

《主 題》

전파전파 특성

함영권 · 이혁재

(한국전자통신연구원 전파공학부)

□차 례□

- | | |
|----------------|----------------------|
| I. 서 론 | IV. 경로추적에 의한 전파전파 예측 |
| II. 이론적 해석 | V. 결 론 |
| III. 실험 확률적 특성 | |

I. 서 론

전파통신에서의 사용 주파수대, 사용 환경 및 응용 시스템에 따라 다양한 다른 전파전파 특성을 가지며, 전파자원을 효율적으로 이용하기 위해서는 시스템 설계에 앞서 제반 전파 전파특성연구가 선행되어야 한다. 이러한 전파전파특성연구는 이론연구와 더불어 많은 측정을 통하여 규명되는 전파전파특성과 이를 통하여 획득되는 전파채널 예측모델은 무선통신시스템의 성능시뮬레이션을 통한 시스템 설계 및 효율적인 무선망 설계에 없어서는 안된다.

주파수가 낮은 대역에서는(단파대 이하) 전파가 지표면(수면)을 따라 잘 전송되는 특징이 있어서, 비교적 먼 거리까지 전송이 가능하며, 선박통신이나 선박항해용 보조기기같은 장거리 용도로 장파가 아직도 쓰이고 있고, 중파의 AM방송도 지표파의 특성 때문에 비교적 먼 거리까지 수신 가능하다. 단파대에서는 지상 100km ~ 450km 상공에 있는 전리층에 의하여 전파가 반사되어(낮은 주파수에서는 흡수, 높은 주파수에서는 투과됨), 아주 멀리까지 전파가 도달되며, 지구의 반대편까지도 가능할 수 있다. VHF이상의 통신에서는 가시거리(Line of Sight)통신을 기본으로 하지만 UHF대를 이용하는 육상이동 무선전화에서와 같이 직진파 외에도 회절, 반사, 투과 등의 현상에 의하여 전파가 진행되며, 전파경로상에 장애물이 있다 할지라도 이러한 회절, 반사, 투과 성분들의 손실이

작은경우 통신이 이루어 질 수 있다. 마이크로파대 및 밀리미터파대에서는 회절, 투과에 의한 전파손실이 크기 때문에 거의 가시거리통신을 사용한다. 특히 이 대역에서는 대기,강우감쇠의 손실이 크기 때문에 망설계 시 반드시 대기,강우감쇠 손실을 고려하여야 한다[2].

이동통신 사용자의 급속한 증가는 제한된 주파수 자원을 효과적으로 활용하기 위한 주파수 재사용을 필요로 하게 되었고 이는 셀 분할을 위한 소형화 된 셀인 마이크로셀, 피코셀을 등장시켰다. 이와 같은 셀은 셀 반경이 수백, 수십 미터 정도로 좁아짐에 따라 전파 특성에 매크로셀과 많은 차이를 보이게 되어 이와 관련된 많은 연구가 진행되고 있다. 또한 전파자원의 한계에 따른 새로운 주파수 자원을 이용한 서비스 개발을 위하여 새로운 주파수에 대한 전파전파 특성연구가 이루어 지고 있다.

전파통신에는 위성,해상,육상통신이 있고 또 고정, 이동통신으로도 나눌 수 있는데, 본고에서는 언급해야 할 범위가 너무 광범위하기 때문에 주로 육상이동통신 전파전파특성에 대하여 다루고 그중에서도 육내 및 마이크로셀에서의 전파전파특성에 대해 소개하고자 한다.

II. 이론적 해석

전파의 전송공간에 장애물이 없어 전파가 직진하는 자유공간이라 가정하면 모든 방향으로 균일하게 전파되는 송신안테나에서 거리 R 만큼 떨어진 점에서의 수신전력 P_r 은 송신전력 P_t 을 구의 표면적으로 나눈 것과 같은 다음과 같은 관계식을 갖는다.

$$P_r = \frac{P_t G_r}{4 \pi R^2} \cdot \frac{G_t c^2}{4 \pi f^2} \quad (1)$$

여기서 f 는 전파의 주파수, G_t 는 송신안테나이득, G_r 는 수신안테나이득, c 는 광속을 말한다. 즉, 자유공간에서의 전파의 수신전력세기는 거리의 자승에 역비례적으로 감소하며, 주파수에 따른 송수신 안테나 이득이 같을 때, 사용주파수의 자승에 역비례적으로 수신전력세기는 감소한다.

일반적으로 지상에서의 전파통신은 이러한 직진경로만으로 이루어지는 경우는 드물다. 지구는 평면이 아니고 둥글며, 또 평탄한 평원도 있지만 산이나 언덕, 구릉, 인공구조물 등의 장애물이 있기 때문에 실제로 직진하여 전송할 수 있는 범위는 넓지 않다. 따라서 이러한 복잡한 구조를 간단한 형태로 근사화하여 전파전파 특성의 해석을 시도해 오고 있다.

먼저, 지면위에서 전파가 이루어지는 경우 지면을 지구곡률을 감안한 단순한 구면 혹은 평면의 반사면으로 생각한다. 수신되는 파는 직접파, 지면반사파, 지표파의 합성파로 생각하여, 송수신 안테나높이, 송수신기간의 거리의 함수로 수신전력을 해석한다. 지표파는 대지가 완전 반사체가 아니므로 신호의 일부가 지면내로 흡수된다. 이것이 지면전류를 야기시켜 지표상에 전자파가 존재하게 만드는데, 이 지표파는 거리가 멀어질수록 또 주파수가 높아질수록 그 영향이 감소되어, UHF에서는 안테나 높이가 한파장 이상이 되면 무시될 수 있다. 이러한 상황에서 큰 지면반사파가 존재할 때, 송수신 거리가 멀어짐에 따라 직접파와 반사파 사이에 보강간섭 현상에 의하여 전계강도가 진동을 하다가 송수신 거리가 송수신 안테나의 높이보다 충분히 멀어지면 거리의 4승에 반비례하는 수신전력특성을 나타낸다.

또 전파전송로에 장애물이 있을 경우 이것을 Knife-Edge 형태로 근사화하여 Edge 에 회절이론을 적용함으로써 수신전력해석을 한다. 그림 1 과 같이 송수신부 사이에 Knife-Edge가 위치한 경우를 생각한다. Edge의 높이가 가시선 아래에 위치할 때는 수

신파는 직접파와 장애물에서 회절된 파와의 합으로 표현되며 장애물의 높이가 변함에 따라 두 성분의 위상차에 의한 상호간섭으로 크기가 진동하는 특성을 보여주는데 이러한 직접파와 회절파가 합해져서 전계강도가 진동하는 영역을 Fresnel Zone이라고 한다. 장애물의 높이가 가시선 상에 위치할 때($h=0$)는 전계강도 손실이 자유공간보다 6dB 큰 손실을 갖는다. 또 장애물의 높이가 가시선 보다 높아짐에 따라 회절파만이 존재하게 되며, 손실이 점점 커지게 된다. 직접파와 회절파 사이의 경로차가 $n\lambda$ (n :정수, λ :파장)가 되는 회절점의 집합에 해당 $\frac{\lambda}{2}$ 하는 영역을 제 n Fresnel 영역이라 하고, 장애물이 제 1 Fresnel 영역내에 포함된 공간을 차폐하지 않는다면, 회절효과는 무시될 수 있다. 이러한 회절파는 Huygens원리와 Fresnel 적분에 의하여 구할 수 있다[1]. Knife-Edge의 회절손실은 그림 2와 같다. 여기서 v 는 Fresnel-Kirchhoff 회절파라미터로 $v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$ 이다.

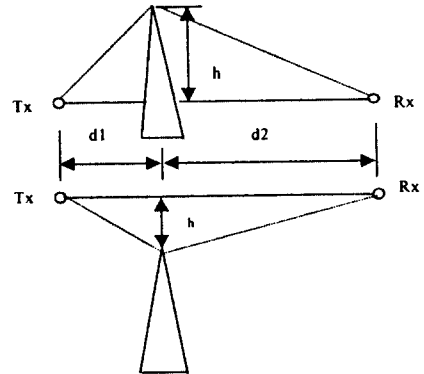


그림 1. Knife-Edge 회절

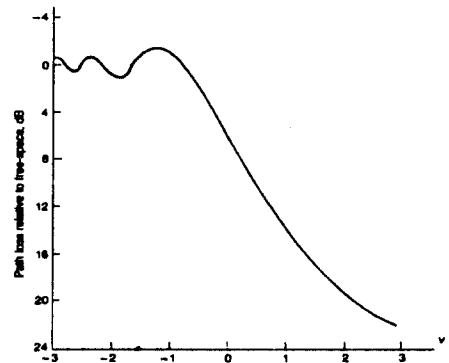


그림 2. 회절에 의한 경로손실

실제 대지상의 장애물은 Knife-Edge 형태는 아니고, 어느정도 두께가 있으므로 Knife-Edge 때와는 다른 전송손실효과가 있으며, 이 효과를 고려하여, 예리한 Knife-Edge 가 아닌 원형곡률을 갖는 장애물로 가정하여 해석이 이루어져 쓰이고 있다. 전송로상에 놓인 장애물이 하나가 아니고 여러장애물이 있는 경우에는, 단일 Knife-Edge 회절이론의 확장에는 아주 복잡한 해석적인 과정이 요구되므로, 일반적으로는 Bullington의 등가법, Epstein-Peterson 방법등이 제안되어 이용되고 있다[1]. 회절손실의 주파수 특성을 보면 주파수가 증가함에 따라 손실이 크게 증가한다 [2].

한편 전파전파에 기본이 되는 반사, 투과 특성을 보면, 매질의 도전율과 유전율, 사용주파수, 전파입사각, 편파 등의 함수이다. 실제 건물의 벽과 같이 유한한 두께d를 갖는 손실있는 유전체판에 입사각 ϕ 로서 전파가 입사할 경우, 양쪽 경계면에서 다중반사가 일어나며, 이것을 고려한 전체 반사계수 R과 투과계수 T는 다음과 같다.

$$R = \frac{R_s(1 - e^{-2\beta d})}{1 - R_s^2 e^{-2\beta d}} \quad (2)$$

$$T = \frac{(1 - R_s^2)e^{-j\beta d}}{1 - R_s^2 e^{-2\beta d}}$$

$$R_s = \frac{\rho \sin \psi - \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \psi}}{\rho \sin \psi + \sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \psi}} \quad : \text{경계면에서의 반사계수}$$

$$\rho = \begin{cases} \frac{1}{\hat{\epsilon}_r} & (\text{perpendicular polarization}) \\ \hat{\epsilon}_r & (\text{parallel polarization}) \end{cases}$$

$$\hat{\epsilon}_r = \epsilon_r - j60\sigma\lambda \quad : \text{복소 등가유전상수}$$

$$\beta = k\sqrt{\hat{\epsilon}_r - \cos^2 \psi}$$

σ : 전도도, ϵ_r : 유전상수

λ : 자유공간에서의 파장

β : 유전체판에 수직인 방향에 대한 전파상수

k : 자유공간에서의 전파상수

예로, 수직편파된 전파가 $d=10\text{cm}$, $\epsilon_r=7.0$, $\sigma=0.3\text{ S/m}$ 인 유전체판에 수직으로 입사한 경우($\phi=0^\circ$)에 대한 반사손실(RL) 및 투과손실(TL)의 주파수에 따른 특성변화를 그림 3에 보였다. 반사/투과손실 모두 주파수에 따라 손실 차이가 적음을 볼 수 있다.

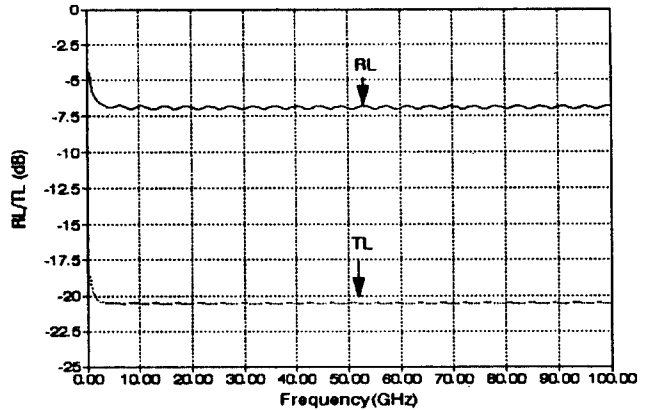


그림 3. 반사 및 투과손실

III. 실험 확률적 특성

앞에서 언급한 이론적인 방법은 전파환경을 아주 단순화시켜, 해석적인 방법으로 구하였으나 실제 대지지면상의 전송로가 아주 복잡하고, 또 이동체의 주행에 따라 급속히 변동하는 페이딩이 발생하므로, 이론적인 가정에 기초한 여러방식들에 대하여 그 적용에의 한계를 보여준다. 실제측정치와는 상당한 차이를 보여주고 있으므로, 이론적인 해석에 부가하여 많은 실측에 의한 데이터에 의하여, 통계적인 보정이 필요하다. 측정을 위하여 그림 4와 같이 마이크로셀에서의 기지국 안테나로 사용할 수 있는 안테나 마스터(15 meter 까지 가변)를 갖춘 전계강도 측정시스템을 구축하였고, 그림 5와 같은 Chip Rate 50 MHz의 PN 상관 방식을 이용한 광대역채널 전파측정 시스템(전파지연 분해능 20 nsec.)을 자체 개발하였다.

1. 경로손실 특성

수신국이 기지국으로부터 거리가 멀어짐에 따른 전력손실을 경로손실이라 한다. 이동통신과 같이 가입자의 단말기가 시내를 다니면서 통신하는 경우에는

주파수에 따른 반사 및 투과특성을 살펴보기 위한

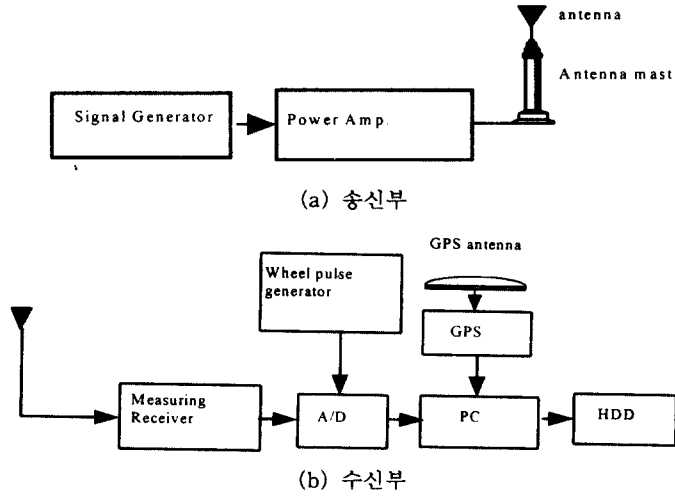


그림 4 전계강도 측정 시스템의 전체 구성도

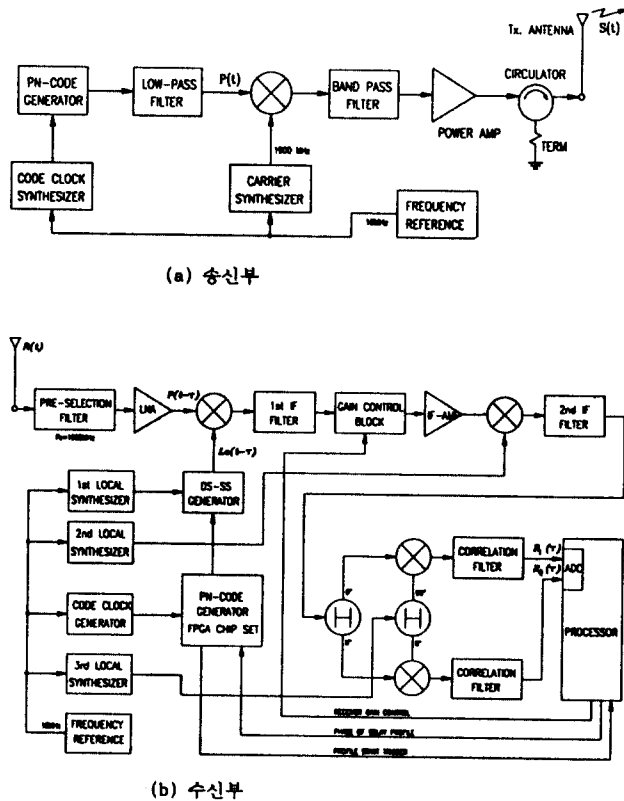


그림 5. 광대역 전파 측정 시스템 구성

직진경로뿐만 아니라 반사나 회절에 의하여 전파가 수신되기 때문에 전파의 경로손실은 자유공간의 그것과 많이 달라진다. 또 Break point (Line-of-Sight 지형지물 차폐지점, 첫 번째 Fresnel Zone 차폐지점) 전후에서 경로손실 기울기가 크게 다르다[2]. 전파전파 이론과 측정을 통한 경로손실특성을 전형적인 몇몇 환경별로 설명하도록 한다.

가. 매크로셀에서의 경로손실 특성

매크로셀에서는 송신 안테나가 높으나 서비스하는 영역이 넓기 때문에 주로 비가시거리 통신이 이루어지므로 주로 회절파나 반사파에 의해 통신이 되고 있으며, 모든 방향으로 유사한 크기의 경로손실을 가지므로 Coverage area가 대체로 원형이다. 매크로셀의 경우 경로손실은 거리에 약 3 ~ 5 승에 비례한다고 알려져 있다[1][3].

많은 예측모델 가운데 대표적인 것으로 불규칙한 지형에서 전파를 예측하기 위한 Egli, Longley-Rice, CCIR, JRC, CRC, TIREM 모델 등이 있고, 빌딩 등 인공구조물을 포함하는 지역에서의 전파예측을 위한 Okumra, Hata, COST231, JTC 모델 등이 있다[1][3]. 예로 많은 측정데이터를 기반으로 하는 Hata 모델의 경우에 적용가능한 범위는 주파수는 100-1500MHz, 거리는 1-20Km, 기지국 안테나 높이 30-300m, 이동국 안테나 높이 1-10m 이다. 자연지형은 대략 준 평활지역과 불규칙지역으로, 인위적인 지물 지역은 대도시, 소도시, 교외지, 개방지 등으로 분류하여, 안테나 높이, 송수신거리, 주파수를 변수로 하는 기본 예측수식에 각 환경에 따른 보정인자를 더함으로써 이루어진다. 그러나 대부분의 모델이 유형구분이 애매하고, 평균적인 구조물 분포를 나타낸 것 자체가 굉장히 포괄적인 데이터이므로, 특정지역의 손실특성이 실측치와 상당한 차이를 보인다. 따라서 이러한 모델은 시스템설계의 기본자료로 활용하고, 세부적인 전파치국에는 측정이 병행되어야 한다.

나. 마이크로셀에서의 경로손실 특성

마이크로셀에서는 셀의 크기를 작게 하기 위하여 기지국 안테나 높이가 낮아짐에 따라 송신파의 수신기 도달 경로가 변하여 수신신호의 전계강도 특성이 매크로셀의 경우와 크게 달라진다. 마이크로셀에서는 가시거리통신이 주가 되며, 송신 안테나가 낮아 방향

에 따라 전파특성이 많이 다르므로 Coverage area가 원형이 아니다(예:다이아몬드 형). 이동국이 차량탑재 혹은 사람이 들고다니냐에 따라서도 전파환경이 달라지므로 서로 다른 예측모델의 적용을 고려하는 것이 좋을 것이다. 그림 6는 일반적인 도심 구조에서 가시 거리가 확보된 지역에서의 수신 전력과 비가시 거리에서의 수신 전력을 비교하기 위하여 측정 및 경로추적방식에 의한 시뮬레이션 결과를 비교 하였다.

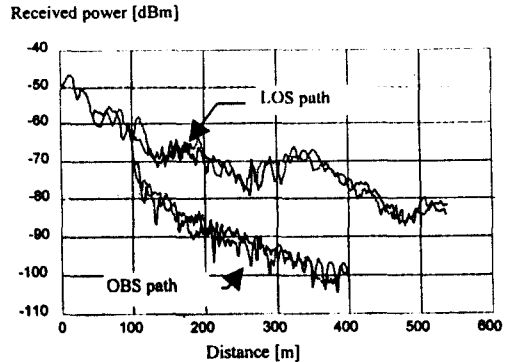


그림 6. LOS 지역에서의 수신전력과 OBS지역에서의 수신전력 비교

그림 6의 결과를 보면 LOS지역과 OBS지역에서의 수신 전력 차는 약 20dB가 되었고, 경로손실 기울기는 LOS지역에서 약 1.7, OBS지역에서 약 2.5의 기울기를 나타내었으며 전체적으로 시뮬레이션치와 예측치가 서로 유사한 값을 가졌다.

이러한 마이크로셀 환경에 적용가능한 모델로 송신 안테나 높이가 건물높이보다 낮은 경우도 고려하고 있는 COST231 모델, JTC 모델 등을 생각할 수 있다. COST231 모델같은 경우 빌딩 높이, 건물사이 간격, 도로폭 등의 대략적인 평균값, 안테나 높이 등을 고려하여 예측할 수 있는데, 이러한 방법도 평균적인 환경데이터가 지정장소의 환경과는 상당한 차이가 있을 수밖에 없으므로 역시 실측치와 상당한 오차를 보인다. 또한 마이크로셀에서는 송수신기 간의 거리가 짧고, 안테나 높이가 낮아 지형지물에 대하여 전형적인 협곡형태가 아니고는 환경분류 및 통계적 표현이 어렵다. 따라서 환경 데이터 획득이 가능하다면 뒤에 설명할 경로추적방식을 마이크로셀에서 적용하는 것도 한가지 대안으로 생각된다.

한편, 일반적으로 안테나 높이에 따른 수신전력의 변화는 안테나 높이에 따라 일정하게 나타나지 않고 거리와 서로 관련이 있음을 알고 있다. 안테나의 높

이것이 상대적으로 낮은 마이크로 셀 및 피코 셀 환경에서의 기지국 안테나의 높이에 따른 수신전력의 변화를 분석하기 위하여 2GHz 대역에서 높이에 따른 수신전력의 변화량을 국내 중요 도심지에서 측정하였다. 이것을 근거로한 일반적인 안테나 높이에 따른 수신전력의 변화량에 대한 다음과 같은 예측 식을 만들었다.

$$P_A = -5.50051 \log \frac{h_b}{4} + \left(9.5821 \log \frac{h_b}{4} - 24.094 \right) \cdot \log R - 6.249 \quad (3)$$

위식에서 송신 안테나 높이는 [m]단위이며 기준이 4m에 대한 상대적인 높이, R은 송수신 안테나 사이의 거리[m]를 나타낸다. 그림 7는 식(3)의 예측 모델에 의한 curve와 측정치 fitting curve와의 비교한 그림으로서 측정치에 매우 잘 접근함을 볼 수 있다.

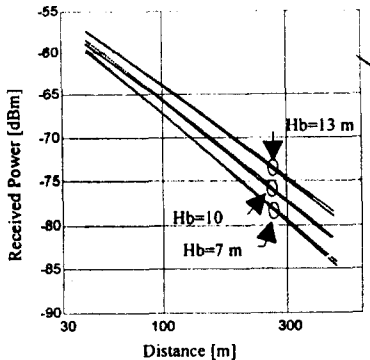


그림 7. 예측모델에 의한 curve와 측정치 fitting curve와의 비교

이 외에 마이크로셀에서 사용을 위한 안테나 높이에 따른 전송손실 예측모델로 JTC 모델 등 몇몇 종류가 있다.

다. 옥내 및 특수환경에서의 경로손실 특성

옥내 무선시스템을 위한 전파전파 특성은 옥외의 시스템을 위한 전파전파 특성보다 여러가지 면에서 매우 다르다. 옥내는 서비스 영역이 건물의 기하학적 구조에 의하여 정해지며, 건물 자체의 재질에 의하여 전파에 영향을 미치기도 한다. 또한 한 건물의 같은

층에서 주파수 재사용이 이루어질 뿐만아니라 층간에도 주파수 재사용이 이루어지므로 3차원의 간섭이 발생하기도 한다. 옥내에서의 경로손실은 공간 경로손실, 벽투과 손실, 층간투과손실, 옥외-옥내 침투손실 등을 생각할 수 있다. 공간환경은 각종 가구류 및 구조물에 따라, 손실 특성이 달라지며, 수신기 주위의 사람 등 이동하는 근접장애물 또한 큰 영향을 미치고 있다. 복도환경은 가구류같은 장애물이 별로 없고, 구조특성상 도파관 구실을 하여, 경로손실이 자유공간 경로손실보다 적다[2]. 벽 투과손실은 벽의 재질, 두께에 따라 다르다. 측정 결과의 예를 보면, 2 GHz에서 재질이 콘크리트이고 두께가 20 cm인 경우 약 6 dB, 철문통과시는 약 10 dB의 손실이 있었다[2]. 다양한 가구 및 구조물에 대한 투과손실을 여러 연구자가 보고하고 있지만 발표자마다 상당한 차이가 있다 [1][3][5]. 층간 침투손실을 고려한 전송손실 옥내 경로손실 예측모델로 JTC(Joint Technical Committee) 모델 등이 소개되고 있다. 그러나 이런 모델들은 아주 단순화시킨 모델인데, 실제 실내환경은 아주 복잡하고, 매질 또한 다양하여 정형화하기가 매우 어렵기 때문에 이러한 통계적인 모델로는 효과적인 전파손실 예측을 하기가 어렵다. 더 정확한 전파예측을 위해서는 뒤에 언급할 경로추적 방식을 사용하는 것이 바람직하리라 판단된다.

특수환경으로서 터널에서는 실내의 복도와 마찬가지로 경로손실이 도파관 효과로 자유공간의 경로손실 기울기보다 대체로 작아진다. 예로, 2GHz 대역에서 터널에서의 경로손실 특성을 분석하기 위하여 대전 추부터널과 대덕터널에서 측정한 결과를 보인다. 각 터널의 길이는 대덕터널의 경우 약 800 m, 추부터널의 경우 500 m이며 대덕터널은 터널이 휘어져 있는 반면 추부터널은 거의 직선이다. 터널 내에서의 직접파의 효과를 확인하기 위하여 직접파가 터널 내에 존재하도록 송신안테나를 설치한 경우와 터널 옆에 안테나를 설치하여 직접파가 터널 내에 없도록 설치한 경우에 따른 측정 결과를 비교 하였다. 안테나 높이는 대덕터널에서는 5.5m, 추부터널에서는 10m로 정하였고, 터널 입구에서 송신 안테나까지의 거리는 두 경우 모두 약 50m 지점에 위치하였다. 그림 8에 전계강도 프로파일예를 보여 주고 있다. 터널 내에서의 경로손실은 직접파가 있는 경우 거리의 1.5승에 반비례하였고, 직접파가 없는 경우는 거리의 2승에 반비례하였다.

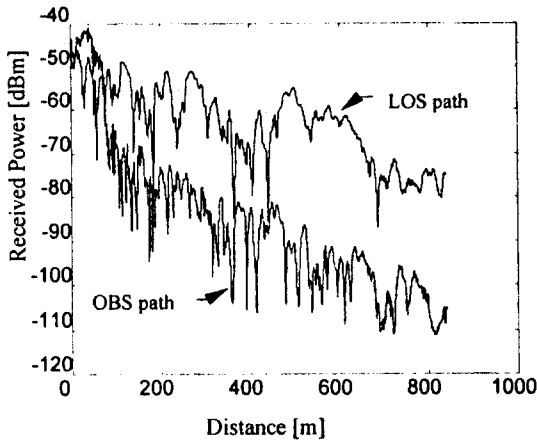


그림 8. 직접파가 존재하는 경우와 없는 경우에 대한 대덕 터널 내에서의 수신전력

2. 페이딩 특성

가. 단구간 및 장구간 페이딩 특성

UHF대를 이용하는 이동통신 환경에서의 전파전파는 송신기로부터 수신기까지 보통 하나 이상의 경로를 통하여 이루어진다. 다중경로 상황에서는 각기 다른 지연시간을 갖는 신호들이 여러방향에서 입사되며 이들 신호는 그림에 나타난 것처럼 수신 안테나에서 벡터적으로 더해진다. 이렇게 더해진 신호는 각 신호의 위상지연 분포에 따라서 보강간섭이나 상쇄간섭이 일어나게 되므로 어떤 한 지점의 신호크기는 조금 떨어진 다른 지점의 신호크기와 수십 dB정도의 차이가 있을수 있는데 이는 입사신호들의 위상관계가 달라졌기 때문이다. 이와같이 신호의 크기가 변화하는 현상을 페이딩이라고 하며 다중경로에 의해서 나타나는 짧은 구간 동안에 신호가 변화하는 현상을 단구간 페이딩(Short-term fading) 또는 다중경로 페이딩(Multipath fading)이라고 한다. 그 크기는 Rayleigh 분포특성을 가지며, 위상은 Uniform 분포를 갖는 것으로 알려져 있다. 특히 항공, 해상전파와 같이 우세파가 존재하는 환경에서는 Rician 분포특성을 갖는다.

또한 기지국과 이동국간의 지형구조와 인공적 구조물에 의한 신호의 차단에 의한 비교적 긴 시간에 걸친 신호세기의 변화를 받는다. 기지국으로 부터의 거리가 멀어짐에 따른 경로손실분을 제거한 이러한 비교적 긴 구간동안에 신호가 변화하는 현상을 장구간 페이딩(Long-term fading)이라고 한다. 장구간페이딩

의 크기의 분포는 Log-normal 분포를 갖는 것으로 잘 알려져 있으며, 역시 환경 유형에 따라 표준편차를 달리한다. 매크로셀에서는 대략 6-8dB의 표준편차를 갖고, 마이크로셀 및 옥내에서는 10dB정도의 표준편차를 갖는 것으로 알려져 있다.

마이크로셀에서의 페이딩 분포특성을 측정을 통하여 살펴보았다. 마이크로셀 환경에서의 페이딩 신호는 매크로 셀에서의 신호 특성과 매우 다른 분포 특성을 가진다. 즉, 셀 크기가 작아지고 송수신 안테나의 높이가 낮아질 뿐 아니라 송신 출력의 감소 및 주위 환경의 변화로 인한 전파 경로의 차이로 인하여 경로 손실, 장구간 및 단구간 페이딩 특성 또한 매크로 셀에서의 그것과 매우 큰 차이를 가진다. 대전 도심지역의 마이크로셀 환경에서 수신기가 가시거리에 있을 때와 비가시거리에 있을 때 수신한 페이딩 신호에 대하여 Rician 파라미터 K (=우세파의 전력/산란파의 전력) 값을 구한 것을 그림 9에 나타냈다. 주파수는 2GHz이고, 송신안테나 높이는 10m, 수신안테나 높이는 2m이었다. 실선은 이론치를 실험치와의 비교를 위하여 그려놓았다. 그림에서 보는 바와 같이 가시거리 영역에서의 페이딩 신호의 분포는 K=2.6의 Rician 분포를 따르며, 비가시거리 영역에서의 신호 분포는 K=1.4의 분포를 따르는 것을 볼 수 있다. 이것은 수신기가 가시거리 영역에서 비가시거리 영역으로 이동함에 따라 직접파와 같은 우세파가 사라지게 되어 페이딩 신호의 분포는 Rician 분포에서 Rayleigh 분포로 접근하기 때문이다. 그러나 이러한 경우에 있어서도 K = 0에 가까운 Rayleigh 분포를 따르는 매크로셀 환경과는 다름을 알 수 있다.

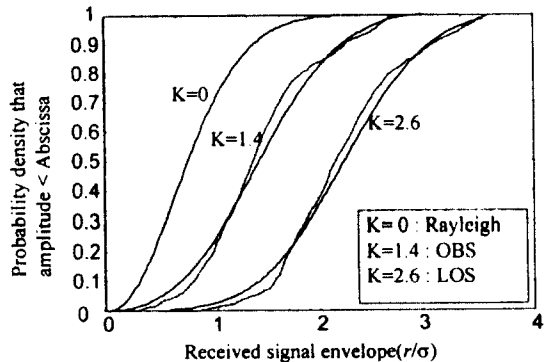


그림 9. LOS 와 OBS지역에서의 페이딩 신호와 Rician 파라미터 K의 비교

한편 페이딩깊이(Fading Depth)가 신호대역폭이 커짐에 따라 작아진다고 알고 있다. 실제 사용하고 있는 대역폭 30kHz의 AMPS시스템 신호와 대역폭 1.25MHz의 CDMA시스템 신호 간의 페이딩깊이 차이를 알기 위하여 대전도심에서 측정을 하였다. 측정데이터에 의한 레벨교차율을 구해보면 그림 10과 같다. CDMA 시스템이 페이딩 폭이 AMPS에 비해 상당히 작음을 알 수 있다. 이것은 일종의 주파수 다이버시티 효과이다. 그러나 경로손실 및 장구간 페이딩 특성은 신호의 대역폭에 영향을 받지 않는다.

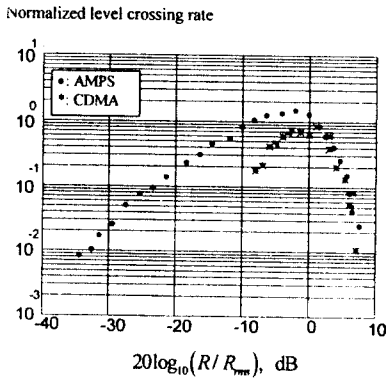


그림 10. AMPS와 CDMA시스템의 레벨교차율에 의한 페이딩 깊이 비교

나. 페이딩 상관 및 도래각 분포 특성

매크로셀에서는 이동국주변의 반사체가 전방향에 분포되어 있음으로 해서 공간적 페이딩주기가 반파장에 가까우나, 기지국의 안테나 높이가 상당히 높으므로 전파가 도래하는 방향의 폭이 좁음으로 인해 공간적인 페이딩 주기가 상당히 크게된다(일반적으로 10 배 이상). 따라서 페이딩 상관 거리(Coherence Distance)가 기지국에서 상당히 커지게 된다. 그러나 마이크로셀이나 옥내와 같은 경우에는 상황이 달라진다. 기지국 안테나 높이가 달라지고, 사용환경이 달라지기 때문이다. 전형적인 도심지 마이크로셀 환경에서 도로 양쪽을 따라 빌딩들이 배열되어 협곡 구조를 이루고 있으며, 많은 경우 송수신기 사이의 가시거리 경로가 존재하는 구조를 나타낸다. 이 경우 수신기에서의 수신전력은 직접파 외에 주로 도로지면 및 건물에 의한 반사 파들에 의해 결정된다. 이러한 반사 파들의 크기는 반사 횟수에 반비례하므로 많은 반사를 거친 반사 파는 수신전력에 영향을 미치지 못하고 수 번 이하의 반사 횟수를 가진 다중경로전파들이 수신

전력에 영향을 미친다. 이러한 구조에서 각 반사 파들은 도로 양쪽을 따라 잘 배열되어 있는 반사체들의 방향에 따라 반사되어 수신기에 도달하므로 제한된 방향으로의 도달 각(arrival angle)을 가지고 있다. 이것은 산란체가 랜덤하게 산재되어 있기 때문에 전파의 도달 방향이 모든 방향에 대해 어느정도 일정하게 분포되어 있는 매크로 셀 환경과는 다른 분포 특성을 가진다.

도로 양쪽을 따라 빌딩이 밀집한 협곡 구조에서의 페이딩 신호 분포 특성은 매크로 셀에서의 페이딩 특성과는 달리 거리에 따라 달라져 송수신기 사이의 거리가 페이딩 발생 주기 및 변동폭에 영향을 미치는 것을 알 수 있다. 우세파와 다중경로파의 상대적인 세기차에 반 비례하는 페이딩 신호의 변동폭은 거리가 멀어지거나 비가시거리 영역에 있을 때 커지게 되며 또한 주로 송신 안테나의 높이가 주위 건물 보다 낮은 도심지 마이크로 셀 환경에서는 수신파의 도달 각이 제한을 받아 특정 방향으로 전파가 도달하므로, 송수신기에서 멀리 떨어진 경우 페이딩 발생 주기가 가까운 거리에 비해 느리게 나타난다. 그러나 비가시거리 영역에서는 세기차 유사한 다중 경로 반사파뿐 아니라 회절파도 신호 형태에 영향을 주어 발생주기가 짧아진다.

전형적인 협곡 구조를 갖으며, 송신안테나가 건물 높이보다 낮은 마이크로셀에서 분석한 결과를 보면 이동국이 송신국으로부터 충분히 떨어진 경우에는 페이딩 상관거리가 10파장 정도에 이르고 있다. 따라서 이동국에서 떨어진 두 안테나에 수신된 수신 신호 전력 페이딩이 서로 독립적으로 되기 위해서는 매크로셀 환경과 달리 상당히 큰 이격 거리가 요구됨을 알 수 있다. 이러한 결과는 마이크로셀 환경에서는 이동국에서 공간 다이버시티를 설치하기 어렵고, 페이딩 속도가 느려 인터리버의 크기도 이에 맞게 고려되어야 할 것이다.

한편 페이딩깊이(Fading Depth) 특성과는 달리 페이딩 상관특성은 신호대역폭에 따라 영향을 거의 받지 않는다.

다. 편파특성

전파는 편파에 따라 반사, 투과, 회절특성이 다르다. 따라서 편파에 따라서 페이딩특성도 다르게 나타난다. 예를 들어 같은 위치에서 수직편파와 수평편파

는 서로 독립된 페이딩 특성을 보여주고 있다. 그러나 평균 수신전계 강도는 환경에 따라 차이는 있으나 대체로 수평편파가 수직편파보다 수 dB 적게 수신된다고 많은 측정결과가 보여주고 있다. 따라서 수직/수평 편파 다이버시티는 공간다이버시티와는 달리 수직편파와 수평편파의 평균 수신전계강도의 차가 적은 조건에서만 사용하여야 효과를 볼 수 있을 것이다.

3. 광대역 채널 특성

다중경로파들간의 전파지연이 큰 경우에는 심볼간 간섭이 일어나며, 신호대역폭이 채널의 코히런트 대역폭(Coherence Bandwidth, Bc)보다 큰 경우 전파지연에 의한 심볼간 간섭을 무시 못하게 되며, 이러한 채널을 광대역 채널(혹은 주파수 선택적 페이딩 채널, 페이딩 ISI채널)이라 한다. 여기서 코히런트 대역폭이란 두 다른 주파수를 갖는 신호 사이의 페이딩 상관 계수가 통상 0.5인 주파수 간격을 말하며, 다중파의 지연분산과 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$B_c = \frac{1}{2\pi\Delta}$$

Δ : 지연분산 : 다중파 평균지연값으로 부터의 다중파 지연값들의 표준편차.

$$\Delta = \sqrt{\frac{\sum_{k=1}^N (\tau_k - d_m)^2 P(\tau_k)}{\sum_{k=1}^N P(\tau_k)}}$$

여기서 d_m 은 평균 지연으로 다음과 같다.

$$d_m = \frac{\sum_{k=1}^N \tau_k P(\tau_k)}{\sum_{k=1}^N P(\tau_k)} \quad \begin{array}{l} \tau_k : \text{각 지연파의 지연값} \\ P(\tau_k) : \tau_k \text{의 확률} \end{array}$$

반사체의 위치가 서로 가까운 옥내의 경우 지연확산은 옥외 환경에서 보다 훨씬 작고 마이크로셀에서는 매크로셀에서보다 역시 크게 작다. ITU-R 자료에 따르면 매크로셀에서는 평균지연분산은 3 sec, 최대지

연분산은 16 sec를 넘지 않는 것으로 본다. 전파지연에 영향을 미치는 요소로 전송경로 환경이외에도 주파수, 편파, 안테나 지향성 등에 관계된다.

편파에 따른 전파지연 특성으로서, LOS(Line-of-Sight) 채널에서 지향성을 갖는 원편파는 지향성을 갖는 선형편파보다 전파지연분산이 적은 것으로 잘 알려져 있다. 이유는 원편파가 어떤면에 부딪치면 편파방향이 바뀌어 직접 수신기에 도착한 파와 한번 반사되어 도착한 파가 직교되는 편파특성을 갖기 때문에 나타나는 성질이다. 이러한 성질은 주파수에 독립이며, 옥내, 옥외 모든 환경에 적용된다. 또 OBS(Obstructed) 채널에서 송신쪽에서는 전방향 수평편파 안테나를 사용하고, 수신쪽에서는 지향성 원편파를 사용할 때 가장 지연분산 및 최대지연값이 작다는 것을 실측에 의하여 보여준 보고결과가 있다.

주파수가 커지면 경로손실, 회절성분 등이 적어져, 일반적으로 지연분산값이 작아지고, 마이크로파대 및 밀리파대에서는 보통 날카로운 지향성을 갖는 안테나를 사용한 가시거리 통신을 하기 때문에 지연분산값은 아주작다.

다중경로로 입사되는 각 경로는 서로 독립된 페이딩 특성을 갖고 있어서 경로신호들에 의한 경로다이버시티로 사용할 수 있다. 실제로 CDMA 이동통신시스템에서는 Rake 수신기를 사용하여 이러한 성질을 이용하고 있다. 이러한 광대역채널은 시변 탭지연(Time Variable Tapped Delay Line)모델로 나타낼 수 있다. 여기서 각 탭들은 독립된 페이딩을 겪으며 각 탭들의 평균전력 및 탭의 갯수는 채널에 따라 다른 분포를 갖는다. 기존 모델로 GSM모델, JTC모델[4] 등이 있다.

마지막으로 현재 PCS, FPLMTS 등의 용으로 할당되어 있는 준마이크로파대의 옥내 및 마이크로셀에서 다중경로 채널의 지연특성을 측정하여 분석한 결과를 소개한다.

가. 옥내전파지연특성

옥내환경에서의 전파전파 특성연구를 위해 주파수소인(Frequency Sweep)방식의 전파 측정 시스템을 이용하여 다양한 옥내환경에서 측정을 실시하였다. 측정장소는 편의상 한국전자통신연구원내의 강당, 복도, 연구실, 실험실 등을 선정하였다. 측정 및 분석결과로 각 측정 환경에서의 초과 지연프로파일을 구하

고 이들로부터 평균 초과 지연시간과 rms 지연확산, 최대지연확산 등을 계산한다. 그림 11에 전파지연 프로파일 예를 보여주고, 지연분산 결과를 표 1에 나타냈다.

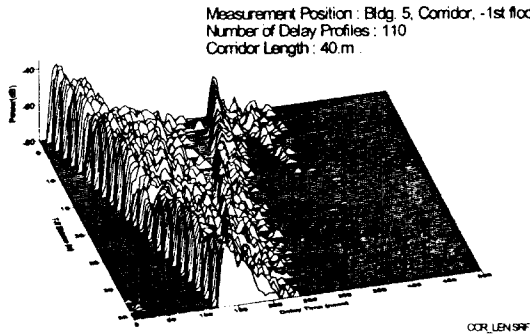


그림 11. ETRI의 I형 복도에서 측정 한 지연프로파일

표 1. 옥내 측정결과

| 환경명 | 장소명 | rms 지연확산 평균 / 표준편차) | 평균 초과 지연시간 |
|-----|--------|------------------------|---------------|
| 연구실 | Off. A | 7.8 / 4.3 | 25.3 / 19.8 |
| | Off. B | 14.3 / 7.0 | 26.5 / 18.4 |
| | Off. C | 33.1 / 6.7 | 20.7 / 6.1 |
| 실험실 | Lab. A | 27.9 / 17.4 | 18.8 |
| | Lab. B | 21.1 / 5.0 | 19.0 |
| 복도 | I형 | 29.7 / 5.5 | 24.0 |
| | I형 | 23.8 / 3.9 | 38.8 |
| | I형 | 25.1 / 8.8 | 19.1 |
| 강당 | 강당 1 | 23.6 / 5.7 | 16.3 |
| | 강당 2 | 25.7 / 7.5 | 24.6 |

전파지연특성은 옥내환경으로 ETRI 내에서의 측정 결과를 보면 평균 지연분산값이 50nsec를 넘지 않았다.

나. 마이크로셀 전파지연특성

마이크로셀에서의 전파전파 특성연구를 위해 PN 상관 방식을 이용하는 지연파 측정 시스템을 사용하였다. 측정장소는 국내 주요 대도시, 중소도시, 도시 외각지역에서 많은 측정을 하였다. 주파수는 2GHz를 사용하였고, 송신 안테나 높이 5, 15meter, 수신안테나 높이 1.5meter로 하였다. 대전 지역에서의 지연프로파일

일 및 누적 지연분산 분포도의 예를 각각 그림 12와 그림 13에 나타냈다. 전체 측정결과를 보면 최대지연분산값 2000nsec, 평균지연분산값 250nsec를 넘지 않았다. 송신 안테나의 높이가 큰 경우 지연분산값이 전반적으로는 컸으나, 도심 외각지역에서는 일부 반대되는 현상도 나타났다.

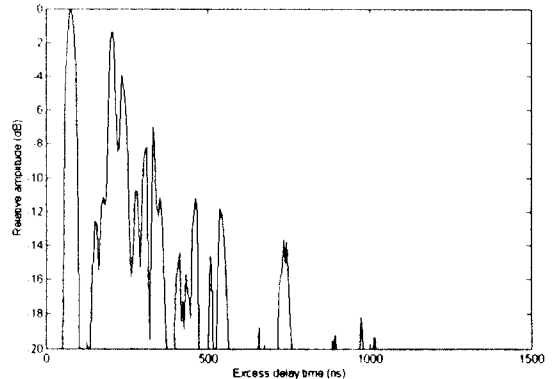


그림 12. 마이크로셀에서의 전파지연 프로파일 예

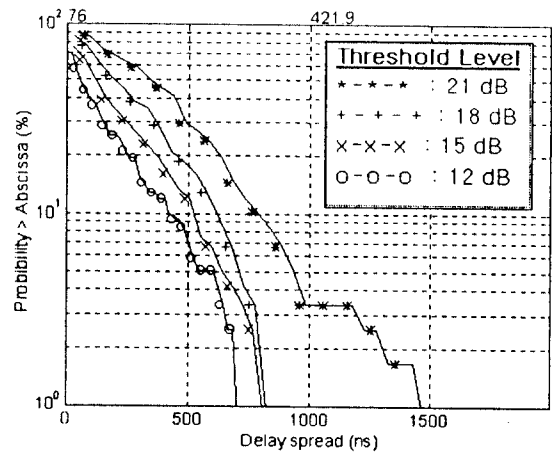


그림 13. 전형적인 마이크로셀에서의 지연분산 누적분포도 (TX=15 m)

IV. 경로추적 방식에 의한전파전파예측[2][7][8]

전파 특성을 예측하기 위한 방법으로서 해석적인 경로추적 전파예측 기법을 사용할 수 있다. 경로추적 전파예측이란 반사 및 투과파의 계산을 위한 Ray optics, 회절파를 계산하기 위한 UTD (Uniform Geometrical Theory of Diffraction) 방법을 사용하여

송수신기 간의 전파가 전파되는 과정을 추적하고 그때의 신호값을 계산하며, 3차원적으로 각 경로를 통하여 도달하는 수신신호를 합함으로써 수신 전력과 기타 전파특성을 예측하는 방법이다.

송신기를 출발한 ray가 벽과 같은 장애물에 부딪치게 되면 ray는 반사 및 투과 그리고 산란을 일으키게 되며, 또한 모서리에서의 회절을 일으키게 된다. 이러한 현상에 의하여 ray는 두 개 또는 여러 개의 ray로 나뉘게 되고 그 각 ray들의 전파 경로에 다른 장애물이 놓여 있다면 이 ray들은 다시 위와 같은 현상을 일으켜서 여러 개의 ray로 나누어져 진행하게 되며 이 과정은 ray들이 수신기에 도달할 때까지 반복한다.

전파의 경로를 추적하는 방법으로서 전기영상 법과 ray launching 방법으로 나눌 수 있다. 전기 영상법은 영상 기법을 이용한 방법으로서 영상 송신기를 반사면에 대해 실제 송신기와 반사면과의 거리만큼 반대 방향으로 이격 된 지점에 배치하여 각 다중경로파의 반사 지점을 찾는 방법이며, ray launching 방법은 송신 안테나에서 전파 송신 방향을 일정하게 변화시키면서 송신하였을 때, 송신된 전파의 반사 및 투과 등의 현상에 의한 다중 경로 파들 중에서 수신기에 도달하는 전파들을 취하는 방법이다. 전기 영상법은 계산 시간이 짧은 장점에 비해 예측 구조의 확장이 어

려운 단점이 있고, ray launching 방법은 예측 구조의 확장이 가능한 반면 계산 시간이 길어질 뿐 아니라 예측의 정확성이 떨어진다.

이러한 경로추적 전파예측 방식은 임의의 어떤 지점에서의 수신전력뿐만 아니라 전파지연, 단구간페이딩 및 상관 특성도 예측할 수 있다. 또 임의의 통신 시스템 전송조건(안테나 높이, 편파, 다이버시티, 캐리어 주파수, 신호대역폭 등) 및 환경 조건에 대한 전파전파 특성을 예측할 수 있으므로, 다양한 조건에서의 시뮬레이션을 통하여 통계적인 전파예측모델 개발에도 이용 가능하다[2]. 그러나 이러한 경로추적 방식은 사용되는 재질정보도 포함하는 환경의 정확한 환경DB가 필요하므로 얼마나 정확한 환경 DB를 구축하느냐에 따라 성능이 좌우된다. 그러나 실제환경은 복잡한 지형, 구조물을 갖고 있고, 재질 또한 다양하므로 방대하고도 정확한 DB구축이 큰 문제이다. 따라서 어떻게 하면 예측오차가 비교적 적고 DB구축에도 용이한 DB구축 근사화 방식이 계속 연구되어야 할 것이다. 이 경로추적 방식은 적절한 환경 DB가 구축되어 있다면, 통계적 전파예측 방식에 비하면 임의의 지점에서 정확한 전파예측을 할 수 있는 반면, 계산 시간이 많이 소요되는 단점이 있다. 하지만 계속 빨라지는 컴퓨터 계산속도를 감안할 때 크게 개선될 수

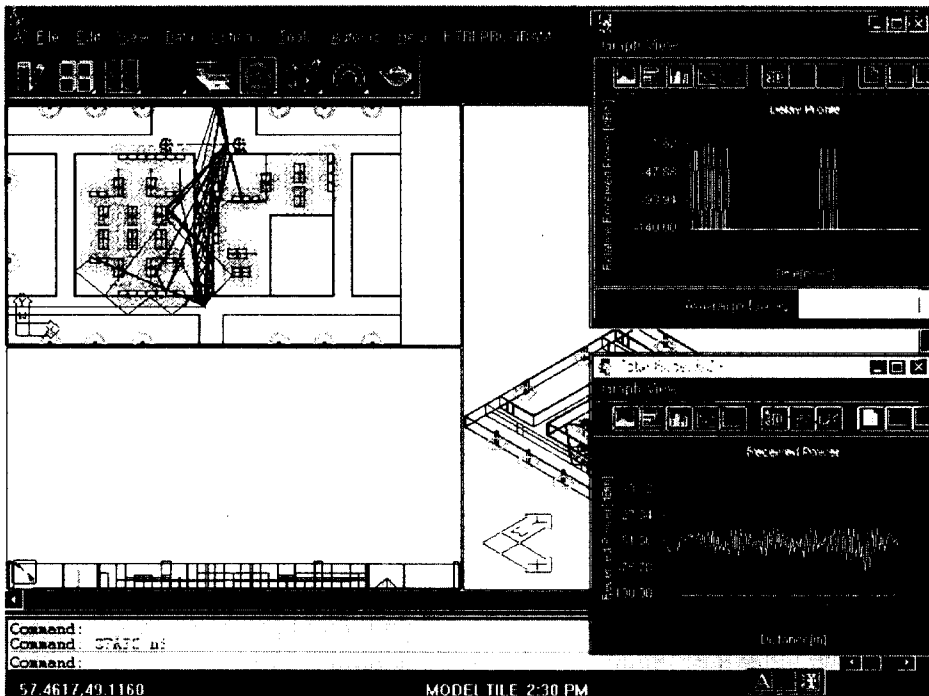


그림 14. 옥내 환경에서 계산된 지연 프로파일과 수신전력

있을 것으로 보인다. 그림 14에 본 연구원에서 개발한 경로추적방 전파예측 Tool 의 옥내환경 적용예를 보인다.

지금까지는 옥내환경의 적용을 위해 주로 개발되고 있으나, 마이크로셀과 같은 옥외환경에도 적용을 위하여 연구가 이루어 지고 있다.

V. 결 론

새로운 무선통신 시스템을 개발하고 서비스를 제공하기 위해서는 관련환경에서의 전파전파에 대한 연구가 선행되어야 한다. 이러한 연구가 통신 선진국을 중심으로 이루어져 왔는데, 무선통신 선진국으로 도약하는 우리로서는 앞으로 많은 관심을 기울여야 할 부분이다.

이동통신 전파특성중 육상이동통신을 대상으로, 간략화된 지형모델에 대한 이론적인 전파특성 해석에 대하여 소개하고, 이러한 해석치가 실측치와 실제로 상당한 차이가 있는 것을 보완하기 위한 새로운 통계 데이터 획득 및 분석이 있었고, 새로운 예측모델을 개발사례를 설명했다. 국내외의 관련분야의 적지 않은 연구결과에도 불구하고, 전파환경이 너무나 다양하여, 각자 측정하고 분석한 데이터가 특정 환경에 국한되어 있는 결과이기 때문에 서로 차이가 크다. 따라서 소개되고 있는 많은 모델들은 일반적인 환경에 적용될 때 차이가 많을 수 있다. 체계적으로 더욱 많은 측정과 분석을 통하여 좀더 세분화된 모델 개발이 있어야 할 것이다.

임의의 환경의 임의 지점에서 정확한 전파예측을 할 수 있는 경로추적 방식은 방대하고도 정확한 DB 구축이 큰 문제이므로 세세한 부분은 사전 분석데이터를 이용한 통계적인 처리방식을 택함으로써, 더욱 실용적인 경로추적 전파예측 모델을 개발할 수 있을 것이다. 환경 DB를 기본으로한 통계적인 방식을 사용하는데, 그때 그때의 환경데이터에 따른 세분화된 통계적인 세부모델을 적용함으로써 보다 정확한 전파예측을 기대할 수 있다. 어떤 방식이든 많은 환경데이터를 이용하는 것이 바람직하므로 인공구조물도 포함된 전국 GIS 정보는 가장 중요한 정보중의 하나가 될 것이다.

크게 늘어나는 다양화된 무선통신 서비스와 수요를 충족시키기 위하여, 이동통신의 경우 준마이크로파대 외에도 마이크로파대, 밀리파대와 같은 새로운 주파

수대의 사용이 불가피해 지고 있다. 100 GHz 이내의 옥내외용으로 개발중에 있거나 개발을 검토중에 있는 것이 상당수 되므로, 이러한 새로운 주파수에 대한 전파전파특성 연구도 이루어 지고 있다. 이러한 주파수 대에서는 대기, 강우감쇠 손실 또한 무시할 수 없으므로 이에 관한 연구도 이루어 져야 하며, ITU-R 에서 수십 GHz 정도까지 보고되고 있다. 그러나 이러한 것도 국내환경에 적용하여보면 상당히 차이가 있는 것으로 평가되어 국내환경에 대한 별도의 연구가 이루어 져야 한다.

참 고 문 헌

- [1] J.D.Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, Pentech Press, 1992.
- [2] 한국전자통신연구소, 전파전파특성 측정 및 분석기술 연구, 1997.
- [3] T. S. Rappaport, Wireless Communications, Prentice Hall PTR, 1996.
- [4] Technical Report on RF Channel Characterization and system Deployment Modeling, JTC(AIR)/94.9.23-065R6, Sep. 23, 1994.
- [5] A. deToledo and A. Turkmani, "Propagation into and within Buildings at 900, 1800 and 2300 MHz," IEEE Vehicular Technology Conf., pp. 633-636,1992.
- [6] D. Molkdar. "Review on radio propagation into and within buildings". IEE Proceedings, 138, part H(1):61-73, February 1991.
- [7] R. G. Kouyoumjian and P. H. Pathak, "A Uniform Geometrical Theory of Diffraction for an Edge in a Perfectly Conducting Surface". Proceedings of the IEEE, 62(11):1448-1461, November 1974.
- [8] M. C. Lawton and J. P. McGeehan. "The Application of GTD and Ray Launching Techniques to Channel Modelling for Cordless Radio Systems". In Proceedings 42nd VTS Conference, Denver, Colorado : Volume 1, May 10-13 1992.



함 영 권

-
- 1980년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (학사)
 - 1982년 2월 : 연세대학교 전자공학과 (석사)
 - 1996년 8월 : 연세대학교 전자공학과 (박사)
 - 1983년 8월~현재 : 한국전자통신연구원
전파공학부 선임연구원
 - 관심분야 : 디지털 이동통신, 전파전파
-

이 혁 재

-
- 1970년 2월 : 서울대학교 전자공학과 (학사)
 - 1977년 : Oregon State Univ. 전자공학과 (석사)
 - 1982년 : Oregon State Univ. 전자공학과 (박사)
 - 1970년~73년 : 해군기술장교
 - 1973년~75년 : 주식회사 세양 전기기사
 - 1976년~82년 : Oregon State Univ. 연구조교 및
Teaching Assistant
 - 1983년~현재 : 한국전자통신연구원 전파공학부장