

패치산란모델을 이용한 실내 전파모델링에 관한 연구

A Study on Indoor Propagation Modeling using Patch Scattering Model

석우찬* · 김진웅** · 석재호*** · 임재우*** · 윤영중**

Woo Chan Seok* · Jin Woong Kim** · Jae Ho Seok*** ·
Jae Woo Lim*** · Young Joong Yoon**

요 약

본 논문에서는 영상법 기반의 3차원 광선추적법에 패치산란모델을 이용하여 실내 구조물을 고려할 수 있는 실내 전파모델링 방법을 제시하였다. 실내 구조물을 모델링하기 위한 패치산란모델은 패치형태의 직사각형 평면에 대한 RCS를 이용해서 입사에 대한 산란현상을 정의한 것으로써, 책상이나 테이블 같은 평면적인 실내 구조물에 대한 산란현상을 각각의 구조물에 대한 영상 안테나를 발생시키는 복잡한 과정 없이 간단하게 해석하기 위한 것이다. RCS는 간단히 입사 전력에 대한 산란 전력의 비로 정의되며 본 논문에서는 다양한 수신 각도에서 바라보는 bistatic RCS를 물리광학(Physical Optics)을 이용하여 수식적으로 유도하여 패치산란모델에 이용하였다. 또한 실내의 다중경로 성분에 대해 계산하지 않는 패치산란모델을 실내에 적용하기 위하여 복잡한 수식보다는 단순한 보정값인 실내보정값을 정의하였는데, 본 논문에서는 이 값을 다양한 패치 환경의 측정에 의한 경험적 상수로 처리함으로써 RCS의 고려만으로는 실내에 적용할 수 없는 점을 극복하였다.

Abstract

In this paper, we proposed the image-based 3D ray-tracing indoor propagation model using patch scattering model which can calculate the scattering phenomenon of the indoor structures. A patch scattering model for modeling indoor structures defines a scattering phenomenon by using RCS(Radar Cross Section) about rectangular patch without complex calculation, for example generating image antennas about each indoor structures. RCS is simply defined as a ratio of scattering power to incident power, and we use bistatic RCS which is simplified numerically by Physical Optics. Also, a simple indoor compensation factor is defined as empirical constant from measured data instead of complex numerical expression because basic patch scattering model cannot include important multipath components, so we can use patch scattering model in indoor environment using indoor compensation factor.

I. 서 론

실내 전파환경에 대한 모델링 연구는 최근 들어 활발해지고 있다. 특히, 차세대 통신의 서비스 영역

이 작아지면서, 실내와 같은 공간에서도 개별적인 셀을 설계하는 단계에 이르러 실내 공간의 전파환경에 대한 관심은 더욱 높아지고 있는 실정이다. 실내 전파환경은 매크로셀과는 달리 지역적인 특성이

*LG전자정보통신연구원(LG Electronics Inc., Research Eng.)
**연세대학교 전기전자공학부(Dept. of Electrical Electronic Eng., Yonsei University)
***정보통신부 전파연구소(Radio Research Lab., Ministry of Information and Communication)
· 논문번호 : 20010223-023
· 수정완료일자 : 2001년 6월 20일

강하므로, 통계적 모델을 만들어 적용하기 어려운 점이 있다. 그래서, 많은 경우가 전파의 경로를 빛으로 등가하여 전계 및 자계를 계산하는 기하광학(geometrical optic) 및 UTD(Uniform Theory of Diffraction)를 이용한 광선추적법(ray tracing)^[1]을 이용하여 실내 전파특성을 모델링 하였다. 광선추적법은 두 가지 접근방법이 있는데 하나는 레이론칭 기법으로써, 전방향으로 레이를 발사하여 수신구 내에 수렴하는 경로만 계산하며, 복잡한 구조에서도 계산이 가능하나 많은 계산시간과 수신구에 의한 오차가 크다는 것이 단점이다. 다른 하나인 영상법 접근방법은 영상법에 의한 영상안테나로부터 경로를 구하고 계산함으로써 수신단에 정확히 수신되는 경로만 계산하므로 빠르고 정확하지만 복잡한 환경, 예를 들어 내부에 실내 구조물이 존재하거나 많은 벽들로 인해 구분 지어진 공간 등에 적용하기 어려운 단점이 있다. 본 논문에서는 영상법 기반의 광선추적법에서 이용될 복잡한 내부 구조를 고려하기 위한 방법으로 패치산란모델을 제시하였다. 패치산란모델은 사물의 RCS로부터 편파별 산란 행렬을 구하는 것으로, 책상과 같은 평면 형태에 대한 산란현상을 효과적으로 모델링할 수 있다. 본 논문에서는 이 패치산란모델을 이용해 실내 집기를 모델링 하였으며, 이에 대한 결과를 여러 환경에서 측정과 시뮬레이션을 비교함으로써 모델에 대한 검증을 하였다.

II. 모델링 접근 과정

2-1 영상법을 이용한 실내 전파모델

본 논문에서는 실내 채널상의 전파경로를 추적하기 위하여 유전체 공동모델 영상법을 이용하였다. 그림 1은 유전체 공동모델에 대해 나타내었다. 이는 실내 환경의 전형적 구조라고 할 수 있는 직육면체 구조의 사무실 환경이나 직육면체 구조를 확장한 형태의 복도 환경 등과 같이 단순한 구조의 전파환경의 경우 반사면에 대한 영상 안테나를 유전체 공동을 발생시킴으로써 얻게 되어, 레이론칭 기법에 비해 계산 속도가 빠르고 정확한 예측이 가능하기 때문이다.

영상법 기반 전파모델의 특징은 송수신 안테나의

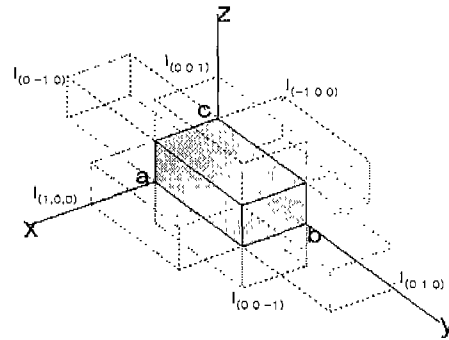


그림 1. 유전체 공동모델(1차 반사 영상 공동의 위치와 상대 좌표)

Fig. 1. Dielectric cavity model(The position of 1st order reflection image cavities and relative coordinates).

빔패턴 및 편파를 고려할 수 있다는 것이다. 각각의 경로는 송신안테나의 발사각에 대한 안테나 이득과 편파벡터를 가지고 출발하며, 벽면에서는 입사면에 대한 직교성분과 평행성분으로 나뉘어 계산되고 수신단에서는 진행에 의한 편파성분과 수신안테나의 입사각에 대한 안테나 이득과 편파성분이 경로손실 계산에 포함되므로, 기존의 경로손실 계산에 비해 보다 정확한 결과를 나타낼 수 있다. 또한, 편파를 고려하게 됨에 따라 기본적인 전계강도 예측 및 시간지연 프로파일 외에도 편파 다이버시티 성능 평가와 같은 편파 성분에 의한 결과도 나타낼 수 있다^[2]. 그림 2는 직육면체 공간에 대한 영상법 기반의 광선추적법에 의해 수행된 전파경로의 예이다.

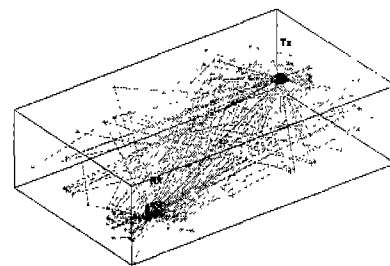


그림 2. 광선추적법에 의한 전파경로의 예

Fig. 2. An example of ray paths by a ray tracing method.

2-2 패치산란모델

실내 구조물이나 집기 등에 의한 전파의 산란현상은 패치산란모델을 통해 개개의 영상안테나를 발생시키지 않고서 모델링이 가능하다. 패치산란모델은 그림 3에서 나타낸 것과 같이 실내 구조물의 가장 많은 모양인 직사각형의 형태에 대한 RCS를 이용하여 입사 필드에 대한 산란 필드를 정의한 것이며, 이 정의의 산란행렬[3]은 식 (1)과 같이 주어진다. 이때 E^i 는 입사 필드이며, $[S]$ 는 패치에 의해 정의되는 산란행렬, E^s 는 산란 필드이다.

$$\begin{bmatrix} E_{\perp}^s \\ E_{\parallel}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{\perp}^i \\ E_{\parallel}^i \end{bmatrix} \quad (1)$$

위의 산란행렬($[S]$)은 패치의 bistatic RCS에 의해 얻어진다. 식 (2)는 산란행렬값 (S_{lk})을 나타내며, σ_{lk} 는 패치의 RCS, d_{sj} 는 패치로부터 수신점까지의 거리를 나타낸다.

$$S_{lk} = \frac{\sqrt{\sigma_{lk}}}{\sqrt{4\pi d_{sj}}} \quad (l, k = 1, 2) \quad (2)$$

패치의 bistatic RCS는 기하광학이론(physical optics)의 Stratton-Chu 적분공식^[4]으로부터 얻을 수 있다. 직사각형 형태의 패치에 대해 적분을 수행하면 식 (3)을 얻을 수 있으며, 그림 3에서 정의된 좌표축에 의해 식 (3)은 식 (4)로 나타낼 수 있다. 여기서 \hat{n} 은 입사면의 법선벡터, \hat{e}_r 은 산란파의 전계 편파

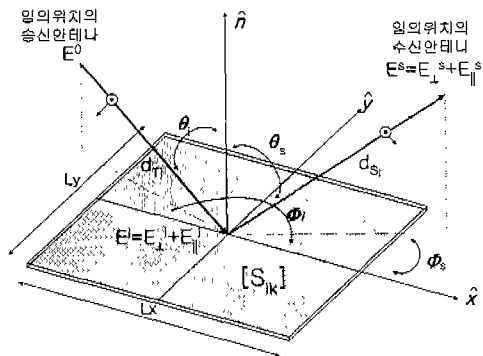


그림 3. 패치산란모델의 정의
Fig. 3. The definition of patch scattering model.

단위벡터, \hat{n}_i 은 입사파의 자계 편파 단위벡터, $\overline{\gamma_0}$ 는 원점으로부터의 옵셋 위치벡터, \hat{i} 와 \hat{s} 는 입사파와 산란파의 단위벡터 그리고 \overline{W} 와 \overline{L} 는 패치의 폭과 길이에 대한 벡터이다.

$$\begin{aligned} \sqrt{\sigma_{lk}} = & -i \frac{LW}{\sqrt{\pi}} \hat{n} \cdot \hat{e}_r \times \hat{n}_i e^{ik\overline{\gamma_0} \cdot (\hat{i} - \hat{s})} \\ & \cdot \frac{\sin[(1/2)k\overline{L} \cdot (\hat{i} - \hat{s})]}{(1/2)k\overline{L} \cdot (\hat{i} - \hat{s})} \\ & \cdot \frac{\sin[(1/2)k\overline{W} \cdot (\hat{i} - \hat{s})]}{(1/2)k\overline{W} \cdot (\hat{i} - \hat{s})} \end{aligned} \quad (3)$$

$$\begin{aligned} \sigma_{lk} = & \frac{k^2}{\pi} (L_x L_y) \left(\frac{\sin(k\xi_x L_x/2)}{k\xi_x L_x/2} \right)^2 \\ & \cdot \left(\frac{\sin(k\xi_y L_y/2)}{k\xi_y L_y/2} \right)^2 |\gamma_{lk}|^2 \end{aligned} \quad (4)$$

$$\begin{aligned} \xi_x &= \sin \theta_i \cos \varphi_i - \sin \theta_s \cos \varphi_s \\ \xi_y &= \sin \theta_i \sin \varphi_i - \sin \theta_s \sin \varphi_s \\ \gamma_{11} &= \sin \theta_s \sin \theta_i \cos \theta_i \\ & \cdot (\sin \varphi_s \sin \varphi_i + \cos \varphi_s \cos \varphi_i) \Gamma_{\perp}(\theta_i) \\ \gamma_{12} &= \sin \theta_s \cos \theta_s \sin \theta_i \cos \theta_i \\ & \cdot (\sin \varphi_s \cos \varphi_i - \cos \varphi_s \sin \varphi_i) \Gamma_{\parallel}(\theta_i) \\ \gamma_{21} &= \sin \theta_s \sin \theta_i \\ & \cdot (\cos \varphi_s \sin \varphi_i - \sin \varphi_s \cos \varphi_i) \Gamma_{\perp}(\theta_i) \\ \gamma_{22} &= \sin \theta_s \cos \theta_s \cos \theta_i \\ & \cdot (\cos \varphi_s \cos \varphi_i + \sin \varphi_s \sin \varphi_i) \Gamma_{\parallel}(\theta_i) \end{aligned} \quad (5)$$

$$\begin{aligned} \Gamma_{\parallel}(\theta_i) &= \frac{\epsilon_r \cos \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}}{\epsilon_r \cos \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}} \\ \Gamma_{\perp}(\theta_i) &= \frac{\cos \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}} \end{aligned} \quad (6)$$

$$\rho_s = I_0 \left[8 \left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] \exp \left[-8 \left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (7)$$

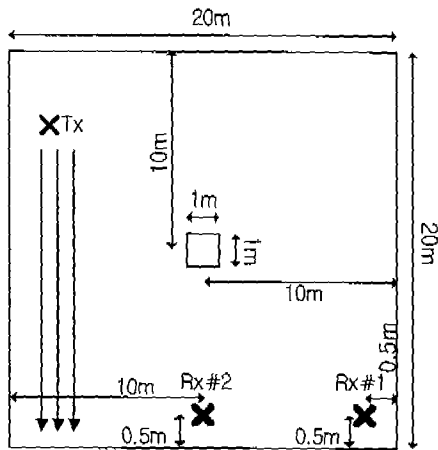
식 (5)에서의 Γ_{\perp} 와 Γ_{\parallel} 는 식 (6)에 나타내었으며, 전계의 편파 벡터가 입사면에 대해 직교할 경우와 평행할 경우의 프레넬 반사계수이다. 프레넬 반사계수는 패치의 표면에 대한 거침 정도를 고려하는 식 (7)과 같은 거침손실값(ρ_s)이 포함되어 계산된다. 식 (7)에서 σ_h 는 표면거침의 표준편차 값이다. 그림 4는 패치산란모델의 시뮬레이션을 위한 환경이다. 그림 5와 그림 6은 패치산란모델에 의한 수신신호

레벨을 20 m×20 m의 공간에 나타낸 그림이다. 송수신 안테나는 수직편파를 가지는 다이폴 안테나로 놓았으며, 패치 1개의 크기는 1 m×1 m이며 공간의 중앙을 중심으로 하여 1개 및 9개로 배치한 것이다. 주파수는 1,890 MHz이며 패치의 표준편차와 유전율은 각각 0.001과 2-j0.0029이다. 그리고 고정된 수신 위치에 대해 송신기의 위치는 전체 면적에 일정한 간격으로 위치시켜 역방향 링크(reverse link)의 개념으로 나타내었다. 그림 5와 6에서 보여지듯이, 패치에 의한 영향은 수신안테나의 위치에 따라서 크

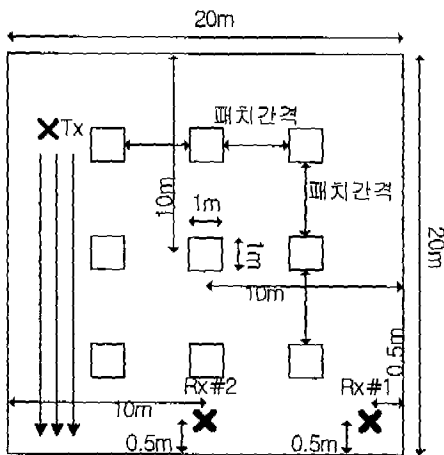
게 변하며, 패치의 개수가 많을수록 보다 많은 영역에서 영향을 미친다.

전파모델 내에서 패치산란모델은 주로 책상이나 테이블과 같은 평면을 지니는 구조에 대해 적용이 용이하다. 표면거침에 대한 효과도 고려할 수 있으므로, 여러 가지 집기가 놓여있는 경우에는 식 (7)에서 정의한 거침 정도의 표준편차를 대입하여 그 영향을 모델 내에 포함시킬 수 있다.

RCS에 의한 패치산란모델은 패치에 의한 다중경로는 포함하지 않는다. 하지만 실내공간에서는 패치에 의한 다중경로 등의 영향이 생기므로 그림 7과 같은 차이가 나타난다. 그림 7은 임의의 한 실내공

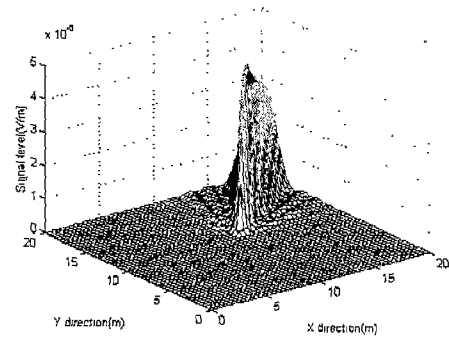


(a) 패치가 1개일 경우의 환경

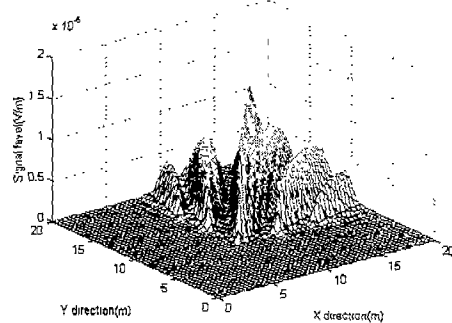


(b) 패치가 9개인 경우의 환경

그림 4. 패치산란모델의 시뮬레이션을 위한 환경 설정
Fig. 4. A measured sites for simulation of patch scattering model.

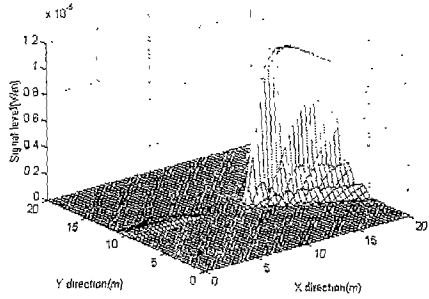


(a) 1개의 패치,
(a) 1 patch

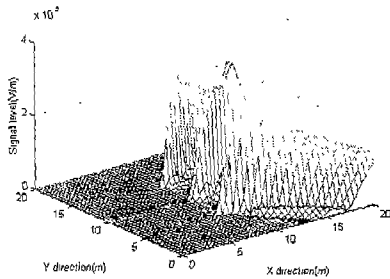


(b) 9개의 패치
(b) 9 patches

그림 5. 수신 위치가 (0.5 m, 0.5 m, 2.5 m)일 경우의 수신신호레벨
Fig. 5. Received signal levels at a Rx point (0.5 m, 0.5 m, 2.5 m).



(a) 1개의 패치
(a) 1 patch,



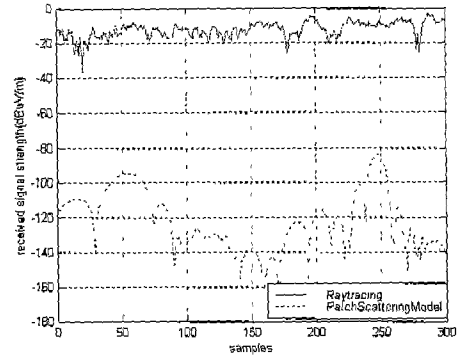
(b) 9개의 패치
(b) 9 patches

그림 6. 수신 위치가 (0.5 m, 10 m, 2.5 m)일 경우의 수신신호레벨

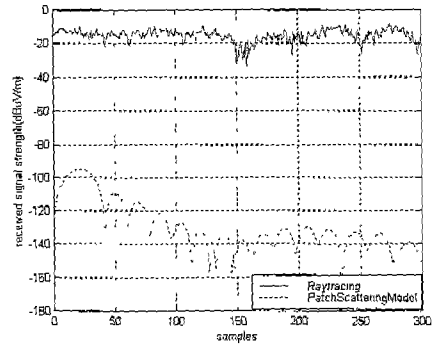
Fig. 6. Received signal levels at a Rx point(0.5 m, 10 m, 2.5 m).

간에 대해 실선은 내부에 아무 집기가 없는 공간 자체만을 광선추적법으로 시뮬레이션 한 결과이며 점선은 실내공간 내에 존재하는 실내 집기에 대해 RCS를 적용하여 시뮬레이션한 결과를 나타내었다. 이와 같이 RCS 수치를 그대로 적용한 경우엔 패치에 의한 신호의 세기는 너무 작아서 전체 시뮬레이션 결과에 영향을 미치지 못하게 된다. 하지만 실내 집기를 고려했을 경우, 더 정확한 실내 환경 예측이 가능하므로 실내 집기를 고려하기 위해 본 논문에서는 패치에 의한 다중경로의 변화를 측정을 통해 가장 적절한 실내보정값으로 설정하였다. 식 (8)에서 ρ_c 는 실내보정값이며, E_s 는 식 (1)로 부터 얻어진 값이다.

$$E_s' = \rho_c E_s \quad (8)$$



(a) 임의의 두 경로
(a) arbitrary two paths



(b) 임의의 두 경로
(b) arbitrary two paths

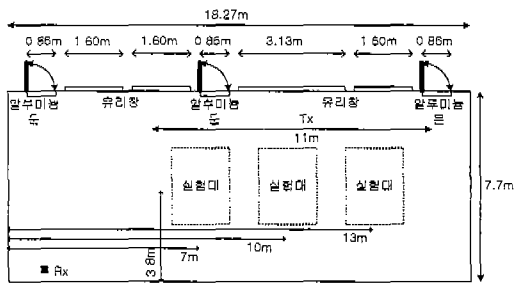
그림 7. 실내공간에서 광선추적법과 패치산란모델에 의한 신호레벨 비교

Fig. 7. A comparison of signal levels by ray tracing and patch scattering model in an indoor space.

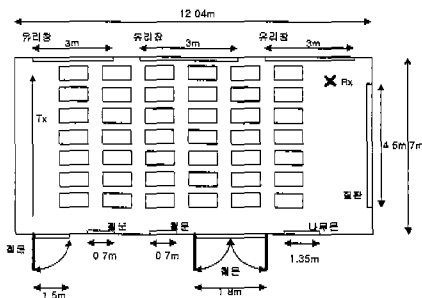
III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

3-1 패치산란모델의 실내 적용

실내보정값을 찾기 위해 두 장소에서 패치의 배치를 달리하면서 측정 데이터를 수집하였다. 측정환경은 그림 8과 같다. 실험실에서는 내부에 아무런 집기가 없는 경우와 실험대 3개를 일정 간격으로 배치한 경우, 그리고 하나의 실험대를 두 개로 분리하여 총 6개의 실험대 패치를 배치한 경우로 하여 세 종류의 배치에 대한 측정을 실시하였다. 그리고



(a) 실험실
(a) a experiment room



(b) 강의실
(b) a class room

그림 8. 실내보정값을 찾기 위한 측정 환경
Fig. 8. A measured sites for an indoor compensation factor.

강의실에서는 내부에 아무 집기가 없는 경우와 책상이 32개 놓여있는 경우 마지막으로 64개가 놓여있는 경우에 대해 측정을 실시하였다. 그리고 표 1은 측정을 위한 파라미터에 대해 나타내었고, 표 2는 반사면의 재질별 전기적 특성을 나타내었다.

실내보정값을 결정하기 위해 그림 7의 신호레벨 차이를 대략적으로 고려하여 10, 100, 1,000의 가정값을 두고, 이를 측정치와 시뮬레이션 값을 비교하여 100으로 결정하였다. 각각의 환경에 대해서 가장 정확하게 일치하는 값을 찾을 수도 있겠지만, 본 논문에서의 모델은 일반적인 경우에 대한 결과를 나타내기 위해 실내보정값을 100으로 두었다. 그러나 경험적 보정상수의 특성상 측정 데이터가 많을수록 보다 일반적인 상수를 얻을 수 있다.

실험실에 대한 시뮬레이션은 위 측정과 동일한 환경 및 조건으로 수행하였다. 실험대를 모델링할 경우 거침이 거의 없는 완전평면이므로 패치의 거

표 1. 측정을 위한 파라미터

Table 1. Parameters for measure.

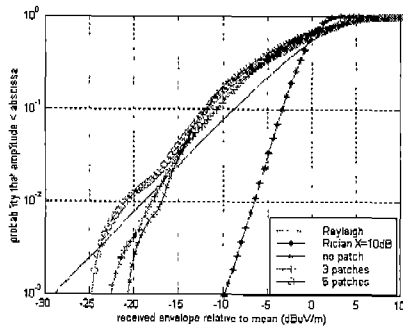
파라미터	실험실	강의실
주파수	1890 MHz	1890 MHz
크기	18.27 m × 7.7 m × 3.4 m	12.04 m × 7 m × 3.3 m
송수신 안테나	수직편파 다이폴	수직편파 다이폴
송신 위치 (m)	(16.6, 6, 1.27) ⇒ (5.6, 6, 1.27)	(10.84, 0.56, 1.67) ⇒ (10.84, 5.87, 1.67)
수신 위치 (m)	(1.24, 0.6, 2.4)	(1.2, 0.7, 2.45)
송신 장비	HP8664A	HP8664A
수신 장비	Anritsu ML524 B	Anritsu ML524 B
패치의 배치	실험대 3개, 실험대(1/2) 6개	책상 32개, 책상 64개

표 2. 반사면의 재질별 전기적 특성(@1890MHz)

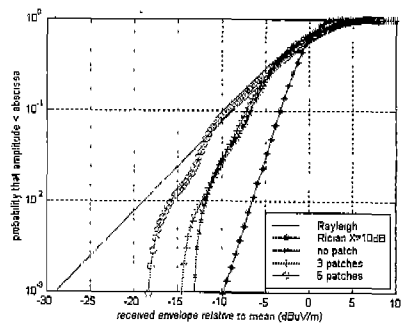
Table 2. Material parameters of reflect plane (@ 1890MHz).

반사면 재질	도전율[S] σ	비유전율 ϵ	표면거침[m] h
Half height windows	5×10^{-4}	3	2×10^{-3}
Solid reinforced concrete	5×10^{-3}	2.7	2×10^{-3}
Plasterboard & steel frame	5×10^{-2}	3	1×10^{-3}
Plasterboard & timber frame	5×10^{-3}	2.7	1×10^{-3}
Metal	9×10^6	1	0
Timber door	3×10^{-4}	2	1×10^{-3}

침정도에 대한 값을 0으로 두었다. 그리고 실내보정값은 100으로 하였다. 모델의 검증용 위해서 비교한 부분은 페이딩 특성과 신호레벨의 크기이며 페이딩 특성은 신호레벨의 누적분포(CDF)의 형태로 나타내었으며, 신호레벨의 크기는 경로의 샘플 개수에 대한 신호의 포락선 형태로 나타내었다. 신호레벨의 누적분포 곡선은 Rayleigh 페이딩에 의한 곡선과 $X=10$ dB에서의 Rician 페이딩에 의한 곡선을 동시에 나타내어 페이딩의 특성을 한번에 파악하기 쉽도록 하였다. 측정과 시뮬레이션에 의한 곡선이 비슷한 값을 가질 때 둘은 비슷한 페이딩을 겪는다는 것을



(a) 측정
(a) measure

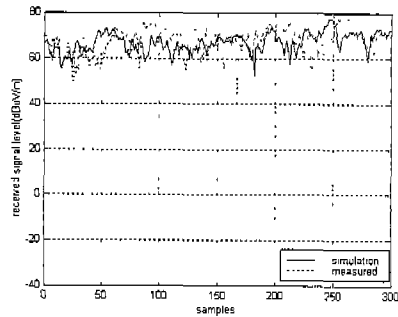


(b) 시뮬레이션
(b) simulation

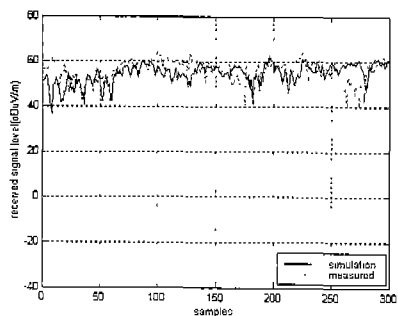
그림 9. 실험실의 누적분포 비교
Fig. 9. A comparison of cumulative distributions at an experiment room.

알 수 있다. 포락선 비교는 단지 페이딩 비교만으로는 모델의 정확성을 검증할 수 없는 광선추적법의 특징 때문이다. 페이딩이 동일할 경우라도 포락선의 형태는 서로 다를 수 있으며, 실제 환경을 모델링하는 광선추적법에서는 포락선의 형태가 비슷하게 나와야만 한다. 또한 측정과 시뮬레이션 비교 시에는 둘 사이의 오차도 감안해야 하는데, 가장 크게 영향을 미치는 오차로는 송신 경로에서 일정한 속도로 이동하지 못하여 시뮬레이션과 같이 경로에 대해 일정하게 샘플링하지 못하는 경우 생기는 오차와, 실제 환경과 모델링된 환경이 정확하게 일치 못할 경우 생기는 오차가 있다. 그림 9는 실험실에 대한 신호 레벨의 누적분포이다. 측정과 시뮬레이션 값을 비교하였는데, 실험대가 없는 환경에서 신호레벨의 1%

위치에서 5 dB정도의 차이가 있는 것을 감안하면 패치산란모델은 실험대의 변화에 따른 페이딩 변화를 잘 설명하고 있다. 또한 실험대를 반으로 나누어 따로 위치시킨 경우에서 보다 큰 페이딩 현상을 보이는 것은 패치의 전체 면적이 동일함에도 불구하고 보다 큰 산란현상을 나타내는 것이며, 패치산란모델 또한 이 변화를 비슷하게 설명하고 있다. 그림 10은 같은 환경에서 신호레벨의 포락선을 비교한 것인데 측정과 시뮬레이션이 비슷한 결과를 보였다. 그러므로 이 환경에서는 100의 실내보정값은 측정값과 비슷한 결과를 가져옴을 알 수 있다. 강의실에서는 책받침이 달려있는 책상의 분포에 따른 측정 및 시뮬레이션을 수행하였다. 앞의 실험실 측정환경과 다른 점은 패치의 크기가 보다 작을 뿐 아니라 완전평면



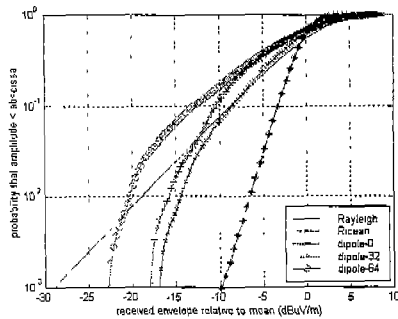
(a) 3개의 패치
(a) 3 patches



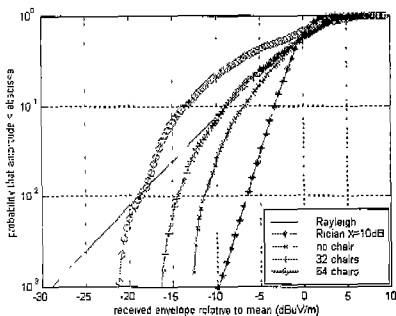
(b) 6개의 패치
(b) 6 patches

그림 10. 실험실의 신호레벨 포락선 비교
Fig. 10. A comparison of signal envelopes at an experiment room.

이러기보다는 3차원 구조물에 가깝다는 것이다. 그리고 패치의 개수 또한 64개이기 때문에 작은 구조물이 많이 있는 실내에 대한 모델링으로 볼 수 있다. 이 환경의 시뮬레이션에서는 의자를 모델링하기 위해서 패치의 거침 정도를 0이 아닌 다른 값을 대입해야만 한다. 표면거침의 표준편차값은 표면의 모양에 의해 결정되는데 책상의 표면은 크게 앉는 부분과 책받침 부분으로 나누고 앉는 부분의 높이를 0.5 m 책받침 부분의 높이를 0.7 m 그리고 전체면적의 1/2씩 차지한다고 가정하면 표준편차는 0.01이 되므로 이 값을 대입하여 시뮬레이션 하였다. 그림 11은 신호레벨의 누적분포를 비교한 것이며, 그림 12는 신호레벨의 포락선을 비교한 것이다. 측정과 시뮬레이션은 비슷한 값을 보여준다. 그러므로 두 환경에서 실내보정값 100은 측정과 비슷한 시뮬레이션 결

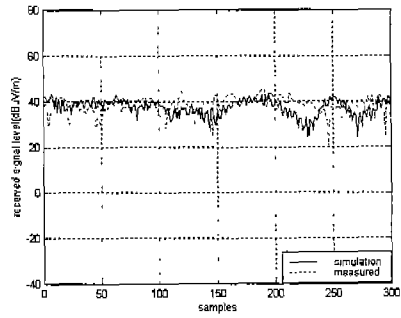


(a) 측정
(a) measure

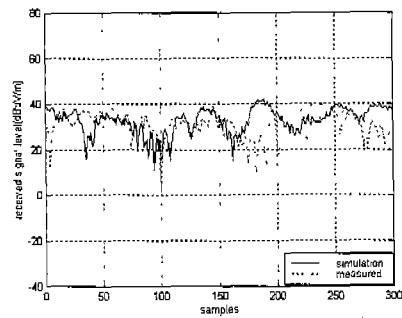


(b) 시뮬레이션
(b) simulation

그림 11. 강의실의 누적분포 비교
Fig. 11. A comparison of cumulative distributions at a class room.



(a) 32개의 책상
(a) 32 desks



(b) 64개의 책상
(b) 64 desks

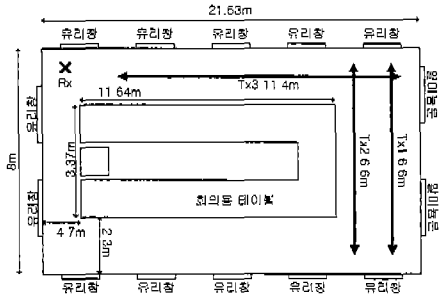
그림 12. 강의실의 신호레벨 포락선 비교
Fig. 12. A comparison of signal envelopes at an class room.

과를 보여주었다.

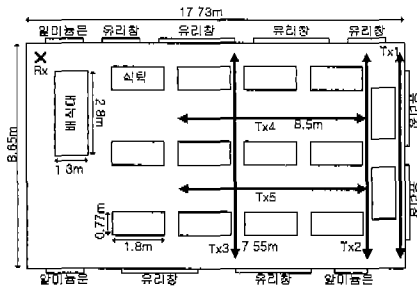
3-2 모델링 검증

본 절에서는 1절에서 얻어진 실내보정값 100을 이용해서 실제 측정과의 비교를 수행하였다. 송수신 장비 구성은 1절과 같으며, 다음 그림 13의 두 장소에서 실험을 하였고, 표 3은 측정 환경별 특성을 정리하였다.

그림 14는 환경 1에서의 결과를 나타낸 것이다. 패치산란모델에 포함되어야할 거침 정도는 테이블 밖으로 나와 있는 주변의 의자들을 고려하여 계산된 값인 약 0.008에서 테이블 위의 짐기를 고려하기 위해 좀 더 큰 0.01로 두었으며, 실내보정값은 100을 사용하였다. 결과에서 보면 측정과 시뮬레이션은 잘 일치함을 알 수 있다. 또한 환경 1에서의 페이딩 특



(a) 세미나실
(a) a seminar room



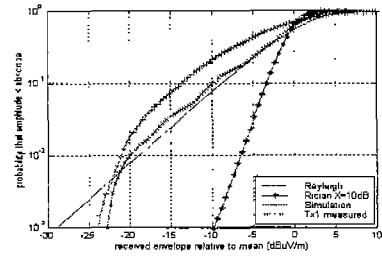
(b) 식당
(b) a dining room

그림 13. 모델링 검증을 위한 측정 환경
Fig. 13. Measured sites for modeling verification.

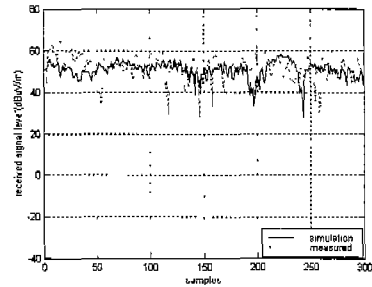
표 3. 측정 환경별 특성
Table 3. Characteristics of measured sites.

#	장소	크기(m)	비고
1	세미나실	21.63 × 8 × 2.88	'ㄷ'자 모양의 나무 테이블이 중앙에 존재 테이블 주변부에 나무 의자 포함
2	식당	17.73 × 8.65 × 3.43	14개의 나무 식탁 및 1개의 스테인리스 배식대 존재

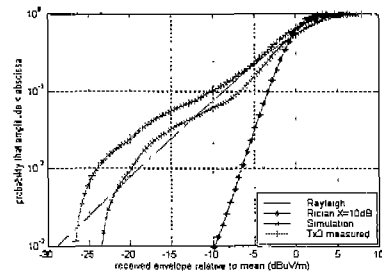
성은 가시거리임에도 불구하고 실내공간이라는 점 때문에 Rician 분포보다 Rayleigh 분포 쪽에 가까운 페이딩 특성을 보여준다는 것도 알 수 있다. 포락선의 비교에서 평균적 레벨의 변화는 측정과 시뮬레이션이 잘 일치하는 편이다. Tx1, Tx3 사이의 평균 신호레벨의 차이는 거의 없는데, 다중경로가 많은



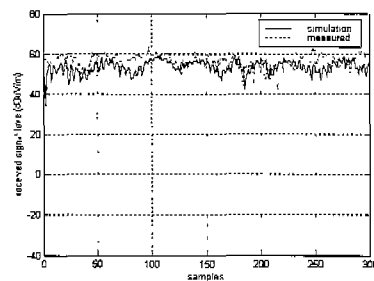
(a) Tx1 CDF
(a) Tx1 CDF



(b) Tx1 신호레벨 포락선
(b) Tx1 signal envelope

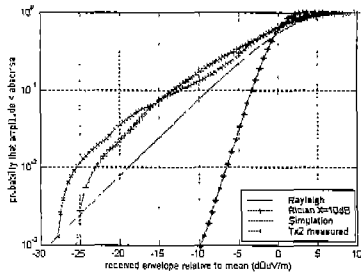


(c) Tx3 CDF
(c) Tx3 CDF

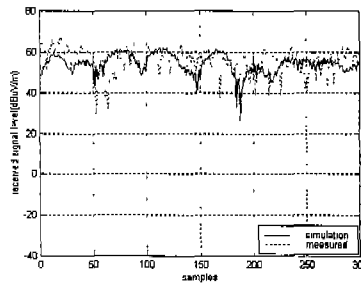


(d) Tx 3 신호레벨 포락선
(d) Tx 3 signal envelope

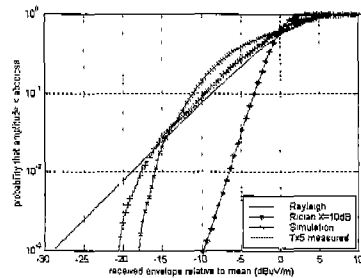
그림 14. 환경 1에서의 측정과 시뮬레이션 비교
Fig. 14. Comparisons between measures and simulations at site 1.



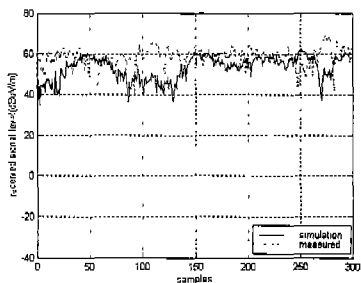
(a) Tx2 CDF
(a) Tx2 CDF



(b) Tx2 신호레벨 포락선
(b) Tx2 signal envelope



(c) Tx5 CDF
(c) Tx5 CDF



(d) Tx5 신호레벨 포락선
(d) Tx5 signal envelope

그림 15. 환경 2에서의 측정과 시뮬레이션 비교
Fig. 15. Comparisons between measures and simulations at site 2.

실내 공간에서의 특징이다.

그림 15는 환경 2에서의 결과를 나타낸 것이다. 패치산란 모델에서는 식탁 및 식탁 안으로 들어가 있는 의자의 거침을 고려하여 계산된 0.001의 값을 사용하였으며, 실내보정값은 100을 사용하였다. Tx2와 Tx5를 대표적으로 나타내었는데, Tx5의 신호레벨의 포락선에서의 차이는 측정과 시뮬레이션에서의 레벨 샘플링 간격이 일치하지 않아서 읊셋된 형태로 나타났기 때문이다.

지금까지의 실험결과에 의하면 표면거침의 표준편차값은 강의실의 의자, 의자가 밖으로 나와 있는 회의용 테이블 등에 대한 모델링에서는 0.01, 아무것도 놓여있지 않고 의자가 안으로 들어가 있는 식탁 등에 대한 모델링에서는 0.001 그리고 아무런 표면거침이 없는 실험대 등에 대한 모델링에서는 0을 사용하였다. 이 값들은 수 차례의 시뮬레이션에 의해 측정 환경내의 모든 경로에서 타당한 결과를 가지도록 약간 수정된 값으로, 보다 많은 측정을 할 경우 더 다양하면서 정확한 값을 가질 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 영상법을 이용한 3차원 광선추적법을 사용하는 실내 전파모델에 실내구조물을 모델링하기 위한 패치산란모델을 제시하였다. 이는 영상법의 단점인 복잡한 구조에 대한 모델링의 단점을 극복하기 위한 방법의 하나로 나타내었으며, 측정과 패치산란모델을 이용한 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 이를 증명하였다. 패치산란모델은 직사각형 모양의 패치형태의 실내구조물을 모델링하는데 효과적이며, 패치에 대한 거침 정도의 표준편차를 이용하여 완전 평면이 아닌 임의의 모양이 존재하는 경우에도 모델링이 가능하다. 패치산란모델에 사용되는 실내보정값은 RCS를 실내에 사용하게 되므로 생기는 낮은 레벨값을 보상해주는 값으로, 측정을 통하여 100정도의 값을 사용하는 경우, 패치에 의한 산란현상을 효과적으로 고려할 수 있었다. 또한 패치의 표면거침에 대한 표준편차값을 고려할 수 있게 함으로써 보다 일반적인 실내 구조물에 대한 모델링을 가능하였다. 앞으로 보다 다양한 공간에서의 측정을 통해, 구조별 실내보정값의 카테고리를 구하

게 된다면 일반적인 실내공간에 대한 전파특성 해석이 가능할 것으로 보인다.

참 고 문 헌

[1] Manuel F. Catedra, *Cell Planning for Wireless Communications*, Artech House Inc., 1999.

[2] Giovanni Emanuel Corazza, "A Characterization of Indoor Space and Frequency Diversity by Ray-Tracing Modeling," *Journal on Selected Areas in Communications*, vol. 14, no. 3, pp. 411-419, 1996.

[3] G. T. Ruck, D. E. Barrick, W. D. Stuart and C. K. Krichbaum, *Radar Cross Section Handbook*. New York, Plenum, 1970.

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

[5] G. E. Athanasiadou and 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-Volume 3, pp.1161-1165.

[6] P. F. Driessen, "Development of a propagation model in the 20~60 GHz band for wireless communications", *Proc. IEEE Pac. Rim Conf. on Comm., Comp., Sig. Proc.*, May 1991, pp. 59-62.

[7] G. T. Martin, M. Faulkner and M. A. Beach, "Wide Band Propagation Measurements and Ray Tracing Simulations at 1890 MHz", *Proceedings of the 1995 4th IEEE International Conference on Universal Personal Communications*, pp.283~287.

[8] J. H. Tarnng and K. M. Ju, "A novel 3-D scattering model of 1.8-GHz radio propagation in microcellular urban environment", *IEEE Trans. on Electromagnetic Compatibility*, vol. 41 no. 2, pp. 100-106, 1999.

[9] 홍순학, 석우찬, 윤영중, "3차원 광선 추적법을 이용한 실내 환경에서의 편파 다이버시티 성능 분석에 관한 연구", *한국전자과학회 논문지*, 10 (5), pp. 766-776, 1999. 9.

석 우 찬



1999년 2월: 연세대학교 전파공학과 (공학사)
 2001년 2월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
 2001년 1월~현재: LG 전자 정보통신 연구원
 [주 관심분야] 전파전파 예측 및 스

마트 안테나 시스템

김 진 용



2000년 2월: 명지대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월~현재: 연세대 대학원 전기전자공학과 재학중
 [주 관심분야] 전파전파 예측 및 ITS

윤 영 중



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

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

임 재 우



1995년 2월: 경원대학교 전자공학과(공학사)
1997년 2월: 경원대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)
1997년 6월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구사
[주 관심분야] 전파전파 예측 및

주파수 자원 관리

석 재 호



1989년 2월: 경희대학교 우주과학과 (공학사)
1993년 2월: 연세대학교 대학원 천문대기학과 (이학석사)
1998년 8월: 연세대학교 산업대학원 전자공학과 (공학석사)
1993년 4월~현재: 정보통신부 전파연구소 공업연구사

[주 관심분야] 위성통신 및 전파전파 예측