\sigma^2} \exp\left(-\frac{r^2 + A^2}{2\sigma^2}\right) I_0\left(\frac{Ar}{\sigma^2}\right) & \text{for } (A \geq 0, r \geq 0) \\ 0 & \text{for } (r < 0) \end{cases} \quad (5)$$

$$X(\text{dB}) = 10 \log \frac{A^2}{2\sigma^2} \text{ dB}$$

여기에서, σ^2 : 시간 평균 전력, A: dominant 신호의 최대 전력, I_0 : 베셀 함수

2-4 시간지연확산

시간지연확산(time delay spread)은 시간 축에서 어느 정도의 시간지연성분을 가지고 들어오는지 알

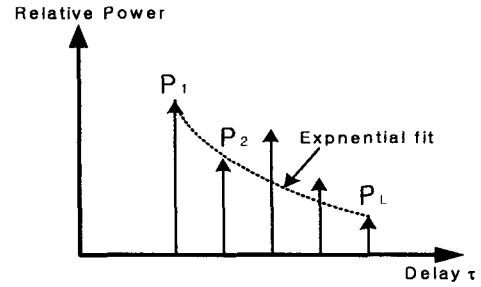


그림 1. 시간지연확산
Fig. 1. Delay spread.

수 있는 파라미터이다. 시간지연확산 또는 채널의 임펄스 응답 특성을 측정하기 위해서는 송신단에서 얼마만큼 시간 축에서 짧은 펄스를 발생시키느냐가 관건인데, 시간 축에서 짧은 펄스는 주파수 축에서는 광대역의 신호가 되므로 임펄스 응답의 측정과 광대역 채널 특성의 측정은 기본적으로 같은 메카니즘을 가진다.

그림 1은 rms 지연시간을 수식적으로 적용하기 위한 그림을 나타냈다. 따라서, 본 논문의 시간지연 확산에 관한 식 (6)을 이용하여 rms 시간지연확산^[6]에 대해 비교하였다.

$$\tau_{rms} = \sqrt{\frac{\sum_{i=1}^L P_i (\tau_i - \bar{\tau})^2}{\sum_{i=1}^L P_i}} \quad (6)$$

여기에서 P_i 은 상대적인 전력이고 τ_i 은 1번째 지연된 신호의 시간을 의미하며, $\bar{\tau} = \frac{\sum_{i=1}^L P_i \cdot \tau_i}{\sum_{i=1}^L P_i}$

는 평균지연시간을 의미한다. rms 지연시간은 전력 지연 프로파일의 2차 모멘트의 제곱근으로 표현된다.

Ⅲ. 측정환경 및 모델링 검증

실내 전파 특성을 모델링하기 위해서는 실내 환경을 정확히 분석하는 것이 중요하다. 왜냐하면, 실내 환경 파라미터는 모델링에서의 중요한 입력파라미터로 사용되기 때문이다. 실내 구조의 재질과, 주파수에 따른 전기적 특성은 전파에 많은 영향을 미

친다. 따라서 측정환경에 대한 분석과 모델링에서의 결과 파라미터에 대해 소개한다.

3-1 페이딩 특성

본 논문의 측정환경은 실제 무선 랜 서비스가 도입되고 있는 환경을 중심으로 측정하였다. 수신신호 레벨과 페이딩 특성은 비교적 좁은 실내 공간인 회의실과 강의실을 설정하여 측정하였다. 실내환경은 이동국의 움직임에 대한 제약이 많기 때문에 빠른 속도에 의한 도플러효과는 없다고 가정하며 페이딩 특성은 경로에 따라 샘플링 된 위치에서의 전계강도의 값들로 이루어진다. 본 논문에서의 샘플 개수는 300으로 설정하여 측정과 시뮬레이션 하였다. 또한 무선 랜 접속 포인트(AP)를 수신점으로 설정한 것은 측정시스템 구성상 신호발생기의 송신점이 움직여야 하기 때문에 전계강도 수신기를 수신점으로 설정하였다. 그러나 송·수신안테나는 다이폴이기 때문에 전체적인 특성에는 변화가 없다.

그림 2(a)의 회의실 환경은 회의용 탁자가 '口' 자의 형태로 배치되어 있고, 실내 공간의 전체 크기는 13.9 m × 8.8 m × 2.75 m로써 회사나 일반 공공기관에서 많이 볼 수 있는 회의실의 대표적 형태를 보여주고 있다. 바닥은 카펫으로 처리되어 있고, 나무 출입문과 유리, 콘크리트 벽면으로 둘러져 있다. 강의실 환경과는 달리 패치가 실내공간에서 차지하는 비율이 적기 때문에 패치에 의한 전파 특성은 크게 변하지 않을 것으로 예상된다. 회의실 환경에서는 수신안테나의 위치를 3곳으로 이동하며 페이딩 특성을 비교하였다. 그 이유는 모델링의 검증과정에서 최적의 무선 랜 접속 포인트(AP)의 위치를 선정하기 위함이다. 여기서 송신안테나의 높이는 1.5 m이고 수신안테나 높이는 천장의 높이를 고려하여 2.4 m로 설정하였으며, 송·수신안테나 사이에는 LOS의 환경에서 측정과 시뮬레이션 하였다.

그림 2(b)의 강의실 환경은 실내공간이 25.2 m × 7.5 m × 2.58 m로써 회의실 환경에 비해 상대적으로 큰 실내 공간이다. 또한 한 쪽 벽면은 완전한 유리로 구성되어 있고, 각 벽면에는 대형 그림이 액자속에 걸려 있어 복잡한 실내 구조를 이루고 있다. 실내 공간 내부의 집기로는 0.5 m × 1.3 m × 0.73 m의 강의용 테이블과 0.5 m × 2.6 m × 0.73 m의 강의용 테

이블이 3행 8열로 배치되어 있어 다른 환경보다는 패치의 수가 많아서 패치에 의한 전파의 영향이 클 것으로 예상된다. 또한 바닥은 카펫으로 처리되어 있다. 강의실 환경에서는 수신안테나의 위치를 2곳으로 이동하며 측정과 시뮬레이션을 비교하였는데 각 수신안테나의 위치는 회의실 환경과 마찬가지로 최적의 AP 위치를 선정하기 위해서 유리면과 콘크리트 면으로 이루어진 구석에 Rx_1을 설치하였으며, 실내 공간 중앙에 Rx_2를 설치하여 수신안테나 위치에 따른 전파 특성을 파악하고자 하였다. 송신경로의 이동방향은 수신안테나에 접근하는 방향으로 설정하였다.

본 논문에서 제시한 모델을 검증하기 위해 실제 측정된 측정결과와 시뮬레이션 결과를 비교하였다. 페이딩 특성을 보기 위해서 신호레벨의 누적분포 형태로 나타내었다. 그림 3은 그림 2(a)의 회의실 환경에서 수신안테나 위치와 송신안테나 경로에 따른 신호레벨과 페이딩 특성을 나타내었다. 회의실 환경

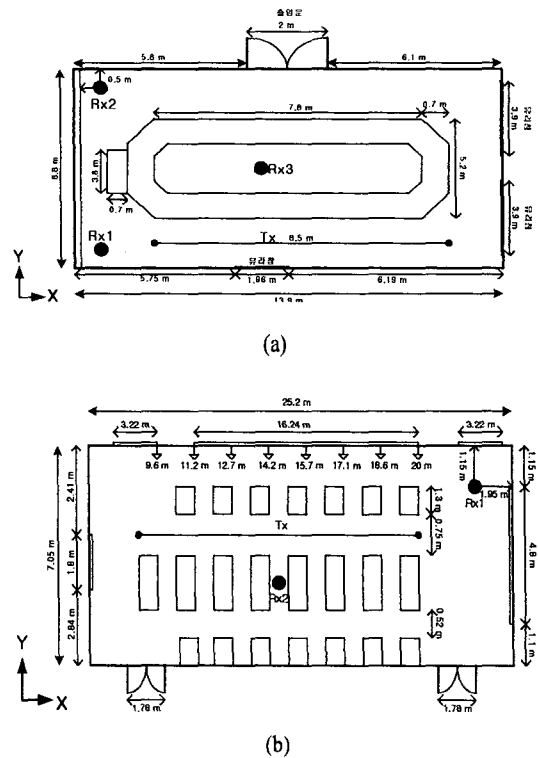
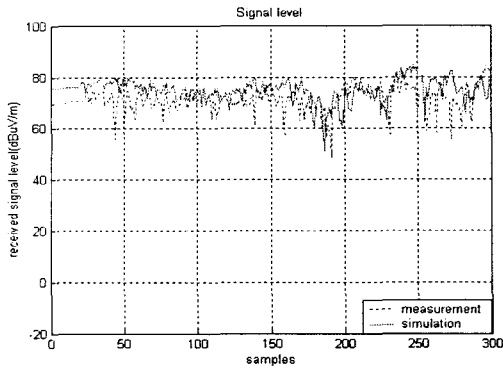
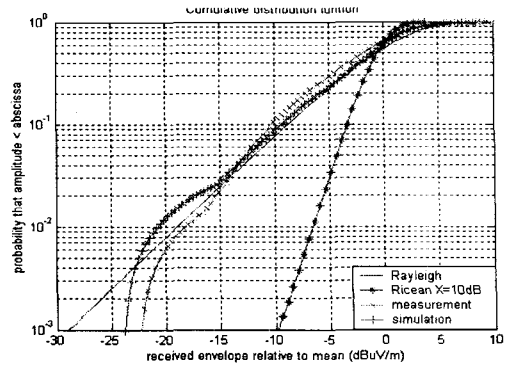


그림 2. 페이딩 측정 환경 : (a) 회의실, (b) 강의실
 Fig. 2. The fading measured environments.

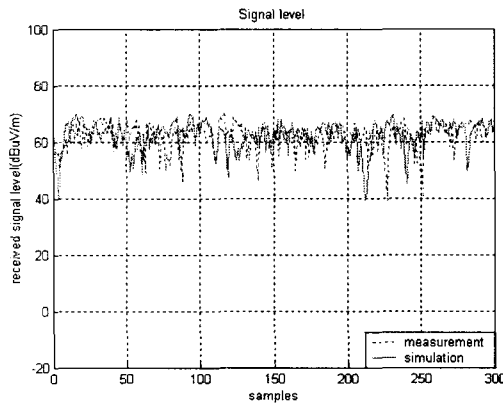
(a) a conference room, (b) a classroom



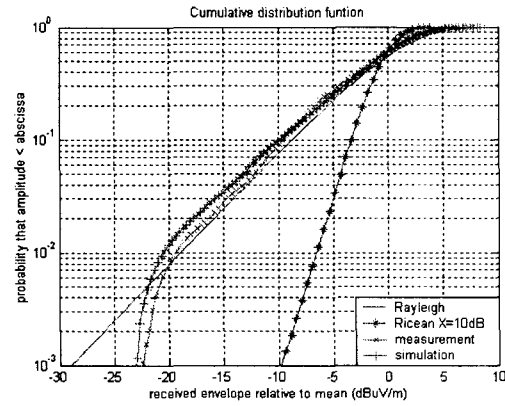
(a) Rx_1 신호레벨 포락선



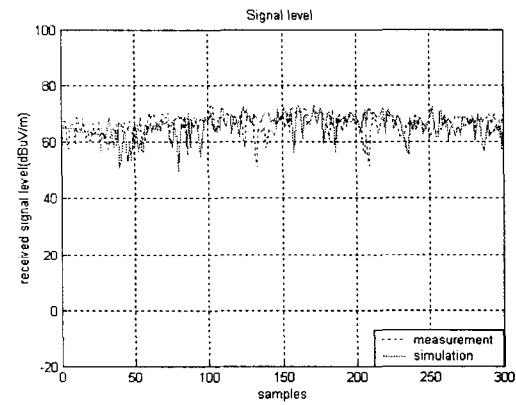
(b) Rx_1 누적분포



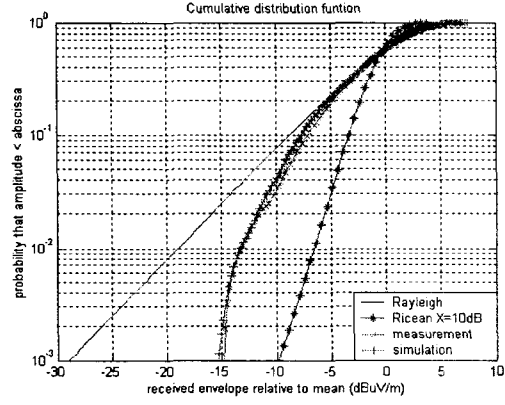
(c) Rx_2 신호레벨 포락선



(d) Rx_2 누적분포



(e) Rx_3 신호레벨 포락선



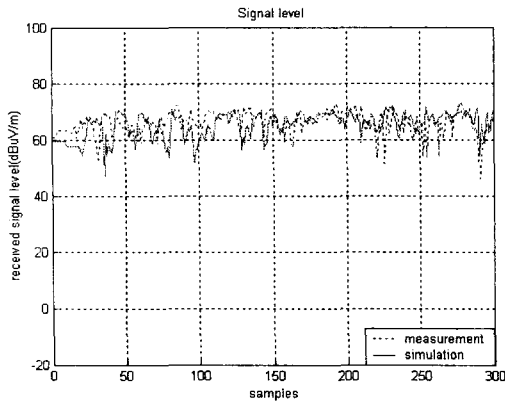
(f) Rx_3 누적분포

그림 3. 회의실에서 측정과 시뮬레이션 비교

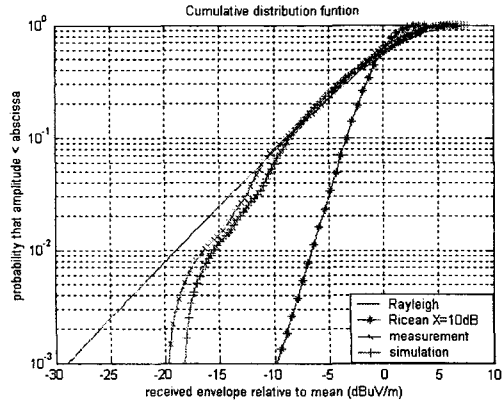
Fig. 3. A comparison between measurement and simulation at a conference room.

에서는 실내공간에서 패치가 차지하는 비율이 적기 때문에 위치에 따른 패치의 영향보다 수신위치에

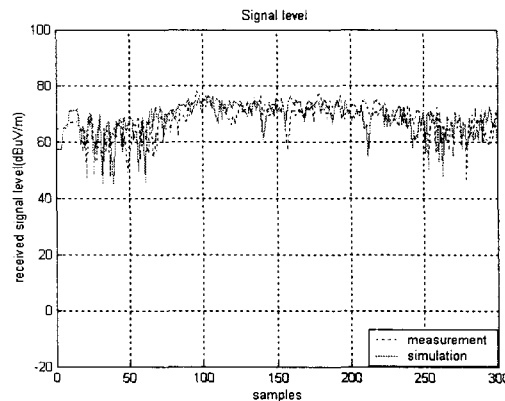
따른 영향이 더 크게 작용함을 알 수 있었다. 그림3의 신호레벨에서는 수신안테나의 위치가 Rx_1일 때



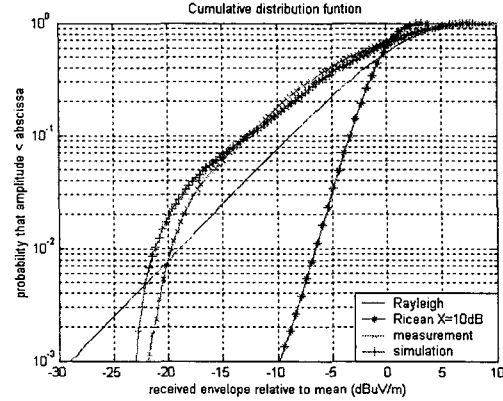
(a) Rx_1 신호레벨 포락선



(b) Rx_1 누적분포



(c) Rx_2 신호레벨 포락선



(d) Rx_2 누적분포

그림 4. 강의실에서 측정과 시뮬레이션 비교

Fig. 4. A comparison between measurement and simulation a a classroom.

가장 수신신호레벨이 높음을 알 수 있는데, 이것은 거리에 의한 손실에 있어서 Rx_1의 위치일 때 최소가 되기 때문이다. 또한 Rx_1과 Rx_2의 위치에서 Rx_3에 비해 신호의 변동이 심함을 볼 수 있는데 이것은 Rx_1과 Rx_2는 벽과 나무의 재질로 둘러싸인 구석으로써 반사면으로 둘러싸여 있기 때문이다. 따라서 그림 3의 누적분포에서 볼 수 있듯이, 페이딩 특성곡선은 수신안테나의 위치가 Rx_1과 Rx_2에 비해 Rx_3일 때, Ricean곡선 쪽으로 이동함을 볼 수 있었다. 이것은 수신안테나가 실내 공간의 중앙에 위치했을 경우 구석에 위치했을 경우보다 페이딩 특성이 더 좋음을 알 수 있고, 따라서 무선 접속 포인트(AP)의 위치를 Rx_3에 위치시켰을 때 가장 효율적이라고 말할 수 있다. 또한 측정과 시뮬

레이션의 비교에서는 신호레벨과 누적분포함수의 곡선이 유사함을 보임으로써 측정이 아닌 시뮬레이션만으로도 페이딩 특성을 예측하고, 무선 랜 접속 포인트 위치를 선정하는데 많은 도움이 될 것이라 생각한다.

그림 4는 강의실 환경에서의 페이딩 특성을 보여주고 있다. 강의실 환경의 실내구조는 수신안테나 주변에 패치의 수가 많으므로 수신안테나 위치에 따른 실내 전파 특성은 크게 다르지 않아 페이딩 특성에 크게 영향이 없음을 알 수 있었다. 그림 4의 전체적인 측정과 시뮬레이션의 비교결과 신호레벨은 $60 \text{ dB}\mu \text{ v/m}$ 의 정도에서 유사하게 변하고 있는데 이는 수신안테나의 위치에 상관없이 주변에 산란체들이 많으므로 비슷한 변화를 보여주고 있는 것이라

생각된다. 그림 4에서 누적분포함수의 비교에서는 신호레벨에서 예측된 바와 같이 Rx_1과 Rx_2의 위치와 상관없이 페이딩 특성 곡선이 Rayleigh 특성을 보이고 있음을 볼 수 있다. 따라서 실내 집기가 많은 환경에서는 무선 랜 접속 포인트의 위치를 구석에 설치하는 것이 성능과 미관상에 있어서 더 효과적일 것이라 생각된다.

3-2 시간지연확산

본 논문에서 시간지연확산의 측정은 최근 각광을 받고 있는 주파수 영역 변환방식에 의해 시간영역 특성을 측정하였다. 시간지연확산의 측정은 네트워킹 분석기를 사용하여 시간영역에서 측정하였다. 송·수신 부분이 하나의 몸체에 있기 때문에 따로 송·수신 사이의 동기를 맞출 필요는 없다. 주파수 대역을 2.3 GHz에서 2.5 GHz로 설정하여 측정점간의 시간은 5 ns로 수신파를 구별할 수 있었다. 실내 무선 랜의 무선 랜 접속 포인트를 송신으로 가정했으므로 송신 안테나의 높이를 3.47m로써 높게 설정하였으며, 수신안테나는 노트북이 놓일 수 있는 위치로써 0.85 m를 설정하여 측정하였다.

본 논문에서 측정한 환경은 그림 5에 나타내었다. 그림 5(a)의 체육관 환경은 29.7m × 19.1m × 7.4m로써 바닥은 나무재질로 구성되어 있으며, 다른 실내 공간에 비해 천장의 높이가 높다. 송신안테나의 위치를 실내 공간의 구석에 설치하였고, 모델링을 검증하기 위해 수신안테나의 2곳을 선정하여 측정과 시뮬레이션을 비교하였다.

그림 5(b)의 공항청사 환경은 실제 실내 무선 랜 서비스가 실시되고 있는 공간으로써 실내 공간은 157m × 33m × 4m로써 상당히 큰 공간이기 때문에 1개의 무선 랜 접속 포인트만으로는 전체의 공간을 서비스할 수 없다고 생각한다. 체육관 환경과 마찬가지로 모델링을 검증하기 위해 송신안테나를 오른쪽 중앙에 위치시키고, 수신안테나의 2곳을 선정하여 비교하였다. 실내 공간에는 15개의 기둥과 천장은 알루미늄 재질로 구성되어 있고, 출입문을 포함한 전면은 유리로 구성되어 있다. 송신안테나의 높이는 천장의 높이를 고려하여 3m로 설정하였으며, 수신안테나의 높이는 0.85 m로 설정하였다. 시간지

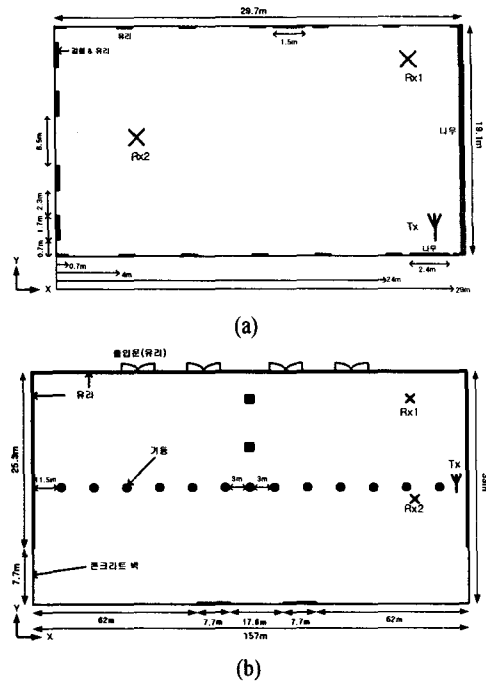
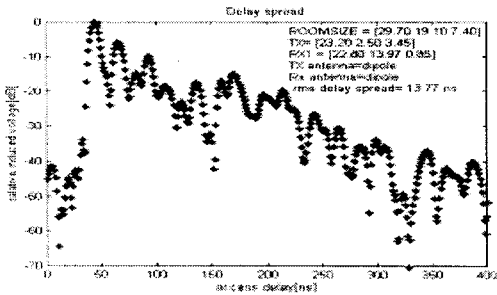


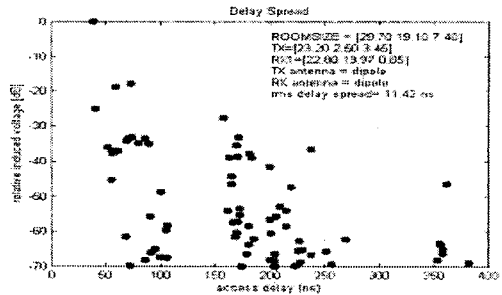
그림 5. 시간지연확산 측정 환경. (a) 체육관, (b) 공항청사

Fig. 5. Delay spread measured environments. (a) a gymnasium, (b) an airport office building.

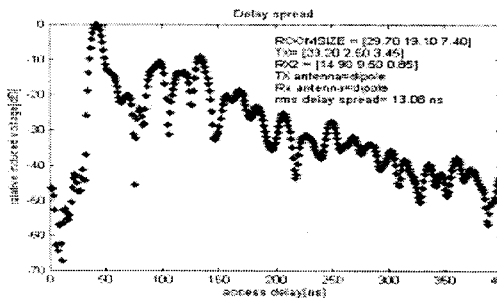
연확산을 검증하기 위한 장소로써 넓은 실내 공간인 체육관과 공항청사를 선정하여 측정과 시뮬레이션을 비교해 보았다. 그림 6은 체육관 환경에서의 측정과 시뮬레이션결과로써 수신안테나의 위치에 따른 시간지연확산의 결과를 보여주고 있다. 측정과 시뮬레이션의 rms 지연시간을 비교해 볼 때, 2ns 내의 오차를 보이고 있어, 측정과 시뮬레이션은 매우 유사한 특성을 보이고 있음을 알 수 있다. 그림 7의 공항청사 환경에서도 체육관 환경과 마찬가지로 측정과 시뮬레이션의 차이는 2ns 이하로써 유사한 특성을 보이고 있고, 전체적인 rms 지연시간도 15ns 이하로써 실내 무선 랜 서비스 사양에 만족한다. 이것은 공항청사가 체육관 환경보다는 훨씬 큰공간이지만 송·수신안테나는 LOS에 위치해 있고 주변에 반사체나 산란체가 거의 존재하지 않았기 때문에 비슷한 특성을 보이고 있다. 전체적인 비교에서는 실내 무선 랜 서비스의 rms 지연시간이 50 ns인 점을 감안할 때, 본 논문에서 측정한 rms 지연시간은



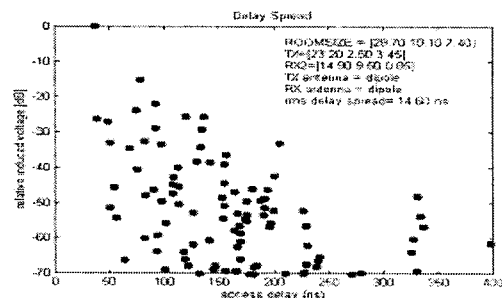
(a) Rx1에서의 시간지연확산(측정)



(b) Rx1에서의 시간지연확산(시뮬레이션)



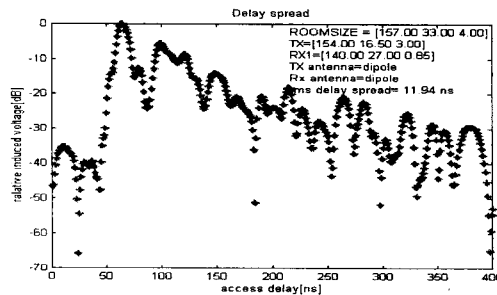
(c) Rx2에서의 시간지연확산(측정)



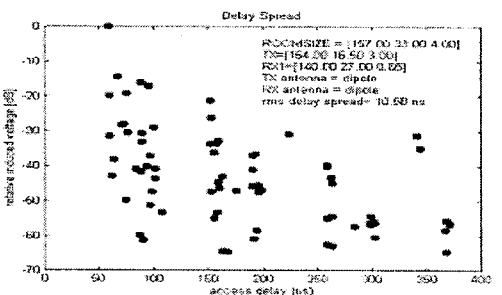
(d) Rx2에서의 시간지연확산(시뮬레이션)

그림 6. 체육관에서 시간지연프로파일 비교

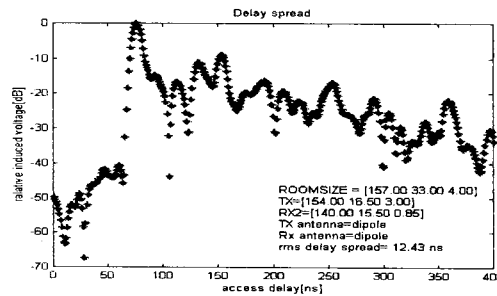
Fig. 6. A comparison of delay spread at a gymnasium.



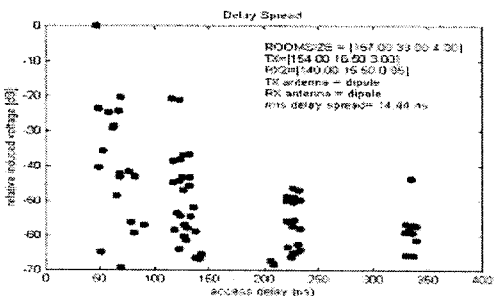
(a) Rx1에서의 시간지연확산(측정)



(b) Rx1에서의 시간지연확산(시뮬레이션)



(c) Rx2에서의 시간지연확산(측정)



(d) Rx2에서의 시간지연확산(시뮬레이션)

그림 7. 공항청사에서 시간지연프로파일 비교

Fig. 7. A comparison of delay spread at an airport office building.

표 1. RMS 시간지연 결과

Table 1. RMS delay spread results.

측정환경	송신안테나 위치	수신안테나 위치	RMS delay spread	
			측정결과[ns]	시뮬레이션 결과[ns]
체육관	Tx(오른쪽 아래) [23.2, 2.5, 3.45]	Rx1(왼쪽 중앙) [22.8, 13.97, 0.85]	13.77	11.42
		Rx2(오른쪽) [14.9, 9.5, 0.85]	13.08	14.6
공항청사	Tx(오른쪽 중앙) [154, 16.5, 3]	Rx1(오른쪽 위) [140, 27, 0.85]	11.94	10.58
		Rx2(오른쪽 중앙) [140, 15.5, 0.85]	12.43	14.44

15 ns 이하로써 실내 무선 랜 서비스에서의 rms 지연시간을 만족함을 보여주고 있다. 그러나 본 논문에서는 사람에 의한 영향을 고려하지 못했기 때문에 실제 서비스 환경에서는 본 논문에서 제시한 rms 지연시간보다는 더 커질 것으로 예상된다. 표 1은 측정과 시뮬레이션의 rms 지연시간을 비교하였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 ISM 대역에서의 실내 전파 특성 예측을 위한 모델링을 제안하였다. 모델링을 검증하기 위해 ISM 대역 중 2.4 GHz대역의 실내 무선 랜 서비스에 초점을 맞추어 측정과 시뮬레이션을 비교한 결과 매우 유사함을 검증하였다. 모델링의 방법으로써 실내 구조 및 물질에 대한 전기적 특성을 고려했으며, 실내 환경에 대한 분석이 중요한 파라미터로 작용했다. 따라서 실내 공간의 크기 및 실내 공간을 구성하고 있는 물질에 대한 분석을 입력파라미터로 분석하였고, 이에 대한 결과 파라미터로 수신 신호레벨과 페이딩 특성을 누적분포함수로써 나타내었다. 실내 무선 랜 서비스의 무선 랜 접속 포인트의 최적의 위치를 설정하기 위해 수신안테나를 이동하며 측정하였다. 따라서 회의실에서는 실내 공간의 중앙에 위치했을 경우 가장 좋은 페이딩 특성을 보였으며, 강의실에서는 수신안테나 위치와 상관없이 페이딩 특성이 유사했기 때문에 미관상 실내 공간의 구석에 설치하는 것이 최적의 위치라 판단된다. 이 두 공간에서의 차이는 실내 공간에서 패치가 실내공간에 차지하는 비율에 따라 영향을 받는다는 것을 알 수 있다. 또한 고정된 송·수신점에서 NA(Network Analyzer)를 이용하여 시간 영역에

서 시간지연확산을 측정하였다. 측정과 시뮬레이션의 비교에서 rms 지연시간이 유사하여 본 논문에서 제안한 모델의 시간지연확산에 대해 검증하였다.

본 논문에서는 활발한 서비스가 이루어지고 있는 ISM대역에서 수신신호레벨과 페이딩 특성 그리고 시간지연프로파일을 분석함으로써 실내 무선 랜뿐만 아니라 블루투스나 홈 네트워크와 같은 서비스에도 적용이 가능하며, 향후 5 GHz 대역에서의 실내 전파 특성을 예측하는데 유용하게 사용될 것으로 기대된다. 또한 서비스공간에서 본 논문에서 제안한 모델의 시뮬레이션만으로 페이딩 특성과 시간지연확산을 예측하여 최적의 무선 랜 접속 포인트의 위치를 선정하는데 도움이 될 것이다. 그러나 사람의 의한 전파의 영향에 대한 연구가 지속되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] Hans-Jurgen Zepernick and Tadeusz A. Wysocki, "Fading measurements at 2.4 GHz for the indoor radio propagation channel", *International Zurich Seminar*, pp. 171-176, 1998.
- [2] Hans-Jurgen Zepernick and Tadeusz A. Wysocki, "Multipath channel parameter for the indoor radio at 2.4 GHz ISM band", *IEEE 49th. Veh. Technol., Conference*, vol. 1, pp. 190-193, 1999.
- [3] 하덕호, "실내무선 전파환경에서의 페이딩 경감 대책과 수신전계강도 예측기법", 한국전자과학회지, 전자과학기술, 제10권 제1호, 1999. 3.
- [4] Manuel F. Catedra, *Cell Planning for Wireless Communications*, Artech House Inc., 1999.

[5] 석우찬, 김진웅, 석재호, 임재우, 윤영중, “패치 산란모델을 이용한 실내 전파모델링에 관한 연구”, 2001년도 한국전자과학회논문지, 제12권 제5호, pp. 722-733, 2001, 8.

[6] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, Inc., 2000.

[7] Ramakrishna Janaswamy, *Radiowave Propagation and Smart Antennas for Wireless Communi-*

cations, Kluwer Academic Publishers., 2001.

[8] E. F. Knott, D. J. Cichon and W. Wisebeck, *Radar Cross Section 2nd*, Norwood, MA, Artech House, 1993.

[9] William C. Y. Lee, *Mobile communications design fundamentals*, John Wiley & Sons, Inc., 1993.

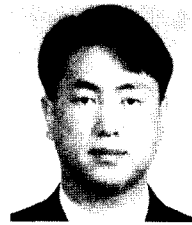
김진웅



ITS

2000년 2월: 명지대 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월: 연세대 대학원 전기 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재: LG 전자 정보통신연구원
 [주 관심분야] 전파전파 예측 및

석재호

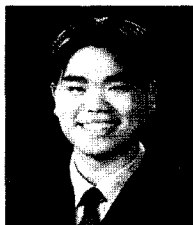


[주 관심분야] 위성통신 및 전파전파 예측

1989년 2월: 경희대 우주과학과 (공학사)
 1993년 2월: 연세대 대학원 천문대 기학과 (이학석사)
 1998년 8월: 연세대 산업대학원 전자공학과 (공학석사)
 1993년 4월~현재: 정보통신부 전

파연구소 공업연구원

김기홍



2001년 2월: 연세대 전자공학과 (공학사)
 2001년 3월~현재: 연세대 대학원 전기전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 전파전파 예측 및 채널 모델링

임재우



1995년 2월: 경원대 전자공학과
 1997년 2월: 경원대 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1997년 6월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구원
 [주 관심분야] 전파전파 예측 및 주파수 자원 관리

윤영중



1993년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 부교수
 [주 관심분야] 마이크로파, 안테나, 전파전파, 고온 초전도, EMI/EMC

1981년 2월: 연세대 전자공학과 (공학사)
 1986년 2월: 동 대학원 전자공학과 (공학석사)
 1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
 1992년~1993년: ETRI 위성통신기술연구원

신용섭



[주 관심분야] 전파전파 예측 및 주파수 자원 관리

1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 연세대학교 산업대학원 전자공학과 (공학석사)
 2000년 6월~현재: 정보통신부 전파연구소 소장
 2001년 2월 ~현재: 연세대학교 전기·전자공학과 박사과정