

# 무선망 설계툴에서 3차원 광선 추적법을 이용한 전파해석 방법

## Propagation Analysis Method in using 3D Ray Tracing Model in Wireless Cell Planning Software

신영일\*, 정현민, 이성춘  
(Young-II Shin and Hyun-Meen Jung and Seong-Choon Lee)

**Abstract :** In this paper, propagation analysis method in using 3D Ray Tracing propagation model in wireless cell planning is proposed. Through 3D Ray Tracing model, we can predict the distribution of propagation loss of the received signal. For correct and a low complex analysis, Quad Tree and Pre-Ordering and Hash Function algorithms are included in 3D Ray Tracing algorithm. And 3D Ray Tracing model is embodied in CellTREK that is developed by KT and used to plan Wibro system analysis. In CellTREK, propagation analysis is performed and that result is represented in 3D viewer. In numerical results, it is showed that the proposed scheme outperforms Modified HATA model when comparing with measurement data.

**Keywords:** 3D Ray Tracing, Ray Launching, Ray Tube, LOS, CellTREK, Modified HATA

### I. 서론

무선 망 설계에서 필요한 채널의 특성을 예측하기 위한 방법으로 통계적인 방법이 자주 쓰여왔다. 통계적인 방법은 채널 특성을 근사적으로 예측하는 데에는 도움이 되지만, 마이크로(Micro), 피코(Pico)셀의 도심지역에서와 같이 건물이 많거나 복잡한 지형 등의 장애물이 많은 경우에는 오차가 큰 문제를 발생시킨다. 이를 보완하기 위해서 실제 측정에 의한 방법과 함께 사용해야 한다. 이에 반해 실제 지형과 건물의 형태 및 물질의 성질을 고려한 전파특성을 수치해석적으로 접근하는 방법이 개발되어 왔다. 수치해석적인 방법으로는 기하광학적 방법[1,2] 이나 GTD(Geometrical Theory of Diffraction), Moment method, FDTD 등이 쓰여왔으며 순서대로 계산량이 많아지는 단점을 가지고 있다. 따라서 기하광학적인 방법이나 GTD를 고려한 방법이 많이 이용되고 있다. 이 방법에서는 전파 특성을 계산하기 위해서 송신 안테나로부터 전파가 진행하는 모든 경로를 찾는 광선 추적법에 회절을 고려한 GTD방법을 함께 수행한다. 다른 수치해석적인 방법보다는 광선 추적법이 계산량이 작지만, 복잡한 지형이나 건물이 많은 도심지역인 경우에는 여전히 계산량이 많아진다. 따라서 본 논문에서는 광선추적법과 GTD를 이용하여 전파모델링을 할 때, 계산량을 줄이는 방법을 제시한다. 또한 KT에서 자체 개발하여 Wibro 망 설계에 활용한 무선망 설계툴인 CellTREK에 3차원 광선 추적법을 통해 도심지역의 전파해석에 적합한 전파모델을 구현하였다.

본 논문에서는 2장에서는 3차원 광선추적법의 개요에 대해서 설명하고, 3장에서는 3차원 광선 추적법의 속도의 개선 방법에 대해서 기술한다. 4장에서는 무선망설계 및 최적화 툴인 CellTREK에 대한 소개와 CellTREK상에서 3차원 광선 추

적법을 이용하여 전파 해석한 결과를 보여준다. 마지막으로 5장에서는 실제측정데이터와 HATA모델과 비교하여 검증하는 과정을 보이고, 6장에서 결론을 맺는다.

### II. 3차원 광선추적법의 개요

무선 망 설계 과정에서 전파모델이 해석의 신뢰도를 좌우하게 된다. 3차원 광선 추적법을 이용한 전파모델링 기법은 마이크로/피코셀의 도심지역 환경에서 전파의 반사, 회절의 특성을 반영한 정확한 전파모델링 기법이다. 광선 추적방법에는 방법에는 Ray Launching 방법과 Ray Tube를 이용한 두 가지 방법이 있다. Ray Launching 방법은 송신 점에서 같은 간격으로 나뉘어 전파하는 Ray를 기반으로 한다. Ray의 개수가 늘어날수록 정확도의 측면에서는 향상되지만, 해석속도가 현저히 떨어지며, Ray의 개수를 늘린다고 하더라도, 일정한 숫자의 Ray로는 전체 공간을 커버할 수 없기 때문에, 지형이나 건물에 의해서 발생하는 반사 및 회절지점을 정확하게 구해낼 수가 없다. 또한 각도 간격이 충분히 작지 않은 경우 실제 전파 특성을 예측하기에 충분한 Ray가 만들어지지 않아서 측정결과와 오차가 많이 생기는 단점이 있다. 이를 극복하기 위해 각도의 간격을 좁히는 경우 계산량이 매우 많아지는 단점이 발생한다. 이러한 문제점을 해결하기 위해서 나온 방법이 Ray Tube를 이용한 광선 추적법이다. Ray Tube 방법은 단일 Ray를 전파하는 방식이 아니라 공간상으로 전파하는 여러 wave를 하나의 덩어리로 생각하여, 이것을 Ray Tube라고 부른다. 즉 Ray Tube는 여러 Ray의 묶음이라고 생각할 수 있다. Ray Tube를 이용하면, 단일 Ray를 이용한 방법과는 달리 전 공간을 커버할 수 있기 때문에 정확한 반사, 회절지점을 정할 수 있다. 음영지역의 오차를 개선시키기 위해서 GTD를 이용하여 회절현상을 고려한 방법을 이용하는 데, 여기서도 마찬가지로 Ray Tube를 이용한다.

Ray Tube 방법에서 반사는 전파가 닿는 물체의 면이 일으키므로, 전파가 생겨나는 송신 안테나의 위치와 물체 면을 이용하여 각별 형태의 ray tube 들을 만들어, 각별 안에 들어가

\* 책임저자(Corresponding Author)

논문접수 : 2007. 7. 26., 채택확정 : 2007. 7. 30.

신영일, 정현민, 이성춘 : KT 인프라연구소 무선인터넷개발담당  
(yishin@kt.co.kr, hmjung@kt.co.kr, lsc@kt.co.kr)

는 ray 들의 경로는 한번만 계산하여 기억시켜두게 된다.[3] 그러므로 여러 지점에서 propagation loss 를 계산하기 위해서 고려해야 할 것은 그 지점이 어느 ray tube 에 포함되는지 고려하기만 하면 된다는 장점이 있다. 회절은 전파가 입사하는 면에 접한 모서리(edge)가 만들어 낸다. 그러므로 반사, 회절에 해당되는 Ray Tube 들을 만들어 순서대로 이어 놓고 어느 Tube 에 관측 지점이 속하는지 검사하고, Tube 에 속하면 Tube 들이 만들어진 순서와 반대로 거슬러 올라가면서 반사, 투과, 회절에 의한 전파 세기의 변화를 계산해가면 Propagation Loss 와 Propagation Delay 를 얻을 수 있다.

### III. 속도 개선 방법

Ray Tube 를 이용한 Ray Tracing 방법은 기존의 Ray Tracing 방법에 비해 속도가 개선되기는 했으나, 건물이 많은 도심지의 전파 특성을 계산에는 역시 많은 시간이 소모된다. 계산이 많이 요구되는 부분은 두 가지로 나뉘어진다. 하나는 각각의 Ray Tube 를 생성하는 건물의 면과 모서리를 찾을 때이고, 다른 하나는 관측 지점이 어느 Ray Tube 에 포함되어 있는지를 검색하는 단계이다. 이 두 과정에 대한 속도 개선 방법을 알아본다. [4]

송신안테나로부터 전파가 직접 도달하는 영역에 해당하는 Ray Tube 를 LOS(Line Of Sight) Ray Tube 라고 한다. LOS Ray Tube 는 Ray Tube tree 의 root 에 해당하고, root 에서 각 건물 면에 대해서 직접 보이는 면이 있으면, 반사파(반사 Ray Tube)를 만든다. 이렇게 모든 건물 면에 대해서 직접 보이는지 아닌지를 테스트하기 위해서 각 건물의 면마다 다른 건물의 면에 가리는지 아닌지를 검사해야 한다. 이 검사의 횟수는 건물 면의 수의 제곱에 비례하므로, 이 단계에서 계산횟수를 줄려면 LOS Ray Tube 를 분할해야 한다. LOS Ray Tube 는 송신안테나를 중심으로 일정한 각도를 가진 부채꼴로 적당히 나누면 된다. 이 경우에 계산횟수는 나눈 부채꼴의 개수에 비례해서 줄어든다.

Ray Tube의 반사

Ray Tube의 회절

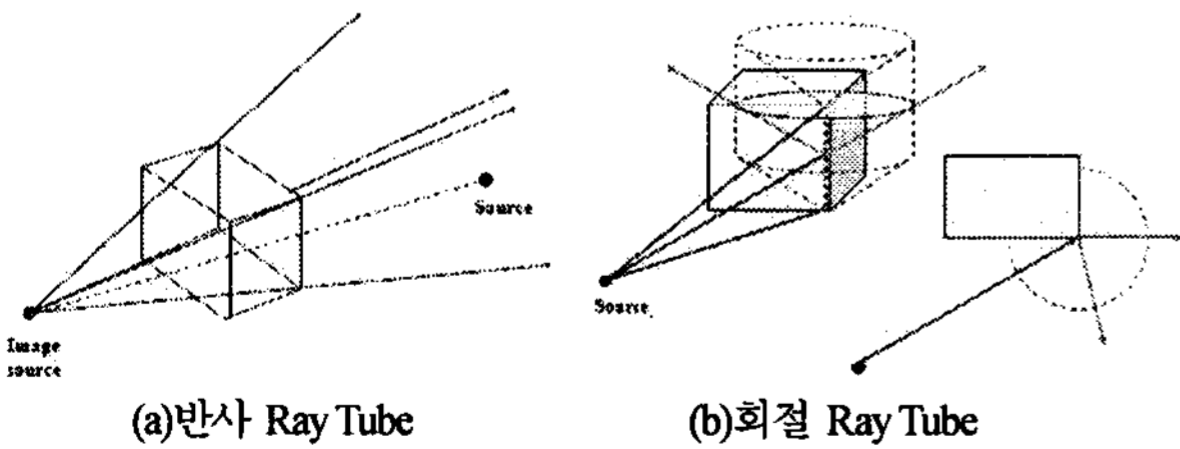


그림 1.3 차원 광선 추적법의 반사와 회절 Ray Tube

LOS Ray Tube 로부터 반사된 면을 기준으로 송신점 (root)의 image point 가 다음 단계의 Ray Tube 의 정점 (seed)가 된다 이 정점으로부터 새로이 LOS 영역을 찾고 Ray Tube 를 구성한다. 회절의 경우도 찾아진 면의 edge 를 통해 회절을 일으키는 Ray Tube 를 찾는 것이 외에는 재귀적으로 반복하여 Ray Tube 를 찾아가는 측면에서는 동일하다. 여기서 회절의 경우, 반사에 비해

서 한 개의 Ray Tube 로부터 여러 개의 Ray Tube 가 발생하므로 계산 량이 많아지게 된다.

속도를 개선하기 위해서 본 논문에서 채택한 방법은 Quad tree 를 이용하여 모든 건물을 분류하여 평균적인 검색 횟수를 줄이고, 각 Ray Tube 의 정점에서 LOS 인 면을 찾기 위해, 면들을 거리에 따라 sorting 을 한다.

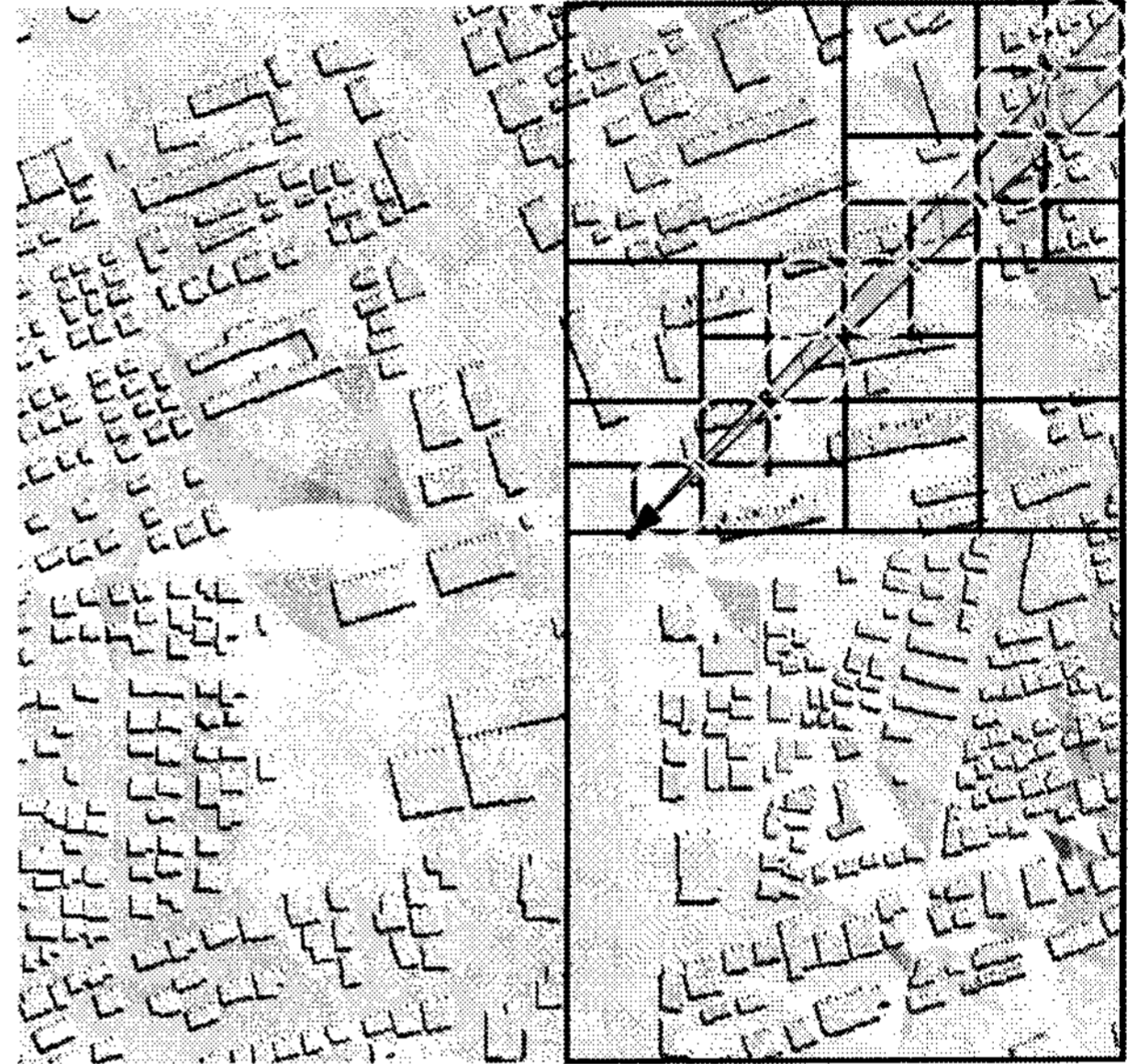


그림 2. Quad tree 를 이용한 Ray Tube 의 건물면 검색

Quad tree 를 이용한 방식이란 해석맵을 반씩 나누어가면서 Ray Tube 가 지나가는 셀을 찾는 과정이다. 셀을 찾아서 셀에 약간이라도 걸친 건물면을 Ray Tube 에 저장해 나간다. 전체 맵의 모든 건물면을 하나씩 검색하여 Ray Tube 가 지나갔는지의 여부를 체크하는 방식보다 계산횟수가 훨씬 줄어든다. 다음으로 sorting 하는 부분은 Ray Tube 의 image source 로부터 건물면까지의 거리를 기억시켜놓고, sorting 하여 저장시켜놓는 것이다. 이렇게 하면 visibility test(Ray Tube 의 source 와 LOS 인지 아닌지를 결정하는 것)에서 두 점 사이를 가로막는 면 판정 부분에서 두 점의 거리와 면까지의 거리를 이용하여 검사 대상을 한 번 더 축소할 수 있다.

이와 같은 과정을 거치면 sorting 없이 검색하는 경우에는 건물면의 개수의 제곱에 비례하여 계산횟수가 증가하지만, sorting 을 한 후에는  $N \log N$  ( $N$ : 건물 면의 갯수)에 비례하여 계산횟수가 증가하므로 계산횟수를 훨씬 줄일 수 있다.

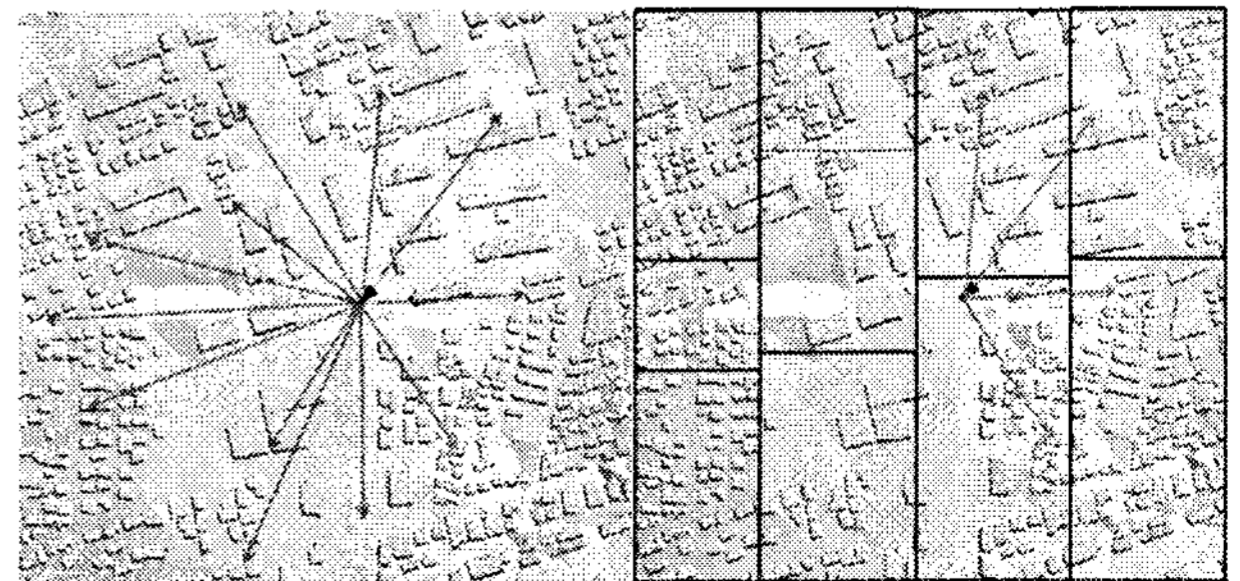


그림 3. Hash Function 을 이용한 수신점의 Ray Tube 검색 Ray Tube 의 생성이 끝난 후에 필요한 것은 어느 한 관

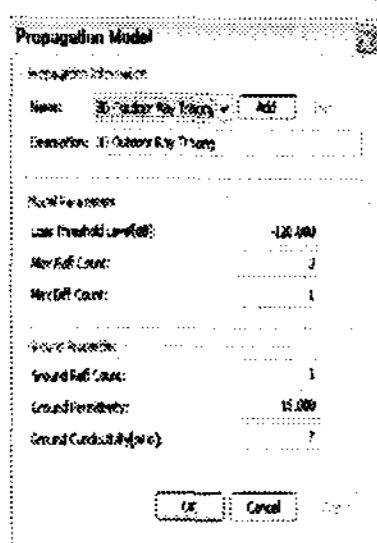


측 점에서 Propagation Loss 를 계산하는 것이다. 즉, 해당 지점이 어느 ray tube 에 속하는지 가려내고, 포함되는 Ray Tube 에 의한 Propagation Loss 를 구하는 것이다. 이 과정에서 매우 많은 계산이 수반하기 때문에, 이를 해결하기 위해서 Hash Function 을 이용하여 계산 회수를 획기적으로 줄였다. 즉, 공간을 Block 으로 분할한 뒤 해당 Block 의 꼭지점을 이용하여 사각형에 조금이라도 포함되는 Data(면)를 미리 저장해 놓는다. Rx 를 지나는 Ray Tube 를 골라내는 작업을 할 때 Rx 가 어떤 Block 에 포함되는가를 먼저 검사하여 실제 Ray Tube 와 관련한 작업을 할 때에는 미리 저장해 놓은 면에 대해서만 Visibility Test 를 수행하면 된다. Rx 가 어떤 Block 에 속하는지 검사하는 부분, Block 에 걸치는 면을 찾아내 저장하는 부분이 추가되지만 Block 으로 데이터를 세분화하여 Visibility Test 의 검사대상을 줄여서 얻게 되는 이득이 추가한 과정에 의한 손실보다 더 크게 Block 을 결정할 수 있다.

**IV. 무선망 설계툴에서의 3차원 광선 추적법**

무선망설계툴이란 이동통신 사업자의 투자비 중 70% 이상을 차지하고, 서비스 품질에 절대적인 영향을 미치는 기지국 위치 및 수량 파악, 그리고 커버리지 맵 작성 및 망 최적화 작업을 효율적으로 수행하기 위해 다양한 시뮬레이션 기능을 제공하는 소프트웨어 툴이다. 이의 핵심기술로는 전자지도데이터(GIS) 처리 기술, 전파전파예측 기술(propagation model) 및 CDMA 를 비롯한 이동통신 시스템 시뮬레이션 기술 등이 있으며, 이러한 기술들을 이용하여 다양한 시스템의 서비스영역 설계 및 최적화를 수행하게 된다. 무선망설계툴, CellTREK 은 KT 가 독자적으로 개발하여 1996 년 PCS 사업권과 2000 년 WCDMA 사업권 획득을 위해서 전국 망 서비스영역을 예측하고 초기 무선망 구축 비용의 절감 및 최고의 서비스 품질 보장을 위한 무선망 설계/구축 지표 수립에 활용되어 왔다. CellTREK 은 안정적이고 빠른 GIS 핸들링 엔진을 갖추고 있어 전국 무선망설계에 필요한 지형고, 건물, 모폴로지, 이미지 등의 GIS DB 를 동시에 도시하고 처리할 수 있으며, 정확한 전파해석을 위한 매크로, 마이크로, 피코셀 환경의 셀 설계에 유효한 다수의 전파모델이 내장되어 있다.

위에서 언급한 3 차원 광선추적법 전 파모델을 CellTREK 에 구현하여, 건물이 밀집되어 있는 도심지역에서 신뢰도 있는 전파해석을 가능하게 하였다.



(a) settings

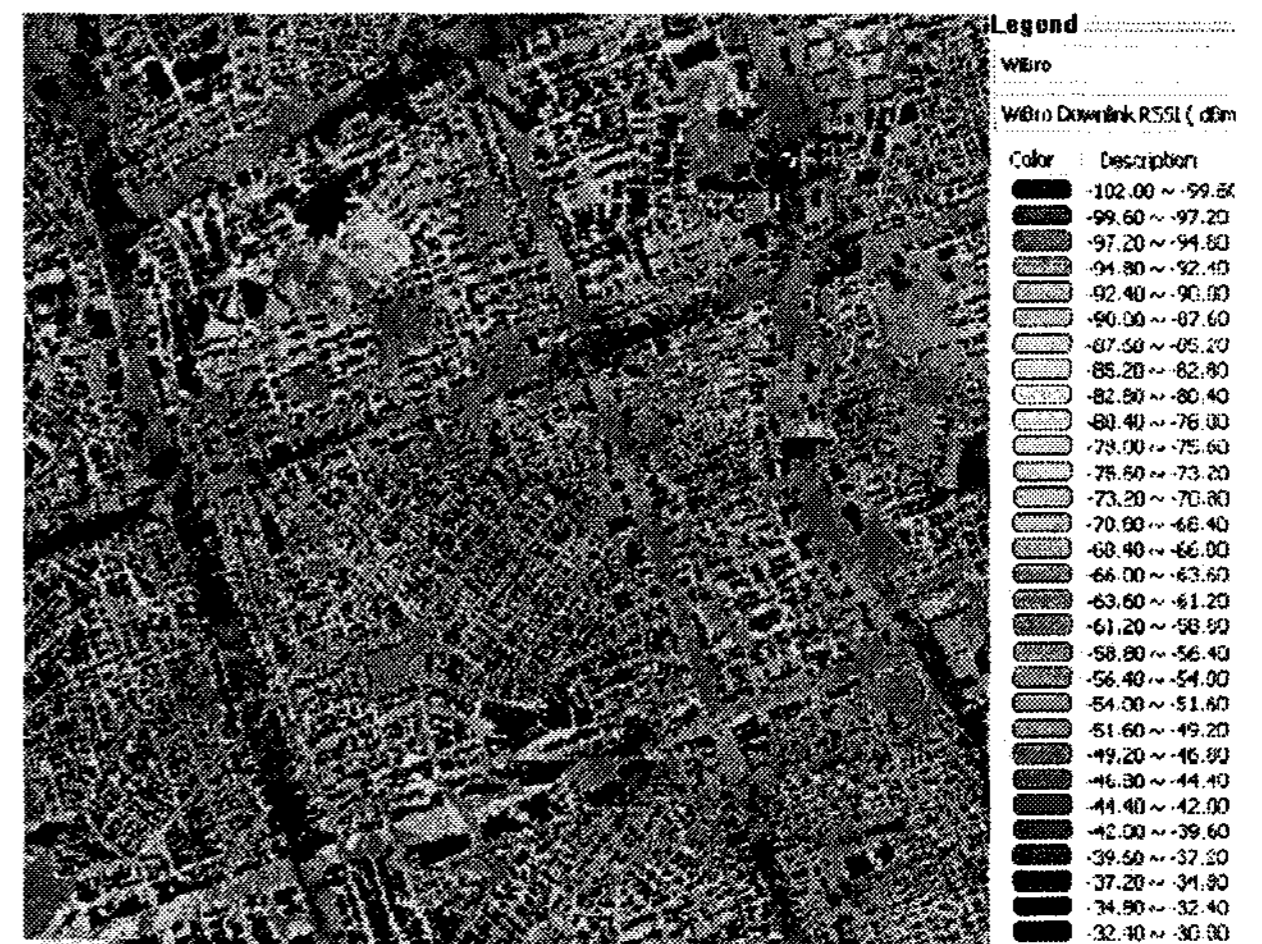


(b) Ray Tube 생성과정

그림 4. CellTREK 에 구현된 3 차원 광선추적법 모델

그림 4.(a)는 CellTREK 에 구현되어 있는 3 차원 광선추적법의 설정창이다. Loss 의 임계치 설정과, 최대 반사의 횟수, 최대 회절의 횟수 및 도전을, 유전율을 설정할 수 있다. 그림 4.(b)는 실제 3 차원 광선 추적법을 이용하여, 밀집 도심지역에서 전파해석을 수행하는 그림이다. 360 도 방향으로 Ray 가 뻗어나가면서 Ray Tube 가 반사 및 회절하는 상황을 눈으로 확인 할 수 있다.

그림 5(a)는 광선 추적법 전파모델을 이용하여 무선망 설계툴(CellTREK)에서 해석한 Wibro RSSI(Receiver Signal Strength Indication)를 나타낸다. Legend 창과 비교를 했을 경우, 건물밀집 지역은 전파의 Loss 가 커서 RSSI 값이 작게 나타나는 것(붉은색)을 확인해 볼 수 있다. 빌딩에 의한 음영지역 및 반사, 회절 Ray Tube 에 의해 나타나는 Propagation Loss 가 확인된다. 그림 5.(b)는 3 차원 image viewer 에 도시한 Wibro RSSI 해석결과이다. 3 차원 해석결과를 통해서 음영지역의 PL 값을 더욱 정확하게 확인할 수 있다.



(a) 3차원광선추적법 RSSI 해석결과



(b) RSSI 해석결과의 3D View

그림 5. 3차원 광선추적법의 해석

해석반경(빌딩수)당, 해상도당 수행시간을 알아보면 표 1 과 같다. 전파 해석반경이 클 수록(포함하는 건물면의



수가 많아질수록), 해상도가 작아질수록(세밀한 해석을 할 수록) 해석시간이 커지는 것을 알 수 있다.

표 1.3차원 광선 추적법의 해석시간

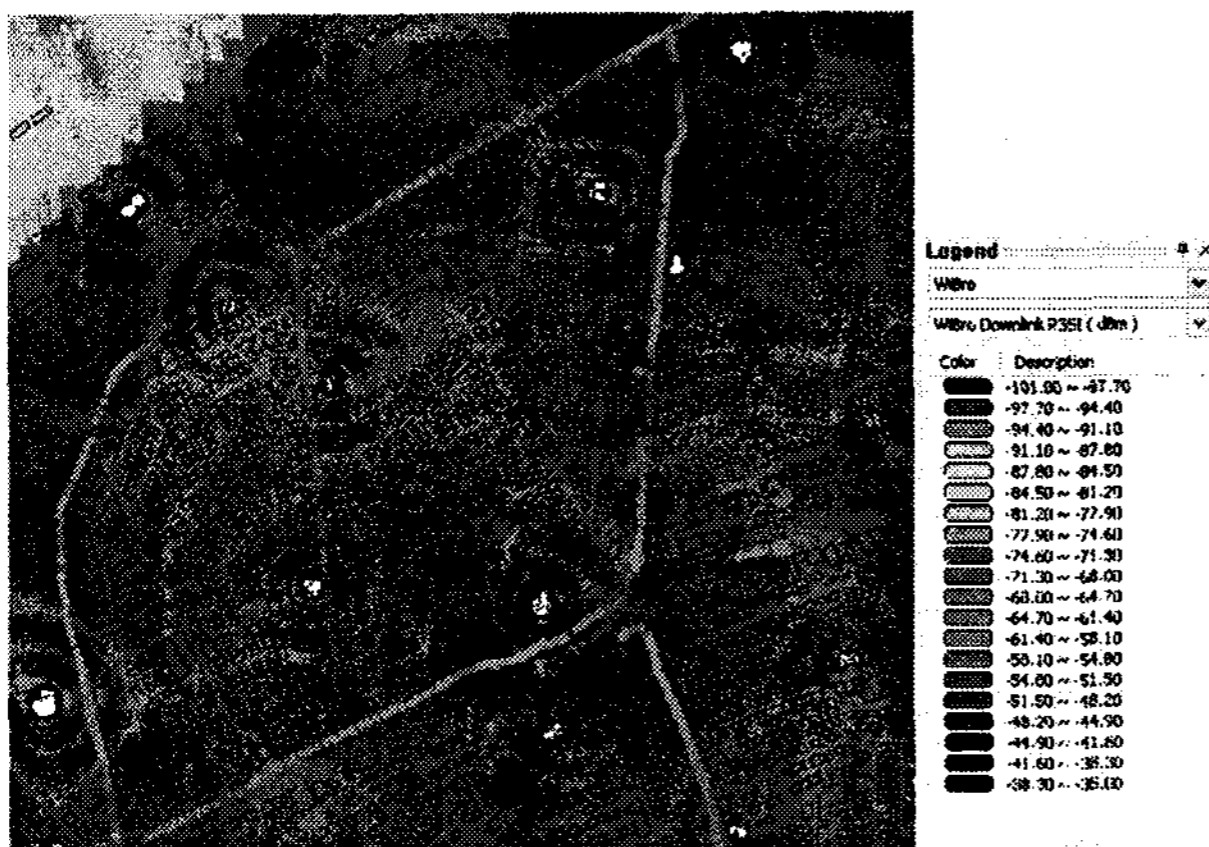
반경	빌딩수	해상도	1m	3m	5m
100m	95	시간	0:02:40	0:01:10	0:01:00
200m	340		0:22:20	0:06:20	0:05:10
500m	2180		2:52:00	0:47:00	0:37:00

V. 실측데이터와 비교

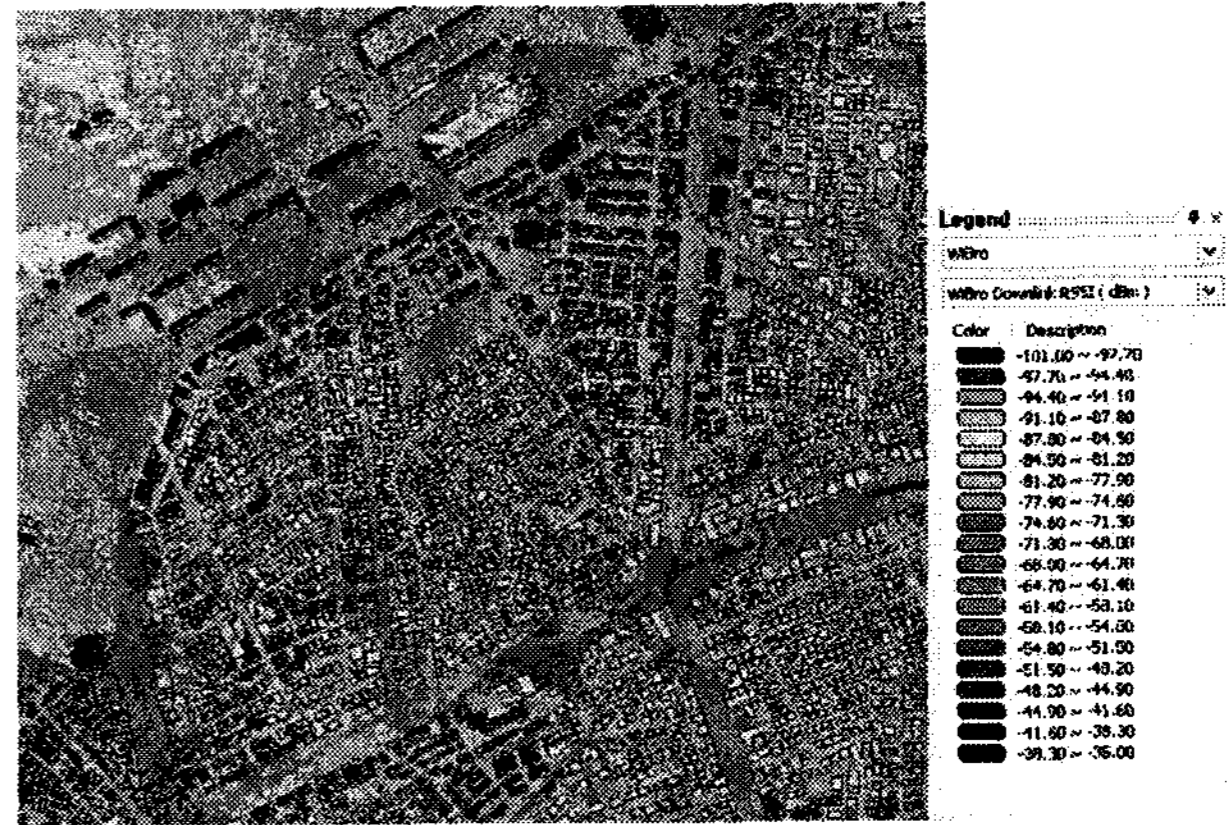
CellTREK 에서 구현된 3 차원 광선추적법을 이용한 전파해석의 정확도를 검증하기 위해서 서울 강남구 지역을 기준으로 Multi-Knife-Edge 회절 손실과 토지활용도 보정 손실을 적용한 Modified HATA 모델과의 비교를 보였다. 또한 측정차량을 이용하여 Wibro 기지국 및 중계기로부터 수신되는 RSSI 를 측정하였다. 측정데이터와 Modified HATA 전파모델, 3 차원 광선추적법모델의 비교는 다음 그림과 같다.



(a) 실측데이터



(b) Modified HATA RSSI 해석



(c) 3차원 광선추적법 RSSI 해석

그림 6. 전파모델을 통한 전파해석과 측정데이터 결과

그림 6.(a)는 대로변을 따라 측정한 데이터를 뜻한다. 그림 6.(b)의 해석결과를 살펴보면, 빌딩 및 지형지물에 의한 Propagation Loss를 정확하게 반영되지 않는다는 것을 확인 할 수 있다. 결국 Modified HATA 전파모델은 Macro Cell의 해석에 적합하며, 밀집 도심지역의 경우, 그림 6.(c)의 해석결과와 같이 3차원 광선추적법을 통하여, 반사 및 회절 Ray Tube를 이용하여, 음영 및 NLOS(Not Line Of Sight)부분의 해석이 가능하다는 것을 알 수 있다.

위의 결과로부터 3차원 광선추적법과 Modified HATA 방식을 측정데이터와 매핑하여 비교한 그래프를 얻어 낼 수 있다.

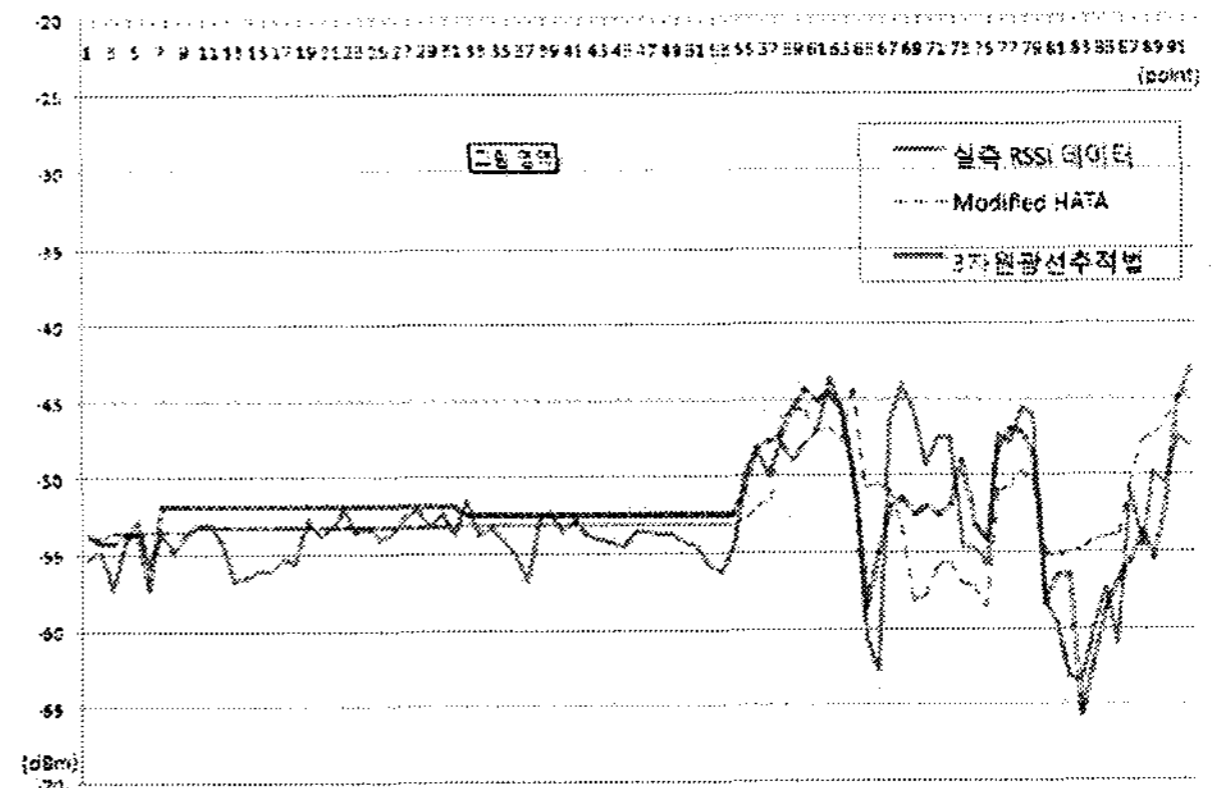


그림 7. 전파모델을 통한 전파해석과 측정데이터 비교

그림 7 그래프를 통해 알 수 있듯이, 3차원 광선 추적법이 실측데이터와 더욱 유사한 해석값을 갖는 것을 알 수 있었고, 실측 데이터와 해석결과의 차이의 평균과 표준편차를 알아보면, 3차원 광선 추적법의 경우에는 평균이 -1.46dBm, 표준편차가 4.77 dBm으로 나왔고, Modified HATA의 경우에는 평균이 -1.49 dBm, 표준편차가 7.39 dBm으로 나왔다. Modified HATA와 3차원 광선추적법이 도심지역의 대로상(LOS영역이 확보된 지역)에서의 비교만으로도 위와 같은 정확도의 차이가 나타나는 것을 확인 할 수 있었고, LOS가 확보되지 않는 건물이나 좁은 도로변과 같은 상황에서는 정확도의 차이가 더욱 크게 나타날 것으로 예상된다.

### VI. 결론

도심 지역에서 전파 특성 해석을 위해 3차원 광선 추적법을 이용하여 계산하는 경우, 매우 많은 계산량 때문에 늘어나는 시간을 줄이는 방법을 제시했다. 본 논문에서는 Quad tree, Hash Function, Sorting 등을 이용하여 Propagation Loss를 얻는데 필요한 계산량을 획기적으로 줄여서 건물이 밀집한 도심지역에서 건물 분포와 형태를 고려한 정확한 전파 특성을 계산하였다. 또한 도심지역에서의 전파해석에 적합한 전파모델로써 무선망 설계툴인 CellTREK에 구현하였으며, HATA 모델 및 측정데이터와의 비교를 통해 정확도 검증은 보였다. 따라서 3차원 광선 추적법을 통해서 도심지역 망 설계시 빌딩 및 복잡한 지형지물에 의한 감쇄 효과를 반영한 효율적이고 정밀한 해석을 할 수 있을 것으로 기대된다.

### 참고문헌

[1] K. J. Gladstone and J. P. McGeehan, "Computer simulation of multipath fading in the land mobile radio environment." Proc. Inst. Elect. Eng., pt. G, vol. 27, no. 6, pp. 323-330, Dec. 1980.

[2] Hyeongdong Kim and Hao Ling, "Electromagnetic scattering from an inhomogeneous object by ray tracing," IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 40, no. 5, pp. 517-525, May 1992.

[3] Hae-won Son and Noh-hoon Myung, "A deterministic ray tube method for microcellular wave propagation prediction model," IEEE Trans. Antennas and Propag., vol. 47, no. 8, pp. 1344-1350, Aug. 1999.

[4] 이형선, 송재영, 방효제, "전파 특성 예측을 위한 3차원 광선 추적법의 속도 향상 방법", JCCI, Apr. 2006.



신영일

2005.2. 연세대학교 전자공학부 졸업.  
2007.2. 한국과학기술원 석사과정 졸업.  
2007년~현재 KT 인프라연구소 무선인터넷개발담당. 관심분야는 무선망설계, MIMO, OFDM시스템, 자원할당알고리즘.



정현민

1986.2. 연세대학교 전자공학 석사과정 졸업.  
1996.2. 연세대학교 본대학원 전자공학 박사학위 취득.  
1986년~현재 KT 인프라연구소 무선인터넷개발담당. 관심분야는 무선망설계 및 최적화 시스템 개발 및 엔지니어링.



이성준

1982. 서울대학교 전자과 졸업.  
1984. 서울대학교 전자과 석사과정 졸업.  
2001. 서울대학교 전자과 박사과정 졸업.  
1985년~현재 KT 인프라연구소 무선인터넷개발담당 상무.  
관심분야: 초고속 무선 송수신기술, Mobile WIMAX(Wibro) 기술, 이동통신 기술, 무선망설계 기술등