

실내 환경에서의 3차원 전파예측 모델

3D Propagation Prediction Model for Indoor Environment

고 옥 희

Wook-Hee Koh

요 약

본 논문에서는 광선추적기법에 근거한 3차원 실내 전파전파 예측모델을 제시한다. 본 모델은 건물 실내에 산재되어 있는 가구, 집기 등의 모든 장애물을 고려하는 것 대신에 벽과 천장, 바닥 등의 대표적인 전파 장애물만을 유한 두께와 유한 전도도를 갖는 슬랩으로 모델링하여, 주요 전파현상을 고려함으로써 간결하면서도 정확하게 전파손실을 예측할 수 있는 모델이다. 전파 광선들은 장애물과 부딪히면 거울 같은 반사와 투과를 하고 또 모서리에서는 회절되어 전파하는 것으로 고려되었다. 평면 장애물에서의 반사 및 투과 손실은 광선 추적기법을 사용하여 계산하였으며, 모서리에서의 회절손실은 유한 전도도 매질에 대한 UTD를 사용하여 계산하였다. 본 예측모델을 사용한 몇 경우에 대한 경로손실의 시뮬레이션 결과는 실측치와 잘 일치하는 것을 보여준다.

Abstract

in this paper, We present an indoor propagation prediction model which is based on a three-dimensional ray-tracing technique. In this model, instead of considering all obstacles such as furnitures and fixtures, etc., only main obstacles to the propagation such as walls, ceiling and floors are modeled as slabs with finite thickness and conductivity, and the significant phenomena of propagation are considered, so we can calculate simply and predict accurately the propagation losses. The propagating rays are considered to be reflected and transmitted specularly at the boundaries of obstacles, and diffracted at edges. The reflection and transmission losses on flat obstacles are calculated by using ray tracing method, and the diffraction losses at edges are calculated by using the uniform theory of diffraction (UTD) for finite conductivity media. The results simulated for some cases by this propagation model good agree with the measured value of pathloss.

I. 서 론

최근 들어 그 필요성이 점점 증가하고 있는 PCS(Personal Communication Service)나 WLAN(Wireless Local Area Network), WPBX(Wireless

Private Branch Exchange)등을 위한 통신망에서는 건물 내부의 일부 또는 전부가 서비스 영역이 된다. 이와 같은 통신망에서 저 비용 고 품질의 서비스를 제공하기 위해서는 건물 내부에서의 전파전파 특성을 정확히 해석하여 통신시스템을 설계하

한서대학교 물리학과(Department of Physics, Hanseo University)

· 논문 번호 : 981105-113

· 수정완료일자 : 1999년 1월 19일.

여야 한다. 건물 내부에서의 전파는 천장, 바닥, 가구, 벽 등에 의하여 반사, 투과, 회절되어 여러 경로를 따라 전파하게 된다. 이와 같은 다중경로(multi path) 전파로 인한 전파특성은 매우 복잡해지며, 통신 품질 및 전송속도 등에 영향을 미치게 되므로 이를 정확히 예측하는 것은 효율적인 통신망 설계에 필수적인 일이라 할 수 있다.

실내 전파전파에 대한 이론적 연구는 주로 광선추적모델(ray tracing model)을 사용하여 이루어져 왔다. 단층에 대한 모델로 수직발산 효과를 포함한 2차원 광선추적모델^[1]과 벽을 손실 매질로 모델링한 단층 광선추적 모델^[2]이 있으며, 다층간 전파모델로는 직접파와 창문을 통한 회절파만을 고려한 간단화된 전파모델^[3]등이 있다. 건물 실내에서 단층뿐만 아니라 다층간의 전파전파 특성까지 해석하기 위하여는 3차원적 전파를 고려하는 3차원 전파모델이 필요하며, 디지털 통신 특성을 계산하기 위하여는 더욱이 3차원 전파모델이 필요하다.

건물 실내에는 벽, 천장, 바닥 등의 기본 구조물뿐만 아니라 복도 및 방 내부에 산재되어 있는 가구, 집기 등의 여러 전파 장애물들이 매우 많이 있다. 이 모든 장애물들을 고려하여 예측 모델을 만드는 것은 거의 불가능 할 뿐만 아니라 그 복잡성과 매우 긴 계산 시간 때문에 유용하지도 않다.

실내에서 전파하던 전자파가 장애물들을 만나게 되면 전자파는 반사, 투과 및 회절 그리고 산란되어 인접된 다른 장애물들로 전파하게 되고 이것은 다시 반사, 투과, 회절, 산란되어 다른 방향으로 전파하게 된다. 이러한 현상은 건물 또는 방 내부의 장애물들 사이에서 연속적으로 일어나게 되므로, 작은 장애물들이 밀집되어 있는 방의 내부에서 전파하는 경우 이런 현상은 작은 영역 내에서 연속적으로 여러 번 반복해서 일어나게 된다. 그 결과 이런 장애물과 바로 인접된 곳에 있는 수신 점에서의 수신강도는 그 장애물의 크기와 모양 및 성질에 크게 영향을 받을 수 있겠지만 몇 개의 방을 통과해 전파해 가는 경우와 같이 상대적으로 긴

거리를 전파하는 경우에 대해서는 작은 장애물들의 모양이나 성질은 큰 영향을 미치지 못하게 된다. 특히 전파예측의 목적이 실내의 기지국을 어디에 둘 것인가의 결정을 위한 것이라면 어떤 특별한 성질을 가진 한 장애물 근방에서의 수신강도를 예측하는 것은 그리 중요한 문제는 아니다.

본 논문에서는 주요 전파 장애물만을 포함하면서도 모든 장애물들의 평균적인 손실을 고려할 수 있는 간략화 된 모델을 제시하고자 한다. 이를 위해 본 모델에서는 벽, 바닥, 천장 등의 실내 주요 전파매질을 비 손실 매질이 아닌 손실 매질로 그리고 여러 장애물들 사이의 다중 반사 및 투과(예를 들어 벽과 책상사이 또는 책상과 책상사이의 반사 및 투과) 등에 의한 평균적인 손실은 주요 매질들을 유한 두께의 슬랩으로 모델링하고 그 내부의 다중 반사 및 투과를 고려함으로써 포함시키는 방법으로 다루어 졌다. 다시 말해서 이 모델은 실내의 모든 장애물들에 대한 정보를 주지 않고도 대표적인 구조물인 벽, 천장, 바닥의 전도도 및 유전율을 제공하여 실내 전파에 대한 실측치와 근접하는 예측치를 얻을 수 있는 모델이다.

본 모델은 반사 및 투과에 의한 전파는 3차원 광선추적기법(ray tracing technique)으로 그리고 기하 광학적인 광선추적 기법으로는 다룰 수 없는 모서리에서의 회절에 의한 전파는 3차원 UTD (Uniform Theory of Diffraction)방법^[4]을 적용하여 다른 모델로서 실내 단층뿐만 아니라 다층간의 전파전파 예측에도 적용될 수 있는 모델이다. 이 모델을 사용한 시뮬레이션이 실제로 실내 기지국 위치를 최적화 시키기 위하여 사용된다면 짧은 시간 내에 정확한 예측치를 얻을 수 있는 알고리즘과 효과적인 프로그램이 필요하다. 이를 위해 기 발표된 마이크로셀에서의 전파전파 예측을 위한 3차원 광선추적 알고리즘^[5]을 이용한 전파예측 코드를 개발하였다. 이 코드는 객체지향언어인 C++를 이용한 Windows용 프로그램으로 사용자 편의를 위하여 GUI부분이 첨가되어 있고 계산시간이

걸지 않기 때문에 랩탑 컴퓨터에 탑재하여 측정과 동시에 실시간으로 실측치와 비교하는 것이 가능한 코드이다.

이 모델의 유용성은 실내 여러 환경에서의 시뮬레이션을 통해 입증되어야 하는데 이를 위해 몇 가지 환경에 대한 시뮬레이션 결과 및 실측치와의 비교 결과를 제시한다.

II. 전파모델

본 실내 3차원 전파모델은 광선추적기법 중 ray launching 기법을 사용하여 광선을 3차원적으로 추적하는 방법인 참고문헌 [5]에서 제시된 3차원 광선추적 알고리즘을 사용한다. 본 모델에서는 거울 같은 반사와 투과(specular reflection and transmission)에 의한 전자파의 전파과정만을 고려하였고, 분산적인 산란(dispersive scattering)에 의한 전파과정은 국지적으로만 영향을 미치므로 포함시키지 않았다. 즉 벽과 천장 및 바닥이 전파(propagation)에 미치는 영향은 반사 및 투과에 의한 것만 있다고 가정하였다.

본 모델에서는 실내의 전파 장애물들에서의 손실을 보다 정확히 계산하기 위하여 벽, 천장, 바닥의 주요 장애물들이 유한한 전도도와 두께를 가지는 것으로 모델링하였다. 따라서 유한 두께의 벽 내부로 입사해 들어간 파는 다중 반사 및 투과(multiple reflection and transmission)를 일으키며, 유한 전도도로 인한 전력 손실이 일어나게 된다^[2]. 이는 앞서 언급하였던 실내의 모든 장애물들에 의한 평균적인 손실을 포함할 수 있는 방법으로, 모든 매질에 대한 데이터를 주지 않고도 주요 매질의 두께와 전도도 및 유전을 만들 줌으로써 간단하게 평균적인 전파 손실을 계산할 수 있게 해준다.

실내의 장애물 모서리에서의 회절파는 짧은 거리를 전파할 때는 반사파나 투과파가 상대적으로 커지므로 회절은 지배적인 전파현상은 아니다. 그

러나 송신기로부터의 거리가 멀어짐으로써 반사파나 투과파가 상대적으로 작아지게 되는 모서리 근방의 수신기라면 회절은 주요 전달 파가 될 수 있다. 이 경우 회절손실을 정확히 계산하는 것은 수신강도의 예측치에 대한 정확성을 좌우하는 요소가 된다. 따라서 모서리에서의 회절 손실을 보다 정확히 계산하기 위하여 참고문헌 [5]에서 사용했던 완전도체에 대한 UTD방법^[4] 대신에 Luebbers에 의해 제시된 유한전도도 매질에 대한 UTD방법^[6]을 사용하여 회절손실을 계산하였다. Luebbers의 UTD방법에 의한 회절계수는 아래와 같이 주어진다^[6].

$$D^{i\pm}(L^i, L^o, L^m, \phi, \phi', \beta_o, n) = D_1 + D_2 + R_n^{i\pm} D_3 + R_o^{i\pm} D_4 \quad (1)$$

여기서

$$D_1 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_o}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right] \cdot F[kL^i a^+(\phi - \phi')]$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_o}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n} \right] \cdot F[kL^i a^-(\phi - \phi')]$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_o}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n} \right] \cdot F[kL^m a^+(\phi + \phi')]$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_o}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n} \right] \cdot F[kL^m a^-(\phi + \phi')] \quad (2)$$

위 식(1)에서 $R_n^{i\pm}$, $R_o^{i\pm}$ 는 각각 모서리에서 n -면 및 o -면의 수평 또는 수직편파에 대한 반사계수(입사각 ϕ' , 반사각 $n\pi - \phi$ 인 경우)를 나타내는 것이고, β_o 는 입사파가 모서리와 이루는 각이다. L^i, L^m, L^o 은 거리인자(distance para-

meter)들을 나타내며, 회절체의 면이 평면이고 입사파가 구면파(spherical wave)라 가정하면 거리인자들은 다음과 같이 표현된다.

$$L^i = L^m = L^r = \frac{s s'}{s + s'} \sin^2 \beta_0 \quad (3)$$

또

$$a^\pm(\beta^\pm) = 2 \cos^2 \left(\frac{2n\pi N^\pm - \beta^\pm}{2} \right) \quad (4)$$

이며, 여기서 $\beta^\pm = \phi \pm \phi'$ 이고, N^\pm 는 다음 방정식을 만족하는 가장 가까운 정수이다.

$$\begin{aligned} 2\pi n N^+ - (\phi \pm \phi') &= \pi \\ 2\pi n N^- - (\phi \pm \phi') &= -\pi \end{aligned} \quad (5)$$

수신기에서 수신되는 전파의 경로손실(path loss)을 계산하기 위해 송신기에서 각 수신 점으로 방사된 광선(ray)이 벽과 같은 평면 장애물에 부딪치게 되면 그 점에서부터 반사 및 투과 광선만을 추적하고, 또한 모서리에서 회절되는 회절 광선을 추적한다. 이와 같이 다중경로를 통해 각 수신 점으로 도달된 광선들의 전력을 합산하여 경로손실을 계산한다^{[2],[5]}. 수신기에서 수신되는 광선의 전계강도는 다음 식으로 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned} |E|^2 &= \sum_i E_0^2 G_{ri} G_{ni} L(d_i) D^2(\phi_i) \\ &\cdot \prod_n R_n^2(\theta_{ni}) \prod_m T_m^2(\theta_{mi}) \end{aligned} \quad (6)$$

여기서 G_{ri}, G_{ni} 는 송·수신안테나의 이득을 나타내고, $L(d_i)$ 는 거리에 따른 경로손실을 나타내는 것으로 d_i^2 에 반비례하고, $R_n(\theta_{ni})$ 는 i 번째 광선이 n 번째 벽에 θ_{ni} 의 각으로 입사했을 때의 반사계수, $T_m(\theta_{mi})$ 는 i 번째 광선이 m 번째 벽에 θ_{mi} 의 각으로 입사했을 때의 투과계수이고, $D(\phi_i)$ 는 i 번째 광선이 모서리에서 ϕ_i 의 각으로 회절했을 때의 회절계수이다.

투과, 반사 그리고 회절 계수를 구하면 식 (6)을 이용하여 경로손실을 계산할 수 있다. 이들 계수의 계산방법 및 경로손실의 계산 방법은 참고문헌 [2], [5]에 자세히 언급되어 있다.

III. 결 과

본 모델의 정확성 및 유용성을 검증하기 위하여 실내의 여러 환경에 대한 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션에서 사용한 광선의 개수는 공히 642개이고 13~15번 투과나 반사할 때까지 광선들을 추적하였다. 광선의 개수를 2,562개, 10,242개로 증가시키며 계산해 보았으나 결과는 매우 유사하게 나왔다. 따라서 계산 시간을 줄이기 위하여 본 시뮬레이션에서는 광선 개수를 642개만 사용하였다.

시뮬레이션에서 벽의 유전율과 전도도는 재질에 따라 약간씩 다르게 주었다. 콘크리트 벽의 경우는 두께 15 cm, 상대유전율 3, 전도도는 0.05 S/m으로, 층간 매질의 두께 20 cm, 전도도는 0.1 S/m으로 가정하고 계산하였고, 주파수는 900 MHz인 경우만을 계산하였다. 본 예측 코드는 안테나 패턴을 고려할 수 있게 개발되었으나, 여기서 제시하는 시뮬레이션에서는 안테나 패턴을 고려한 경우와 고려하지 않는 경우가 별 차이를 나타내지 않으므로 빔 패턴을 고려하지 않은 경우의 결과를 제시하였다. 모든 그림들에서의 경로손실은 자유공간 1 m에서의 수신전력에 대한 비로 나타내었다.

전자파의 편파에 의한 영향을 보기 위하여 T자형의 간단한 구조를 갖는 건물에 대한 시뮬레이션을 하였다. 그림 1은 복도만으로 이루어진 T자형 건물에 대한 3차원 구조도이다. 그림에서 TX로 표시된 곳이 송신기의 위치이며, 가는 실선들은 광선 추적기법으로 추적한 광선의 경로들을 나타낸 것이다. 복도의 길이는 50 m, 폭은 10 m이고, 천장과 바닥 사이의 높이가 3.5 m이다. 수신기 및 송신기의 위치는 각각 0.75 m일 때 각 수신기 위치에서의

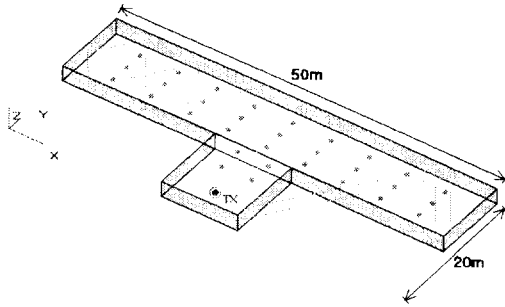


그림 1. T자형 건물의 3차원 구조
Fig. 1. 3d floor plan of T-type building.

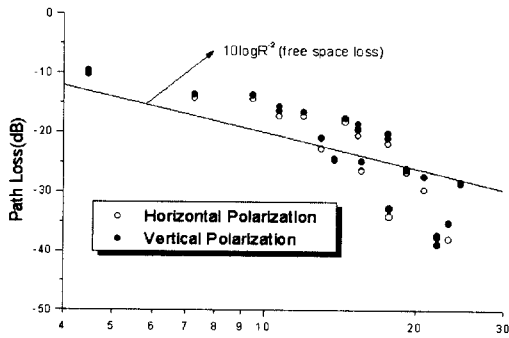


그림 2. T자형 건물에 대한 경로손실
Fig. 2. Path losses for T-type building.

경로손실을 계산하였으며 그 결과를 그림 2에 나타내었다. 회절은 짧은 복도와 긴 복도의 연결부위의 두 모서리에서만 일어나는 것으로 간주하였다.

그림 2에서의 ●점은 수직편파를, ○점은 수평편파에 대하여 계산한 경로손실을 나타내 주며, 실선은 자유공간에서의 경로손실로 $10 \log_{10} R^{-2}$ 를 나타낸다. 이 경우의 경로손실은 송신기로부터의 거리가 가까운 앞쪽 부분에서 자유공간의 손실보다 낮게 나타나는 것을 볼 수 있는데, 이는 복도를 따라 진행되는 반사파의 영향에 의한 것이다. 이 시뮬레이션 결과 전자파를 수직편파로 고려한 경우나 수평편파로 고려한 경우가 거의 일치하는 결과를 준다는 것을 알 수 있다.

본 모델의 정확성을 검증하기 위하여 우선 한

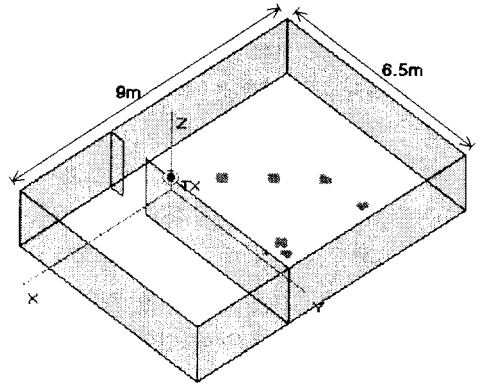


그림 3. 연구실 1에 대한 3차원 구조
Fig. 3. 3d floor plan of laboratory 1.

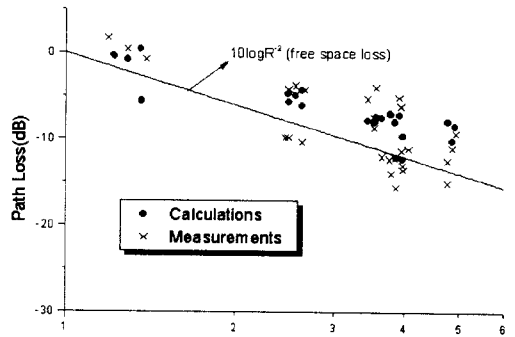


그림 4. 연구실 1에 대한 경로손실
Fig. 4. Path losses for laboratory 1.

방 내에서의 시뮬레이션 결과와 실측치를 비교하였다. 그림 3은 한 대학교 공학관 건물의 연구실에 대한 3차원 구조도이다. 연구실 한쪽의 TX로 표시된 곳에 송신기가 놓여져 있고 검은 점들로 표시된 곳이 수신기들이 놓여져 있는 곳으로, 이 경우의 수신 점들은 모두 가시영역(LOS) 내에 있다. 송신기와 수신기들은 모두 바닥으로부터 0.75 m의 높이에 놓여져 있다. 칸막이 벽의 재질은 콘크리트로 전도도를 0.05 S/m라고 가정하였으며, 경로손실의 측정에 사용한 송·수신안테나는 모두 900 MHz에서 11 mW의 출력을 갖는 다이폴 안테나였다.

그림 4는 그림 3에 대하여 경로손실을 계산한

결과를 보여주고 있다. 그림에서 × 기호는 측정된 결과를, ● 기호는 수직 편파에 대하여 계산한 결과를 나타낸다. 경로손실은 전체적으로 자유공간의 경우보다 약간 작게 나타나는 데, 이는 모든 점들이 가시영역에 놓여져 있기 때문에 직접파 이외의 반사파에 의한 영향을 받기 때문이다. 모든 점들에서 5 dB이하의 오차로 계산치와 측정치가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 모든 수신 점들이 가시영역에 놓여있는 경우 방 내부에 있는 책상, 의자 등의 가구나 여타 장애물들을 고려하지 않고 주요 구조물만을 고려하는 본 모델을 통한 예측결과는 실측치와 매우 근접되는 정확한 결과를 주는 것을 확인할 수 있다.

비가시영역(NLOS)에 수신 점들이 분포되어 있는 경우에 대한 모델의 정확성을 검증하기 위하여 그림 5와 같은 두 개의 칸막이가 있는 구조를 갖는 방에 대한 시뮬레이션을 하였다. 그림 5는 그림 3과 같은 건물의 다른 연구실에 대한 3차원 구조도로, 연구실 한쪽 방의 TX로 표시된 곳에 송신기가 놓여져 있고 검은 점들로 표시된 곳에 수신기들이 놓여져 있는 경우이며, 수신 점들이 가시영역과 비가시영역에 각각 나누어 분포되어 있다. 송신기와 가까운 곳에 있는 칸막이 벽은 석고 보드로 이루어진 벽이고, 송신기로부터 먼 쪽의 벽은 콘크리트로 이루어진 벽으로 전도도를 각각 0.005 S/m

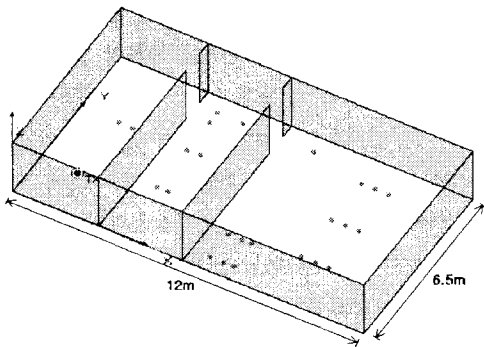


그림 5. 연구실 2에 대한 3차원 구조
Fig. 5. 3d floor plan of laboratory 2.

와 0.05 S/m라고 가정하였다. 그리고 두 출입구의 양쪽 모서리에서 회절이 일어나는 것으로 고려하였다.

그림 6은 그림 5에 대하여 경로손실을 계산한 결과를 보여주고 있다. 그림 4에서와 마찬가지로 그림 6에서의 × 기호는 측정치를, ● 기호는 예측치를 계산한 결과를 나타낸다. 6개의 점을 제외한 나머지 점들에서 5 dB이하의 오차로 계산치와 측정치가 잘 일치하는 것을 볼 수 있다. 6개점에서는 측정치와 계산치의 오차가 최대 8 dB 정도까지 벌어지는 것을 보여주고 있는 데, 이는 고려되지 않은 연구실 내부의 장애물들의 영향 때문이다. 그림 5의 연구실 내부는 책꽂이, 책상, 의자 등의 가구와 컴퓨터들로 채워져 있다. 그러나 시뮬레이션에서는 이 것이 고려되지 않았고, 또한 한 쪽 긴 벽의 바깥쪽은 복도인데, 이 복도로부터 되돌아오는 반사파들을 고려하지 않았다. 이런 이유들로 오차가 발생된 것으로 보인다. 좁은 영역에 많은 장애물들이 분포되어 있는 이 경우에도 평균적으로 계산치와 측정치가 근접하는 것을 확인할 수 있어 본 모델은 이런 경우의 수신강도 예측에도 잘 적용될 수 있다는 것을 알 수 있다.

예측 모델은 방 내부에서만 아니라 건물 전체에 대해서도 적용될 수 있어야 한다. 건물의 한 층을 대상으로 하는 시뮬레이션을 위해 그림 7과 같

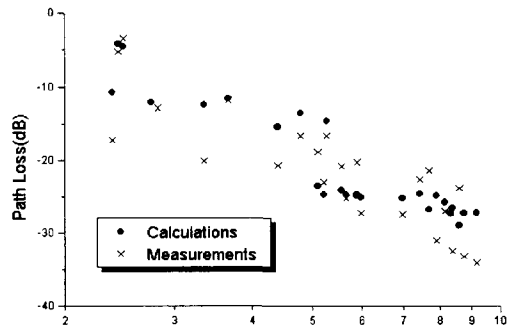


그림 6. 연구실 2에 대한 경로손실
Fig. 6. Path losses for laboratory 2.

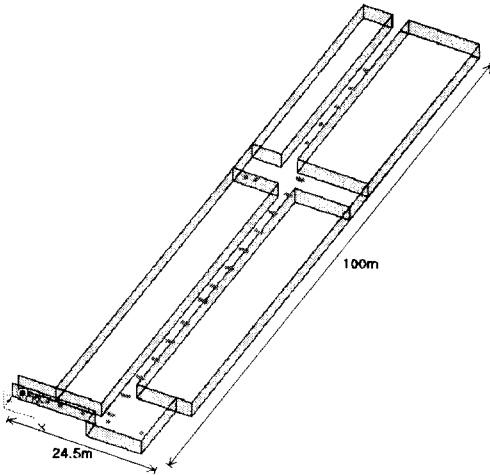


그림 7. 대학교 공학관 건물에 대한 3차원 구조
Fig. 7. 3d floor plan of engineering building in an university.

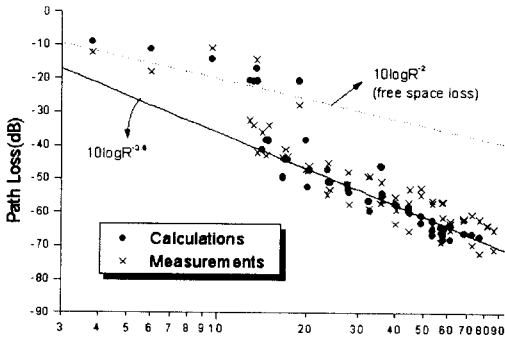


그림 8. 공학관 건물에 대한 경로손실
Fig. 8. Path losses for engineering building.

은 구조에 대해 경로손실을 계산하였다. 그림 7은 대학교 공학관 건물의 4층에 대한 3차원 구조도이다. 이 구조는 송신기에 대하여 가시영역에 있는 한 짧은 복도와 비가시영역에 놓인 두 개의 긴 복도로 이루어져 있다. 첫 번째 긴 복도는 송신기가 놓인 짧은 복도에 대하여 90° 방향으로 놓여 있고, 두 번째 긴 복도는 첫 복도에서 완전히 가려진 부분에 놓여 있다.

그림 8은 그림 7의 구조에 대한 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 이 결과에는 회절에 의한 손

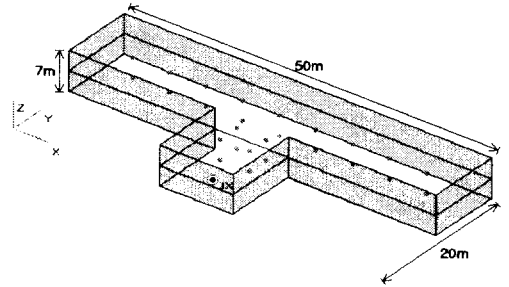


그림 9. T자형 2층 건물 구조
Fig. 9. Floor plan of T-type two-story building.

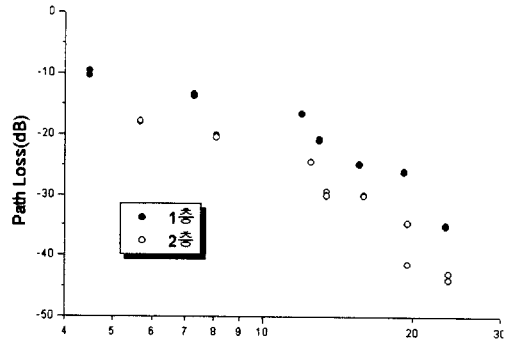


그림 10. T자형 2층 건물에 대한 경로손실
Fig. 10. Path losses for T-type two-story building.

실은 송신기가 놓여있는 복도의 끝 부분의 두 모서리에서만 있다고 가정하였다. 나머지 모서리에서의 회절파는 매우 작기 때문에 고려하지 않았다. 그림 8에서 송신기로부터 거리 14 m 근방부터 신호가 급격히 감소하는 것을 볼 수 있는데, 이 지점은 가시영역에서 비가시 영역으로 접어드는 곳인 첫 번째 긴 복도가 시작되는 지점이다. 짧은 복도와 첫 번째 긴 복도에 있는 수신 점들에서는 오차 5 dB 이내에서 예측치가 측정치와 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 그림에서의 점선은 자유공간에서의 경로손실을 나타내며, 실선은 $10 \log_{10} R^{-3.6}$ 함수를 그린 것으로 이것은 비가시영역에 있는 긴 복도 쪽의 수신 점들에 대한 계산치를 선형 회귀 방법으로 피팅한 결과로 이 부분에 대한 경로손실을

잘 나타내 주고 있다. 이와 같은 건물 구조에 대한 시뮬레이션이 5dB 이내의 정확한 예측 결과를 준다는 것으로부터 본 모델이 방 내부에서 뿐만이 아니라 복도를 포함한 건물의 한 층 전체에 대해서도 정확한 결과를 주는 모델임을 확인할 수 있다.

본 모델이 다층간의 전파 예측에도 적용될 수 있다는 것을 보이기 위해 2층 구조 건물에 대한 시뮬레이션을 하였다. 그림 9는 그림 1의 T자형 건물이 2층 구조를 가지고 있을 때의 건물 구조도이다. 송신기는 1층에 놓여져 있고 2층에는 1층과 나란한 위치에 수신 점들이 있는 경우이다. 건물 복도의 길이는 50m 이고, 너비는 10m 이며, 각층의 높이는 3.5m씩이다. 회절은 그림 1에서와 마찬가지로 두 모서리에서만 고려하였다.

그림 10은 그림 9에 대한 시뮬레이션 결과이다. 그림에서 ● 점들은 1층에 있는 수신 점들에 대한 경로손실이고 ○ 점들은 2층에 있는 수신 점들을 나타낸다. 1층에서의 점들은 그림 2의 결과와 거의 같으며 2층의 점들은 1층에 비하여 평균 약 15dB 정도 더 높은 손실을 보여주고 있다. 이는 층간의 매질에 의한 투과손실이 평균 약 15dB 정도 된다는 것을 말해주는 것으로 참고문헌 [3], [7]에 발표된 실험에 의한 결과와 유사하다. 이와 같이 다층 건물에 대한 전파예측에도 본 모델을 사용하여 시뮬레이션할 수 있음을 알 수 있다.

IV. 결 론

본 논문에서는 실내 전파전파 특성을 간단하고 정확히 예측할 수 있는 3차원 전파예측 모델을 제시하였다. 이 모델은 3차원 광선추적 기법 및 UTD(Uniform Theory of Diffraction)방법을 적용한 모델로 전파 장애물인 벽, 바닥 및 천장을 유한 전도도 및 유한 두께를 갖는 슬랩으로 모델링하여 그 내부에서의 다중 반사 및 투과를 고려함으로써 실내 전파전파에 대한 평균적인 반사/투과 손실을

간단하면서도 정확히 계산하였고, 또 유한 전도도 매질에 대한 UTD법을 이용하여 모서리에서의 회절 손실을 보다 정확히 계산하였다.

이 모델을 사용한 시뮬레이션을 효과적으로 수행하기 위해 32비트 Windows용 시뮬레이션 코드를 개발하였다. 이 프로그램은 객체지향언어인 C++ 언어를 사용하여 단 시간 내에 예측 결과를 계산할 수 있게 개발되었고, 사용자 편의를 위한 GUI 부분이 포함되어 있어 휴대용 컴퓨터를 통한 이동간 계산이 가능하게 작성되었다.

여러 경우에 대한 단층 구조 건물의 시뮬레이션 결과 예측치는 실측치와 매우 근접한 결과를 줌으로써 본 3차원 예측모델의 타당성을 입증하였다. 다층 구조 건물에 대한 시뮬레이션 결과는 측정치가 부재한 관계로 직접 비교할 수는 없었으나 참고문헌과의 간접 비교를 통하여 그 유용성을 보였다. 이와 같이 본 모델은 실내 단층은 물론 다층 구조까지 실내의 다양한 환경에 대하여 잘 적용될 수 있는 예측 모델임을 보였다.

참 고 문 헌

- [1] W. Honcharenko, H. L. Bertoi, J. L. Dailing, J. Qian, and H. D. Yee, "Mechanisms Governing UHF Propagation on Single Floors in Modern Office Buildings," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, pp. 496~504, Nov. 1992.
- [2] 고옥희, 백경훈, "Ray Tracing 방법에 의한 단층 실내에서의 전자파 전파 특성 연구", 전자공학회논문지, 제33권 A편, 제9호, 30(1996).
- [3] W. Honcharenko, H. L. Bertoi, and J. L. Dailing "Mechanisms Governing Propagation Between Different Floors in Buildings," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 41, pp. 787~790, June 1993.
- [4] D. A. McNamara, C. W. I. Pistorius, and J. A. G. Malherbe, *Introduction to The Uniform*

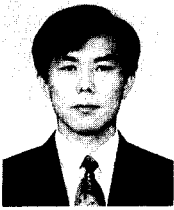
Geometrical Theory of Diffraction, Artech House, Boston, 1990.

- [5] 고옥희, 백정기, 홍현진, 유기석, "마이크로셀에서의 전파전파 예측을 위한 3차원 광선추적 알고리즘", *Telecommunications Review*, 제7권 6호, pp. 849~862, 1997.
- [6] R. J. Luebbers, "Finite Conductivity Uniform

GTD versus Knife Edge Diffraction in Prediction of Propagation Path Loss", *IEEE Trans. on Antennas and Propagat.*, vol. 32, pp. 70~76, Jan, 1984.

- [7] 이을노, 홍대형, "개인 휴대통신을 위한 마이크로셀의 모양 및 배치 연구", *한국통신학회지*, 제20권, 제3호, pp. 161~174, 1995.

고 옥 희



1983년 2월: 서울대학교 물리교육학과(이학사)
 1985년 2월: 한국과학기술원 물리학과(이학석사)
 1992년 8월: 한국과학기술원 물리학과(이학박사)
 1985년~1988년: 한국원자력연구소

연구원

1993년~현재: 한서대학교 물리학과 조교수
 [주 관심분야] 전파전파, 안테나, 전자장 수치해석