

Ray-Tracing을 이용한 구내 전파 전파특성 해석

류 황

배재대학교 정보통신공학과

Analysis of the indoor radio signal propagation characteristics by ray-tracing technique

Hwang Ryu

Dept. of information and communication engineering, Pai Chai University

이 논문에서는 기하광학과 회절이론을 통하여 이론적으로 경로손실을 나타내는 식을 유도하였다. 이 식을 이용하여 동일 층내에 위치한 안테나간의 전파 특성을 살펴보기 위하여 Bertoni가 사용한 건물과 같은 구조에 대하여 이전의 연구 결과와 비교하였다.

In this paper, using the derived formula based on field theory both geometrical optics and diffraction theory, several features of same buildings of Bertoni's construction that influence the propagation of signals between antennas located on the same floor have been investigated theoretically and compared with previously studied results.

Key words : Indoor propagation, UTD, Path Loss, Antenna

I. 서 론

급격하게 발전하는 이동통신의 기술은 지금 개인휴대통신 시대를 예고하며 발전해 나가고 있다. 또한, 이동통신의 수요가 증가하면서 현재의 셀룰라(cellular)체계의 수용 용량의 한계와 비효율성으로 인하여 마이크로셀 또는 피코셀(pico-cell)단위의 개인통신망(PCN) 구축이 요구되고 있다.

개인통신 서비스는 900MHz대 주파수를 이용하는 호출기능 위주의 서비스 이외 1.8 - 2.2GHz대를 이용하는 음성위주 서비스의 지상 통신망 및 1.6 - 2.4GHz 주파수의 저 궤도 위성을 이용하는 음성, 비음성 서비스로 구분될 수 있다. 이러한 PCN을 구축하는데 있어서 전자파의 전파 특성을 예측하는 분야는 통신시스템의 설계에서

부터 운용까지 전 범위에서 매우 중요한 요소가 된다. 이는 전파특성 예측에 따라 직접적으로 통신의 가능여부 뿐만아니라 통신의 품질이 결정되고 또한, PCN전체 시스템 설계에까지 영향을 주기 때문이다.

전파모델의 예측에는 크게 실외분야와 실내 분야로 대별된다. 실외에서의 전파특성 예측은 많은 연구자에 의해 연구되어 있으나 실내 경우는 그러하지 못하다. 다양하고 복잡한 장애물들이 산재되어 있는 실내경우, 송신기에서 송신되는 전자파는 여러 형태의 전파장애물에 의해 반사, 투과, 산란 및 회절되어 다중경로(multi-path)로 수신기에 전달된다. 따라서 전자파는 경로에 따른 에너지의 손실 즉, 경로손실(path loss)이 발생하게 된다.

실내에서의 경로손실 예측은 PCN시스템 설계나 실내 기지국의 위치 설정에 필수적인 사항이

므로 보다 정확한 예측방법이 요구된다.

기존에 연구된 방법으로는 실험적 수단을 통한 수식 수립이 있는데^{1,5,6,7)} 이 방법은 많은 비용과 시간이 요구될 뿐만 아니라 건물이 다를 경우 오차가 많이 발생한다. 그러므로 전자기적 이론을 기초로 한 수식적 모델에 의한 전파특성 예측에 관한 연구가 80년대 말부터 거론되어 현재 연구중에 있다.^{8,9)}

이 연구는 기하광학적 방법을 기초로 하여 구내 전파특성을 예측하는 연구이다. 전자파의 종류인 TE, TM파에 대한 벽의 반사와 투과 특성식을 구한뒤, 기하광학에 의한 ray path, 수신 안테나의 수신반경 및 천정과 바닥의 장애물에 의한 excess path loss를 계산하므로써 전자파의 경로손실을 구한다. 위의 경로손실에 구성되는 관계식을 유도하며 특정 모델에 대한 경로손실을 예측한다. 또한, 벽면 모서리에 의해 발생하는 회절파를 계산하기 위하여 UTD(Uniform Geometrical Theory of Diffraction)를 이용한다. 건물 단층 모델에 대한 회절파를 예로서 계산하고 앞에서 구한 다중반사 및 투과와 excess path loss를 모두 고려하여 모델에 대한 경로손실을 이론적으로 구하며, 기존에 연구된 결과와 비교 및 검토한다.

II. 구내 복사 특성

1. path loss

사무실 건물내의 벽들은 주로 콘크리트나 석고 보드 등의 유전체로 이루어져 있다. 벽의 표면은 이동통신에 주로 사용되는 1~2 GHz 대 파의 파장에 비하여 매끄러우나, 벽의 내부에는 철근, 못, 관등의 금속물질을 포함하고 있어 전자파의 산란체로서 작용하므로 전기적으로 매우 불규칙한 성질을 갖는다. 그러나, 이러한 물체들에 의해서 발생하는 산란파는 평균 전파손실을 계산하는 데는 중요하지 않으며, 또한 먼 거리로의 에너지 전달에는 기여하는 바가 거의 없다.

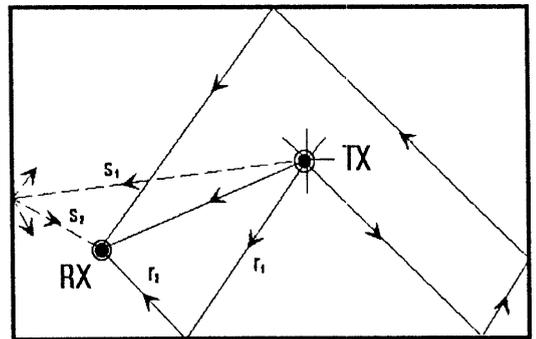
예를들어 그림 1에서와 같이 거울처럼 반사되는 ray의 경로를 r_1, r_2 라고 할 때 자유공간에서의 반사되는 필드에 의한 경로손실(path loss)은 $1/(r_1+r_2)^2$ 에 비례한다. 그러나, 그림에서 s_1, s_2 로 표시된 경로를 갖는 산란되는 필드에 의한 경로손실은 $1/(s_1 s_2)^2$ 에 비례하는 경로손

실 갖는다.

따라서 이 연구의 모델에서는 지배적인 에너지 전달과정인 거울 같은 반사와 투과(specularly reflection and transmission)에 의한 에너지 전달 과정만을 고려하였고, 분산적인 산란(dispersive scattering)에 의한 에너지 전달 과정은 포함시키지 않았다. 즉 벽과 천장 및 바닥에 의해 전파(propagation)에 미치는 영향은 반사 및 투과에 의한 것만 있다고 가정하였다.

이 연구의 전파 예측 모델은 ray tracing 방법을 사용하는 것으로, ray tracing에서는 송신 점에서 수신 점으로 전파되는 파의 경로손실(path loss)을 계산하기 위해 송신기에서 각 수신 점으로 진행되는 ray가 벽면에 한번 부딪히게 되면 그 점에서부터 거울 같은 반사 방향과 투과 방향으로 나아가는 ray만을 추적(tracing)하게 되며, 다중 경로를 통하여 각 수신 점으로 도달된 ray들의 에너지를 합산하여 경로손실을 계산한다. 여기서 경로손실(path loss)이란 수신기에서 수신되는 전력(power)을 송신 안테나로부터 1m 떨어진 자유공간의 수신점에서 수신되는 전력으로 나누어 준 값을 dB로 표시한 것을 뜻한다.

Ray tracing 프로그램에서는 반사와 투과에 의하여 전달되는 에너지가 얼마나 되는지를 알아야 하므로 먼저 벽에 의한 반사 및 투과 과정을 모델링하여 반사계수 및 투과계수를 구하고, 그것에 근거하여 다중경로를 통해 전파해 가는 ray들을 추적하여 각 수신점에서 수신되는 전력을 계산한다.



<그림 1> 송신기로부터 수신기로의 ray의 전파 과정

2. 반사 및 투과

벽(wall)은 전기적으로 부도체이므로 유전체로

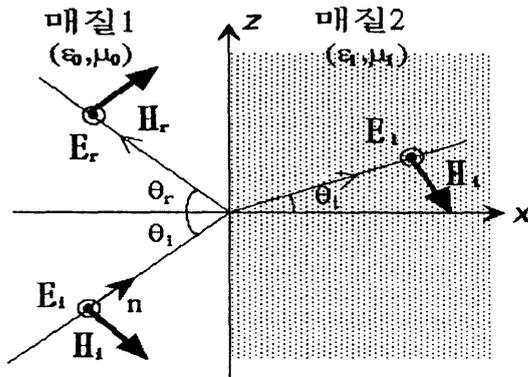
간주할 수 있다. 따라서 벽에 입사하는 전자파는 반사 및 투과를 하게 되며, 이 반사 파 및 투과 파에 의해 전달되는 에너지를 계산하기 위해서는 벽면에서의 반사 및 투과계수를 알아야 한다.

아래 그림에서와 같이 매질 1을 공기, 매질 2를 벽($\epsilon_1/\epsilon_0=3$)이라 할 때 매질 1, 2에서의 전파상수 k 와 특성 임피던스 η 는 다음과 같다.

$$\text{매질1: } k_0 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_0} \left(= \frac{2\pi}{\lambda} \right), \quad \eta_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \quad (1)$$

$$\text{매질2: } k_1 = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon_1}, \quad \eta_1 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_1}} \quad (2)$$

여기서, ω 와 λ 는 각각 파의 각 진동수와 파장이며, μ_0 는 공기 중에서의 투자율(permeability)이고, ϵ_0 와 ϵ_1 는 각각 공기 중에서의 유전율(permittivity)을 말한다.



<그림 2> 벽에서 반사 및 투과되는 TE파

그림 2는 TE파가 매질에 입사될 때 입사파(incident wave), 반사파(reflected wave), 투과파(transmitted wave)를 각각 E_i , E_r , E_t 로 하여 벽면에 부딪힌 파가 어떻게 행동하는가를 나타낸 그림이다. 여기서 θ_i , θ_t 는 각각 입사각 및 투과각이다.

유전체 경계면에서 경계조건과 Snell법칙을 cosine 함수로 변환하여 이용하면 반사계수는

$$r = \frac{\cos \theta_i - \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} - \sin^2 \theta_i}}{\cos \theta_i + \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} - \sin^2 \theta_i}} \quad (3)$$

이고 투과계수

$$t = \frac{2 \cos \theta_i}{\cos \theta_i + \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} - \sin^2 \theta_i}} \quad (4)$$

이다.

또한 TM파의 경우 반사계수와 투과 계수는 다음과 같다.

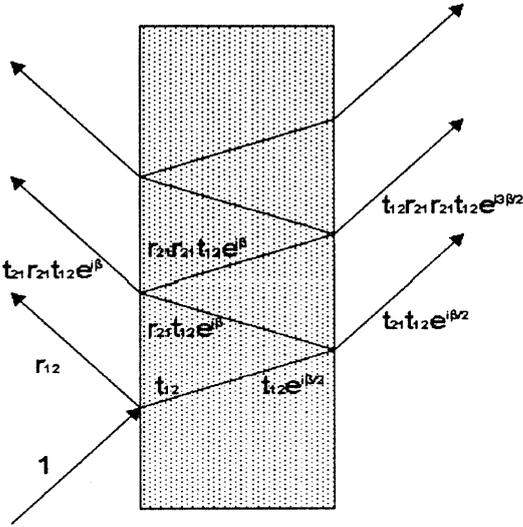
$$r = \frac{\frac{\epsilon_0}{\epsilon_1} \cos \theta_i - \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} - \sin^2 \theta_i}}{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} \cos \theta_i + \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} - \sin^2 \theta_i}} \quad (5)$$

$$t = \frac{2 \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}} \cos \theta_i}{\left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}\right) \cos \theta_i + \sqrt{\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0} - \sin^2 \theta_i}} \quad (6)$$

그러나 위에서 얻어진 계수들은 무한한 두께를 갖는 벽과 공기 층사이의 한 경계 면에서 일어나는 단일 반사 및 투과에 대한 수치이고 실제의 벽은 유한한 두께를 가지고 있으므로 실제로는 공기와 벽의 두 경계면 사이에서 다중반사 및 다중투과가 발생하게 된다.

전파되던 파가 한 벽면과 교차하게 되면 그 면에서 반사와 투과가 일어나게 되고, 벽 속으로 투과되어 들어간 파는 벽의 또 다른 쪽 경계 면에서 반사와 투과를 일으킨다. 이 면에서의 반사 파는 처음 면과 부딪혀 다시 투과와 반사를 일으키게 된다. 한 번 벽 속으로 들어간 파는 이런 과정을 반복하므로 파는 벽면에서 다중 반사와 투과(multiple reflection and transmission)를 일으키게 된다.

그림 3은 벽으로 입사해 들어간 파가 다중반사 및 다중투과하는 과정을 그림으로 나타낸 것이다. 진행하던 파가 벽면과 부딪히면 일부는 반사되고 일부는 벽 속으로 투과해 들어간다. 공기



<그림 3> 두께를 갖는 벽면에서의 다중반사 및 다중투과

층을 매질 1, 벽을 매질 2라 하고, 첫 번째 면에서의 반사계수를 r_{12} , 투과계수를 t_{12} 라 하면 이는 TE파인 경우 식 (3), (4)로 TM파인 경우에 식 (5), (6)으로 표현된다. 투과해 들어간 파는 벽의 바깥쪽 면에 의해 다시 반사 및 투과를 일으키므로 위상차이 $\beta/2$ 를 고려할 때 벽 내부로 반사되는 양은 $t_{12}r_{21}e^{j\beta/2}$, 벽의 바깥쪽으로 투과되는 양은 $t_{12}t_{21}e^{j\beta/2}$ 이 되며, 이 파는 또 한번 안쪽 면에서 반사 및 투과를 일으키므로 벽 내부에서의 두 번째 반사되는 양은 $t_{12}r_{21}r_{21}e^{j\beta}$, 투과되는 양은 $t_{12}r_{21}t_{21}e^{j\beta}$ 이 된다. 이와 같이 벽 속으로 입사해 들어간 파는 벽의 양쪽 면에서의 반사와 투과과정을 계속적으로 반복한다. 따라서 다중반사에 의한 반사계수는 벽을 중심으로 왼쪽으로 나오는 반사된 파들의 총합은 아래와 같이 나타낼 수 있다.

$$r = \frac{r_{12} + r_{21}e^{j\beta}}{1 + r_{12}r_{21}e^{j\beta}} = \frac{r_{12}(1 - e^{j\beta})}{1 - r_{12}^2e^{j\beta}} \quad (7)$$

여기서, β 는 위상차이로

$$\beta = 2kd\sqrt{\left(\frac{\epsilon_1}{\epsilon_0}\right) - \sin^2\theta_1} \quad (8)$$

이다.

마찬가지 방법으로 다중 투과에 의한 투과계수를 구하면 아래와 같다.

$$t = \frac{t_{12}t_{21}e^{j\frac{\beta}{2}}}{1 + r_{12}r_{21}e^{j\beta}} = \frac{(1 - r_{12}^2)e^{j\frac{\beta}{2}}}{1 - r_{12}^2e^{j\beta}} \quad (9)$$

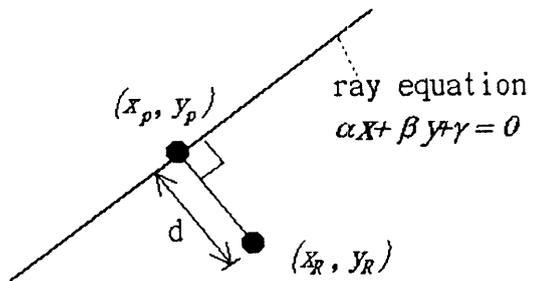
따라서, 반사전력비(Reflectance) 와 투과전력비(Transmittance)는 각각 다음과 같게 된다.

$$\text{반사전력비: } R = rr^* = \frac{2r_{12}(1 - \cos\beta)}{1 + r_{12}^{4-2}r_{12}^2\cos\beta} \quad (10)$$

$$\text{투과전력비: } T = 1 - R \quad (11)$$

3. 수신 안테나의 수신 반경

송신 안테나로부터 방사된 ray는 직접 혹은 반사 및 투과형태로 여러경로를 통하여 수신 안테나로 전달된다. 수신 안테나 근방으로 전파하는 ray가 수신기에 포착되느냐 그렇지 않느냐는 수신반경을 정의하여 수신반경 내로 들어오는 ray만을 수신 안테나에 의해서 포착되는 것으로 간주하는 방법으로 판단할 수 있다. 그림 4는 수신 안테나의 위치와 ray 직선사이의 관계를 나타낸 그림이다.



<그림 4> 수신점과 ray 직선과의 관계

그림 4에서 수신 안테나의 위치좌표를 (x_R, y_R) , 수신 안테나의 좌표를 ray path에 투영시켰을 때 투영점 (projection point)을 (x_p, y_p) 로, 수신 안테나로부터 ray까지의 거리

를 d 라고 놓았다. 그리고 송신 안테나의 위치를 (x_T, y_T) 라 할 때 송신기로부터 투영점까지의 거리는

$$L = [(x_P - x_T)^2 + (y_P - y_T)^2]^{1/2} \quad (12)$$

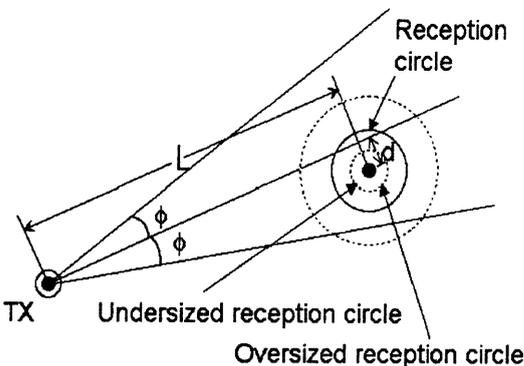
이다 (그림 5). 송신 안테나에서 방사되는 ray의 분할각을 ϕ 라 할 때

$$d < \frac{1}{2} \phi L \quad (13)$$

과 같이 만족되면 수신 안테나에 수신되는 것으로 취급한다. 이때

$$R_{recept} = \frac{1}{2} \phi L \quad (14)$$

이 바로 안테나의 수신반경이 된다. 이와 같이 수신반경을 정하는 이유는 그림 5에서 보여지는 것으로 설명될 수 있다. 송신기에서 방사되는 이웃하는 ray들 사이의 각이 $\pm\phi$ 일 때 직접 전파되는 이웃 ray들은 수신점에서 ϕL 의 거리만큼 떨어지게 된다. 따라서 R_{recept} 의 반경을 갖는 원과는 많아야 세 ray 중 하나만 교차하게 된다. 만약 $\phi L/2$ 보다 큰 수신 반경을 사용하게 되면 그림 4에서와 같이 송신기에서 방사된 이웃하는 두 ray가 모두 수신원과 교차하게 되어 한 ray가 송신점을 두 번 지나게 되는 효과를 준다. 반면



<그림 5> 수신 반경 $\phi L/2$ 를 갖는 수신 원

에 수신 반경이 $\phi L/2$ 보다 작다면 어떤 ray도 수신점에 도달하지 않게 될 수 있어 송신기의 안테나에서 방사된 ray가 수신기에서 전혀 잡히지 않게 되는 모순을 일으키게 된다.

4. 수신전력 관계식

건물 내 PCN 통신을 위한 송수신 안테나는 무지향 특성을 가져야하므로 계산에 사용된 송수신 안테나는 등방성 안테나로 한다.

송신전력을 P_t 라 할 때 등방성 안테나의 복사전계강도는

$$E_0^2 = \frac{\eta_0 P_t}{4 \pi L_i^2} \quad (15)$$

이며, 여기서 η_0 는 자유공간에서의 임피던스로 120π 이고, L_i 는 i 번째 ray의 경로길이이다. 윗식은 자유공간에서 전파가 전파할 때의 복사전계강도이므로 수신기에 도달했을 때의 수신전력은 송수신기간의 전파환경을 고려하여 나타내야 한다.

천장 및 바닥에 의한 전파 손실의 자유공간에서의 전파 손실에 대한 비를 excess path loss 라 한다면, i 번째 수신점에서의 수신 전력의 거리 의존성은

$$P_{rec,i} \propto \frac{1}{L_i^2} \times (\text{excess path loss}) \equiv LR(L_i) \quad (16)$$

로 나타낼 수 있다. 여기서 L_i 는 송신점에서부터 수신기까지의 총 경로길이(total path length)를 나타낸다. 이러한 수신전력의 경로의존성을 함수 $LR(L_i)$ 로 놓으면 수신 전계강도의 자승인 수신전력은

$$|E_i|^2 = E_0^2 LR(L_i) \quad (17)$$

로 된다.

식 (17)에 벽물에 의한 의한 반사와 투과를 고려하여야 수신점에서 흡수되는 정확한 수신전력을 표현하는 수식이 된다. 벽에 의한 반사 및 투

과에 의한 손실은 이미 계산된 반사전력비 (reflectance) 및 투과전력비(transmittance)를 식 (17)에 곱하여 표현할 수 있다. i 번째 ray의 n 번째 벽에 θ_{ni} 의 각으로 입사했을 때의 반사계수를 $R_n(\theta_{ni})$ 라하고 i 번째 ray의 m 번째 벽에 θ_{mi} 의 각으로 입사했을 때의 투과계수를 $T_m(\theta_{mi})$ 라하고 송신기와 수신기간에 천장 및 바닥의 전자파 흡수 체에 의한 excess path loss 와 벽에 의한 반사 및 투과가 고려된 수신부의 안테나에서의 수신전력은 다음 식과 같이 표현된다.

$$|E_i|^2 = E_0^2 LR(L_i) \prod_n R_n^2(\theta_{ni}) \prod_m T_m^2(\theta_{mi}) \quad (18)$$

여기서 E_0^2 및 $LR(L_i)$ 는 식 (15), (16)과 같다.

5. 2차원 회절(Two Dimensional Diffraction)

모든 기하광학에서 적용되는 것과 마찬가지로 회절에서도 회절현상을 설명하기 위해서는 회절점에서 파의 크기, 위상, 편파를 결정해야한다. 기하광학에서 반사파를 계산하는 방법과 비슷한 방식으로 회절파도 회절점에서 입사파에 회절계수, 확산인자 그리고 위상을 곱한다. 일반적으로 회절파는 다음과 같은 형태로 나타낼 수 있다^{[10][11][12]}.

$$E^d(s) = E^i(Q_e) \dot{D}A(s)e^{-jks} \quad (19)$$

여기서 $E^i(Q_e)$ 는 모서리에서 회절점 (Q_e)에 대한 입사파를 나타내고 D 는 다이어덕 회절계수를 나타내며 $A(s)$ 는 확산인자 그리고 s 는 회절점 (Q_e)로부터 관측점까지의 거리이다.

또한 2차원 UTD모서리 회절계수는 다음과 같다.

$$D_{s,h} = (L^i, L^r, L^m, \phi, \phi', \beta_{o,n}) = D_1 + D_2 - R_{s,h}(D_3 + D_4) \quad (20)$$

여기서 $R_{s,h}$ 모서리에서 썩기면의 소프트반사

계수(-1)과 하드반사계수(+1)을 나타내고 L^i, L^r, L^m 은 거리인자들을 나타내며, 반사계수는 다음과 같다.

$$D_1 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_0}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n} \right] F[kL^i a^+(\phi - \phi')] \quad (21)$$

$$D_2 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_0}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n} \right] F[kL^i a^-(\phi - \phi')] \quad (22)$$

$$D_3 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_0}} \cot \left[\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n} \right] F[kL^m a^+(\phi + \phi')] \quad (23)$$

$$D_4 = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k \sin \beta_0}} \cot \left[\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n} \right] F[kL^r a^-(\phi + \phi')] \quad (24)$$

III. 모델에 의한 계산 결과

앞에서 유도된 계산식을 이용하여 특정 건물 모델에 대한 경로손실을 계산한다. 이 장에서는 단층 건물의 전체적인 경로손실을 계산하여 나타낸다. 또한, 이 연구에서 채택한 건물의 모델은 기존의 결과치와 비교할 수 있도록 하기 위하여 Bertoni가 연구한 건물⁸⁾을 모델로 하였다.

그림 6.의 건물모델의 계산을 위하여 벽에 대한 전달계수를 각각 0.8 및 0.5로 간주할 때 경로손실을 구하였다. 이는 Rappaport 및 Bertoni등에 의해 측정된 전달계수로서 일반적인 벽(콘크리트재질, 두께 5인치)은 전달계수가 0.5로 발표되었고, 특수한 벽(콘크리트+철근등)의 경우는 0.8을 적용하는 것으로 알려져 있기 때문이다.

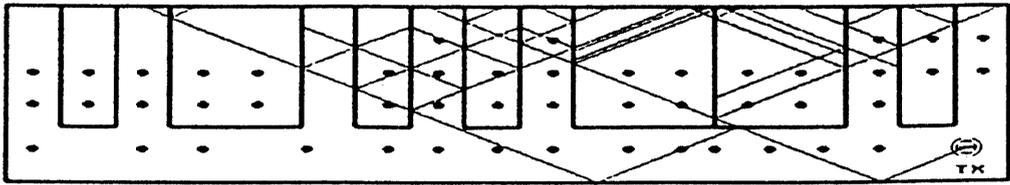
건물에 대한 데이터를 입력하고 송신안테나의 위치 및 수신점을 정하면, 계산이 수행하는데 이때 반사 및 투과의 횟수를 시뮬레이션한 결과

간단한 구조의 건물 : 횟수 ≤ 10

복잡한 구조의 건물 : 횟수 ≥ 12

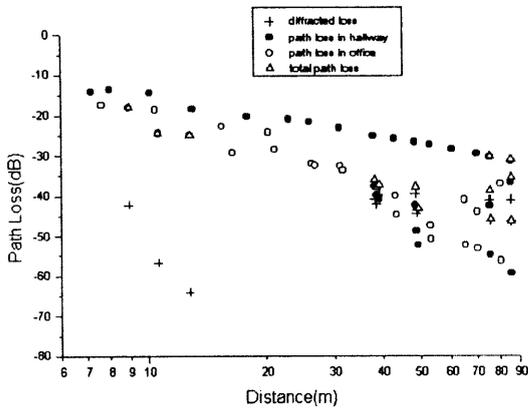
가 적정한 것으로 나타났다. 그림 6 정도의 건물은 10회의 반사 및 투과 횟수를 적용하였다.

또한, 코너에 의한 회절을 식 (19)를 이용하여

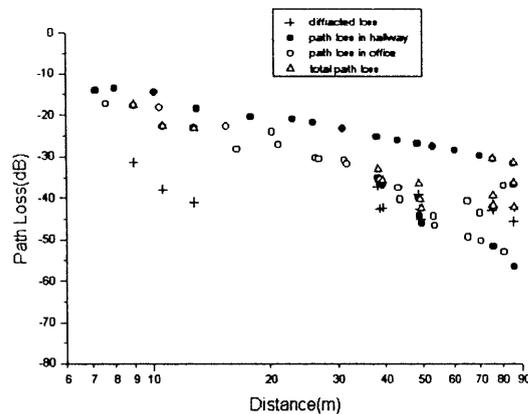


<그림 6> 시뮬레이션을 위한 건물 모델

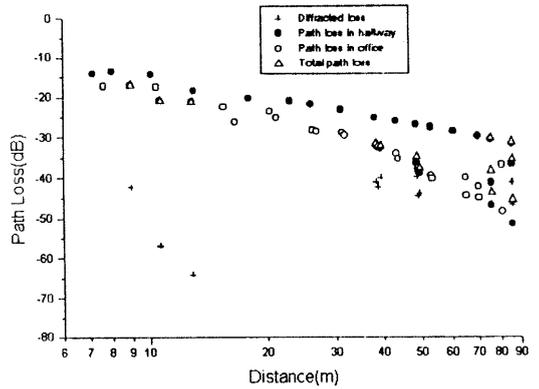
계산하고 반사 및 투과파의 결과를 나타낸 그림이 그림 7 - 10 이다. 그림 7 - 10은 그림 6의 hall way 및 office에서의 경로손실과 회절에 의한 손실 및 이들 모두를 합한 경로손실을 나타내고 있다.



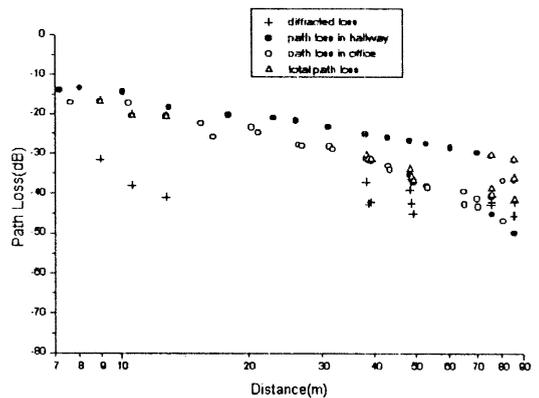
<그림 7> 경로손실 계산 결과(전달=0.5, TE파 경우)



<그림 8> 경로손실 계산 결과(전달=0.5, TM파 경우)



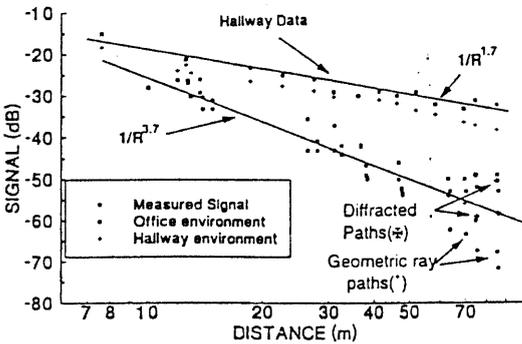
<그림 9> 경로손실 계산 결과(전달=0.8, TE파 경우)



<그림 10> 경로손실 계산 결과(손실=0.8, TM파 경우)

위의 그림에서 Bertoni는 벽의 전달계수인 $T = [X(1-\Gamma^2)]^{1/2}$ 에서 $X=0.5$ 로 하여 계산 및 측정한 그

림이다. 따라서 이 연구의 같은 모델을 적용하여 예측한 결과인 그림 7과 8을 위의 그림 11과 비교하면 잘 일치하고 있음을 알 수 있다. 특히, ray path 계산치인 hallway 및 office에서의 데이터는 거의 정확하게 일치하고 있으나, 회절에 의한 데이터는 거리가 멀 경우 다소의 오차가 있다. 이는 기존에 연구된 Bertoni의 회절과 관련 수식 중 회절계수항 계산식^[10]이 일반 UTD 수식과 맞지 않는 수식으로 발표되어 이의 신빙성이 의문시 되고 있기 때문에 그림 11의 회절과 결과에 강한 의문이 제기되고 있다. 따라서 이 연구의 결과가 더욱 신뢰성을 가지고 있다고 사료된다.

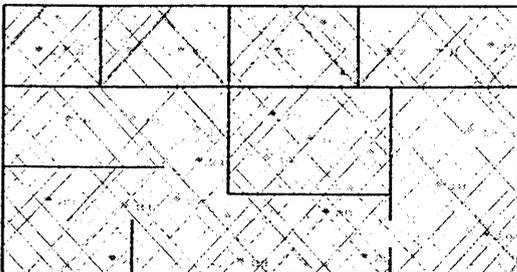


<그림 11> Bertoni의 결과^{B)}

그림 12는 임의의 형태 건물모형에 대한 반사 및 투과에 의한 경로손실을 계산하기 위한 그림이다. 계산에 사용된 반복횟수는 10이었으며 벽에 대한 전달계수를 0.8로 고려한 것으로 이의 경로손실을 계산한 그림은 그림 13이다. 그림 13은 데이터에서 데이터는 점으로 curve fitting function으로 환산한 데이터는 점선으로 나타내었다.

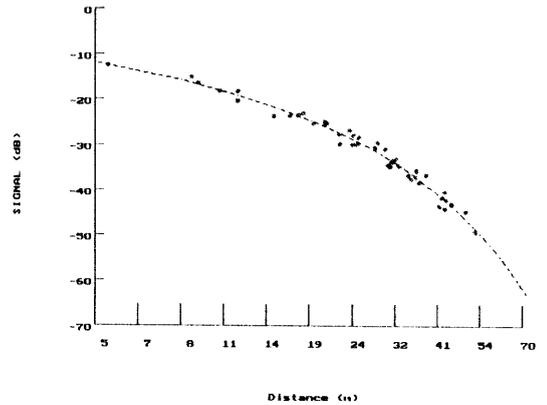
HORIZONTAL PROPAGATION

1 2 3 4 5 6 7 8 9



<그림 12> 임의의 건물 모형 및 반사, 투과 그림

function type = 1 : 10 = -0.591802,
al = -0.105402, a2 = -0.000406



<그림 13> 그림12의 경로손실 계산 결과

IV. 결 론

이 연구에서는 건물 구내 전자파의 전파특성 중 특히, 경로손실을 예측하는 식을 전자기학적 이론으로 유도하고 그 결과를 나타내었다. 경로손실을 예측하기 위하여 기하광학적 이론에 의한 ray-tracing 기법을 사용하고 또한, 모서리에 의한 회절과를 함께 고려하기 위하여 UTD 이론을 적용하였다.

계산의 예로는 기존에 다른 방법에 의해 발표된 건물 모델을 적용하였으며, 이 연구에 의한 결과치와 기존의 결과치를 비교한 결과 이 연구의 타당성을 입증할 수 있었다.

이 연구는 단층 건물의 경우에 국한된 결과이나, 3차원으로 확대 적용하거나 혹은 이미 측정에 의해 연구되어 발표된 층간 감쇄인자(floor attenuation factor)를 이용하면 다층 건물에 대한 전파특성 즉, 경로손실도 어렵지 않게 예측할 수 있을 것으로 사료된다.

감사의 글

이 논문은 95년도 배재대학교 교내학술연구비 지원에 의하여 수행된 연구의 일부로 이에 감사드립니다.

참 고 문 헌

1. S.Y.Seidel and T.S.Rappaport, "914MHz Path Loss Prediction Models for Indoor Wireless Communications in Multifloored Buildings", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol.40, No.2, pp.207-217, Feb., 1992.
2. T.S.Rappaport, "Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Buildings", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol.37, No.8, pp.1058-1069, Aug., 1989.
3. C.Tornevik, J.Berg, F.Lotse and M.Madfors, "Propagation Models, Cell Planning and Channel Allocation for Indoor Applications of Cellular Systems", *Conference on IEEE Vehicular Technology*, pp.867-870, 1993.
4. S.Y.Seidel and T.S.Rappaport, "900MHz Path Loss Measurement and Prediction Techniques for in-building Communication System Design", *Proc.41st IEEE Vehicular Technology Conference*, pp.613-618, May., 1991.
5. R.J.C.Bultitude, S.A.Mahmoud and W.A. Sullivan, "A Comparison of Indoor Radio Propagation Characteristics at 910MHz and 1.75GHz", *IEEE Journal on Selected Areas in Communications*, vol.7, No.1, pp.20-30, Jan., 1989.
6. D.C.Cox, R.R.Murray, H.W.Arnold, A.W.Norris and M.F.Wazowicz, "Cross-polarization Coupling Measured for 800MHz Radio Transmission In and Around Houses and Large Buildings", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol.AP-34, No.1, pp.83-87, Jan., 1986
7. H.H.Hoffman and D.C.Cox, "Attenuation of 900MHz Radio Propagating into Metal Building", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol.AP-30, No.4, pp.808-811, Jul., 1982
8. W.Honcharenko, H.Bertoni, J.dailing, J.Qian and H.D.Lee, "Mechanisms Governing UHF Propagation on Single Floors in Modern Office Buildings", *IEEE Trans. on Vehicular Technology*, vol.41, No.4, pp.496-504, Nov., 1992
9. W.Honcharenko, H.L.Bertoni and Dailing, "Mechanisms Governing Propagation, Between Different Floors in Buildings", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol.41, No.6, pp.787-790, Jun., 1993
10. G.L.James, *Geometrical Theory of Diffraction for Electromagnetic Wave, 3rd Ed, Peter Peregrinus, London, 1986*
11. J. B. Keller, "Geometrical Theory of Diffraction", *Jour. Opt Soc. of America*, vol. 52, no. 2, pp. 116-130, Feb., 1962
12. D. A. McNamara, C. W. I. Pistorius and J. A. G. Malherbe, *Introduction to The Uniform Geometrical Theory of Diffraction, Artech House., Boston, 1990*

