

# SBR 및 영상기법을 이용한 실내 환경의 전파특성 예측과 분석

## The Prediction and Analysis of the Propagation Characteristics in Indoor Environments Using the SBR/Image Method

손호경\* · 김채영\*\* · 김성진\*\*

Ho-Kyung Son\* · Che-Young Kim\* · Sung-Jin Kim\*\*

### 요 약

본 논문에서는 실내환경에 적합한 전파특성 예측 및 분석 기법을 제시하였다. 본 기법에서는 3차원 광선 추적 기법시 사용되는 수신구를 사용하지 않음으로서 코드의 구현을 용이하게 하였다. 개발한 코드의 타당성은 영상법에 의한 결과치 및 측정치와 각각 비교함으로써 검증되었다.

개발된 기법을 직육면체 복도의 중간쯤에 철재 방화문이 설치된 구조에 적용하였고, 방화문의 각도에 따른 경로손실을 계산하였다. 그 결과 PCS 대역에서 방화문으로부터 30 m 떨어진 지점의 경로손실은 약 15 dB 정도 감쇄하였고, 지연확산량은 약 4배 정도 증가하였다. 이는 PCS 대역일 경우, 복도에 설치된 방화문에 의해서 실내 전파환경이 크게 변화됨을 의미하는 것이다.

### Abstract

In this paper, the technique of prediction and analysis on the characteristics of propagation in indoor environment is presented. This technique needs no reception sphere commonly used in 3D-ray tracing scheme, and thereby it lends us easy code realization. The validity of developed code is verified by comparing with the values of image methods and measurement.

The developed technique applied to the structure of rectangular corridor with the iron door and we calculated the path loss for the variation of the iron door angle. The path loss decreased about 15 dB at the distance of 30 m from the iron door and the delay spread increased approximately by four times. Based on the computation, we confirmed that indoor propagation in PCS is heavily affected by the iron door in corridor.

### I. 서 론

무선 호출기, 휴대전화등과 같은 이동통신망의 대중화로 인하여 전파환경과 그 특성에 관한 연구가 활발히 진행되고 있다. 최근에 개인통신 서비스의 수요 증가를 수용하고자 개인 이동통신(Personal

Communication System, PCS)을 도입하였고, 특정한 지역내에서는 전화선 대신 전파에 의한 데이터의 교환을 가능케 하는 근거리통신망 WLAN(Wireless Local Area Network)이 널리 보급되었다. 이러한 근거리 통신망은 주로 서비스 반경이 작은 소규모 셀(마이크로 셀)이기에, 기지국과 이동국간의 전파환

\*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

\*\*경북대학교 공과대학 전자공학과(Department of Electronics, Kyungpook National University)

· 논문 번호 : 20000822-096

· 수정완료일자 : 2000년 12월 19일

경에 크게 의존하게 된다. 따라서 소규모 지역에 대한 전파특성 연구가 진행 중이며<sup>[1]~[3]</sup>, 그 중에서도 실내 전파특성 연구의 중요성이 부각되고 있다.

실내에서의 전파특성은 건물의 구조, 재질, 가구 배열에 따라서 크게 달라진다. 송신기로부터 방사된 전파는 벽이나 천장과 바닥으로부터 다중 반사를 겪게 되고, 또 가구 등의 모서리에 의한 회절을 겪기 때문에 상이한 도달시간과 전파 방향으로 인해서 심한 페이딩을 겪게 된다. 이러한 페이딩은 디지털 통신에서 강한 간섭을 일으켜 정보의 전달에 방해를 주기에 전파특성의 예측은 중요하게 된다. 지금까지 실내의 전파특성에 관한 연구가 많이 발표되었으며<sup>[4]~[6]</sup>, 실내 전파환경의 해석에는 기하광학과 회절이론에 근거한 광선 방사기법과 영상법이 많이 이용된다<sup>[7]~[9]</sup>. 영상법은 비교적 단순한 구조를 갖는 마이크로셀에 적합하며 데이터 획득에 필요한 계산시간이 짧아서 효율적이다. 반면에 광선 방사기법은 방대한 양의 데이터 베이스를 처리해야 하기 때문에 많은 계산 시간을 요구하지만 그 구조가 복잡한 마이크로셀에 적합하다고 볼 수 있다.

실내 전파환경에 대한 분석을 위해서는 대상 구조물에 적합한 모델링이 선행되어야 한다. 본 논문에서는 실내 환경에 적합한 전파 모델링을 사용하였다. 본 논문에서의 예측시는 광선 방사 기법의 일종인 SBR(Shooting-and-bouncing)/Image 기법을 도입하였고, 실내의 벽면·바닥·천정에 의한 반사와 편파를 고려하였다. 실내·실외 전파특성 분석을 위해 사용된 기존의 광선 추적 기법은 수신구를 사용하였기에 계산결과의 정확도는 설정된 수신구 반경에 따라서 달라지게 되었다. 만약 설정된 수신구의 반경이 정확한 수신구보다 더 클 경우는, 인접한 광선까지 수신전장에 포함되므로 수신전력 관점에서는 3 dB 정도의 오차가 발생된다. 또한 원래의 수신구의 반경보다 더 작게 수신구가 정의되면, 수신점에 도달되어야 할 광선이 포함되지 않기 때문에 계산된 수신전력은 실제보다도 작아진다<sup>[10]</sup>.

본 논문에서는 수신구 반경문제를 해결할 수 있는 SBR기법 알고리즘을 사용하므로써 이 오차를 줄일 수 있었다<sup>[13]</sup>. 그리고 모서리에서의 회절현상을 포함시키기 위하여 UTD를 적용시켰다. 수치 결과의 타당성 검증을 위해서 영상법과 측정에 의한

결과와 각각 비교하였다.

## II. 본 론

### 2.1 수신전력과 지연확산

무선망의 구현을 위해서는 항상 통신이 가능하도록 적정 수치의 전계강도가 보장되어야 한다. 전계강도는 바로 수신전력과 관계되며, 본 논문에서 사용된 수신전력 표현식은 다음과 같다. 안테나의 편파가 고려된 수신 전력은

$$P_r = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G_r |E \cdot \hat{h}|^2 = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G_r \left| \sum_k E_k \cdot \hat{h} \right|^2 \quad (1)$$

이다. 여기서  $E$  는 다중 경로에 의한 합성전장이고  $\hat{h}$  은 수신안테나의 편파를 나타내는 단위 실효 길이 벡터이다. 그리고  $\lambda$  는 파장이며  $\eta$  는 자유 공간의 파동 임피던스이고  $G_r$  은 수신안테나의 이득이다.

식 (1)은 협대역 신호에 대한 표현식이며, 광대역 신호의 경우 수신전력은 다음과 같다<sup>[12]</sup>.

$$P_r = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} G_r \sum_k |E_k \cdot \hat{h}|^2 \quad (2)$$

식 (1)은 복소량이다. 전장의 합산시에 각 전장의 위상이 고려되기 때문에 합산 결과 페이딩이 심한 신호가 된다. 그 반면, 식 (2)는 각 전장을 제곱하여 그 크기를 합하므로 빠른 페이딩은 사라지게 된다. 변화가 심한 수신전력의 상호 비교시에는 식 (2)의 광대역 수신전력을 이용하면 구분이 쉬워진다.

수신전력 이외에 디지털 통신에 있어서 중요한 파라미터 중의 하나는 RMS 지연 확산(RMS delay spread) 이다. 지연 확산은 디지털 데이터의 전송량을 제한하며, 그 결과로서 인접심볼 간섭(intersymbol interference)을 일으킨다. 다중 반사파가 상존할 경우 송신된 신호는 수신측에 각각 다른 전파경로로써 도달되므로, 각 전파경로로의 신호도착시간이 다르게 된다. 이것이 감안된 식이 식 (3)이다. 임펄스 신호를 송신했을 때 수신신호  $p(t)$ 는 다음과 같다<sup>[13]</sup>.

$$p(t) = \sum_{k=1}^{N_t} p_k \delta(t - \tau_k) \quad (3-1)$$

$$p_k = \frac{\lambda^2}{4\pi\eta} |\sqrt{G_k} \underline{E}_k \cdot \hat{h}|^2 \quad (3-2)$$

$$\tau_k = \frac{r_k}{c} \quad (3-3)$$

여기서  $p_k$ 는 경로  $k$ 에 의한 수신신호의 크기이며, 편파가 고려된 수신 전력식으로부터 구해진다.  $\tau_k$ 은 전파경로의 거리  $r_k$ 에 의한 지연시간이고,  $\delta(t - \tau_k)$ 은  $t = \tau_k$ 일 때 임펄스를 주는 델타 함수 또는 임펄스 함수이다. 마지막으로  $N_t$ 는 총 전파경로수이고,  $c$ 는 광속이다. 각 경로로부터 수신전력의 크기를 고려하여, 각 전파경로의 지연시간들이 평균 지연시간에 대해 얼마나 떨어져 있는지 그 산포도를 보여주는 RMS 지연 확산을 표현하면 다음과 같다.

$$\Delta = \left| \frac{\sum_{k=1}^{N_t} \tau_k^2 p_k}{\sum_{k=1}^{N_t} p_k} - \left[ \frac{\sum_{k=1}^{N_t} \tau_k p_k}{\sum_{k=1}^{N_t} p_k} \right]^2 \right|^{\frac{1}{2}} \quad (4)$$

식 (4)에 의한 지연 확산은 송신전력과는 무관하고, 송수신 안테나의 이득 패턴과 전파 채널의 기하학적 구조에 의해 결정되는 양이다. 지금까지 다중 경로 전파에 의한, 전장으로 표현된 수신전력과 지연확산 산출식이 논의되었으며 이 두 가지 양은 식 (1), (2), 및 (4)로부터 계산되어진다.

### 2-2 점전원의 모델링

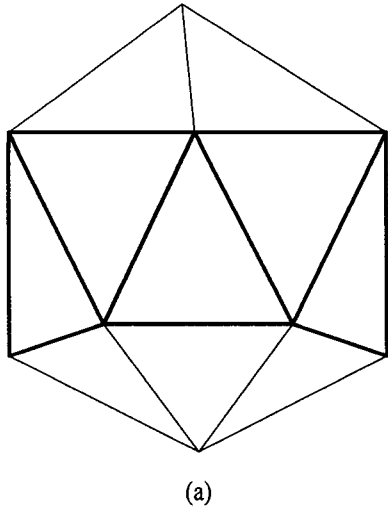
실내 전파환경의 경우 전파가 6개의 면에 부딪쳐서 다중반사를 일으키기 때문에, 실내에 존재하는 구조물에 의한 전파의 반사와 산란을 수용하기 위해서는 3차원 광선추적 기법이 필요하다<sup>[13]</sup>. 3차원 경로추적에서는 모든 광선이 3차원 공간에 존재하므로 진행광선의 일반화가 필요하다. 송신점을 점전원으로 간주할 경우 발사된 광선의 파면(wavefront)은 구면파이다<sup>[14]</sup>. 광선을 일정한 입체각 간격을 조정함으로써 전 공간으로 발사되는 모든 광선을 표현할 수 있다. 그러나 입체각을 이용하여 3차원 구면파를 구현하는데는 많은 어려움이 있다. 광선을

구면파로 가정하고 입체각을 이용하여 다수개의 광선을 만들면, 입체각으로 이루어진 광선 튜브(Ray tube)간의 빈 간격이 생겨서 전방향에 대한 광선을 정의할 수가 없다. 따라서 3차원 광선을 구면파로 나타내지 않고, 새로운 형태의 파면으로 정의함으로써 광선 표현식을 얻을 수 있다. 광선을 다면체화하기 위해서는 파면을 2차원 평면다각형으로 두어야 한다. 예를 들면 파면을 정삼각형, 정사각형, 또는 정육각형으로 두면 구의 표면상에는 빈틈이 생기지 않는다<sup>[15]</sup>.

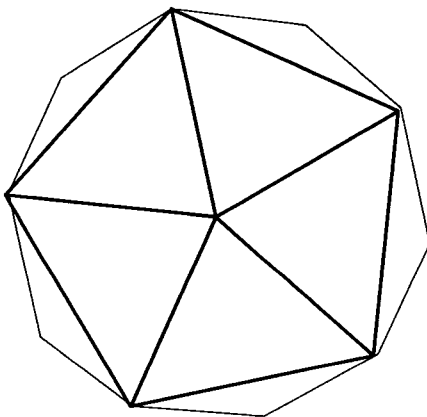
그림 1은 20개의 면을 가진 20면체이다. 20면체는 구안에 내접하며, 20개의 삼각형과 12개의 꼭지점으로 이루어져 있다. 각 꼭지점은 5개의 삼각형면과 접하고 있다. 구 중심에 점전원이 있을 때 광선을 각 꼭지점으로 향하여 발사하면, 각 광선은 등간격의 입체각을 가지는 광선 튜브로 구성되므로 일반화된 3차원 광선이 얻어진다. 그림 1(a)에서 중앙에 굵게 표시된 부분에 총 10개의 꼭지점이 있고, 그 위 아래에 한 개씩의 꼭지점이 놓여 있다. 그림 1(b)는 위에서 본 그림인데 아래에 존재하는 꼭지점이 축이 되고 좌우 대칭인 구조가 된다. 프로그램상에서 20면체를 구현하기 위해서는 12개의 꼭지점 좌표가 필요하다. 20면체를 이루는 꼭지점의 좌표는 전개도를 이용하면 쉽게 구해진다.

20면체의 꼭지점 방향으로 광선을 발사하면 총 광선의 개수는 20개가 된다. 20개의 광선으로만 경로추적을 하면 정확한 값을 예측할 수 없기 때문에 광선의 개수를 증가시킬 필요가 있다. 20면체를 이루는 한 삼각형을 응용시켜 광선의 개수를 조절할 수 있다. 삼각형의 각 변과 평행한 선을 삼각형내에 생성하여 각 평행선이 만나는 교점에 새로운 광선을 대응시켜 개수를 증가시킨다. 다시 말하면, 원정점(original vertex)는 앞에서 구한 12개의 점 중에서 한 점을 말하면, 가장자리 정점(edge vertex)은 원정점을 연결한 선분 위에 생기는 교점을, 내부 정점(interior vertex)은 원정점이 이루는 삼각형의 각 변의 평행선이 삼각형 내부에 만드는 교점을 의미한다.

가장자리 정점은 인접한 삼각형 면에 중첩되기도 하고, 내부 정점은 20면체의 삼각형내에 존재하는 점이다. 이렇게 분할해서 생기는 총 광선의 개수는



(a)



(b)

그림 1. 20면체

(a) 정면도, (b) 평면도

Fig. 1. An icosahedron.

(a) front view, (b) plane view

$20N^2$  이다. 여기서  $N$ 은 삼각형의 내부를 분할하는 분할주파수(tessellation frequency)이다.  $N$ 의 값이 클수록 광선 튜브의 크기는 작아져서 해상도는 증가하지만 계산 수행에 필요한 시간이 더 많아진다. 따라서 적절한 분할주파수의 결정이 필요하다고 본다. 분할 주파수에 따라 분할된 작은 삼각형들을 구 위로 투영시키면 그림 2와 같은 삼각형들을 얻을 수 있다.

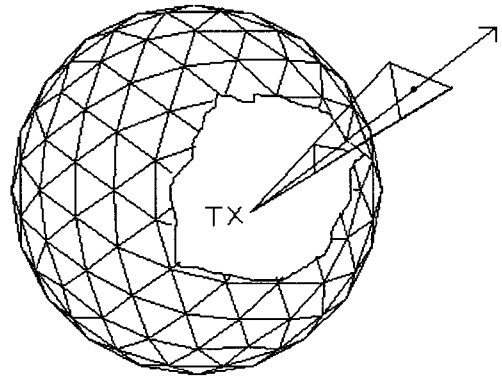


그림 2. 송신 안테나로부터 방사된 광선 튜브

Fig. 2. Ray tubes shot from transmitting antenna.

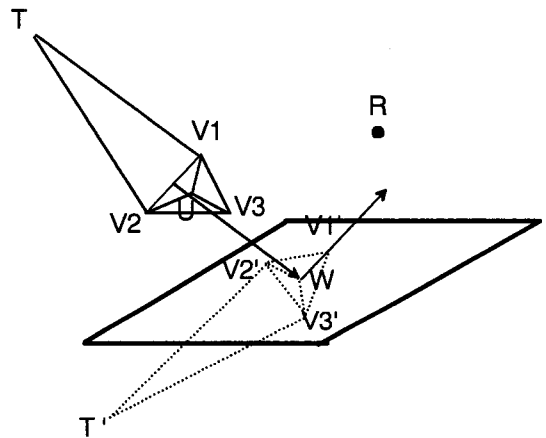


그림 3. 삼각광선튜브의 입사와 반사

Fig. 3. Incident and bouncing of triangular ray tube.

### 2-3 SBR/Image 기법

그림 3은 삼각 광선튜브의 경로를 추적하고 수신 여부를 체크하는 방법을 나타내고 있다. 기준점  $T$ 가 포함된 삼각튜브  $TV_1V_2V_3$ 는 경로 길이  $d = \overline{TU}$ 를 가진다. 튜브 중심광선의 방향은  $\hat{d} = \overline{TU} / TU$ 이고, 세 개의 방향 벡터는  $\overline{UV_1}$ ,  $\overline{UV_2}$ ,  $\overline{UV_3}$ 로 표현된다. 이러한 정보로부터 꼭지점  $V_1$ ,  $V_2$ ,  $V_3$ 는 다음과 같다<sup>[6]</sup>.

$$\vec{V}_j = \vec{T} + d\hat{d} + \overline{UV}_j, \quad j = 1, 2, 3 \quad (5)$$

입사 광선 튜브가 주어지면 반사점과 반사 방향이 결정된다. 이 때 반사되는 삼각튜브  $T'V_1'V_2'$   $V_3'$ 는 새로운 영상 위치  $T'$ 에 의해 결정되며, 이는 식 (6)과 같다.

$$\overrightarrow{WV_j'} = \frac{d'}{d} [\overrightarrow{UV_j'} - 2(\overrightarrow{UV_j'} \cdot \hat{n})\hat{n}],$$

$$j = 1, 2, 3 \quad (6)$$

여기서  $W$ 은 반사점이고,  $d'$ 는 새로운 경로 길이이며  $d' = \overrightarrow{T'W} = \overrightarrow{TW}$  값을 가진다. 이때 영상전 원점과 송신점을 연결하는 벡터  $\overrightarrow{T'R}$ 과 삼각형  $V_1'V_2'V_3'$ 를 포함하는 평면과의 교점을 구하여 그 교점이 삼각형 내부에 있고, 교점과 수신점 사이에 장애물이 존재하지 않는다면 그 광선 튜브는 수신되는 것으로 판단한다.

### 2-4 복도에 대한 실험

해석 대상으로 선정된 특정 건물은 경북대 공학관 9층이며, 건물의 내부구조는 그림 4(a)와 같이 복도를 중심으로 연구실과 강의실이 배치되어 있다. 그림 4(a)는 9층 건물 평면도이며, 복도의 폭은 2.6 m,  $x$  축을 따른 복도의 길이는 75 m, 그리고 바닥과 천정의 간격은 2.5 m이다. 그림 4(b)는 복도를 길이  $L$ , 폭  $M$ , 높이  $H$ 인 직육면체의 공간으로 모델링한 것이다. 천정과 바닥, 벽면은 상대유전율과 전도도로 재료의 특성을 나타내었다. 긴 복도의 중앙에 송신 안테나  $TX$ 가 놓여 있고, 수신안테나  $RX$ 는  $x$  축 방향으로 복도를 따라서 이동된다.

송신 안테나로부터 복사된 전파는 모든 방향으로 나아가고, 반사와 투과, 그리고 회절을 통한 여러 경로를 형성하면서 수신안테나에 도달된다. 그림 4(b) 및 (c)에는 송수신 안테나 사이에 있는 것은 경북대 공학관 9층 건물의 복도에 있는 방화문이다. 이 방화문에 의한 전파특성을 예측함으로써 실내에 존재하는 구조물이 실내 무선 통신에 미치는 영향을 보고자 한다.

### 2-5 결과 및 고찰

앞에서 논의한 SBR/Image 기법을 예측모델에 적용하여 얻은 수치결과를 제시하고 이를 분석하고자

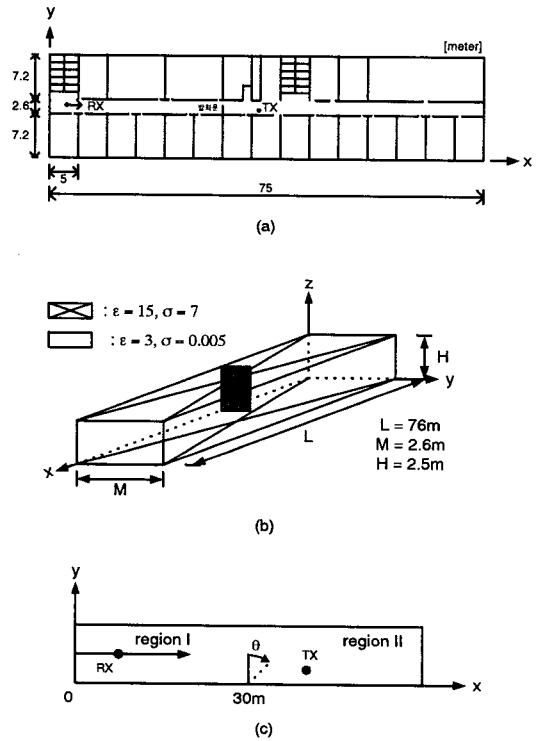


그림 4. 실내 구조물의 전파환경

- (a) 실내 구조의 평면도
- (b) 실내 구조의 모델링
- (c) 모델링의 평면도

Fig. 4. The propagation environment of indoor structure.

- (a) Plane view of indoor structure
- (b) The modeling of indoor structure
- (c) Plane view of the modeling

한다. 수치결과를 제시하기 전에 앞서 SBR/Image 기법에 의한 시뮬레이션 결과의 타당성을 검증하기 위하여, 이미 검증된 영상법에 의한 수치결과 및 측정치와 각각 비교하였다. 비교시는 그림 4에 보인 그림에서 방화문이 제거된 경우이다.

예측치와 측정치의 비교를 위하여, 먼저 경로손실을 정의하면 경로손실은

$$Path Loss = P_o - P_r [dB] \quad (7)$$

이다. 여기서  $P_o$ 는 송신안테나로부터 1 m 떨어진 지점에서 자유공간의 수신전력이다. 측정치  $P_r$ 는

전파무반사실에서 송수신 안테나간의 거리를 1 m 로 두고 측정된 수신전력이다. 그리고  $P_r$ 은 예측 또는 측정된 수신전력이다. 그림 5는 영상법에 의한 예측치, SBR에 의한 예측치 그리고 측정치를 서로 비교한 것이다.

영상법을 적용한 경로손실 산출시 벽의 상대유전율과 전도도는 각각 앞에서 언급했던 바와 같이  $\epsilon = 3$ 과  $\sigma = 0.005 S/m$ 이며, 천정과 바닥의 경우 상대유전율과 전도도는  $\epsilon = 15$ 와  $\sigma = 7 S/m$ 로 하였다<sup>[16]</sup>. 영상안테나의 수는 무한개이지만 계산을 위하여 벽면 영상의 최대 번호를  $M$ 이라고 하고 천정과 바닥에 의한 최대 영상 번호를  $L$ 로 두었을 때  $L = M = 10$ 으로 하였다. 송신 안테나 TX의 위치는  $(37, 0.6, 1.6)m$ , 수신안테나 RX의 위치는  $(x, 1.8, 1.6)m$ 로 두었다. 이는 SBR 기법 적용시나 측정시도 모두 동일하다.

SBR 기법을 적용하여 경로손실의 산출시에 사용된 벽, 천장 및 바닥의 상대유전율과 전도도는 영상법의 경우와 동일한 수치를 사용하였다. 그림 6(a)는 경로 추적을 위해 발사된 광선 튜브의 수를 결정하는 분할주파수에 따른 경로손실의 값이며, 이 때 bouncing 회수는 10번으로 제한하였다. 분할주파수의 값은 계산시간 측면에서 매우 중요한 양이다. 분할주파수  $N$ 의 값이 증가할수록 더 정확한 값을 계산하지만 수행 시간이 더 길어지게 된다.

계산시에는 해의 수렴을 감안하여서 분할주파수  $N$ 은 20으로 두었다. 그림 6(b)는 bouncing 회수에

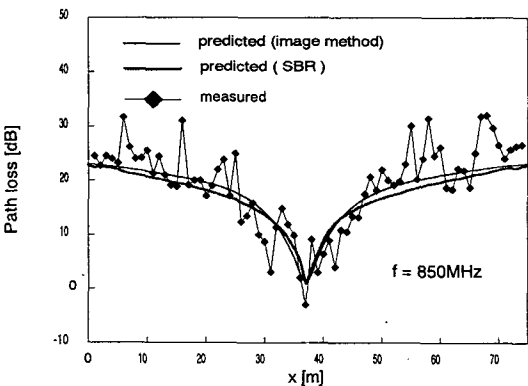
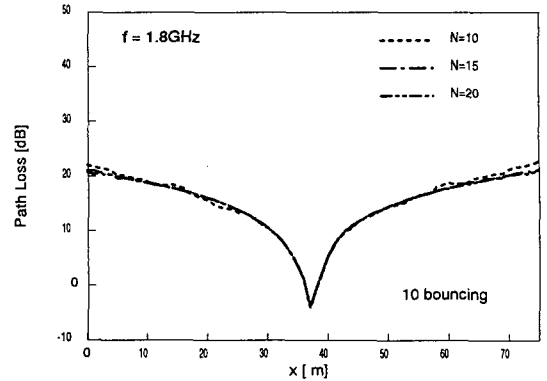
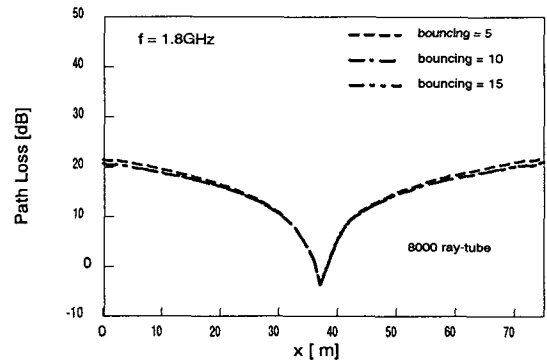


그림 5. 영상법 결과와의 비교  
Fig. 5. The comparison to result by image method.



(a)



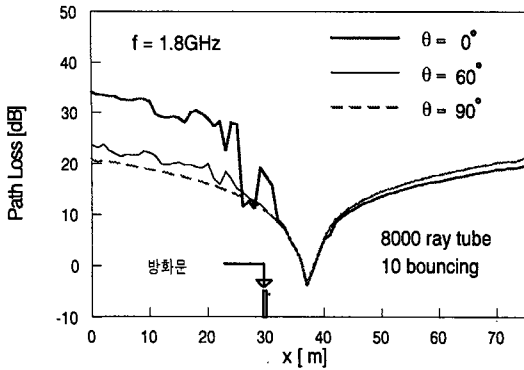
(b)

그림 6. (a) 분할주파수에 따른 경로손실  
(b) Bouncing 회수에 따른 경로손실

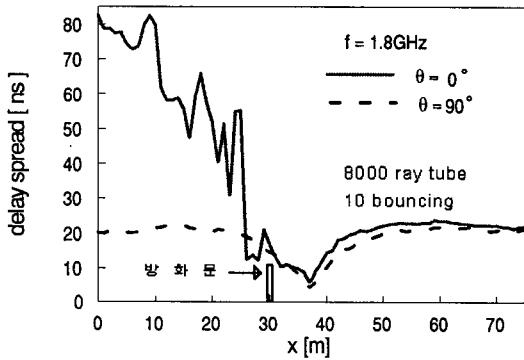
Fig. 6. (a) Path Loss for the tessellation frequency  
(b) Path Loss for number of bouncing

따른 경로손실의 값이다. 그림에서 알 수 있듯이 bouncing 회수가 10 이상이 되면 bouncing 회수를 증가시키더라도 경로손실에 변화가 없다. 실제로 페이딩의 변화가 거의 동일하고, 이 상태에서 수렴한다고 볼 수 있다.

측정시 장비 구성으로서 송신측에 신호발생기와 다이폴 안테나를 수신측에는 스펙트럼 분석기와 모노폴 안테나를 사용하였다. 이 때 송수신안테나는 모두 수직 편파를 이용하였다. 측정치는 1 m 간격마다 기록하였으며, 1과장 이내의 범위에서 평균치를 이용하였다. 그림 5에서 보듯이 영상법에 의한 결과와 SBR 기법에 의한 결과는 거의 일치한다. 그리고 이는 측정값과도 유사하다. SBR기법에 의한



(a)



(b)

그림 7. (a) X축 변화에 따른 경로손실

(b) X축 변화에 따른 지연확산

Fig. 7. (a) Path Loss along the X-axis

(b) Delay spread along the for the X-axis

예측치의 타당성이 입증되었기 때문에, 다른 복잡한 실내 환경에 적용 가능하다고 보고 실제 예측 모델에 적용하여 전파특성을 예측하였다. 그림 7(a)은 PCS 주파수대인 1.8GHz에서 계산된 수신전력이다. 이 때 송신안테나 TX의 위치는 앞에서와 동일하게 (37, 0.6, 1.6)m, 수신 안테나 RX의 위치는 (x, 1.8, 1.6)로 두었다.  $\theta = 0^\circ$ 인 경우를 살펴보면, 수신 안테나가 영역 I에 있을 때 방화문의 폭이 1.3m이기 때문에 전파음영지역에 위치하는 것이 된다. 이 때 방화문의 모서리를 통한 회절파와 나머지 반의 공간을 통해 들어온 다중반사파가 존재하지만 방화문이 송신 안테나를 가로막는 장애물이 되기 때문에 경로손실을 증가시킨다. 영역 II에 수신안테

나가 있을 때는 송수신 안테나는 모두 가시 영역에 존재하게 된다. 그림 7(a)와 같이 수신안테나가 송신점에서 거리가 멀어질수록 경로손실이 증가함을 볼 수 있다. 그리고  $\theta = 0^\circ$ 일 때 방화문이 반사체 역할을 하여 수신전력을 증가시켰기 때문에 경로손실이  $\theta = 90^\circ$ 일 때보다 작다.

그림 7(b)는 예측모델의 지연확산을 나타낸 것이다. 수신안테나가 region I에 위치할 때  $\theta = 0^\circ$ 일 때의 지연확산값이  $\theta = 90^\circ$ 일 때 값보다 훨씬 증가한다. 이는 도달파의 전파경로의 차이가 증가하게 되어 도달시간차가 늘어나기 때문이다. 이처럼 구조물의 단순한 위치변화에도 지연확산은 큰 영향을 받는다는 것을 알 수 있다.

### III. 결론

복잡한 실내 환경에 대한 전파특성 예측 기법을 제시하였다. 제시된 기법을 방화문이 설치된 복도에 적용하여서 방화문의 열림 정도에 따른 수신전력과 지연확산량을 계산하였다. 계산시는 SBR/Image 기법과 UTD이론을 적용하여서 전파의 다중 반사와 회절현상을 포함시켰다. 특히 SBR/Image 기법의 적용시에는 기존의 문헌에서 사용되던 수신구를 제거하면서도 코드 구현이 쉬운 방법을 채택하였다. 그 결과 수신구 반경 설정에 따른 오차를 감소시킬 수 있었다.

제안된 방법의 타당성을 검증하기 위하여서 복도를 직육면체로 모델링하였고, 여기에 영상기법을 적용하여서 얻은 결과치 및 측정치를 상호 비교하였다. 그 결과 3자간의 결과해가 서로 잘 일치되었다. 또한 일반화된 기법이므로 매우 복잡한 실내 구조를 가진 마이크로셀 전파환경 분석에 일조를 하리라고 기대된다. 본 기법에 의해 예측된 결과치를 활용함으로써, 방화문 등이 포함된 실내 구조에 대한 무선망 해석 및 설계 시에 도움을 주게 된다.

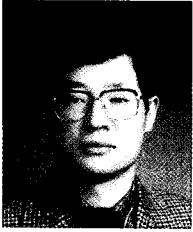
### 참고 문헌

[1] U. Kauschke, "Propagation and system performance simulations for the short range DECT system in microcellular urban roads," *IEEE*

- Veh., Technol.*, vol. 44, no. 2, pp. 253-260, May, 1995
- [2] 김채영, "도심지 전파환경에 관한 고찰," *Telecom Review*, 통권 34호 제 5권 5호, pp. 62-87, 한국이동통신, 1995. 12.
- [3] 김채영, 정백호, "도심지 마이크로셀과 피코셀의 전파모델," *Telecom Review*, 제 6권 3호, pp. 221-235, 한국이동통신, 1996. 5.
- [4] H. L. Bertoni, W. Honcharenko, L. R. Maciel, and H. H. Xia, "UHF propagation prediction for wireless personal communications," *Proc. of the IEEE*, vol. 82, no. 9, pp. 1333-1359, Sept., 1994
- [5] D. M. J. Devasirvatham, "A comparison of time delay spread and signal level measurement within two dissimilar office building," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, vol. 35, no. 3, pp. 319-324, March, 1987.
- [6] R. A. Valenzuela, O. Landron, and D. L. Jacobs, "Estimating local mean signal strength of indoor multipath propagation," *IEEE Trans. Veh.* 46, no. 1, pp. 203-212. Feb., 1997.
- [7] S. J. Fortune, D. M. Gay, B. W. Kernighan, O. Landron, R. A. Valenzuel, and M. H. W. Wright, "WISE design of indoor wireless system : practical computation and optimization," *IEEE Computational Science and Engineering*, pp. 58-68, Spring, 1995.
- [8] S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, "Site-specific propagation prediction for wireless in-building personal communication system design," *IEEE Trans. Veh. Technol.*, vol. 43, no. 4, pp. 879-891, Nov., 1994.
- [9] U. Dersch and E. Zollinger, "Propagation mechanisms in microcell and indoor environment," *IEEE Trans. Veh. Technol.* vol. 43, no. 4, pp. 1058-1066, Nov., 1994
- [10] S. Y. Seidel and T. S. Rappaport, "A ray tracing technique to predict path loss and delay spread inside room," in *Proc. IEEE GLOBECOM Conf, Orlando, FL*, pp. 649-653, Dec., 1992
- [11] 손호경, 김성진, 김채영, "실내 환경의 전파특성 예측과 분석," 대한전자공학회 하계종합학술대회 논문집, 제 21권 1호, pp. 169-172, 1998. 6.
- [12] K. Pahlavan and A. H. Levespue, *Wireless Information Network*, John Wiley & Sons, Inc., New York, pp. 50-55, 1995.
- [13] H. R. Anderson, "A second generation 3-D ray tracing model using rough surface scattering," *IEEE 46th VT. Conf.*, vol. 1, pp. 46-49, Apr., 1996.
- [14] M. J. Feuerstein and T. S. Rappaport, *Wireless Personal Communications*, Kuwer Academic Publishers, pp. 281-315, 1993
- [15] H. Kenner, *Geodesic Math and How to Use It*, Berkeley, CA : Univ. of californa Press, 1976
- [16] N. Papadakis, A. Kanatas, and P. Constantinou, "Radio propagation measurements and modeling using ray tracing techniques," in *Proc. 44th IEEE Veh. Technol. Conf.*, pp. 1767-1770, June, 1994.



김 채 영



1976년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1978년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학석사)  
1990년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과(공학박사)  
1985년 9월~1986년 8월: 미국

Syracuse 대학 방문연구원

1991년 9월~1993년 2월: 미국 MIT 공대 연구과학자  
1979년 4월~1992년 9월: 경북대학교 전자공학과 전임강사 부교수  
1992년 10월~현재: 경북대학교 공과대학 전자·전기 공학부 전자파 연구실 교수  
[주 관심분야] 이동통신 전파환경, 무선망 설계, 전자파의 인체영향, 전자파 이론 및 응용

김 성 진



1992년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1995년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학석사)  
1997년 8월~현재: 경북대학교 전자공학과 박사과정 수료  
[주 관심분야] 이동통신 전파환경, 무선망 설계, 레이다 단면적 계산

무선망 설계, 레이다 단면적 계산

손 호 경



1997년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학사)  
1999년 2월: 경북대학교 전자공학과(공학석사)  
1999년 2월~2000년 3월: LG정보통신 중앙연구소 연구원  
2000년 5월~현재: 한국전자통신

연구원 연구원

[주 관심분야] 이동통신 전파환경, 무선망 설계