

이동전파 특성측정 및 분석연구

황 인 희
전파과 공업연구사

제 1 장 서 론

IMT-2000(International Mobile Telecommunication-2000)은 현재 각 국가별로 개별적으로 운용되고 있는 다양한 이동전화 시스템의 규격을 통일하여, 세계적인 로밍을 통하여 세계 어느 곳에서도 동일한 단말기로 서비스를 이용할 수 있도록 하는 차세대 이동통신 시스템이다. ITU를 중심으로 IMT-2000이란 이름으로 추진되고 있는 이 시스템은 2Mbps급 고속 데이터 통신이 가능한 사양 등을 갖추도록 되어 있으며, 이에 따라 각국에서 연구개발이 진행되고 있다. 92년에 개최된 세계무선통신주관청회의(WRC-92)에서 1885~2025 MHz 및 2110~2200 MHz 대역 230MHz 대역폭을 IMT-2000용 주파수로 각국이 동일하게 확보하도록 권고되었다.

이렇듯이 신규 이동통신 서비스인 PCS가 정착되기도 전에 또하나의 새로운 이동통신 시스템이 실용화를 향해 달리고 있다. 이런 급속히 변화 발전하는 이동통신 시장에 대처하기 위해 우리 나라 실정에 맞는 전파환경에 대한 보다 실질적인 연구와 정확한 이해가 있어야 된다고 생각되어 진다.

대규모 통화용량의 수용 및 고품질 통신의 요구와 한정된 전파자원의 효율적인 사용을 위해서 특히 대도시에서는 수많은 마이크로셀 형태의 기지국을 배치하여 이를 해결하려고 한다. 따라서 도심 마이크로셀에서의 보다 정확한 전파전파의 이해는 이웃 셀간의 간섭 및 서비스 영역을 결정하는데 매우 필요한 것이다. 이들과 관련하여 신호의 페이딩, 경로 손실 그리고 시간 지연특성에 대하여 여러 마이크로셀 환경에서 여러 모델 및 측정 방법에 관한 논문들이 발표되었다.

우리 연구소에서는 '93년부터 본격적인 전파자원개발연구 계획을 마련하여 기 이용 주파수 대역의 유효 이용방안과 미이용 주파수 대역의 개발을 위한 기초연구를 수행하였으며, 우리 나라의 특징적 지형과 인공구조물 특성을 보다 실질적으로 고려한 1~3GHz 주파수대 전파전파특성 연구를 위하여 '96년도의 저층 및 고층 아파트가 밀집되어 있는 평촌 신도시 지역에서의 측정실험 이어, 금년에는 대단위 공업지역인 시화공단지역을 선정하여 보다 정밀하고 기초적인 측정 및 분석을 하였다.

본 보고서의 2장에서는 다중전파 채널특성에 대해 기술하였으며, 3장에서는 기

존 전파전파 손실 예측 모델들의 비교 분석으로 회절이론등의 전파지연 예측모델을 이론적으로 기술하였다. 4장에서는 PN 코드 상관검파법을 이용한 1~3GHz 주파수대의 다중전파 측정 시스템을 이용한 공단지역에서의 다중경로 전파 측정 및 분석을 행하였으며, 마지막으로, 5장에서 본 연구의 연구결과를 정리하고 앞으로의 활용과 연구에 대해 논의하였다.

제 2 장 다중전파 채널특성

이동통신의 무선채널 환경에 있어, 하나의 통신 단말기는 유효지역(coverage area)에서 고정된 기지국(base station)과 통신망을 형성하여 이동중에도 정보를 송수신하여 서비스를 제공한다. 그러나 이러한 무선채널은 지형적 불규칙 구조와 인공적 구조물로 인한 다중경로 전파로 인한 감쇄, 반사, 회절 및 산란의 영향을 받게된다. 본 장에서는 송신신호에 대한 다중경로 전파의 영향, 그리고 채널성능평가의 채널 매개변수인 평균 초과지연, RMS 지연확산, 코히어런스 대역폭에 관하여 기술하고자 한다.

제 1 절 다중경로 전파특성 고찰

그림1에 육상 이동통신의 전파전파 모델 예를 나타낸다. 도심에서의 이동통신 환경은 이동국의 주변의 빌딩 등 인공건축물 및 지형지물 때문에, 기지국과 이동국은 직접 마주보지 못한다. 이러한 조건에서 이동국에 수신되는 파는, 이동국의 주변 건물 등에 의한 반사, 회절, 산란 등으로 각각의 다른 지연시간을 갖게 되며, 여러 방향으로부터 이동국에 수신된다. 위와 같은 이동통신 환경의 다중 전파로의 모델화는 주로 전계강도 특성의 관점에서 연구가 되었다. 특히 단구간에서의 전계강도의 순간치는 레이레이 분포를 갖는 것이 실험으로 확인되었고, 이것을 적용한 모델은 다음과 같다.

송신신호원 $s(t)$ 라 하면

$$s(t) = A(t) \exp(j\omega_c t) \exp(j\phi(t)) \quad (2-1)$$

[$A(t)$: 진폭변조 성분, $\phi(t)$: 위상변조 성분]

이동국의 주변에는 반사물체가 존재하기 때문에, m 개의 도래파가 이동국에서 수신된다고 가정할 때, 수신파 $u(t)$ 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} u(t) &= \sum_i^m R_i s(t - \tau_i) \exp(j2\pi f_d t \cos \theta_i + j\alpha_i) \\ &= \sum_i^m R_i A(t - \tau_i) \exp(j\omega_c t) \exp[j\phi(t - \tau_i) + (2\pi f_d t \cos \theta_i) + (j\alpha_i')] \end{aligned} \quad (2-2)$$

$$\alpha_i' = \alpha_i - \omega_c \tau_i \quad (2-3)$$

[R_i : 각각의 입사파의 진폭, τ_i : 지연시간, θ_i : 이동국의 진행방향에 대한 입사각, α_i : 초기위상, f_d : 도플러 주파수 ($= v/\lambda$, v : 이동속도, λ : 파장)]

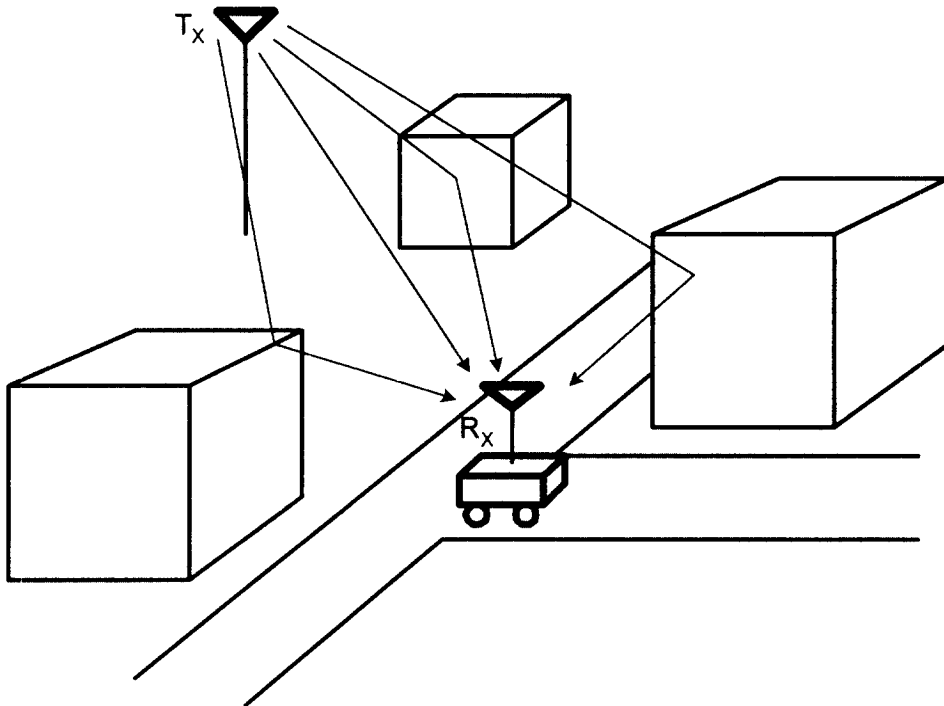


그림 1. 이동전파전파 특성

식(2-2)로 나타내지는 수신파는 진폭변조 성분 $A(t)$ 및 위상변조 성분 $\phi(t)$ 의 변동속도와 지연시간 τ_i 의 관계에 따라서 페이딩 변화의 성질이 다르게 된다. 식(2-2)로 표시되는 페이딩 수신파가 진폭변조 성분 $A(t)$, 위상변조 성분의 변화량에 비교하여 도래파의 지연시간 τ_i 가 무시할 수 없는 시간이면 식(2-2)는 다음과 같은 식(2-4)으로 변화되며 이를 선택성 페이딩이라 한다.

$$\begin{aligned}
 u(t) &= \sum_i^m R_i s(t - \tau_i) \exp(j2\pi f_d t \cos \theta_i + j\alpha_i') \\
 &= \sum_i^m R_i s(t - \tau_i) \exp(j\zeta_i(t)) \\
 &= \sum_i^m \int_{-\infty}^{\infty} R_i \delta(t - \tau_i) \exp(j\zeta_i(t)) s(t - \tau) d\tau \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} \sum_i^m R_i \delta(t - \tau_i) \exp(j\zeta_i(t)) s(t - \tau) d\tau \\
 &= \int_{-\infty}^{\infty} h(\tau; t) s(t - \tau) d\tau \tag{2-4}
 \end{aligned}$$

$$[\zeta = 2\pi f_d t \cos \theta_i + j\alpha_i', \quad h(\tau; t) = \sum_i^m R_i \delta(t - \tau_i) \exp(j\zeta_i(t))]$$

여기서 $h(\tau; t)$ 는 시간 t 에서 각각 다른 지연시간을 갖는 입사되는 신호의 세기를 복소수로 표현함으로, 복소수 지연프로파일이라 한다.

선택성 페이딩은 송신신호 $s(t)$ 가 전달함수 $h(\tau; t)$ 인 전송로를 통과하면서 파형 왜곡이 발생한다. 이를 주파수 영역에서 고려하면, 필터를 통과할 때 주파수에 따라서 다르게 영향을 받음으로, 이런 페이딩을 주파수 선택성 페이딩이라 한다. 선택성 페이딩에서는 유니폼 페이딩에서와는 다른 형태의 파형 왜곡이 발생되며, 이동국의 수신전력이 크고 에러 정정이 곤란한 에러가 발생한다. 이러한 현상은 지연파의 지연시간이 크게됨에 따라서 더욱더 현저하게 된다.

제 2 절 지연 프로파일의 각종 파라미터

무선 채널은 시간적으로 분산된 매질이므로 수신단에서의 임펄스 응답은 확산 지연되어 나타나게 된다. 다중로 전파특성은 그림 2와 같은 PN코드를 이용한 임펄스 응답으로부터 측정될 수 있다. 그림 2의 방법으로 얻어진 무선 채널의 전력지연 프로파일(Power Delay Profile)을 분석함으로써 심벌간 간섭(ISI)을 예측할 수 있어 BER을 결정할 수 있으며, 이는 디지털 통신의 성능의 지표가 되는 파라미터로 널리 사용되고 있다. LOS 환경에서는 지연확산(Delay Spread)이 현격히 감소하며 N-LOS 환경에서는 회절에 의해 발생하는 지연 확산의 고려가 필요하다.

전력지연 프로파일에서 도출해낼 수 있는 대표적인 시간 분산적 다중 경로 채널 파라미터(Time Dispersive Multipath Channel Parameters)로서 평균 초과지연(Mean Excess Delay), RMS 지연확산(RMS Delay Spread) 등이 있다.

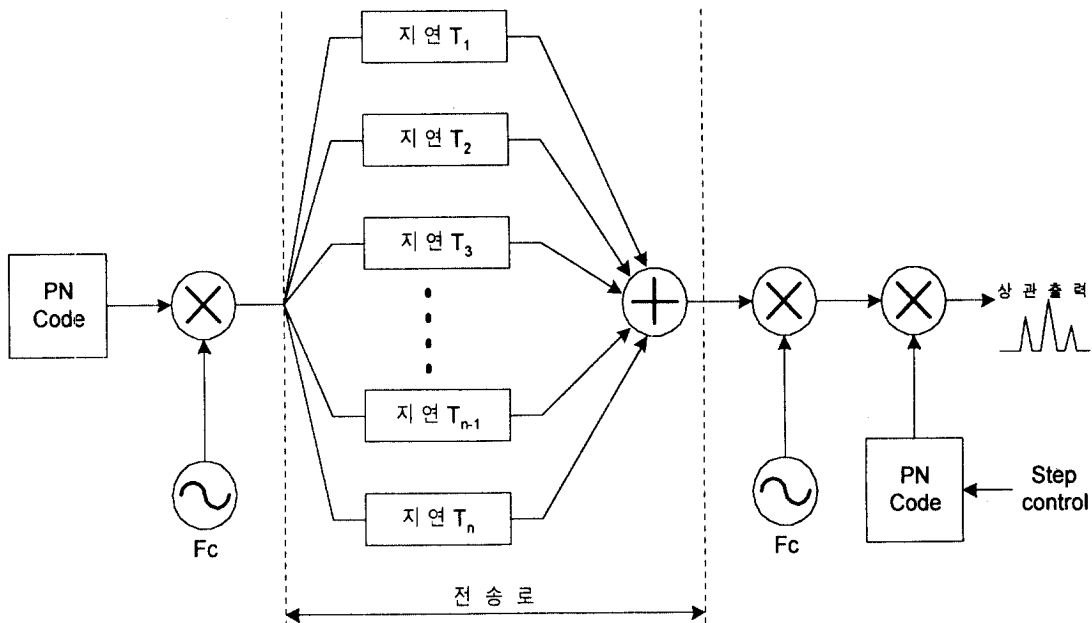


그림 2. PN 코드를 이용한 다중로 전파특성
측정방법 개요도

2.1 평균 초과지연

광대역 다중경로 채널의 시간 분산 특성은 평균 초과지연($\overline{\tau}$)과 RMS 지연확산 σ_τ 으로 정량화 할 수 있다. 평균 초과지연인 $\overline{\tau}$ 은 전력지연 프로파일의 평균값 즉, 일차 모멘트이고 다음 식으로 정의된다.

$$\overline{\tau} = \sum_k a_k^2 \tau_k / G_r \quad (2-5)$$

여기서 a_k^2 은 다중경로 성분의 k번째 전력이고, τ_k 는 k번째 다중경로 성분의 시간지연이며, $G_r = \sum_k a_k^2$ 이고, 전력 지연프로파일에서 수신된 전력을 의미한다.

이동 단말이 이동함에 따른 평균 초과지연값의 변화를 시간지연 지터라 불린다. 즉 시간지연 지터 J_i 는 다음 식과 같다.

$$J_i = \overline{\tau}_i - \overline{\tau}_a \quad (2-6)$$

여기서 $\overline{\tau}_i$ 는 각각의 전력 지연프로파일의 평균 지연이고 $\overline{\tau}_a$ 는 모든 전력 지연 프로파일의 평균지연이다.

다중경로 채널에서 시간지연 지터는 불완전한 타이밍 복구로 인한 비트에러를 유발할 수 있다.

2.2 RMS 지연 확산

이동전파 채널에서의 RMS 지연확산은 채널의 시간분산 특성을 특징짓는 전력지연 프로파일의 이차 중심모멘트(second central moment)로서 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_\tau = \sqrt{\overline{\tau^2} - \overline{\tau}^2} \quad (2-7)$$

여기서 τ^2 은 평균 제곱 초과지연이고, $\tau^2 = \sum_k \alpha_k^2 \tau_k^2 / G_r$ 이다.

식 (2-7)의 값은 다중경로 채널에서의 시간지연 확산을 나타내는 값으로 어느 정도의 시간에 걸쳐 전파되는 신호의 에너지가 퍼져있는 지를 나타낸다. 또한 RMS 지연확산은 무선 채널의 대역폭 용량을 결정하는데 있어서 중요한 파라미터이다.

2.3 코히어런스 대역폭

다중경로 채널의 주파수 상관함수 $R_T(f)$ 는 전력지연 프로파일의 정규화된 푸리에 변환이다. 코히어런스 대역폭은 RMS 지연확산 σ_τ 와 반비례 관계이다. 만약 코히어런스 대역폭이 주파수 상관함수의 0.9 이상에 걸친 대역폭으로 정의된다면 코히어런스 대역폭 B_c 은 근사적으로 다음과 같다.

$$B_c \approx \frac{1}{50 \sigma_\tau} \quad (2-8)$$

만약 코히어런스 대역폭이 주파수 상관함수의 0.5 이상에 걸친 대역폭으로 정의된다면 코히어런스 대역폭 B_c 은 근사적으로 다음과 같다.

$$B_c \approx \frac{1}{5 \sigma_\tau} \quad (2-9)$$

이러한 매개변수에 대한 상관대역폭을 그림 3에 보이고 있다.

식 (2-8)과 식 (2-9)로부터 RMS 지연확산이 증가함에 따라 코히어런스 대역폭은 작아지며, 따라서 코히어런스 대역폭이 작아지므로 채널을 통해 보내질 데이터율의 신뢰성은 감소하게 된다. 그러므로 코히어런스 대역폭보다 큰 대역폭을 가진 신호는 심벌간 간섭(InterSymbol Interference : ISI)을 겪는다. 이러한 경우 채널 크기 및 위상 응답을 평탄하게 하기 위해서 적응 등화기(Adaptive Equalizer) 및 안테나 다이버시티를 사용한다고 해도 심벌간 간섭은 지연확산에 비례하여 BER을 증가시킨다. 따라서 디지털 전송의 경우 전송율 R_b 은 지연확산에 의해서 제한을 받으므로 낮은

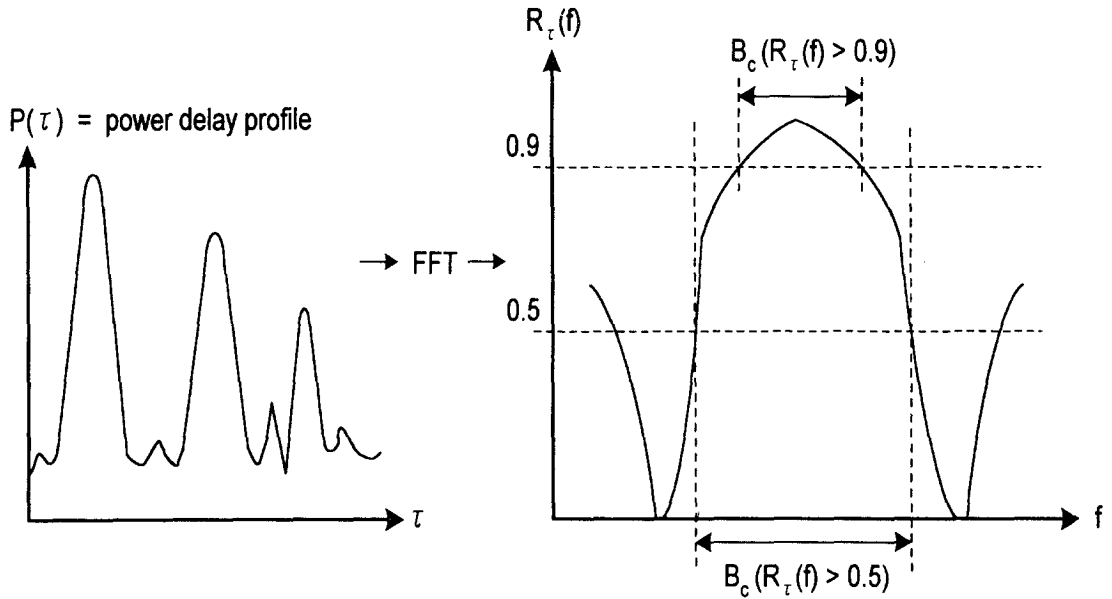


그림 3. 코히어런스 대역폭과 전력지연 프로파일 사이의 상호관계

BER을 얻고자 한다면 다음의 조건을 만족해야 한다.

$$R_b < \frac{1}{\tau_{\max}} < \frac{1}{2\tau_{rms}} \quad (\text{if } \tau_{\max} \approx 2\tau_{rms}) \quad (2-10)$$

$$B_c = \frac{\Delta\omega}{2\pi} = \frac{1}{2\pi\tau_{rms}} \quad (2-11)$$

제 3 장 전파지연 예측모델 및 이론

전파예측의 정확성은 전파 모델이 얼마나 정확한가에 의존한다. 셀룰라 서비스 영역의 전파예측을 위하여 사용되는 대부분의 전파모델들은 실험적 모델들이다. 우선 많은 전파 측정이 이루어지고 이것은 통계적으로 특정 지어지며, 그때 실험에 의한 모델은 측정된 데이터를 통계학적으로 유도하여 전파예측을 위해 사용한다. 이런 방법은 주파수, 안테나 높이, 안테나 형태가 동일할 때에 만족할 만한 예측 결과를 제공한다. 또한 예측환경은 측정된 환경과 통계적으로 같아야 하며, 많은 측정 데이터를 필요로 한

다. 즉, 측정을 위하여 인력과 장비 측면에서 비용이 많이 들고 새로운 환경에 적용시키기에 유연성이 없다.

현재 기존 모델의 한계에 따라 결정적인 전파 모델에 대한 관심이 집중되어 왔으며, 이것은 부분적으로 컴퓨터 하드웨어와 소프트웨어의 발달에 따른 것이다. 본 장에서는 전파전파 예측의 기본이 되는 회절이론들에 대하여 다루었다.

제 1 절 Knife-Edge 회절 이론

Knife Edge 회절이론은 호이겐스(Huygens) 원리를 기본으로 하며, 이는 평면파 상의 각 점은 독립적 파원(Huygens 파원)으로써 행동하며 이러한 파원들은 전파 방향으로 새로운 평면파를 형성하는 식으로 결합한다. 이러한 각각의 파원들이 만들어 내는 평면파가 균일한 세기를 갖도록 하기 위해서, 파원들의 양상불은 일정한 크기 분포를 가지게 된다. 이 크기 분포는 평면파의 전파 방향으로 최대가 된다. 그림 4는 음영지역에서의 회절파를 나타내고 있다. 2차 파원이 장애물에 의해 흡수되거나 가려짐에 따라, 나머지 파원은 더 이상 원래의 전파 방향으로 방사하는 평면파를 형성하기 위해 결합하지 않는다. 또한 입사 에너지의 일부는 장애물 주위로 회절하며, 음영지역으로 전파하게 된다. 따라서 호이겐스 파원 각각에 대한 크기분포는 회절크기에 영향을 주며, 필드의 세기는 음영지역으로 더욱 들어감에 따라 감소하게 된다. Knife Edge 회절 손실은 호이겐스 파원에 의한 상호간섭과 관련되어 있으므로, 이러한 간섭의 성질을 정량화하는 것이 중요하다. 프레넬(Fresnel) 영역은 그 안에 저장된 모든 에너지가 관찰점에서 보강 간섭하는 것으로 정의되며 프레넬 영역경계는 직접 경로의 경로길이를 반파장 간격으로 적분한 수의 합과 동일한 점의 궤적으로 정의할 수 있다. 그러므로 여러개의 프레넬 영역이 존재하게 되며 각각의 영역은 영역경계를 정의하는데 쓰인 반파장의 수로써 표시한다. 첫 번째 프레넬 영역은 다른 높은 차수의 프레넬 영역보다 훨씬 큰 에너지 양을 가지고 있다. 호이겐스의 원리에 따르면, 평면파에 대한 총 에너지의 가장 큰 부분은 첫 번째 프레넬 영역내에 존재한다. 그러므로 첫 번째 프레넬 영역 타원은 무선전파 링크에서 가시거리(LOS) 존재여부를 판별하는데 일반적으로 사용된다.

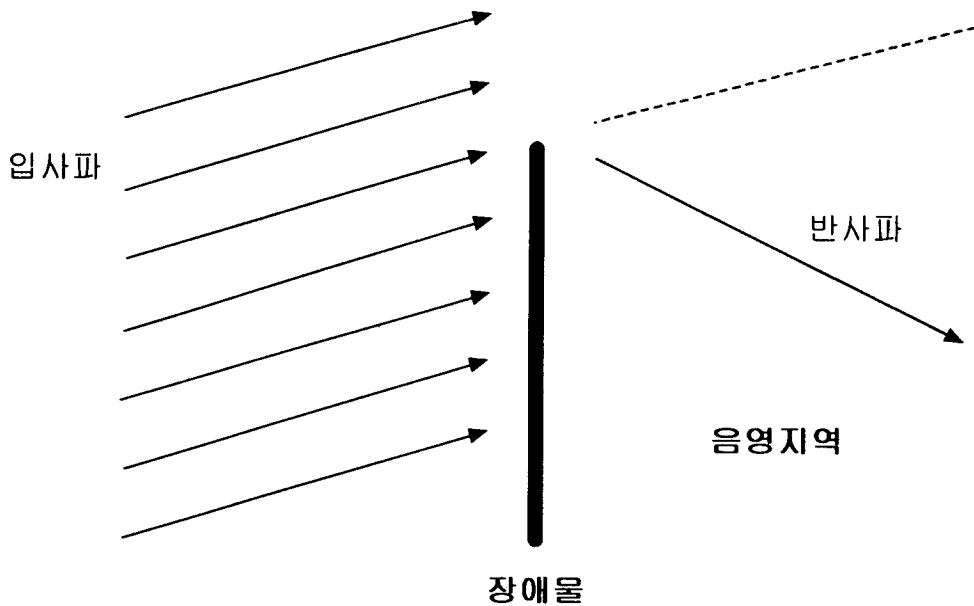


그림 4. 음영지역에서의 회절파

제 2 절 균일 회절 이론 (Uniform Theory of Diffraction : UTD)

일반적으로 주파수가 빛의 파동적 성질을 무시할 수 있을 만큼 높을 경우, 이것을 분석하기 위하여 기하광학이론을 사용한다. 즉, 파가 부딪히는 주변환경보다 파장이 매우 작을 경우 기하광학이론을 이용하여 전파전파 현상을 맥스웰 방정식에 상당히 근사화 시켜 분석할 수 가 있다.

그러나 기하광학이론이 다른 이론들에 비해 비교적 간단하여 유용한 방법이기 는 하지만, 회절된 영역에서의 회절계를 고려하지 못하는 점과 반사점이 반드시 표면위에 있어야 입사파를 잃지 않는다는 점의 단점이 있다. 그리고 반사점이 모서리에 매우 근접하면 모서리는 반사계에 커다란 영향을 줄 수 있는 단점을 갖고 있다. 이를 보완하기 위하여 Keller는 회절된 파를 포함할 수 있도록 기하광학이론을 확장시켰다. 이 방법을 기하광학적 회절이론(Geometrical Theory of Diffraction : GTD)이라 부른다. GTD 이론은 회절파를 삽입하기 위해서 Fermat 이론을 일반화하였으며, Kouyoumjian과 Pathak에 의해서 한층 일반화된 균일 회절 이론(Uniform Theory of Diffraction : UTD)으로 발전하였다^[20]. GTD/UTD 이론은 여러 산란 및 방사 문제에 대한 전계 정보뿐만 아니라 특정파에 대한 시간지연 정보도 제공해준다. 그러므로 이는 무선채널 임펄스 응답의 예견에 있어 매우 유용하게 사용될 수 있다.

전도성 썬기에 일반적인 3차원 회절 문제의 기하학적 구조를 그림 5에 나타내었다. 썬기의 각도는 $(2-n)\pi$ 이며, $n=2$ 일 때는 썬기는 평면 전도 판자로 바뀌게 된다. 좌표계의 중심은 Q점에 위치하고 Q점은 소스점과 관찰점이 주어지면 유일하게 정의된다. 프레넬 이론과 같이 입사파와 회절 모서리로 형성되는 평면을 입사 평면으로 정의하는 것이 편리하다. 회절 모서리와 회절파에 의해서 정의되는 평면이 회절 평면이다. 만약 전계 벡터가 입사평면에 수직이면 파는 수직편파이며, 이와 반대로 입사평면에 평행이면 평행편파된 것이다. 소스 s' 으로 인해 관찰점 s 에서 회절된 계는 다음과 같이 주어진다.

$$E_d(s) = E_i(Q) \cdot D(L, \phi, \phi', n) A(s, s') e^{-jks} \quad (3-5)$$

여기서 D 는 회절계수이며, $A(s, s')$ 는 공간 발산 인자(spatial spreading factor)로써 TEM파 형태의 함수이다. 또한 회절계수 D 와 발산 인자 $A(s, s')$ 는 다음과 같이 주어진다.

$$\text{구면파 : } A(s, s') = \sqrt{\frac{s'}{s(s+s')}} \quad (3-6)$$

$$\text{평면파 : } A(s, s') = \frac{1}{\sqrt{s}} \quad (3-7)$$

$$D(L, \phi, \phi', n) = \hat{\gamma}_0' \hat{\gamma}_0 D_{\parallel} + \hat{\phi}' \hat{\phi} D_{\perp} \quad (3-8)$$

회절 계수 D 는 두개의 부분으로 이루어져 있다. 즉, 평행 편파(첨자 \parallel 표시)에 대한 회절 계수와 수직 편파(첨자 \perp 표시)에 대한 회절 계수이며, 각각의 편파에 대한 회절 계수는 다음 식과 같다.

$$D_{\perp}(L, \phi, \phi', n) = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k} \sin \gamma_0'} \left[\cot\left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right) F(kL a^+(\phi - \phi')) \right. \\ \left. + \cot\left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right) F(kL a^-(\phi - \phi')) \right]$$

$$\begin{aligned} & \mp \cot\left(\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right) F(kL a^-(\phi + \phi')) \\ & + \cot\left(\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n}\right) F(kL a^+(\phi + \phi')) \end{aligned} \quad (3-9)$$

표 1. UTD에 쓰인 변수 설명

기 호	설 명
E_d	회절계
E_i	입사계
D	유전체 회절 계수
A	발산 인자
L	거리 파라미터
s'	소스로 부터 회절 쐐기까지의 전파 경로길이
s	회절 쐐기로부터 수신단까지의 전파 경로길이
ϕ	회절 각도
ϕ'	입사 각도
R_0	0면 각 ϕ' 에 대한 반사 계수
R_n	n 면 각 $n\pi - \phi$ 에 대한 반사 계수
n	90

위 식에서 거리 파라미터 L 은 입사파의 형태에 따라 다르며 입사파에 따라 L 은 다음 식들로 주어진다.

$$\text{구면파 입사 : } L = \frac{ss' \sin^2 \gamma_0}{s + s'} \quad (3-10)$$

$$\text{평면파 입사 : } L = s \quad (s, s' \gg \lambda) \quad (3-11)$$

그리고 $F(x)$ 인자는 프레넬 전이 함수라고 하며, 이는 다음과 같이 주어진다.

$$F(x) = 2j\sqrt{x} e^{jx} \int_{\sqrt{x}}^{\infty} e^{-j\tau^2} d\tau \quad (3-12)$$

만약 x 가 매우 크면 ($x > 10$), $F(x)$ 는 거의 1에 수렴하게 되며, 이외의 다른 경우에 대해 $F(x)$ 는 식(3-13)과 (3-14)로 근사화가 가능하다.

$$F(x) \approx [\sqrt{\pi x} - 2xe^{j\frac{\pi}{4}} - \frac{2}{3}x^2 e^{-j\frac{\pi}{4}}] e^{j(\frac{\pi}{4} + x)}, \quad x < 0.3 \quad (3-13)$$

$$F(x) \approx (1 - \frac{3}{4} \frac{1}{x^2} + \frac{75}{16} \frac{1}{x^2}) + j(\frac{1}{2\pi} - \frac{15}{8} \frac{1}{x^3}), \quad x > 5.5 \quad (3-14)$$

$$a^{\pm}(\beta) = 2 \cos^2(\frac{2n\pi N^{\pm} - \beta}{2}), \quad \beta = \phi \pm \phi' \quad (3-15)$$

여기서 N^{\pm} 는 다음의 식들을 가장 가깝게 만족하는 정수이다.

$$2\pi n N^{+} - \beta = \pi, \quad 2\pi n N^{-} - \beta = -\pi \quad (3-16)$$

또한, 다음의 식은 위의 회절계수 계산을 더욱 간단하게 해준다.

$$D_{\perp}^{\parallel} = \frac{-e^{-j\pi/4} \sin(\pi/n)}{2n\sqrt{2\pi k} \sin \gamma_0'} \left[\frac{1}{\cos \frac{\pi}{n} - \cos \frac{\phi - \phi'}{n}} \mp \frac{1}{\cos \frac{\pi}{n} - \cos \frac{\phi + \phi'}{n}} \right] \quad (3-17)$$

식 (3-17)은 식 (3-9)의 특별한 경우이며, Keller의 회절 계수라고 부른다. 즉, 관찰점이 입사 음영 경계와 반사 음영 경계에서 매우 멀리 떨어져 있는 경우에 적용될 수 있으며, 식 (3-17)을 이용하면 컴퓨터 계산 속도를 향상시킬 수 있다.

지금까지 전술한 식들은 완전 도체 썰기에 대하여 기술하였다. 따라서, 일반적인 경우에 있어서의 유한한 전도도를 가진 유전체에 이를 적용하기 위해서는 식 (3-9)의 세번째 항에 0면의 반사 계수 R_0 을 곱하고 네번째 항에 n 면의 반사 계수 R_n 을 곱하여 보정해야 한다. 즉, 이것이 기하광학을 이용한 균일 회절 이론(Uniform Theory of Diffraction : UTD)의 확장된 개념이다.

$$D_{\perp}^{\parallel}(L, \phi, \phi', n) = \frac{-e^{-j\pi/4}}{2n\sqrt{2\pi k} \sin \gamma_0'} \left[\cot\left(\frac{\pi + (\phi - \phi')}{2n}\right) F(kL a^{+}(\phi - \phi')) \right. \\ \left. + \cot\left(\frac{\pi - (\phi - \phi')}{2n}\right) F(kL a^{-}(\phi - \phi')) \right]$$

$$\begin{aligned} & \mp R_0 \cot\left(\frac{\pi - (\phi + \phi')}{2n}\right) F(kL a^-(\phi + \phi')) \\ & + R_n \cot\left(\frac{\pi + (\phi + \phi')}{2n}\right) F(kL a^+(\phi + \phi')) \Big] \end{aligned} \quad (3-18)$$

지금까지 유도한 GTD/UTD에 쓰인 변수 설명은 표 1에 나타내었다.

제 4 장 다중경로 전파특성 측정 및 분석

본 연구에서는 '96년에 이어 우리 나라의 특징적 지형과 인공구조물 특성을 보다 실질적으로 고려한 1~3GHz 주파수대의 이동전파 특성을 연구하였다. '96년도에는 우리 나라의 특징적 인공구조물을 고려한 저층 및 고층 아파트가 밀집되어 있는 평촌 신도시 지역에서의 측정실험을 수행하였으며, 금년에는 대단위 공업지역인 시화공단지역을 선정하여 보다 정밀하고 기초적인 측정 및 분석을 실시하였다.

제 1 절 측정지역 및 측정방법

측정실험은 '97년 7월부터 9월 및 12월까지 4차에 걸쳐 총 16회의 측정실험을 수행하여 측정데이터를 얻어 데이터의 정확도를 높였다.

측정장소는 시화공단의 자동화 센터 주변에서 이루어졌으며, 측정실험이 수행된 실험장소는 자동화 센터 앞 도로와 공단내 T자형 도로로 구체적인 지적도는 그림 6에 보이고 있다. 자동화센터 정면에서 센터를 등지고 바라보면 앞 도로를 따라 좌에서 우로 건물 높이 15m 정도의 공장으로 유사한 외형과 구조를 갖고있다. 공장들 사이 간간이 세워진 철재 플렌트를 제외하고는 거의 같은 두께의 콘크리트 외벽으로 지난번 실험의 평촌 아파트 단지에서 보았던 베란다 창등이 없는 비교적 표면 거칠기는 비슷한 환경이다. 도로의 폭은 약 12m 정도로 주로 화물차와 승용차가 다니는 왕복 4차선 도로이며, 양옆은 폭이 3m 정도의 보행자 도로로서 잎사귀가 작은 단풍나무의 가로수가 심어져있다. 공단 전체는 일정한 크기의 블록으로

정돈된 바둑판 형식의 모양이며 한 블록의 크기는 $500\text{m} \times 500\text{m}$ 이다. 송신 안테나의 높이에 비해 건물이 더 높게 위치하고 수신에 대한 건물지붕 위로의 회절파의 영향은 무시할 수 있으리라 예상된다. 무선 채널은 시간적 분산특성의 분산매질로 간주할 수 있으므로 수신단에서의 채널 임펄스 응답은 지연 확산된다. 전파의 다중경로 간섭신호에 의한 채널의 시간지연 전력 프로파일은 무선시스템의 심벌간 간섭 및 비트 에러율을 결정하게 되므로 통신 성능의 품질을 결정하는 지표가 된다.

제 2 절 측정 및 분석

IMT-2000의 사용 주파수대역의 전파특성을 알아보기 위해 구현된 2GHz 주파수 대역의 광대역 무선채널 측정 시스템을 이용하였으며, 전파의 반사, 회절 및 산란의 복합적인 전파환경을 갖는 지역을 선정하여 우리나라 고유특성에 알맞은 다중경로 전파예측 모델을 개발에 필요한 RMS

표 2-1. 송신기 규격

항 목	사 양	비 고
송신주파수	1.95GHz	
국부신호 입력	주파수 : 1.81GHz 레 벨 : 10 dBm	$F_R - 140\text{MHz}$
PN 부호	10단 M 계열	
부호속도	30 Mbps	
변조방식	2위상 변조	
출력 레벨	0 dBm	
표준신호 입력	주파수 : 10MHz 레 벨 : 6 dBm	
스플리어스	-30 dBc 이하	
점유대역폭	50 MHz	

표 2-2. 수신기 규격

항 목	사 양	비 고
수신 주파수	1.95GHz	
수신입력 레벨	-90 dBm 이하	
국부신호 입력	주파수 : 1.81GHz 레벨 : 10 dBm	F _R - 140MHz
수신파	10단 M 계열 PN 부호에 의한 2위상변조	
상관출력	Linear, Log 전환 Dynamic Range : 60dB 이상	
분해능	시간 : 33ns 거리 : 10m	
관측창	거리 : 0.2, 0.5, 1, 2, 5, 10 km	
상관 clock	주파수 : 30MHz - Δf	$\Delta f = 30/10230\text{MHz}$
표준신호입력	주파수 : 10MHz 레벨 : 6 dBm	
디지털 출력	디지털 변환후 I, Q linear 성분의 전송이 가능	RS-232C

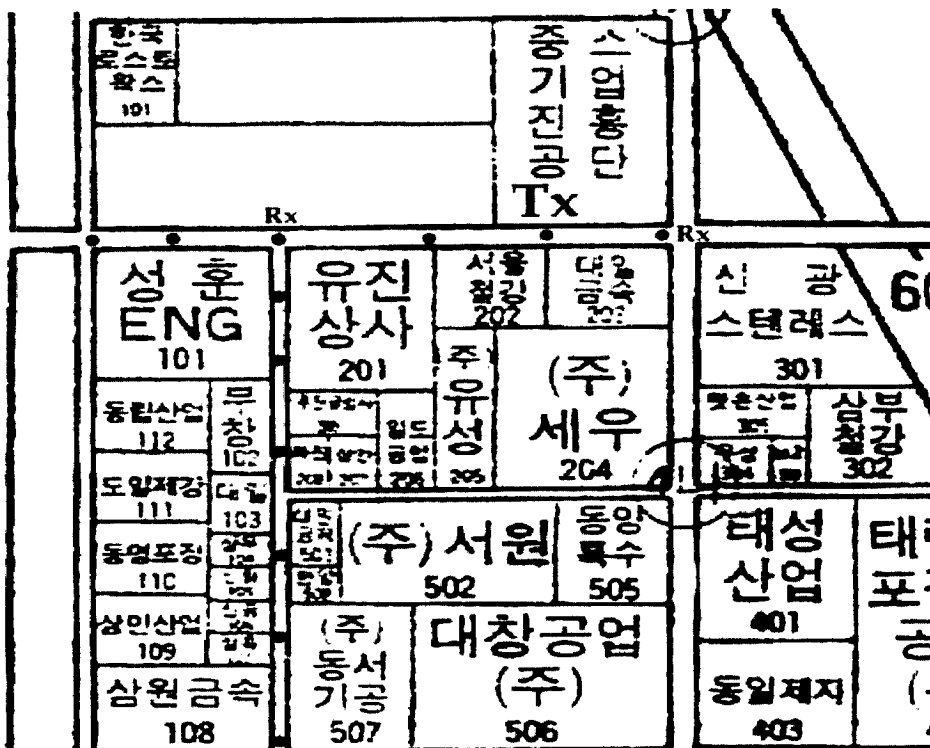


그림 6a. 공단지역 전파특성을 측정하기 위한 실험장소 지도

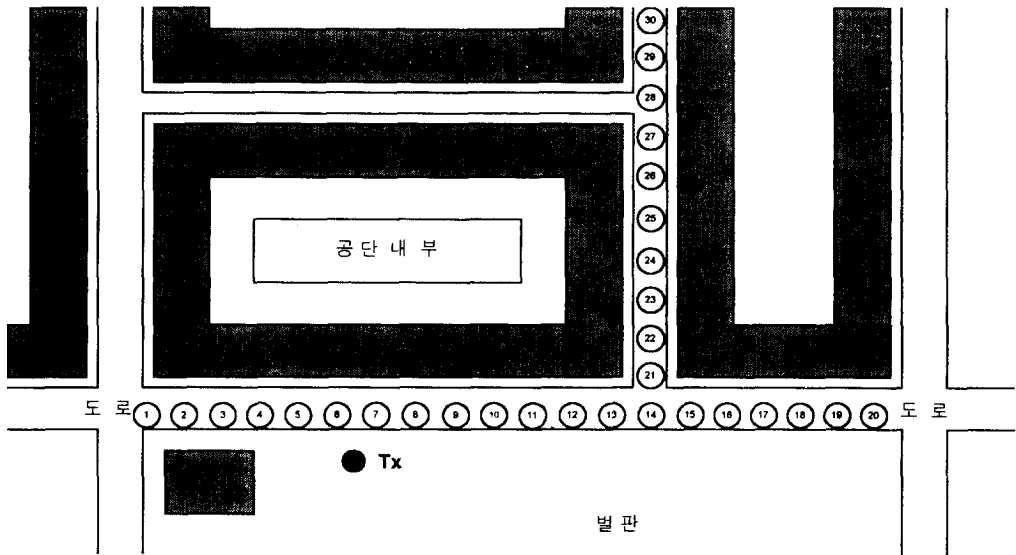


그림 6b. 공단지역 전파특성을 측정하기 위한 실험장소 지적도

지연확산과 평균초과지연 등의 다중경로 전파의 채널 파라미터 등을 계산했다. 측정시스템의 규격은 표 2와 같다.

공단지역에서의 전파특성을 분석하기 위해 LOS와 N-LOS로 구별 가능한 지역을 택하여 거리의 증가에 따라 전파측정을 행하였다. 실험이 수행된 장소는 그림 6a에 보이고 있는 지역으로 구체적인 지적도는 그림 6b에 보이고 있다. 송신 안테나는 공단지역의 시작 지점인 공단 자동화 센터의 주차장에 지면으로부터 4m 높이에 위치하고 있으며, 인도와 화단의 약 20m 지점으로부터 공단지역을 마주보고 좌측에서 우측으로 20개의 수신지점을 선택하였다. 이때 1번 지점을 기준으로 하여 우측으로 25m 간격으로 각 지점에서 전력지연 프로파일을 수집하였다. 전술한 바와 같이 전력지연 프로파일은 채널의 통계적 특성을 충족하기 위하여 각 지점에서 다수의 측정 데이터를 수집하였으며, 또한 N-LOS 환경에서의 공단지역의 전파특성을 알아보기 위해 21번 지점으로부터 공단내부의 도로를 따라 25m 간격으로 10개의 수신지점을 선택하여 측정실험을 수행하였다. 1번 지역에서 측정된 평균 전력 지연 프로파일을 그림 7에 보이고 있다.

이때 측정된 RMS 지연확산은 $0.04\mu s$ 로 계산되었다. 그림 8은 자동화 센터 앞 직선로의 LOS 전파환경하에서 각 지점의 평균전력 지연 프로파일로부터 측정된 거리의 증가에 따른 분석결과의 수신전력과 RMS 지연확산 값을 보이고 있다. 공단지적도에서 알 수 있듯이 송신기에서 거리가 제

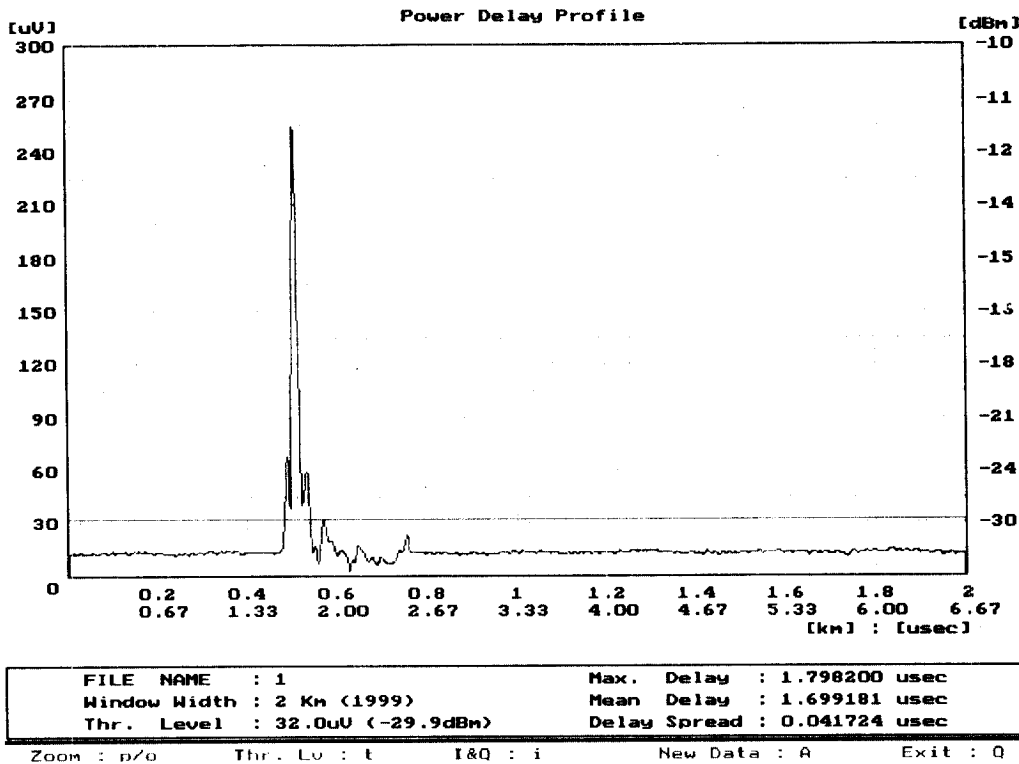


그림 7. 1번 지점에서 측정된 평균 전력지연 프로파일

일 가까운 지점은 7번 지점이고 7번에서 20번 지점으로 거리가 증가한다. 7번 지점은 송신기의 직접파 성분이 거의 지배적으로 수신전력은 -1.6 dBm로 측정되었다. 그림 8a에서 보는 바와 같이 가시거리 영역하에서 수신전력은 -1.6dBm에서 -28.8dBm로 변화하였고, 그림 8b에서 보는 바와 같이 RMS 지연확산은 $0.023\mu s$ 에서 $0.22\mu s$ 까지 변화하였다. 17번 지점과 14번 지점에서 관찰된 주위 값과 다소 상이한 RMS 지연확산 값은 관측결과 도로측에 일정한 높이로 세워진 공장 건물들 사이사이 철재 플랜트 구조물의 위치로 주변환경에 민감하게 반응하여 전파의 산란, 회절이 급격한 변화로 생긴 결과라 생각되어진다.

그림 9는 자동화 센터 앞 도로 14지점에서 공단내부로 뚫린 도로를 따라 N-LOS 전파환경하에서 각 지점의 평균전력 지연 프로파일로 거리에 따른 분석결과인 수신전력과 RMS 지연확산 값을 보이고 있다. 공단지적도에서 알 수 있듯이 N-LOS일 때 송신기에서 거리가 제일 가까운 지점은 21번 지점이고 21번에서 31번 지점으로 거리가 증가한다. 21번 지점은 송신기의 직접파 성분이 거의 지배적으로 수신전력은 -16 dB로 측정되었다.

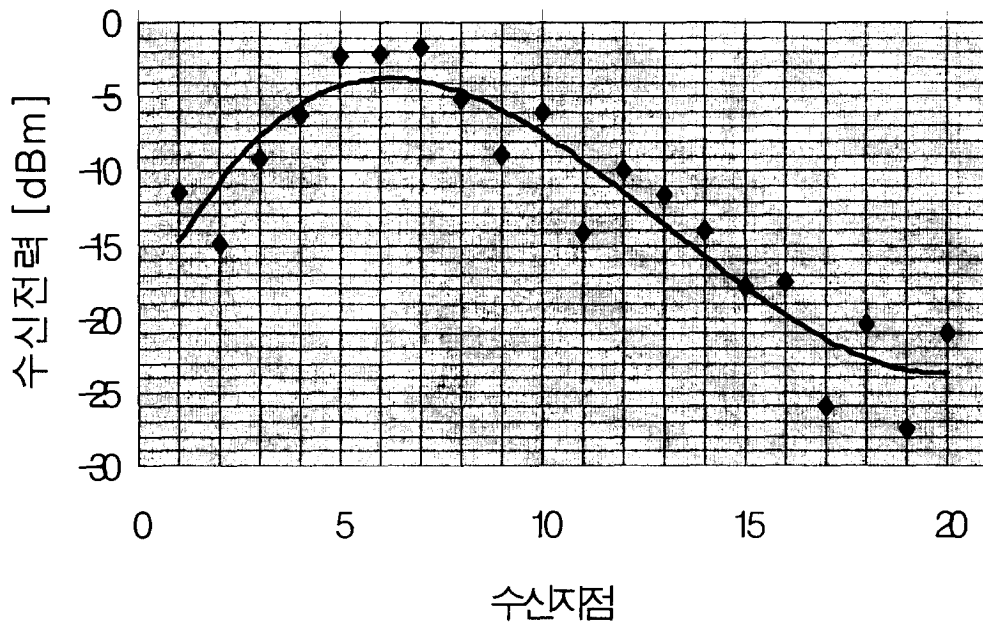


그림 8a. 수신지점에 대한 LOS의 수신전력의 변화

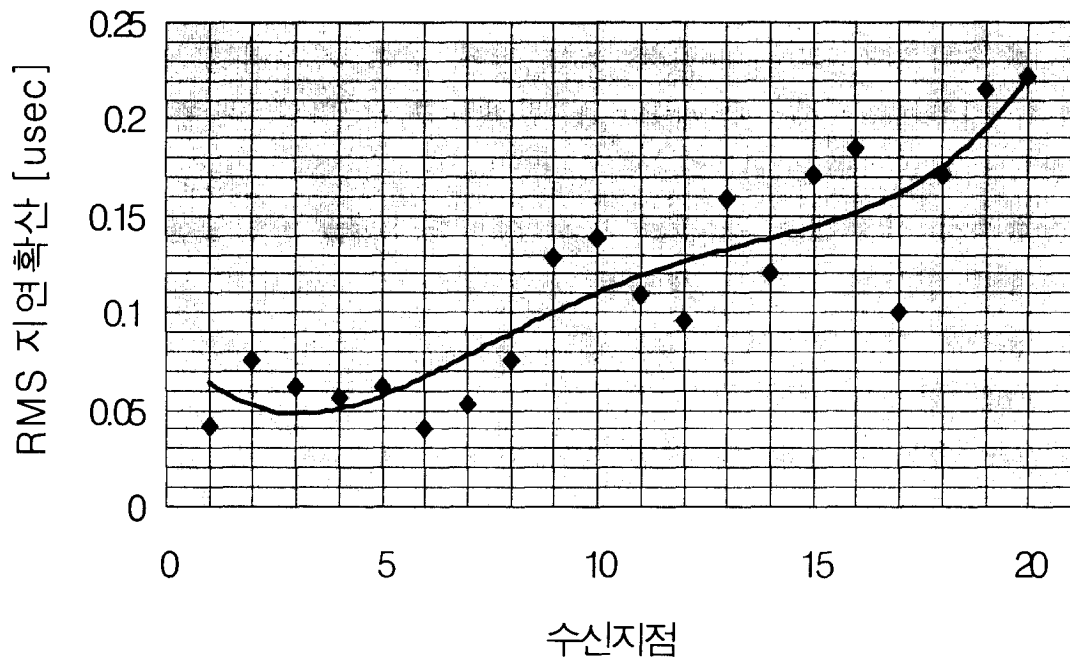


그림 8b. 수신지점에 대한 LOS의 RMS지연확산 변화

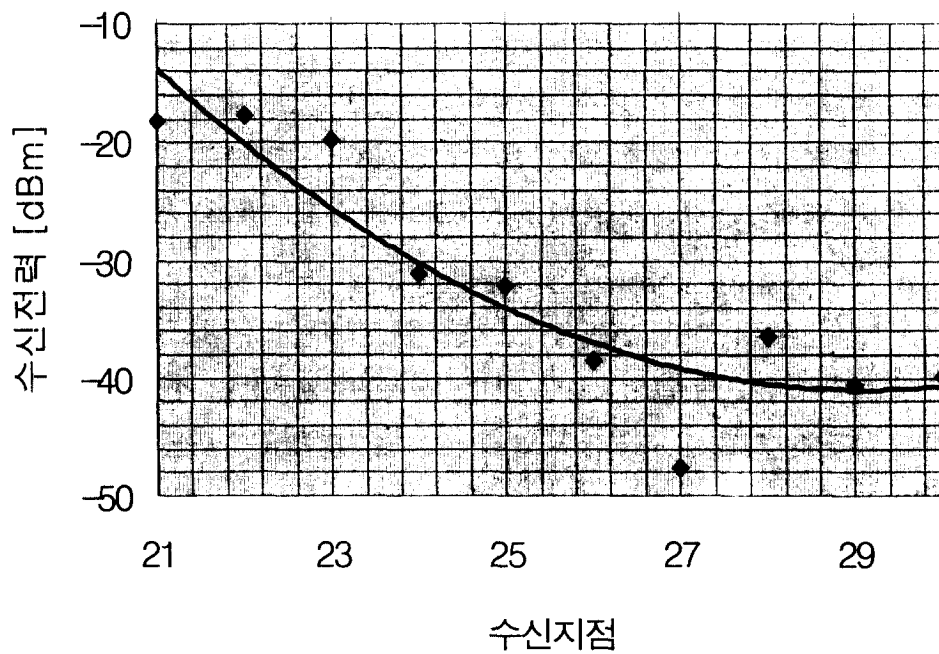


그림 9a. 수신지점에 대한 N-LOS의 수신전력의 변화

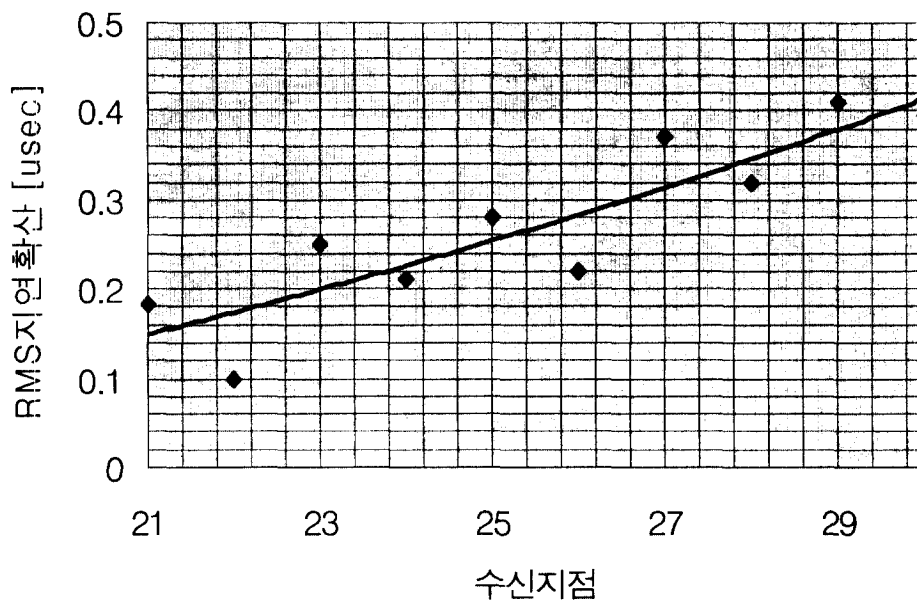


그림 9b. 수신지점에 대한 N-LOS의 RMS지연확산 변화

그림 9a에서 보는 바와 같이 수신전력은 -16dB 에서 -36.5dB 로 변화하였고, 그림 9b에서 보는 바와 같이 RMS 지연확산은 $0.068\mu\text{s}$ 에서 $0.37\mu\text{s}$ 까지 변화하였다. 28번 지점에서 관찰된 RMS 지연확산 값은 일정한 높이로 세워진 공장 건물들 사이 철재 플랜트 구조물의 위치로 주변환경에 민감하게 반응하여 전파의 산란, 회절이 급격한 변화로 생긴 결과라 생각되어진다.

그림 10a에서 보는바와 같이 수신지점 14와 수신지점 21은 LOS와 N-LOS로 구분되는 전파환경으로 14번 지점이 4.3dBm 정도 21번 지점보다 더 큰 전력이득을 가지고 수신되었다. 21번 지점은 송신기에서의 거리는 거의 같지만 전파 수신환경상 14번 지점보다 반사와 회절되는 전파가 많은 환경을 가지고 있어 수신전력과 RMS 지연확산 값도 다른 변화를 보이기 시작한다.

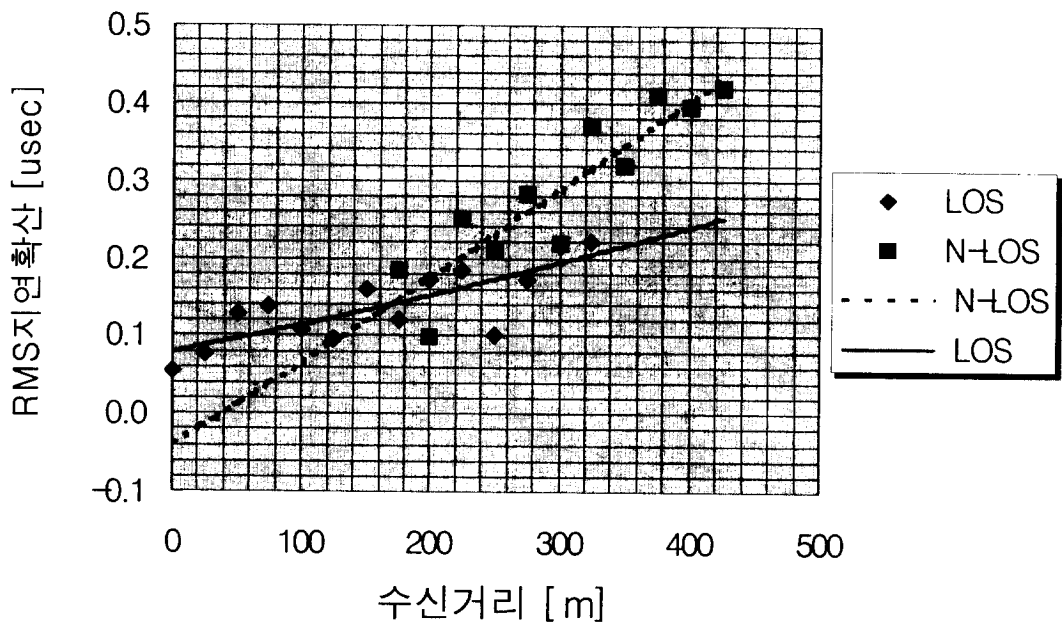


그림 10b. 거리에 대한 LOS와 N-LOS RMS지연확산 변화

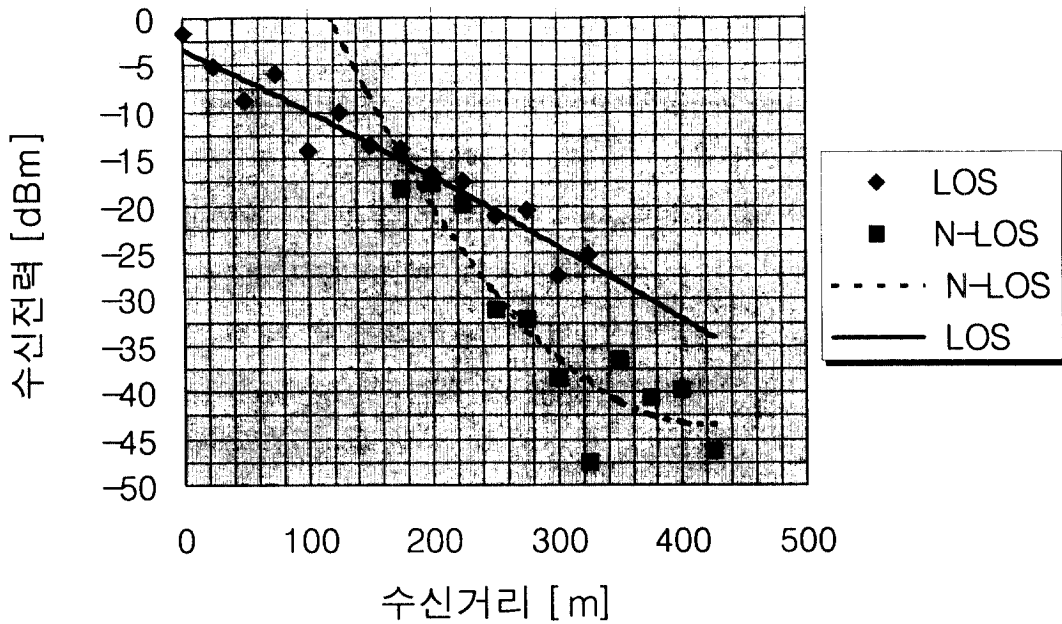


그림 10a. 거리에 대한 LOS와 N-LOS 수신전력 변화

22번 지점부터는 N-LOS 전파환경의 음영지역으로 송신 안테나에 의해 방사되는 전파의 직접파는 존재하지 않고 반사파와 회절 반사파에 의해 수신되므로 수신전력은 급격한 감소를 겪게 된다. 또한 수신 전력지연 프로파일은 직접파의 영향에 배제되므로써 시간적으로 더 분산되어 RMS 지연확산을 증가시키는 결과를 초래하게 된다. 이와 같이 21번 지점에서 30번 지점은 일정한 높이로 세워진 공장 건물로 인하여 도파관 역할을 하는 직선로로써 주변환경에 민감하게 반응하는 전파특성을 보이고 있다. 또한 27번 지점과 29번 지점 사이 오른쪽 공장 건물에는 철제의 공장 구조물이 전파의 큰 산란자로 작용하여 채널 매개변수에 직접적인 영향을 미치게 되는 것을 그림 10a의 급격한 변화의 수신전력 수치로 알 수 있다. LOS의 전파환경에서의 평균 수신전력이 N-LOS의 평균 수신전력에 비해 8.9dBm 보다 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 LOS의 전파환경에서의 RMS 지연확산치가 N-LOS의 RMS 지연확산치에 비해 $0.0612\mu s$ 적게 나타남을 알 수 있다.

제 5 장 결 론

본 연구는 고층 아파트 밀집지역과 공단지역의 차세대 이동통신 주파수대의 전파지연 특성 연구를 위해 수행되었다. 신규 이동통신 서비스인 PCS가 정착되기도 전에 또하나의 새로운 이동통신 시스템인 IMT-2000의 실용화를 향해 달리고 있는 이런 급속히 변화 발전하는 이동통신 시장에 대처하기 위해 우리 나라 실정에 맞는 전파환경에 대한 보다 실질적인 연구와 정확한 이해가 선행되어야 된다고 생각되어진다. 아날로그 셀룰라 시스템에 이은 디지털의 PCS 시스템에서는 대규모의 통화용량의 수용 및 고품질의 통신이 요구되어지고 있고, 이의 해결과 한정된 전파자원을 효율적인 사용을 위해서는 특히 대도시의 인구 밀집지역에서는 마이크로셀 형태의 기지국을 배치하는 방법이 일반화되고 있다. 그러나 반경이 수백 미터로 작아진 마이크로셀과 사용 주파수대가 고주파화 됨에 따른 전파전파 특성은 셀내의 자연적 그리고 인공적인 요소에 의하여 결정되므로 기존의 이동통신 설계를 위하여 개발된 수신전력의 세기만을 고려하는 분석방법으로는 충분하지 않다. 우리 연구소에서 추진하고 있는 전파자원개발 연구의 일환으로 '96년의 평촌 신도시에서의 1~3GHz 주파수대역의 이동전파 측정에 이어 대단위 공업지역인 시화공단지역을 선정하여 보다 정밀하고 기초적인 측정 및 분석을 하였다.

본 보고서는 다중전파 채널특성에 대해 기술하였으며, 기존 전파전파 손실 예측에 대한 기존 모델들의 비교 분석에 이어 균일 회절이론등의 전파지연 예측모델을 이론적으로 기술하였다. 본 연구를 위해 사용한 다중전파 측정시스템은 PN 코드의 클럭 주파수가 30MHz 로서 다중경로 분해능은 10m 이다. 무선채널 측정은 1.95GHz에서 측정환경은 LOS와 N-LOS로 구분하여 전송거리에 따른 평균초과지연, RMS 지연확산의 변화를 측정한 데이터를 근거로 계산하였다.

측정실험은 '97년 7월부터 9월 및 12월까지 4차에 걸쳐 총 16회의 측정 실험을 수행하여 얻은 데이터를 통계적으로 평균한 결과로 정확도를 높였다. 분석결과 LOS의 공단 전파환경에서의 RMS 지연확산은 $0.023\mu s$ 에서 $0.22\mu s$ 까지 변화하였고, N-LOS의 환경하에서는 $0.068\mu s$ 에서 $0.37\mu s$ 까지의 변화로 측정되었다. LOS의 공단환경은 송신기의 전파가 공장들의 시멘트

벽면에 반사되는 반사파와 직접파가 지배적이었다. 공단지역의 특징적인 구조물이라 할 수 있는 철재 구조물의 영향으로 회절과 산란이 심한 지역에서는 예상값보다 5dBm에서 6dBm정도 적은 수신전력이 수신되었고 RMS 지연확산값 또한 예상값에 비해 $0.04\mu s$ 에서 $0.06\mu s$ 정도 높게 수신되었다. 또한 N-LOS의 경우에는 직접파보다는 반사와 회절 등의 간접파 성분이 지배적으로 LOS 환경보다 N-LOS전파환경에서의 RMS지연확산 평균이 $0.061\mu s$ 높게 분석되었고 코히어런스 대역폭으로는 2.6MHz 낮게 분석되었다. 수신전력 또한 LOS의 환경하에서 수신전력은 -1.6dBm에서 -28.8dBm로 변화를 보인 반면, N-LOS에서는 -16dBm에서 -36.5dBm로 LOS에 비하여 비교적 높게 분석되었다. LOS 환경보다 N-LOS전파환경에서의 수신전력의 평균치는 8.9dBm 낮게 분석되었다.

현재 우리 나라에서 발표되어지고 있는 전파환경 예측모델들은 우리나라의 특징적인 전파환경을 제대로 고려하지 못하고 있는 실정이므로 향후 과제로서, 본 연구에서 다중전파 특성 분석을 위한 측정지로 선택되어진 공단지역 외에도 언덕이나 산악, 해변 또는 대규모 하천 및 강변 지역에서의 측정을 통한 보다 우리나라의 특징적 지형에 맞는 이동전파 예측모델의 개발에 대한 연구가 계속 진행되어야 하겠다.