

페이딩 분석이 가능한 실내 전파 모델링

정희원 석우찬*, 김진웅**, 윤영중**, 석재호***, 임재우***

An Indoor Propagation Modeling that can Analyze a Fading Characteristic

Woo-chan Seok*, Jin-woong Kim**, Young-joong Yoon**, Jae-ho Seok***, Jae-woo Lim***

Regular Members

요 약

본 논문에서는 실내 전파환경에서의 페이딩을 분석하기 위하여 영상법 기반의 3차원 광선추적법에 패치산란모델을 첨가한 모델을 제시하였다. 영상법 기반의 광선추적법은 정확한 경로를 얻을 수 있다는 장점 때문에, 안테나의 빔패턴 및 편파, 그리고 전파의 진행에 따른 편파를 고려함으로써 페이딩 특성 분석이 가능하다. 또한 실내 구조물을 모델링하기 위한 패치산란모델은 패치형태의 직사각형 평면에 대한 RCS (Radar Cross Section)를 이용하여 입사에 대한 산란현상을 정의한 것으로서, 책상이나 테이블 같은 평면적인 실내 구조물에 대한 산란현상을 각각의 구조물에 대한 영상 안테나를 발생시키는 복잡한 과정 없이 간단하게 해석하기 위한 것이다. 제안된 모델은 신호강도 뿐만 아니라 채널의 페이딩 특성을 예측할 수 있기 때문에 안테나 종류별 편파 다이버시티 기법의 성능을 분석하는데 이용될 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, we proposed the image-based 3D ray tracing indoor propagation model using a patch scattering model for fading analysis of indoor propagation environments. An image-based 3D ray tracing technique is mainly used, which allows the rapid generation of the complex channel impulse response for any given location and polarization of transmitter and receiver. Due to the site specific nature of indoor environments, we took into account the location and the electrical properties of individual walls and objects such as windows, doors and plaster board in our propagation model. Besides, the 3D radiation beam-patterns and polarizations of arbitrary antennas were considered, and using patch scattering model we can consider the change of the polarization due to the scattering from the various indoor objects, like desks, chairs and etc. that are almost impossible to be modeled with the basic image-based ray tracing method. The model will predict the impulse response, the rms delay spread, the fading characteristics of the channel and the performances of the polarization diversity schemes.

I. 서론

최근 셀의 소형화와 무선 LAN등과 같은 실내 무선 통신 시스템의 발달과 더불어 실내 전파 환경에 대한 관심이 높아지면서 실내 전파 특성을 향상시키려는 여러 가지 기법들이 연구되어왔다. 실내 환경과 같이 이동성이 제한되는 무선 통신 채널에서

시스템의 성능을 열화 시키는 요인은 다중경로에 의한 페이딩으로 규정되어질 수 있는데, 본 논문에서는 이러한 페이딩 특성을 예측하기 위하여 3차원 광선추적법(ray-tracing)^[1]을 이용하였다. 실내 전파 환경의 특성상 실내 모델링은 실외 환경의 경험적 모델링과 달리 정교한 기하학적, 지형학적 파라미터를 필요로 하는데, 각 벽면과 구조물들의 위치 및

* LG 전자 정보통신 WLL 단말연구소(woochan@lge.com), 논문번호 : 010044-0323, 접수일자 : 2001년 3월 23일

** 연세대학교 마이크로파 및 안테나 연구실,

*** 전파연구소

전기적 특성을 고려하는 것이 필요하다^[2]. 따라서 본 논문에서는 유리창, 출입문, 천장의 석고보드 등과 같은 벽면 재질별 전기적 특성(유전율, 도전율, 표면의 거칠침정도)을 고려하였고, 임의의 송·수신 점에서의 빠른 복소 채널 임펄스 응답을 구하기 위하여 영상법을 기본으로 한 광선 추적법을 이용하였는데, 송·수신안테나의 영상점을 3차원으로 발생시켜 완전한 3차원 모델링이 가능하도록 하였다. 그리고 반사차수를 무한대까지 확장 가능하게 하여 정확한 수신 전력과 페이딩 특성을 얻도록 하였으며, 다이폴 안테나와 1×4, 4×4 마이크로스트립 안테나 등, 송·수신안테나의 방사 패턴을 3차원으로 고려하여 안테나의 종류와 편파에 따른 정확한 결과를 얻도록 하였다. 또한 영상법 기반의 광선추적법에서 이용될 복잡한 내부 구조를 고려하기 위한 방법으로 패치산란모델을 제시하였다. 패치산란모델은 사물의 RCS로부터 편파별 산란 행렬을 구하는 것으로, 책상과 같은 평면의 형태에 대한 산란현상을 효과적으로 모델링할 수 있다. 기존의 실내 전파 모델링은 실내 집기에 대한 고려가 없었던 것에 비해 본 논문에서는 광선추적법에 실내 집기를 고려하기 위한 패치산란모델을 첨가하였다. 따라서 본 논문에서는 이 패치산란모델을 이용해 실내 집기를 모델링 하였으며, 이에 대한 결과를 여러 환경에서 측정과 시뮬레이션을 비교함으로써 모델에 대한 검증 을 하였다.

II. 모델링 접근 방법

1. 영상법을 이용한 광선 추적 알고리즘

광선추적법은 송신 안테나로부터 3차원 공간으로 방사되어 수신안테나에 도달하는 전자기파의 진행을 무수한 광선의 다중 경로로 등가화 하여 해석하는 방법이다. 최근 들어 광선추적법의 다양한 기법들이 연구되어졌는데, 본 논문에서의 광선추적 알고리즘은 전자기 이론에서의 영상법(image method)을 이용한 것이다. 송신 안테나로부터 일정한 각도로 다수의 광선을 발사한 뒤 수신안테나에서의 수신 전력이 임계치에 도달할 때까지 광선을 추적하는 광선발사법(ray launching method)과 달리 영상법을 이용한 광선추적법은 모든 벽면과 실내 구조물을 반사체로 가정하여 각 송신 안테나의 위치에 따른 영상 안테나의 위치를 구해내어 수신된 광선들의 위상을 정확하게 모델링 할 수 있다^[3]. 반사차수에 따라 각 영상 안테나의 위치는 행렬 형태로 저장되

고 이 영상 안테나의 위치로부터 수신안테나를 잇는 직선과 벽면의 교차점을 구하게 되는데, 이점이 송신 안테나에서 송신된 신호가 수신안테나로 수신되기 바로 전의 반사점(RPT_N)이 된다. RPT_N에서 수신안테나로의 방향벡터와 반사면의 좌표로부터 RPT_N 이전의 반사점인 RPT_(N-1)을 구할 수 있는데, 이 과정을 첫 번째 반사점(RPT_1)을 구할 때까지 반복하여 모든 반사점을 구하게 된다. 이후 모든 반사점에 해당하는 광선의 입사각과 반사면의 전기적 특성 정보 등을 이용하여 각 반사에 대한 손실이 계산되고, 개개의 광선의 경로에 해당하는 자유공간 손실과 시간지연, 또 송·수신안테나의 이득 등이 병렬 연산되기 때문에 빠른 속도로 복소 채널 임펄스 응답을 구할 수 있게 된다.

2. 전파 특성

광선추적법은 기본적으로 기하광학이론(geometrical optics)과 UTD(uniform theory of diffraction)에 근거를 두고있는 모델링 방법으로서^[1], 임의의 반사 또는 회절을 거쳐 수신안테나에 도달하는 모든 경로의 광선을 추적하여 수신점에서의 각 광선의 크기와 위상 그리고 편파성분을 계산한다. 송신안테나에서 송신된 수직편파 신호는 여러 번의 반사를 거치면서 수평편파 신호 성분을 포함하게 되는데, 반사후의 편파 변화는 입사 신호의 편파와 입사면과 반사면과의 각도 그리고 반사면의 전기적 특성의 함수인 반사계수에 의해 결정된다. 입사면에 수평인 전계성분과 수직인 전계성분에 대한 반사계수는 각각 식 (1)과 같다.

$$\Gamma_{\parallel}(\theta_i) = \frac{\sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i} - \epsilon_r \cos \theta_i}{\epsilon_r \cos \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}} \quad (1)$$

$$\Gamma_{\perp}(\theta_i) = \frac{\cos \theta_i - \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{\epsilon_r - \sin^2 \theta_i}}$$

여기에서 θ_i 는 입사파가 반사면의 면벡터와 이루 각을 나타내며, ϵ_r 은 복소 비유전율을 나타낸다. 각 반사면의 복소 비유전율은 식 (2)와 같이 각 반사면의 전기적 특성인 비유전율(ϵ)과 도전율(σ), 그리고 사용주파수의 함수인 ω 로부터 구해진다.

$$\epsilon_r = \frac{\epsilon - j\frac{\sigma}{\omega}}{\epsilon_0} \quad (2)$$

반사되는 표면의 거칠침도에 따른 산란 손실을 고려하여야 하는데, 반사면의 거칠침도(h)가 식 (3)

을 만족하면 $(1+\rho_s)/2$ 만큼의 손실성분을 반사계수에 곱하여 산란손실을 보정하는데, 이때 ρ_s 를 산란 손실이라고 부른다. 여기에서 σ_h 는 반사면 거칠 정도의 표준편차이고, $10[\cdot]$ 는 제1종 Bessel 함수이다.

$$h > \frac{\lambda}{8 \cos \theta_i} \quad (3)$$

$$\rho_s = I_0 \left[8 \left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] \exp \left[-8 \left(\frac{\pi \sigma_h \sin \theta_i}{\lambda} \right)^2 \right] \quad (4)$$

3. 전파모델

무선통신 시스템에서 수신안테나에 도달하는 신호는 송신된 전자파와 무선통신 환경의 상호작용을 통해 결정되는 여러 다중경로 성분의 합인 형태로 표현될 수 있다.

$$h(t) = \sum_{n=1}^N A_n \delta(t - \tau_n) e^{-j\theta_n} \quad (5)$$

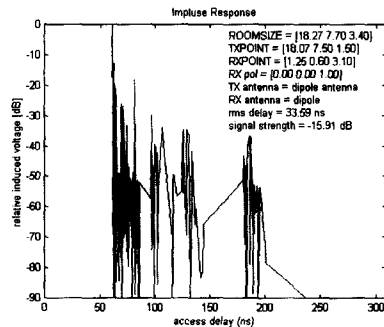
여기에서 송신된 임펄스 신호는 수학적으로 Dirac 함수로 표현되었고, 수신된 신호 $h(t)$ 는 각각의 경로에 따른 손실과 위상 변화를 겪은 시간 지연 신호들의 벡터합의 형태이다. 본 논문의 광선추적법을 통해 각각의 다중경로 성분이 수신안테나에 도달할 때까지의 손실과 지연시간, 위상 변화가 계산된다. 영상법을 이용하여 각 반사점과 광선의 입사면과 반사면을 모두 구할 수 있으므로 각각의 경로에 대한 전계를 계산할 수 있으며, 수신안테나로의 유기 전압을 구할 수 있다. 송신안테나로부터 수신안테나로 유기 되는 전압은 다음 식 (6)과 같이 행렬 곱의 형태로 표현될 수 있다.

$$V_i = G_T G_R \frac{e^{-j\beta r_d}}{r_d} \Gamma_{loss} D_{loss} \Phi_N \cdot \Phi_R \quad (6)$$

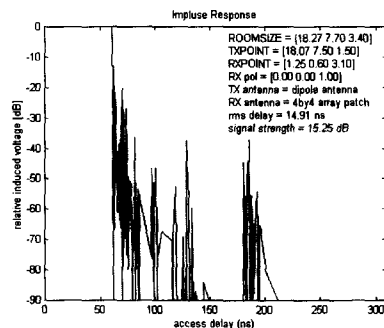
여기에서 G_T 와 G_R 은 송·수신안테나의 3차원 이득 방사패턴 행렬이고 r_d 는 다중경로의 각 경로에 대한 길이, Γ_{loss} 와 D_{loss} 는 반사와 회절점에서의 손실, 그리고 Φ_N 과 Φ_R 은 수신안테나에 도달하는 신호들의 편파 벡터와 수신안테나의 편파 벡터 행렬을 각각 나타낸다. 위의 모든 행렬 값들은 신호의 입사 및 방사각과 반사 및 회절면의 전기적 특성에 대한 함수이다. 위의 접근 방법을 통하여 임의의 실내구조의 송·수신안테나의 위치에 따른 채널 임펄스 응답을 구할 수 있다. 다음 그림 1의 (a)와 (b)는 각각 다이폴 안테나와 4x4 마이크로스트립 안

테나로 수신할 때의 임펄스 응답에 대해 시뮬레이션한 결과를 나타낸다. 그림에서 다이폴 안테나로 수신할 경우와 마이크로스트립 안테나로 수신할 경우 rms delay spread가 각각 33.59ns와 14.91ns인 것을 확인할 수 있는데, 이것은 강한 지향성을 가지는 안테나가 다중경로 신호의 영향을 경감시킴을 보여준다.

임의의 실내 구조에 대해 식 (6)으로부터 모든 조건이 고려되어 임펄스 응답이 구해지면, 송신(또는 수신) 경로에 대해 페이딩 특성을 얻을 수 있다. 실내환경은 이동국의 움직임에 대한 제약이 많기 때문에 빠른 속도에 의한 도플러효과는 없다고 가정하며 페이딩 특성은 경로에 따라 샘플링 된 위치에서의 전계강도의 값들로 이루어진다. 본 논문의 시뮬레이션에서는 출력되는 페이딩 특성을 이론적인 페이딩 특성인 Rayleigh, Rician 곡선과 동시에 나타내었다. 여기에서 Rician 곡선은 다중경로 성분의 전력에 대한 직접파 성분의 파워의 비를 나타내는 X값이 10dB인 경우이다. 이 비교는 시스템 설계시 사용 가능한 이론적인 페이딩 특성에 대한 정보를 제공할 수 있다.



(a) 다이폴 안테나



(b) 4x4 배열 MSA

그림 1. 시뮬레이션에 의한 임펄스 응답

그림 2는 페이딩 특성 결과를 얻기 위한 샘플링 과정이며 그림 3은 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 그림 3 (a)는 수신 신호레벨의 포락선이며, 그림 3 (b)는 수신된 신호레벨을 누적분포(CDF)로 나타낸 것인데 곡선의 형태가 그 환경에서의 페이딩 특성을 나타내는 것이다.

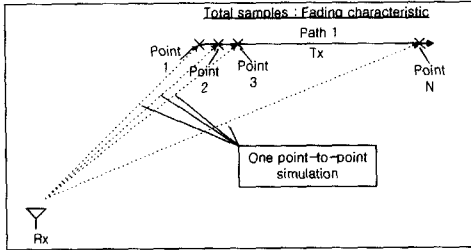
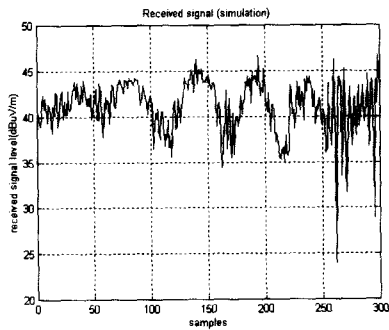
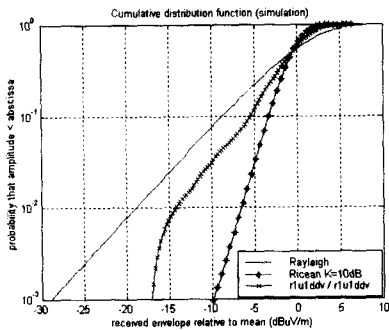


그림 2. 페이딩 특성을 얻기 위한 샘플링 과정

곡선이 왼쪽으로 갈수록 전체적으로 평균 신호레벨 이하의 신호성분이 많이 들어오는 것을 나타내며 페이딩이 커지는 것을 의미한다. 그림 3 (b)에서 보면 시뮬레이션 환경의 페이딩 특성은 LOS인 Rician 곡선의 형태와 유사하나 X값이 보다 작음을 알 수 있다.



(a) 수신된 신호



(b) 페이딩 특성

그림 3. 페이딩 특성 결과

4. 패치산란모델

실내 구조물이나 집기 등에 의한 전파의 산란현상은 패치산란모델을 통해 개개의 영상안테나를 발생시키지 않고서 모델링이 가능하다. 패치산란모델은 그림 4에서 나타낸 것과 같이 실내 구조물의 가장 많은 모양인 직사각형의 형태에 대한 RCS를 이용하여 입사 필드에 대한 산란 필드를 정의한 것이며, 이 정의의 산란행렬^[4]은 식 (7)과 같이 주어진다. 이때 E^i 는 입사 필드이며, $[S]$ 는 패치에 의해 정의되는 산란행렬, E^s 는 산란 필드이다.

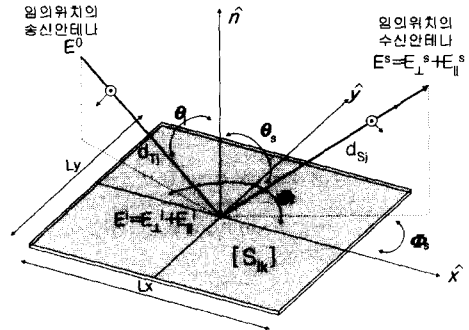


그림 4. 패치산란모델

$$\begin{bmatrix} E_{\perp}^s \\ E_{\parallel}^s \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} S_{11} & S_{12} \\ S_{21} & S_{22} \end{bmatrix} \begin{bmatrix} E_{\perp}^i \\ E_{\parallel}^i \end{bmatrix} \quad (7)$$

위의 산란행렬($[S]$)은 패치의 bistatic RCS에 의해 얻어진다. 식 (8)은 산란행렬값(S_{jk})을 나타내며, σ_{jk} 는 패치의 RCS, d_{sj} 는 패치로부터 수신점까지의 거리를 나타낸다.

$$S_{jk} = \frac{\sqrt{\sigma_{jk}}}{\sqrt{4\pi d_{sj}}} \quad (8)$$

패치의 bistatic RCS는 기하광학이론(physical optics)의 Stratton-Chu 적분공식^[5]으로부터 얻을 수 있다. 직사각형 형태의 패치에 대해 적분을 수행하면 식 (9)를 얻을 수 있으며, 그림 4에서 정의된 좌표축에 의해 식 (9)는 식 (10)으로 나타낼 수 있다. 여기서 \hat{n} 은 입사면의 법선벡터, \hat{e}_s 은 산란파의 전계 편파 단위벡터, \hat{n}_i 은 입사파의 자계 편파 단위벡터, \vec{r}_0 는 원점으로부터의 옵셋 위치벡터, \hat{i} 와 \hat{s} 는 입사파와 산란파의 단위벡터 그리고 \vec{w} 와 \vec{L} 는 패치의 폭과 길이에 대한 벡터이다.

식 (11)에서의 Γ_{\perp} 와 Γ_{\parallel} 는 전체의 편파 벡터가 입사면에 대해 직교할 경우와 평행할 경우의 프레넬 반사계수이며 식 (1)에 정의된 것과 같다.

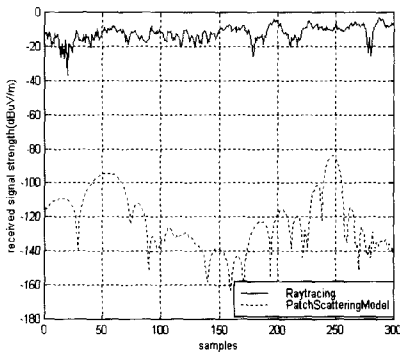
$$\sqrt{\sigma_{ik}} = -i \frac{LW}{\pi} \hat{n} \cdot \hat{e}_r \times \hat{h}_i e^{ik\hat{r}_0 \cdot (\hat{i} - \hat{s})} \cdot \frac{\sin[(1/2)kL \cdot (\hat{i} - \hat{s})]}{(1/2)kL \cdot (\hat{i} - \hat{s})} \cdot \frac{\sin[(1/2)kW \cdot (\hat{i} - \hat{s})]}{(1/2)kW \cdot (\hat{i} - \hat{s})} \quad (9)$$

$$\sigma_{ik} = \frac{k^2}{\pi} (L_x L_y) \left(\frac{\sin(k\xi_x L_x/2)}{k\xi_x L_x/2} \right)^2 \cdot \left(\frac{\sin(k\xi_y L_y/2)}{k\xi_y L_y/2} \right)^2 |\gamma_{ik}|^2 \quad (10)$$

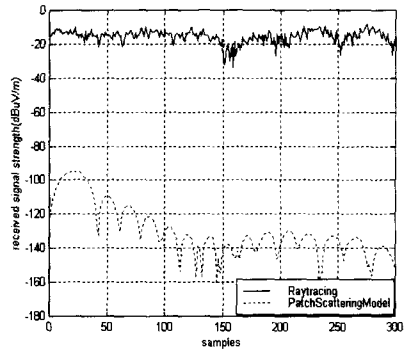
$$\begin{aligned} \xi_x &= \sin \theta_i \cos \varphi_i - \sin \theta_s \cos \varphi_s \\ \xi_y &= \sin \theta_i \sin \varphi_i - \sin \theta_s \sin \varphi_s \\ \gamma_{11} &= \sin \theta_i \sin \theta_s \cos \theta_i \cdot (\sin \varphi_s \sin \varphi_i + \cos \varphi_s \cos \varphi_i) \Gamma_{\perp}(\theta_i)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

이 값에서는 패치의 표면에 대한 거침정도를 고려하는 식 (4)와 같은 거침손실값이 포함된다. 전파모델 내에서 패치산란모델은 주로 책상이나 테이블과 같은 평면을 지나는 구조에 대해 적용이 용이하다. 표면거침에 대한 효과도 고려할 수 있으므로, 여러 가지 집기가 놓여있는 경우에는 식 (4)에서 정의한 거침손실값의 거침정도의 표준편차(σ_k)를 대입하여 그 영향을 모델 내에 포함시킬 수 있다.

RCS에 의한 패치산란모델은 패치에 의한 다중경로는 포함하지 않는다. 하지만 실내공간에서는 패치에 의한 다중경로 성분이 발생하므로 그림 5와 같은 광선추적법에 의한 신호레벨과 패치산란모델에서



(a) x축에 평행인 송신 경로



(b) y축에 평행인 송신 경로

그림 5. 실내공간에서 광선추적법과 패치산란모델에 의한 신호레벨 비교

의 신호레벨 사이의 큰 차이가 일어나며, 이에 대한 보정을 위해 본 논문에서는 이 다중경로에 의한 변화를 단순히 경험적 수치인 실내보정값을 설정하여, 산란현상에 의한 신호레벨의 크기를 더해주었다. 식 (12)에서 ρ_c 는 실내보정값이며 E_s 는 식 (7)에서 구한 산란 필드값이다. 그림 6은 본 논문에서 제안한 실내 전파모델의 흐름도를 나타내었다.

$$E_s' = \rho_c E_s \quad (12)$$

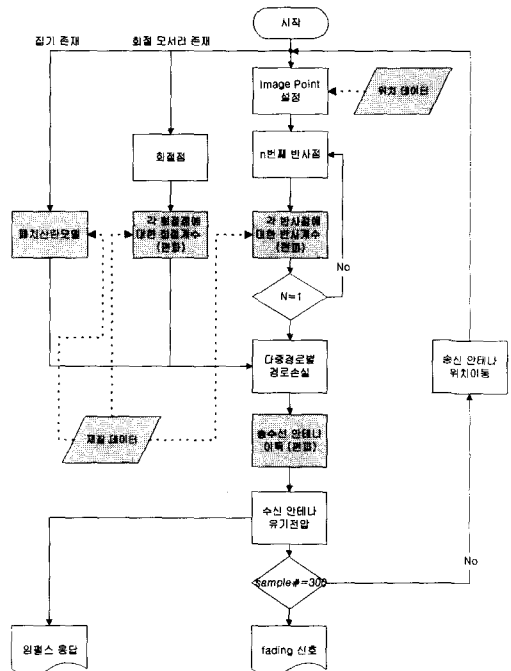


그림 6. 제안된 실내 전파모델의 흐름도

III. 시뮬레이션 결과 및 고찰

1. 패치산란모델의 실내 적용

실내보정값을 찾기 위해 두 장소에서 패치의 배치를 달리하면서 측정 데이터를 수집하였다. 측정환경은 그림 7과 같다. 실험실에서는 내부에 아무런 집기가 없는 경우와 실험대 3개를 일정 간격으로 배치를 한 경우 그리고 하나의 실험대를 두 개로 분리하여 총 6개의 실험대 패치를 배치한 경우로 하여 세 종류의 배치에 대한 측정을 실시하였다. 그리고 강의실에서는 내부에 아무 집기가 없는 경우와 책상이 32개 놓여있는 경우 마지막으로 64개가 놓여있는 경우에 대해 측정을 실시하였다. 그리고 표 1은 측정을 위한 파라미터에 대해 나타내었다.

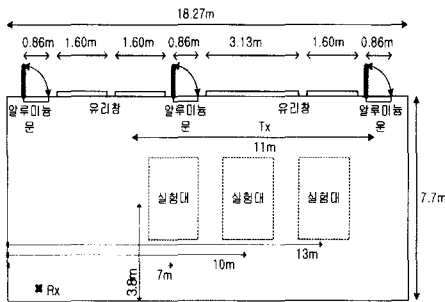
실내보정값을 결정하기 위해 그림 7의 신호레벨 차이를 대략적으로 고려하여 10, 100, 1000의 가정값을 두고, 이를 측정치와 시뮬레이션 값을 비교하여 100으로 결정하였다. 각각의 환경에 대해서 가장 정확하게 일치하는 값을 찾을 수도 있겠지만, 본 논문에서의 모델은 일반적인 경우에 대한 결과를 나타내기 위해 때문에 실내보정값을 100으로 두었다. 그러나 경험적 보정상수의 특성상 측정 데이터가 많을수록 보다 일반적인 상수를 얻을 수 있다.

표 1. 측정을 위한 파라미터

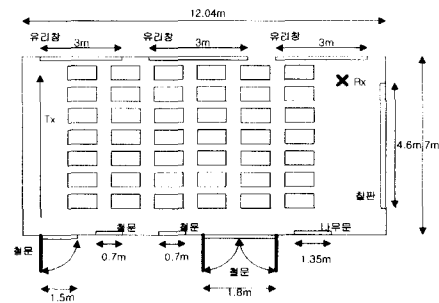
파라미터	실험실	강의실
주파수	1890MHz	1890MHz
크기	18.27m×7.7m ×3.4m	12.04m×7m ×3.3m
송수신 안테나	수직편파 다이폴	수직편파 다이폴
송신 위치(m)	(16.6,6,1.27)⇒ (5.6,6,1.27)	(10.84,0.56,1.67)⇒(10.84,5.87,1.67)
수신 위치(m)	(1.24, 0.6, 2.4)	(1.2, 0.7, 2.45)
송신 장비	HP8664A	HP8664A
수신 장비	Anritsu ML524B	Anritsu ML524B
패치의 배치	실험대 3개, 실험대(1/2) 6개	책상 32개, 책상 64개

실험실에 대한 시뮬레이션은 위 측정과 동일한 환경 및 조건으로 수행하였다. 실험대를 모델링할 경우 거침이 거의 없는 완전평면이므로 패치의 거침 정도에 대한 값을 0으로 두었다. 그리고 실내보정값은 100으로 하였다. 모델의 검증 을 위해서 비교한 부분은 페이딩 특성과 신호레벨의 크기이며 페이딩 특성은 신호레벨의 누적분포의 형태로 나타났으며, 신호레벨의 크기는 경로의 샘플 개수에 대한 신호의 포락선 형태로 나타내었다. 신호레벨의 누적분포 곡선은 Rayleigh 페이딩에 의한 곡선과 X=10dB 에서의 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 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 못할 경우 생기는 오차와 실제 환경과 모델링된 환경이 정확하게 일치 못할 경우 생기는 오차가 있다. 그림 8은 실험실에 대한 신호레벨의 누적분포이다.

측정과 시뮬레이션 값을 비교하였는데, 실험대가 없는 환경에서 신호레벨의 1% 위치에서 5dB정도의 차이가 있는 것을 감안하면 패치산란모델은 실험대의 변화에 따른 페이딩 변화를 잘 설명하고 있다.

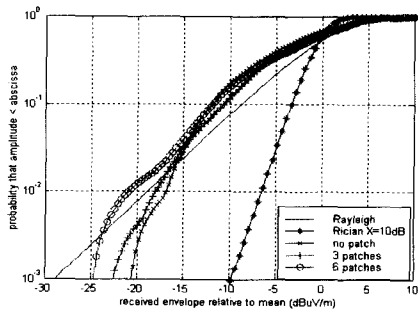


(a) 실험실

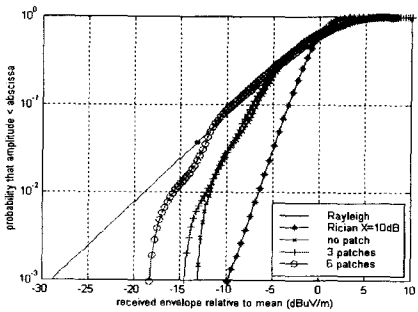


(b) 강의실

그림 7. 실내보정값을 찾기 위한 측정 환경



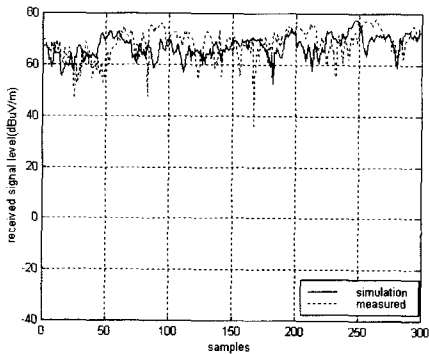
(a) 측정



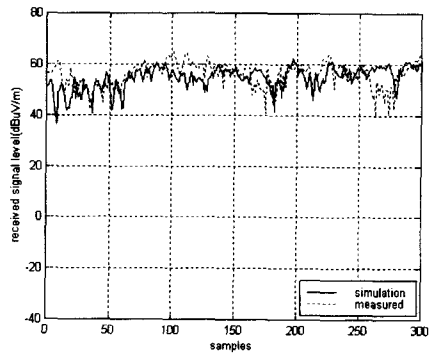
(b) 시뮬레이션

그림 8. 실험실의 누적분포 비교

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 9는 같은 환경에서 신호레벨의 포락선을 비교한 것인데 측정과 시뮬레이션이 비슷한 결과를 보였다. 그러므로 이 환경에서는 100의 실내보정값은 측정값과 비슷한 결과를 가져옴을 알 수 있다.



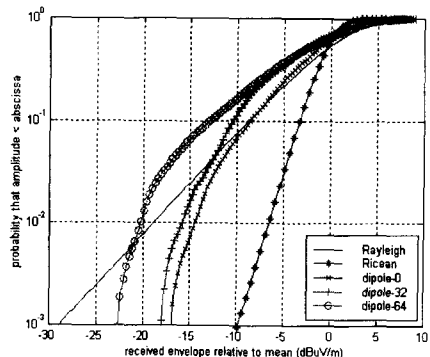
(a) 패치가 3개인 경우



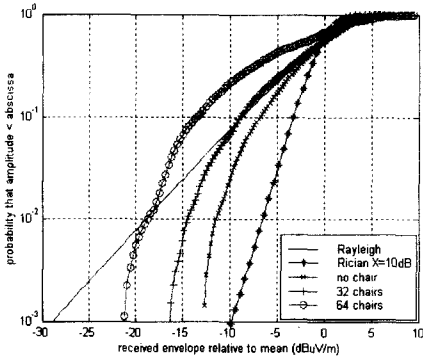
(b) 패치가 6개인 경우

그림 9. 실험실의 신호레벨 포락선 비교

강의실에서는 책받침이 달려있는 책상의 분포에 따른 측정 및 시뮬레이션을 수행하였다. 앞의 실험실 측정환경과 다른 점은 패치의 크기가 보다 작을 뿐 아니라 완전평면이라기보다는 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 거침정도를 0이 아닌 다른 값을 대입해야만 한다. 표면거침의 표준편차값은 표면의 모양에 의해 결정되는데 책상의 표면은 크게 앉는 부분과 책받침 부분으로 나누고 앉는 부분의 높이를 0.5m 책받침 부분의 높이를 0.7m 그리고 전체면적의 1/2씩 차지한다고 가정하면 표준편차는 0.01이 되므로 이 값을 대입하여 시뮬레이션 하였다. 그림 10은 신호레벨의 누적분포를 비교한 것이며, 그림 11은 신호레벨의 포락선을 비교한 것이다. 측정과 시뮬레이션은 비슷한 값을 보여준다. 그러므로 두 환경에서 실내보정값 100은 측정과 비슷한 시뮬레이션 결과를 보여주었다.

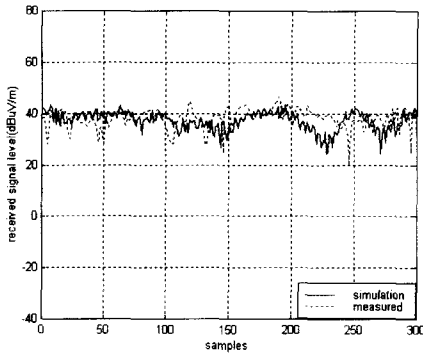


(a) 측정

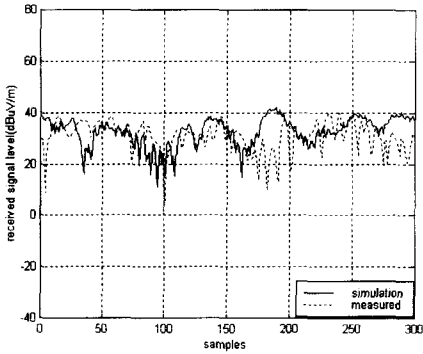


(b) 시뮬레이션

그림 10. 강의실의 누적분포 비교



(a) 32개의 책상분포



(b) 64개의 책상분포

그림 11. 강의실의 신호레벨 포락선 비교

다음은 앞에서 결정된 실내보정값을 이용하여 실내 모델링을 수행한 결과이다. 환경은 일반적인 사무실환경이며, 주로 사무용 책상으로 이루어진 환경이다. 그림 12는 사무실 환경에 대해 나타내었으며 그림 13은 측정 및 시뮬레이션 결과를 나타내었다.

표면거침의 표준편차는 사무실 책상 및 의자의 배치를 고려해 0.01을 사용하였으며, 실내보정값은 100을 사용하였다. 측정과 시뮬레이션 결과는 대체로 잘 일치하며, 환경에서는 중앙의 기둥으로 인해 가지거리 영역과 비가지거리 영역이 동시에 존재하지만, 공간이 좁아서 많은 반사 및 산란으로 인해 Rayleigh 페이딩 곡선보다 더 큰 페이딩 특성을 측정과 시뮬레이션 모두에서 보여주었다.

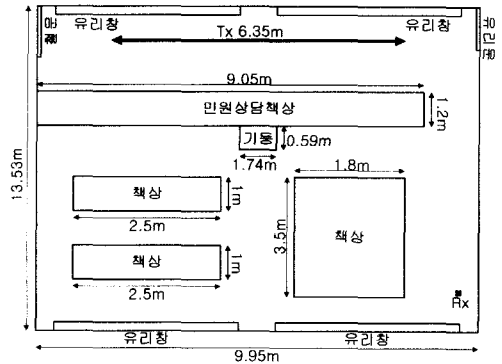
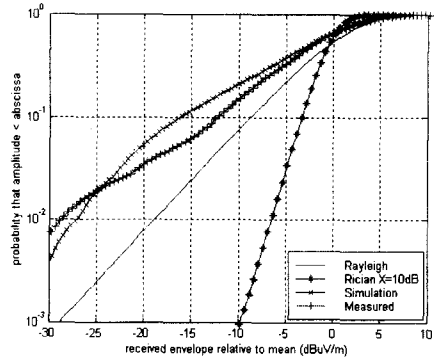
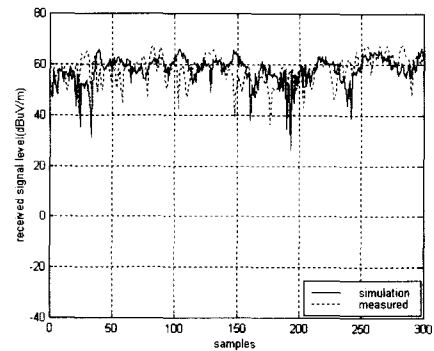


그림 12. 사무실 환경



(a) 누적분포

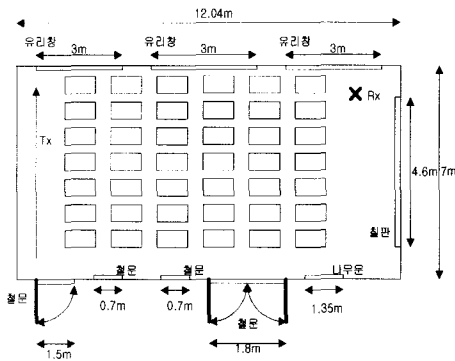


(b) 신호레벨 포락선

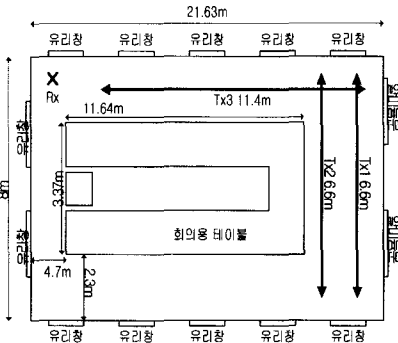
그림 13. 민원실의 측정 및 시뮬레이션 비교

2. 안테나 패턴별 페이딩 특성 시뮬레이션

본 논문에서 제시된 모델은 일반적인 공간에 대한 데이터(실내 공간의 크기, 벽면의 재질 및 실내 구조물의 크기, 재질 그리고 안테나 방사패턴 등)를 이용하여 페이딩 특성 및 편파를 고려한 편파 다이버시티 성능을 분석할 수 있다. 1890MHz 대역에서 몇몇 안테나의 3차원 방사패턴 및 위에서 얻어진 실내보정값 그리고 적당한 표면거침을 고려하여 페이딩 특성 및 다이버시티 성능을 얻기위한 시뮬레이션 결과를 다음에 나타내었다. 그림 14는 환경에 대한 3차원 투시도이다. 그림 15는 그림 14 (a)에 대한 페이딩 특성의 시뮬레이션 결과이며, 그림 16은 그림 14 (b)에 대한 편파 다이버시티 성능 분석의 결과이다. 그림 14에서는 4×4 마이크로스트립 안테나(m4v)에 의한 페이딩 특성이 다이폴 안테나(ddv), 1×4 수직배열 마이크로스트립 안테나(m1v), 1×4 수평배열 마이크로스트립 안테나(m_v)에 비해 가장 Rician 곡선에 가까운 것을 확인할 수 있으며, 그림 16에서는 ⑤,⑥,⑦의 편파 다이버시티가 좋은 성능을 보여주는 것을 알 수 있다.



(a) 강의실



(b) 전파연구소 세미나실

그림 14. 시뮬레이션을 위한 환경

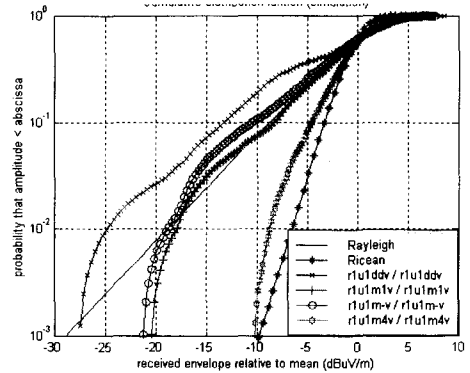


그림 15. 페이딩 특성 결과

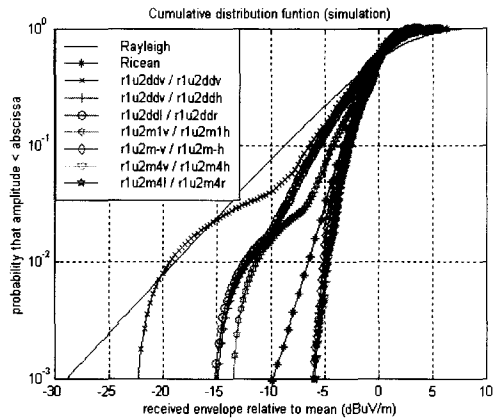


그림 16. 편파 다이버시티 이득 결과

표 2. 편파 다이버시티 이득 결과

#	표기	다이버시티 방법	다이버시티 이득 (@10 ⁻¹)
①	ddv/ddv	단일 다이폴	0dB
②	ddv/ddh	수직, 수평 편파 다이폴	1dB
③	ddl/ddr	±45° 편파 다이폴	1dB
④	m1v/m1h	수직, 수평 편파 1×4 수직배열 마이크로스트립	3dB
⑤	m_v/m_h	수직, 수평 편파 1×4 수평배열 마이크로스트립	5dB
⑥	m4v/m4h	수직, 수평 편파 4×4 마이크로스트립	5dB
⑦	m4l/m4r	±45° 편파 4×4 마이크로스트립	5dB

IV. 결론

본 논문에서는 실내 전파 환경에서의 편파 다이버시티의 성능을 분석하기 위하여 영상법을 기본으로 한 3차원 광선 추적법을 이용하였다. 3차원 모델링을 통하여 편파 변화를 해석하였으며 벽면의 재질 - 유리창, 출입문, 천장의 석고보드등 - 에 따른 전기적 특성을 고려하였다. 또한 다이폴 안테나와 1×4, 4×4 마이크로스트립 안테나등의 방사 패턴을 3차원으로 고려하여 송·수신안테나의 종류와 편파에 따라 정확한 해석이 가능하도록 하였다. 그리고 실내구조물을 모델링하기 위해 RCS를 이용한 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 거침정도의 표준편차를 이용하여 완전 평면이 아닌 임의의 모양이 존재하는 경우에도 모델링이 가능하다. 패치산란모델에 사용되는 실내보정값은 RCS를 실내에 사용하게 됨으로 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 모델링이 가능하였다. 따라서 실내 전파 특성을 분석하기 위해 기본적으로 3차원 광선추적법에 실내 집기를 고려하기 위한 패치산란모델을 첨가하여 모델링 한 결과 실내 집기를 고려하지 않았을 경우보다 실내 집기를 고려했을 경우 더 정확한 실내 전파 특성을 예측할 수 있었다. 본 논문에서 제시한 모델링을 이용하여 실내 무선 통신 시스템의 성능을 향상시키기 위한 최적의 송·수신안테나의 위치 및 안테나 종류를 얻을 수 있을 것으로 기대한다.

참고 문헌

[1] Manuel F. Catedra, Cell Planning for Wireless Communications, Artech House Inc., 1999.
 [2] G.T. Martin, M. Faulkner, M.A. Beach, "Wide Band Propagation Measurements and Ray Tracing Simulations at 1890 MHz," Proceed-

ings of the 1995 4th IEEE International Conference on Universal Personal Communications, pp.283-287

[3] Driessen, P.F. "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
 [4] G. T. Ruck, D. E. Barrick, W. D. Stuart and C. K. Krichbaum, Radar Cross Section Handbook. New York, Plenum, 1970
 [5] E. F. Knott, D. J. Cichon and W. Wisebeck, Radar Cross Section 2nd, Norwood, MA, Artech House, 1993
 [6] 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 - Volume 3, pp.1161-1165
 [7] 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
 [8] Tarnq J.H, 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," 한국전자과학회논문지, 제10권 제5호, 1999, 9

석우찬(Woo-chan Seok)

학생회원



1999년 2월 : 연세대학교

전파공학과 졸업

2001년 2월 : 연세대학교 전기

전자공학과 석사

2001년 3월~현재 : LG 전자

정보통신 연구원

<주관심 분야> 전파전파, 스마트 안테나 시스템

김진웅(Jin-woong Kim)

학생회원



2000년 2월: 명지대학교
전기전자공학과 졸업
2000년 2월~현재: 연세대학교
전기전자공학과 석사과정
<주관심 분야> 전파전파, ITS

임재우(Jae-woo Lim)



1995년 2월: 경원대학교
전자공학과 졸업
1997년 2월: 경원대학교
전자공학과 석사
1997년 6월~현재: 정보통신부
전파연구소 공업연구사

<주관심 분야> 전파전파 예측 및 주파수 자원

윤영중(Young-joong Yoon)

정회원



1981년 2월: 연세대학교
전자공학과 졸업
1986년 2월: 동 대학원
전기전자공학과 석사
1991년 2월: Georgia Institute
of Technology 박사

1992년~1993년: ETRI 위성통신기술연구단

1993년 3월~현재: 연세대학교 기계전자공학부
부교수

<주관심 분야> 마이크로파, 안테나, 전파전파, 고온
초전도, EMI/EMC

석재호(Jae-ho Seok)



1989년 2월: 경희대학교
우주과학과 졸업
1993년 2월: 연세대학교 천문대
기학과 이학석사
1998년 8월: 연세대 산업대학원
전자공학과 공학석사

1993년 4월~현재: 정보통신부 전파연구소
공업연구사

<주관심 분야> 위성통신 및 전파전파 예측