

1~3 GHz 대역에서의 전파지연특성 측정 및 분석 연구

최명선 · 위규진 · 황인희
· 이경희 · 임재우

전파연구소

I. 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 2 Mbps급 고속 데이터 통신이 가능한 사양 등을 갖추도록 되어 있으며, 이에 따라 각국에서 연구개발이 진행되고 있다. 92년에 개최된 세계무선통신 주관회의(WRC-92)에서 1885~2025 MHz 및 2110~2200 MHz 대의 230 MHz 대역폭을 IMT-2000용 주파수 대역으로 각국이 동일하게 확보하도록 권고되었으며, 현재에는 향후 IMT-2000용 주파수의 부족함을 고려하여 추가주파수 분배방안을 검토 중에 있다.

IMT-2000이라는 고속 광대역 데이터 전송구현을 목표로 하는 이동통신 서비스 시장에 능동적으로 대처하기 위해 우리 나라 실정에 맞는 전파환경에 대한 보다 실질적인 연구와 정확한 이해가 있어야 된다고 생각되어진다.

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 매

우 필요한 것이다. 이들과 관련하여 신호의 페이딩, 경로 손실 그리고 시간 지연특성에 대하여 여러 마이크로셀 환경에서 여러 모델 및 측정에 관한 논문들이 발표되었다.

전파연구소에서는 '93년부터 본격적인 전파자원 개발연구 계획을 마련하여 기 이용 주파수 대역의 유효 이용방안과 미이용 주파수 대역의 개발을 위한 기초연구를 수행하고 있으며, 우리 나라의 특징적 지형과 인공구조물 특성을 보다 실질적으로 고려한 1~3 GHz 주파수대역의 전파전파특성 연구를 위하여 고층 아파트가 밀집되어 있는 평촌 신도시 지역과 대단위 공업지역인 시화공단지역에 대하여 전파지연특성을 측정하고 분석하였다.

본 원고에서는 다중전파 채널특성에 대한 이론적 고찰에 이어 다중지연파 측정시스템에 대하여 설명하였으며, 이어 전파환경의 분류와 우리 나라의 특징적인 구조물이라고 할 수 있는 고층 아파트 단지와 대단위 공단지역에서의 전파전파 지연 특성을 측정하여 분석하였다.

II. 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 받게 된다. 본 장에서는 송

신신호에 대한 다중경로 전파의 영향, 그리고 채널 성능 평가의 채널 매개변수인 평균 초과지연, RMS 지연확산, 코히어런스 대역폭에 관하여 고찰하였다.

2-1 다중경로 전파특성 고찰

[그림 1]에 육상 이동통신의 전파전파 모델 예를 나타낸다. 도심에서의 이동통신 환경은 이동국 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]

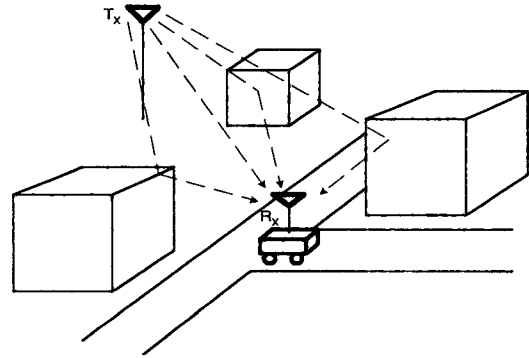
이동국의 주변에는 반사물체가 존재하기 때문에, m 개의 도래파가 이동국에서 수신된다고 가정할 때, 수신파 $u(t)$ 는 다음 식으로 표현할 수 있다.

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

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

R_i : 각각의 입사파의 진폭, τ_i : 지연시간,
 θ_i : 이동국의 진행방향에 대한 입사각,

α_i : 초기위상, f_d : 도플러 주파수(= v/λ ,
 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)로 변화되며 이를 선택성 페이딩이라 한다.

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

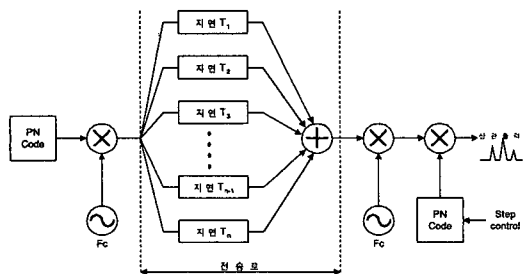
$$\begin{aligned} [\zeta &= 2\pi f_d t \cos \theta_i + j\alpha_i', h(\tau; t) \\ &= \sum_i^m R_i \delta(t - \tau_i) \exp(j\zeta_i(t))] \end{aligned}$$

여기서 $h(\tau; t)$ 는 시간 t 에서 각각 다른 지연 시간을 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.

2-2 지연 프로파일의 각종 파라미터

무선 채널은 시간적으로 분산된 매질이므로 수신단에서의 임펄스 응답은 확산 지연되어 나타나게 된다. 다중로 전파특성은 [그림 2]와 같은 PN 코드를 이용한 임펄스 응답으로부터 측정될 수 있다. [그림 2]의 방법으로 얻어진 무선 채널의 전력 지연 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 현저히 감소하며 N-LOS 환경에서는 회절에 의해 발생하는 지



[그림 2] PN 코드를 이용한 다중로 전파특성 측정방법 개요도

연 확산의 고려가 필요하다.

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

2-2-1 평균 초과지연

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

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

여기서 α_k^2 은 다중경로 성분의 k 번째 전력이고, τ_k 는 k 번째 다중경로 성분의 시간지연이며, $G_r = \sum_k \alpha_k^2$ 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.

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

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

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

2-2-2 RMS 지연확산

이동전파 채널에서의 RMS 지연확산은 채널의

시간분산 특성을 특징짓는 전력지연 프로파일의 이차 중심모멘트(second central moment)로서 다음과 같이 정의된다.

$$\sigma_r = \sqrt{\tau^2 - \bar{\tau}^2} \quad (2-7)$$

여기서 $\bar{\tau}$ 은 평균 제곱 초과지연이고, $\tau^2 = \sum_k a_k^2 \tau_k^2 / G_r$ 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.

2-2-3 코히어런스 대역폭

다중경로 채널의 주파수 상관함수 $R_r(f)$ 는 전력지연 프로파일의 정규화된 푸리에 변환이다.

코히어런스 대역폭은 RMS 지연확산 σ_r 와 반비례관계이다. 만약 코히어런스 대역폭이 주파수 상관수의 0.9이상에 걸친 대역폭으로 정의된다면 코

히어런스 대역폭 B_c 은 근사적으로 다음과 같다.

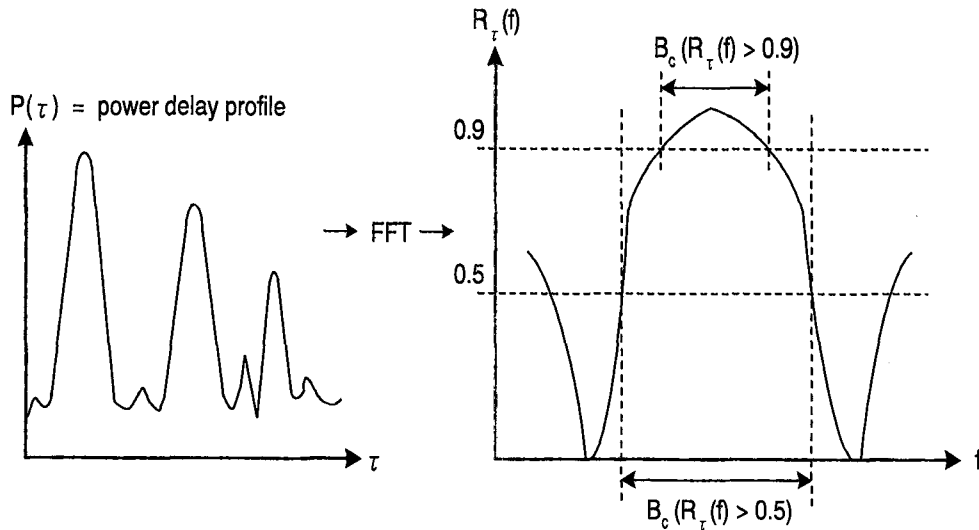
$$B_c \approx \frac{1}{50 \sigma_r} \quad (2-8)$$

만약 코히어런스 대역폭이 주파수 상관함수의 0.5 이상에 걸친 대역폭으로 정의된다면 코히어런스 대역폭 B_c 는 사적으로 다음과 같다.

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

이러한 매개변수에 대한 상관대역폭을 [그림 3]에 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 해



[그림 3] 코히어런스 대역폭과 전력지연 프로파일 사이의 상호관계

도 심별간 간섭은 지연확산에 비례하여 BER을 증가시킨다. 따라서 디지털 전송의 경우 전송율 R_b 은 지연확산에 의해서 제한을 받으므로 낮은 BER을 얻고자 한다면 다음의 조건을 만족해야 한다.

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

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

III. 다중지연과 측정시스템

실외의 무선채널에서 시간지연 특성과 다중 지연파를 측정하는 방법으로는 PN코드 상관방법(PN Code Autocorrelation), 임펄스(Impuse) 측정방법, 주파수 스캔방법 등이 있다. 우리는 이번 실험에서 PN코드 상관방법을 이용하였으며 그 특징을 간략히 기술해 보면, PN코드에 의해 대역확산된 신호를 BPSK 변조하여 무선채널을 통해 송신한 후, 수신측에서는 상관기를 통하여 임펄스 응답을 얻는 방법으로, 이 방법의 가장 큰 장점으로는 PN코드에 의한 대역확산 송신으로 자기신호 이외의 잡음에 대한 영향을 거의 받지 않으며, 또 신호의 위상정보까지 알 수 있다는 것이다. 그리고 PN 코드의 칩율(Chip rate)을 증가시키면 지연신호의 분해능이 좋아져 실내에서도 사용이 가능하다. 그러나, 변복조 및 측정 장치가 복잡하고 송수신간의 동기가 필요하다는 단점이 있다. 본 장에서는 PN코드 상관검파법의 이론적 설명과 다중지연과 측정시스템에 대하여 다루었다.

3-1 PN코드 상관검파법

PN신호 $P(t)$ 의 자기상관함수(AutoCorrelation) $R_c(\tau)$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T P(t)P(t-\tau)dt \quad (3-1)$$

$P(t)$ 는 NRZ 방식이며, T 는 주기이다. 반송파 $\omega_c t$ 가 $P(t)$ 에 의해 BPSK 변조된 송신신호를 $S(t)$ 라고 하면,

$$S(t) = P(t) \cos \omega_c t \quad (3-2)$$

이다. 이 송신신호는 다수의 반사경로를 경유한 k 번째 신호의 크기 A_k , 지연시간 τ_k , 그리고 반송파 위상 φ_k 를 가지며, 수신신호 $R(t)$ 는 이들 신호들의 중첩으로서 다음과 같이 표현된다.

$$R(t) = \sum_k A_k P(t-\tau_k) \cos(\omega_c t + \varphi_k) \quad (3-3)$$

수신신호의 동상(In-phase)과 직교(Quadrature-phase)성분에 대한 각각의 상관출력은 다음의 식으로 나타난다.

• 동상출력

$$R_I(\tau) = \frac{1}{2} \sum_k A_k \cos(\varphi_k) R_c(\tau-\tau_k) \quad (3-4)$$

• 직교출력

$$R_Q(\tau) = \frac{1}{2} \sum_k A_k \sin(\varphi_k) R_c(\tau-\tau_k) \quad (3-5)$$

• 크기

$$h(\tau) = \sqrt{R_I^2(\tau) + R_Q^2(\tau)} \\ = \frac{1}{2} \sum_k A_k R_c(\tau-\tau_k) \quad (3-6)$$

지연프로파일의 특성 $h(\tau)$ 로 부터 평균지연시간(mean delay time) D 와 지연확산(delay spread) S 는 다음과 같이 계산된다. 우선 N 개의 프로파일에 대한 평균전력지연프로파일(APDP)은

$$P_A(\tau) = \frac{1}{N} \sum_{k=1}^N h_k(\tau)^2 \quad (3-7)$$

평균지연시간 D 는 N 개의 시계열에 대한 지연 시간을 나타내는 파라미터로서 다음과 같다.

$$D = \frac{1}{E} \int_0^t \tau P_A(\tau) d\tau \quad (3-8)$$

여기서 E 는 $P_A(\tau)$ 의 전체전력으로서

$$E = \int_0^t P_A(\tau) d\tau \quad (3-9)$$

로 계산된다.

지연확산(delay spread) S 는 APDP $P_A(\tau)$ 의 표준편차로 다음과 같다.

$$S = \sqrt{\frac{1}{E} \int_0^t \tau^2 P_A(\tau) d\tau - D^2} \quad (3-10)$$

3-2 송신부

송신부는 신호발생기, 전력증폭기, 송신기, 그리고 송신 안테나로 구성이 되며 송신기의 사양 및 계통도는 <표 1> 및 [그림 4]와 같다.

신호발생기에서 발생한 10 MHz 표준 주파수를 이용하여 중간주파수 140 MHz와 의사잡음부호(Pseudo Noise Code)의 base clock인 30 MHz를 생성한다. PN 코드는 1023 chips의 부호길이를 가지며 PN 부호 발생기에서 발생한 신호로 중간주파수 140 MHz를 BPSK 변조시킨다. 이 신호는 50 MHz의 확산 대역폭을 가지며 국부발진 신호 1.81 GHz

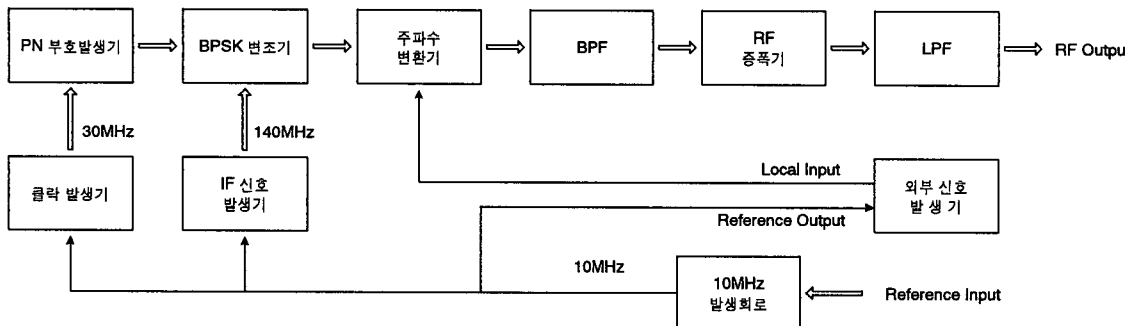
<표 1> 송신기 사양

항 목	사 양
송신 주파수	1.95 GHz
발진신호입력	주파수 : 1.81 GHz 레 벨 : 10 dBm
PN 부호	10단 M계열, 30 MHz
출력레벨	0 dBm(without Power Amp)
점유대역폭	50 MHz
안테나	무지향성 whip 안테나

와 합쳐져 최종단에서 1.95 GHz, 0 dBm의 출력을 만들어 전력증폭기를 통해 20 W로 증폭되어 안테나를 통해 송신된다.

3-3 수신부

수신부는 수신안테나, 수신기, 신호발생기와 디지털오실로스코프로 구성된다. <표 2>와 [그림 5]는 수신기의 사양 및 계통도이다. 수신부도 송신부와 마찬가지로 신호발생기에서 발생한 10 MHz를 이용하여 중간주파수 140 MHz와 국부신호 1.81 GHz를 발생시키고, 수신신호를 역확산하기 위한 PN Code의 base clock인 30 MHz를 생성한다. 수신장비는 이동 전파측정 차량으로 사용되는 9인승 콤비에 장착하였다. 수신 안테나는 지지대에 부착된 자석을 이용하여 차량의 지붕위에 고정하였으며,



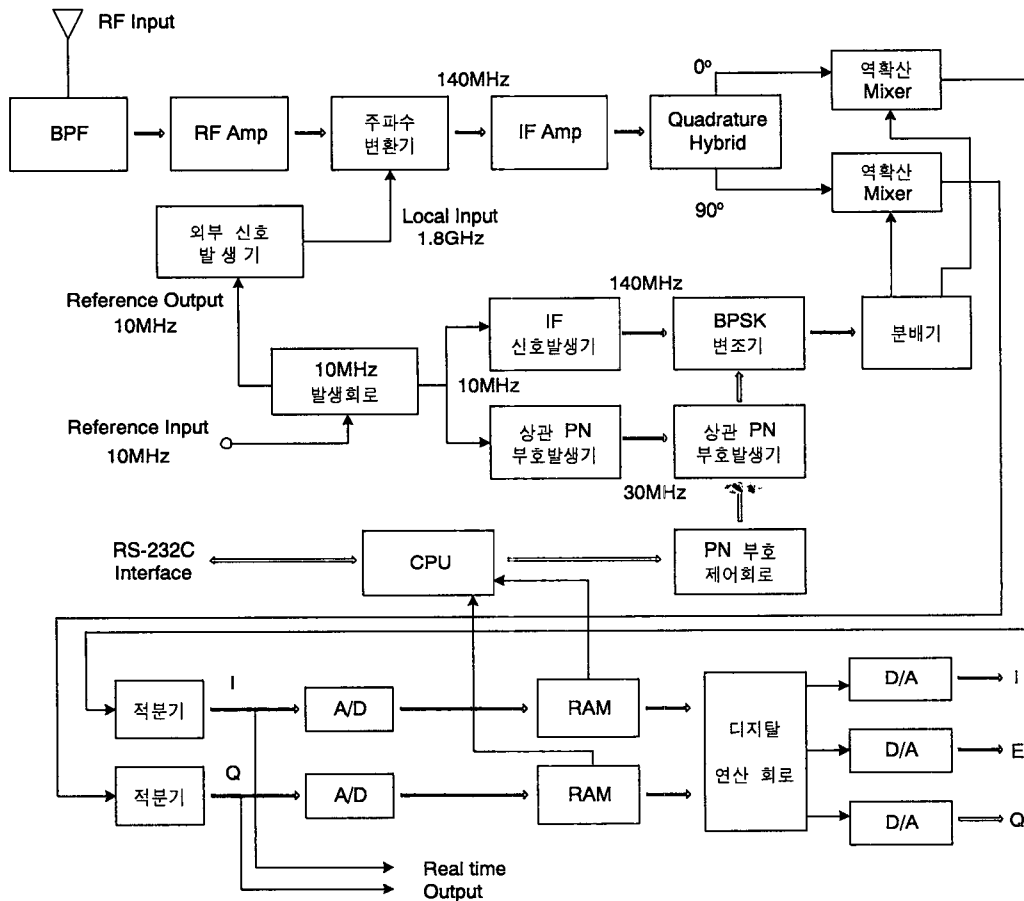
[그림 4] 송신부의 계통도

〈표 2〉 수신기 사양

항 목	사 양
수신 주파수	1.95 GHz
국부신호입력	주파수 : 1.81 GHz 레 벨 : 10 dBm
수신파	10단 M계열, PN 부호에 의한 2위상 변조
상관출력	Linear, Log 전환 Dynamic Range : 60 dB 이상
분해능	시간 : 33 ns 거리 : 10 m
디지털출력	디지털 변환후 I, Q linear 성분의 전송이 가능

전력 공급은 이동용 발전기를 이용하였다. 발전기에서 생성된 전기는 리플 및 노이즈 제거를 위하여 UPS를 통과하도록 하였다.

수신안테나를 통하여 수신된 신호는 주파수변환기를 거쳐 Quadrature Hybrid를 통해 90°의 위상차를 가지는 동상(In-phase)성분과 직교(Quadrature-phase)성분으로 분류되고, PN Code에 의해 역확산된다. 이 역확산된 신호들은 각각 적분기와 A/D converter, 디지털 연산회로를 통해 I, Q, E를 출력하게 된다.



[그림 5] 수신부의 계통도

3-4 제어부

제어부는 디지털 오실로스코프와 노트북 PC로 구성된다. 디지털 오실로스코프는 수신된 신호를 모니터링한다. 노트북 PC의 사양을 살펴보면 CPU 486DX2-66MHz, RAM 8M이며, RS-232C 케이블을 통하여 장비를 제어한다. 시스템에 사용된 소프트웨어는 수신된 신호를 연산 처리하여 화면상에 delay profile을 도시하게 되며, 저장된 raw data를 분석하여 Maximum Delay, Mean Delay, Delay Spread 등을 구하게 된다.

IV. 전파 환경의 분류

이동통신의 수요가 점차 증가함에 따라 셀의 반경도 macro cell에서 micro cell, pico cell 쪽으로 영역이 좁아지고 있다. 셀의 반경이 좁아지고 또, 주파수가 높아질수록 전파전파특성은 환경에 따른 영향을 많이 받게 되며, 각국에서는 이런 중요성을 감안하여 자국의 환경에 맞는 전파 특성을 연구하고 있다. 이러한 연구를 위하여 선행되어야 할 것이 전파 환경의 분류인데, 우리 나라는 아직 이런 분류를 갖고 있지 못한 실정이다. 외국의 경우는 전파 환경이 그 나라의 특성에 맞게 분류가 잘 되어 있으나, 이러한 것을 그대로 우리 나라에 적용하기에는 다소 무리가 따르게 된다. 우리 나라의 경우는 전 국토의 70% 이상이 산악 지역이며, 또 신도시 및 고층 아파트와 같은 인공적인 환경이 많기 때문에 외국의 전파 환경 분류 방법을 검토하여 우리 나라 도시계획법에 의한 지역 분류를 근거로 우리 나라의 전파 환경을 분류하여 전파지연특성 측정 지역 선정에 활용하였다.

4-1 외국의 전파 환경의 분류 예

〈표 3〉 미국의 경우

대 구 분	소 구 분
Rural 환경	평평한 지역
	언덕 지형
	산악 지형
Suburban 환경	약간의 열린 공간이 있는 주거지역
	열린 공간이 거의 없는 주거지역
	고층 주거지역
Urban 환경	쇼핑 지역
	상업 지역
	공업 지역

〈표 4〉 일본의 경우

구 분
Dense Urban Area
Urban Area
Suburban Area
Quasi Open Area
Open Area

〈표 5〉 영국의 경우

분류	구 분
0	강, 호수, 바다
1	열린 전원지역(open rural areas) : 나무가 많지 않은 들판 또는 황무지
2	전원지역(rural areas), 1과 유사하지만 약간의 숲과 같은 지역이 포함됨.
3	나무가 많은 또는 숲이 있는 전원 지역
4	언덕 또는 산악형 전원 지역
5	Suburban 지역 : 저밀도 주거 지역 및 현대식 공업지역
6	Suburban 지역 : 고밀도 주거 지역
7	4층 정도의 건물이 주류이고 약간의 열린 공간이 있는 도심 지역
8	4층 이상의 건물들로 구성된, 밀도가 약간 높은 도심 지역
9	4층이상 건물과 고층 빌딩들로 구성된 고밀도 도심 지역

〈표 6〉 독일의 경우

구 분
Urban Area
Rural Area
Open Rural Area
산악 지역

외국의 분류 자료를 참고하여 우리 나라의 전파 환경을 구분하여 보았다. 우선 도시계획법에 의해 지정된 지역 구분을 살펴보면, 〈표 7〉과 같다.

〈표 7〉의 구분은 건축법을 위한 구분으로써 전파 환경을 위한 구분으로는 적절치 못하다. 우리는 이것을 토대로 주거, 상업, 공업 및 녹지지역으로 구분하고 각각을 2~3개로 소구분 하였다. 우리 나라는 특히 신도시의 개발과 산업 발전에 따른 건물의 고층화로 주거지역은 10층 이상의 아파트와 그

4-2 우리 나라의 분류 예

〈표 7〉 도시계획법에 의한 분류

분 류	세 분	내 용
주거지역	전용주거지역	저 층 중심의 양호한 주거 환경을 보호하기 위해 필요할 때
	일반주거지역	일상의 주거 기능을 보호하기 위해 필요할 때
	준 주거지역	주거기능을 주로 하되, 상업적인 기능 보완이 필요할 때
상업지역	중심상업지역	도심 또는 부도심의 업무 및 상업기능의 확충을 위해 필요할 때
	일반상업지역	일반적인 상업 및 업무 기능을 담당하기 위해 필요할 때
	근린상업지역	근린 지역에서 일용품 및 서비스의 공급을 위해 필요할 때
	유통상업지역	도시간 및 지역간 유통 기능의 증진을 위해 필요할 때
공업지역	전용공업지역	주로 중화학 공업 및 공해성 공업 등을 수용하기 위해 필요할 때
	일반공업지역	환경을 저해하지 아니하는 공업의 배치를 위해 필요할 때
	준 공업지역	경공업 및 기타 공업을 수용하되, 주거기능의 보완이 필요할 때
녹지지역	보전녹지지역	도시의 자연 환경 및 녹지를 보전할 필요가 있을 때
	생산녹지지역	주로 농업적 생산을 위해 개발을 유보할 필요가 있을 때
	자연녹지지역	녹지 공간의 보전을 해하지 않는 범위에서 제한적 개발이 불가피할 때

〈표 8〉 지역 구분과 측정 지역 선정을 위한 전파 환경 분류

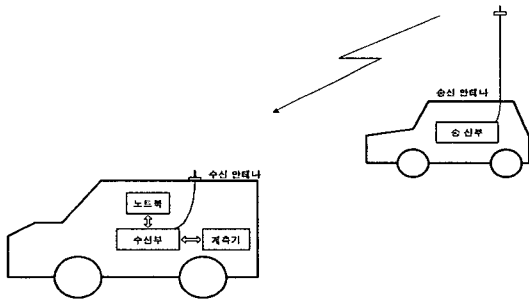
대 구 분	소 구 분	특 징
주거 지역	고층 아파트 지역	10 층 이상의 아파트 밀집 지역
	저층 아파트 지역	4-10 층 정도의 아파트 지역
	저층 주택 지역	1-4층 정도의 주택 지역
상업 지역	도심 지역	고층 빌딩과 도로가 많고 낮시간의 활동인구가 많아서 통신 수요가 가장 많은 변화한 지역
	준 도심 지역	도심보다는 덜 변화한 상업 지역
공업 지역	밀도에 따라 구분	공장들이 밀집해 있는 공단
녹지 지역	평지	논, 밭, 농장 등이 넓은 지역에 분포해 있는 평탄한 지역
	산지	산들이 위치해 있는 산악 지역

이하로 구분 지었으며, 고층 건물을 중심으로한 상업지역은 활동 인구에 따른 통신 수요가 많을 것으로 판단하여 도심과 준 도심으로 분류하였다. 그 밖의 구분은 <표 8>과 같다.

V. 1~3 GHz 대역에서의 전파지연특성

측정 및 분석

본 장에서는 1~3 GHz 대역에서의 전파지연 특성을 분석하기 위하여 평촌 신도시지역의 고층아파트 밀집지역과 대단위 공업지역인 시화공단지역을 선정하여 보다 정밀하고 기초적인 측정 및 분석을 실시하였다. [그림 6]은 다중지연과 측정방법 설명도이다.



[그림 6] 다중지연과 측정방법 설명도

5-1 고층아파트 밀집지역의 전파지연특성

5-1-1 측정지역 및 가시거리지역에 대한 전파지연특성

고층아파트들이 밀집한 지역에서의 전파전파특성은 다른 지역에서의 전파특성과 매우 다르며, 이와같은 고층아파트 밀집지역은 외국의 경우와 비교하여 우리 나라에만 존재하는 매우 특별한 환경으로 그 연구사례가 거의 존재하지 않는다.

본 연구에서는 이와 같은 매우 독특한 전파환경에서의 전파전파 특성을 분석하기 위하여 평촌 신도시의 고층아파트 단지를 대상으로 하여 1~3 GHz

대역에서의 다중 지연과 특성을 측정하여 분석하였다. [그림 7]은 측정 대상지역을 나타낸다. 송신안테나는 평촌우체국의 4층 창밖에 도로를 향하도록 설치하여 기지국으로 하였으며 측정 지역은 우체국 전면에 있는 도로 및 그 앞쪽에 위치한 아파트 단지를 대상으로 하였다. 평촌우체국의 전면에는 15층 이상의 고층아파트들이 밀집하여 있으며 그 좌측으로 5층 아파트들이 존재하여 저층 및 고층 아파트에 의한 전파 산란현상에 의한 전파지연 특성을 관찰할 수 있다.

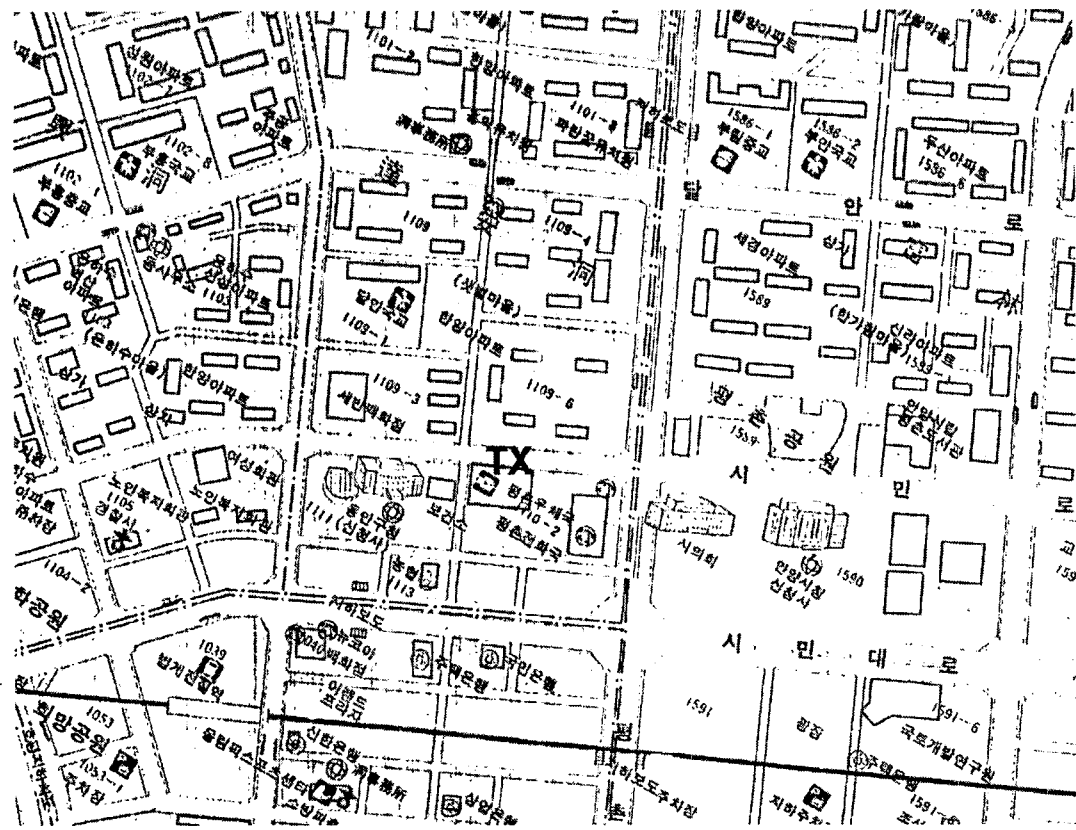
측정지역을 크게 가시거리지역과 아파트들로 둘러싸인 비가시거리지역으로 나누었으며, 가시거리지역으로 선정된 곳은 [그림 8]에 표시된 것과 같이 기지국을 중심으로 그 앞쪽으로 위치한 왕복 4차선 도로이며, 매우 큰 직접파 성분과 여기에 도로 옆에 일렬로 위치한 아파트들에 의한 반사파 성분이 존재하는 지역이다. 두번째 측정지역은 송신안테나 우측 앞쪽의 고층 아파트 밀집지역 비가시거리 지역을 대상으로 고층아파트에 의한 다중지연과 전파특성을 측정하였다.

[그림 9]와 [그림 10]은 [그림 8]의 측정지점 1부터 9까지의 지점, 즉 송신기로부터 가시거리지역에 대한 RMS 지연확산값과 수신전력 측정결과를 나타낸 것이다.

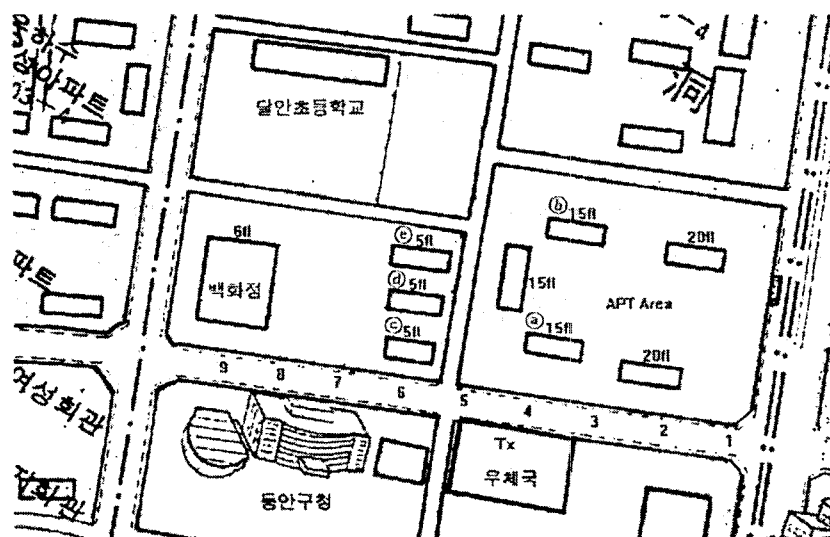
가시거리지역의 경우, 기지국으로부터 같은 거리의 가시거리지역이더라도 주변의 환경에 따라 지연확산 특성 및 수신전력이 다를 수 있었으며, 고층아파트만 존재하는 지역이 저층아파트가 존재하는 지역보다 지연확산값은 0.1 μsec 정도 작으나, 수신전력은 5 dB 정도 더 큼을 알 수 있다.

5-1-2 아파트 밀집지역에 대한 전파특성

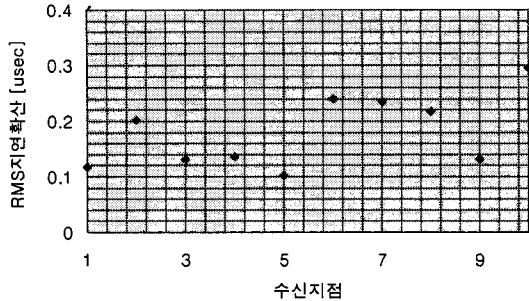
아파트 밀집지역에 대한 다중파 지연특성을 측정하기 위하여 기지국 맞은 편에 위치한 15층 이상의 고층아파트 단지과 그 옆에 위치한 5층 높이



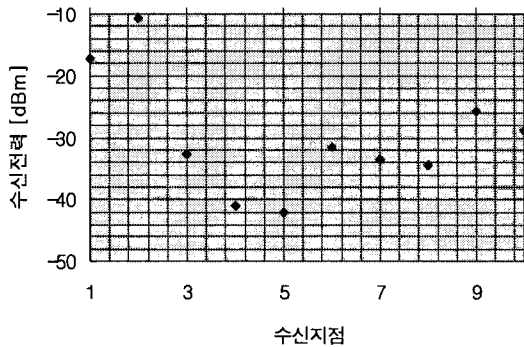
[그림 7] 측정대상지역의 지도



[그림 8] 측정지점



[그림 9] 가시거리지역에 대한 수신지점별 RMS 지연 확산값



[그림 10] 가시거리지역에 대한 수신지점별 평균 수신전력

의 저층아파트를 중심으로 측정실험을 수행하였다. 그림 8과 같이 고층 아파트지역을 두 부분으로 나누어 기지국으로부터 가장 가까이 위치한 아파트 열 뒤편을 ㉓지역으로 선정하고, 그 다음에 위치한 아파트열의 뒤편을 ㉔지역으로 선정하였으며, 저층 아파트 지역에 대해서는 아파트 건물의 뒤편을 각각 ㉕, ㉖, ㉗ 3지역으로 나누어 측정하였다. 기지국으로부터 각각의 지점까지의 거리는 대략 ㉓지역이 100 m, ㉔지역이 200 m, 그리고 ㉕지역이 100 m이며, 저층아파트지역의 경우 건물과 건물사이의 거리는 약 20 m이다.

측정실험 결과를 살펴보면, 고층아파트 밀집지역의 경우 RMS 지연확산값은 ㉓지역과 ㉔지역에서 각각 0.26 μsec 와 0.28 μsec 로 서로 비슷하며, 수

신전력은 -22 dB와 -27 dB로 ㉔지역서 5 dB 정도 낮게 측정되었다. 두 지역에서 delay profile이 비슷하게 나온 것은 이들 지역에 대한 전파환경 즉 주변 아파트들의 높이, 형태 및 배치상태가 서로 비슷하기 때문이며, 앞 절의 가시거리지역에서의 delay profile 보다 0.1 μsec 큼을 알 수 있다.

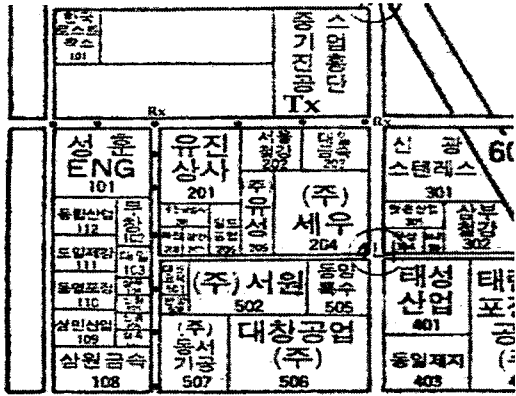
㉕지역에서 측정된 지연확산값은 0.19 μsec 이며, ㉖지점과 ㉗지점은 이것보다 각각 0.02 μsec 와 0.08 μsec 가 큰 0.21 μsec 와 0.27 μsec 로 측정되었다. 저층아파트 지역의 경우 비슷한 전파환경 아래서 기지국으로부터 거리가 멀 수록 지연확산값이 큼을 알 수 있다.

또한, 이들 측정지역은 비가시거리 지역으로써 수신되는 파에는 직접파 성분은 존재하지 않으며, 간접파 성분만이 존재하는 지역이다. 고층아파트 지역에서는 송신안테나 보다 주위 건물의 높이가 높기 때문에 대부분의 간접파 성분들은 이들 벽면에 의해 반사된 파들로 해석을 할 수 있으나, 저층아파트 지역의 경우는 저층아파트의 높이와 송신안테나의 높이가 서로 비슷하므로 반사파 성분의 대부분이 지붕에서 회절된 파로 추정할 수 있다.

5-2 공단지역에 대한 전파지연특성

5-2-1 측정지역 및 측정방법

측정장소는 시화공단의 자동차 센터 주변에서 이루어졌으며, 측정실험이 수행된 실험장소는 자동차 센터 앞 도로와 공단내 T자형 도로로 구체적인 지도는 [그림 11]에 보이고 있다. 자동차센터 정면에서 센터를 등지고 바라보면 앞 도로를 따라 좌에서 우로 건물 높이 15 m 정도의 공장으로 유사한 외형과 구조를 갖고있다. 공장들 사이 간간이 세워진 철재 플랜트를 제외하고는 거의 같은 두께의 콘크리트 외벽으로 지난번 실험의 평촌 아파트 단지에서 보았던 베란다 창등이 없는 비교적 표면 거칠기는 비슷한 환경이다. 도로의 폭은 약 12 m

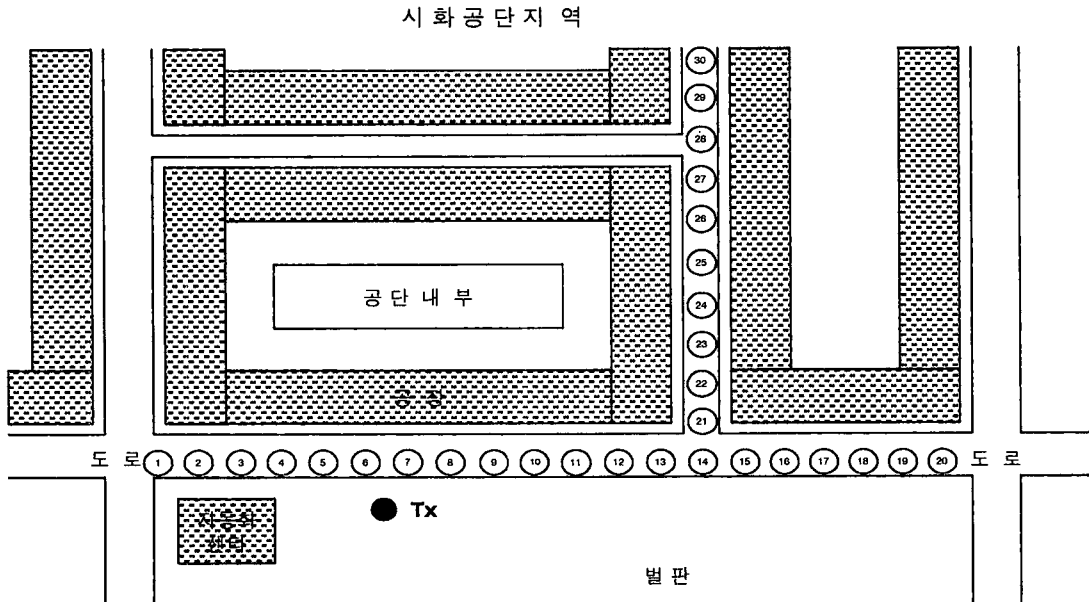


[그림 11] 공단지역 전파특성을 측정하기 위한 실험 장소 지도

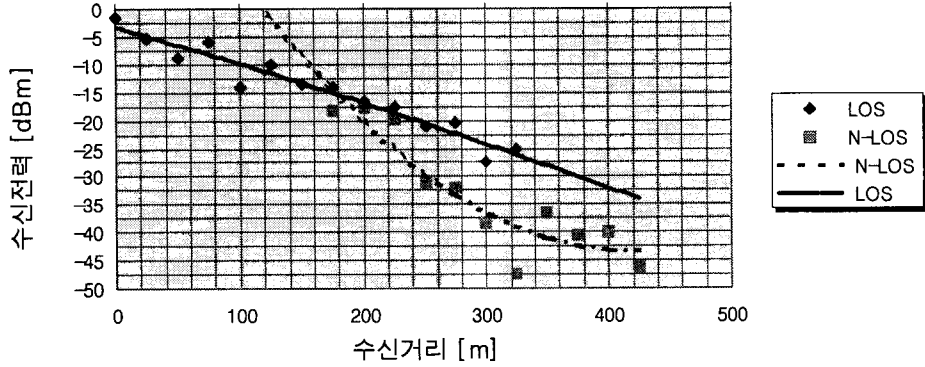
정도로 주로 화물차와 승용차가 다니는 왕복 4차선 도로이며, 양옆은 폭이 3m 정도의 보행자 도로로서 잎사귀가 작은 단풍나무의 가로수가 심어져 있다. 공단 전체는 일정한 크기의 블록으로 정돈된 바둑판 형식의 모양이며 한 블록의 크기는 500 m × 500 m 이다. 송신 안테나의 높이에 비해 건물이

더 높게 위치하고 수신에 대한 건물지붕 위로의 회절파의 영향은 무시할 수 있으리라 예상된다.

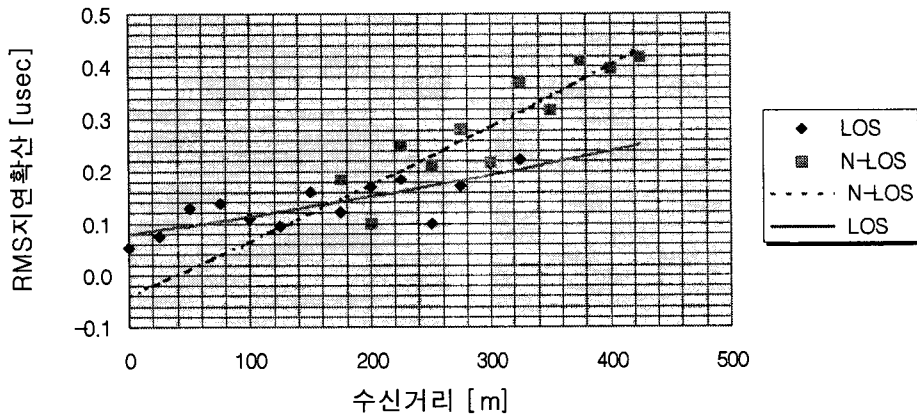
공단지역에서의 전파특성을 분석하기 위해 LOS와 N-LOS로 구별 가능한 지역을 택하여 거리의 증가에 따라 전파측정을 행하였다. 실험이 수행된 장소는 [그림 11]에 보이고 있는 지역으로 구체적인 지적도는 [그림 12]에 보이고 있다. 송신 안테나는 공단지역의 시작 지점인 공단 자동화 센터의 주차장에 지면으로부터 4m 높이에 위치하고 있으며, 인도와 화단의 약 20m 지점으로부터 공단지역을 마주보고 좌측에서 우측으로 20개의 수신지점을 선택하였다. 이때 1번 지점을 기준으로 하여 우측으로 25m 간격으로 각 지점에서 전력지연 프로파일을 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 선택



[그림 12] 공단지역 전파특성을 측정하기 위한 실험장소 지적도



[그림 13] 가시거리 및 비가시거리 지역에서의 수신전력 비교



[그림 14] 가시거리 및 비가시거리 지역에서의 RMS지연확산값 비교

하여 측정실험을 수행하였다.

[그림 13]과 [그림 14]는 가시거리지역 및 비가시거리지역에 대한 수신전력과 RMS 지연확산값을 나타낸 것이다. 가시거리지역의 경우, 수신전력은 -1.6 dBm에서 -28.8 dBm로 변화하였고, RMS 지연확산값은 0.023 μ s에서 0.22 μ s까지 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.

자동차 센터 앞 도로 14지점에서 공단내부로 뚫린 도로를 따라 N-LOS 전파환경하에서 수신전력은 -16 dB에서 -36.5 dB로 변화하였고, RMS 지연확산은 0.068 μ s에서 0.37 μ s까지 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 13]에서 보는 바와 같이 수신지점 14와 수신지점 21은 LOS와 N-LOS로 구분되는 전파환경으로 14번 지점이 4.3 dBm정도 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.

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 철계의 공장 구조물이 전파의 큰 산란자로 작용하여 채널 매개변수에 직접적인 영향을 미치게 되는 것을 [그림 13]의 급격한 변화의 수신전력 수치로 알 수 있다. LOS의 전파환경에서의 평균 수신전력이 N-LOS의 평균 수신전력에 비해 8.9 dBm 보다 크게 나타남을 알 수 있다. 그리고 LOS의 전파환경에서의 RMS 지연확산치가 N-LOS의 RMS 지연확산치에 비해 0.0612 μ s 적게 나타남을 알 수 있다.

VI. 결 론

본 연구는 고층 아파트 밀집지역과 공단지역의 차세대 이동통신 주파수대의 전파지연 특성 연구를 위해 수행되었다. 세계적인 로밍을 통하여 세계 어느 곳에서도 동일한 단말기로 서비스를 이용할 수 있도록 하는 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 한다고 생각되어진다. 아날로그 셀룰라 시스템에 이은 디지털 PCS 시스템에서는 대규모 통화용량의 수용 및 고품질의 통신이 요구되어지고 있고, 이의 해결과 한정된 전파자원의 효율적인 사용을 위해서는 특히 대도시의 인구 밀집지역에서는 마이크로셀 형태의 기지국을 배치하는 방법이 일반화되고 있다. 그러나 반경이 수백 미터로 작아진 마이크로셀과 사용 주파수대가 고주파화됨에 따른 전파전파 특성은 셀내의 자연적 그리고 인공적인 요소에 의하여 결정되므로 기존의 이동통신 설계를 위하여 개발된 수신전력의 세기만을 고려하는 분석방법으로는 충분하지 않다. 전파연구소에서 추진하고 있는 전파자원개발 연구의 일환으로 평촌 신도시 지역 및 대단위 공업지역인 시화공단지역에 대한 전파지연특성에 대한 측정 및 분석을 하였다.

고층아파트 밀집지역인 평촌 신도시의 경우, 기지국을 중심으로 하여 측정대상지역을 가시거리 지역, 저층 아파트 지역, 고층 아파트 지역으로 세분화하여 각각의 전파 환경에 대한 지연특성 및 수신전력의 변화에 대해 살펴보았다. 측정 결과를 살펴보면 가시거리지역의 경우 RMS 지연확산값은 0.18 μ sec 이며, 이동국 주변의 환경에 따라 지연확산값이 다름을 알 수 있다. 즉, 고층 아파트 지역이 저층 아파트 지역보다 더 크다. 고층 아파트 밀집 지역에서의 RMS 지연확산값은 0.27 μ sec 이며, 기지국으로부터 거리가 멀수록 수신전력은 급격하게 감소되나, 전파지연특성은 거리보다는 이동국 주변의 환경 즉, 주변 아파트들의 높이, 형태 및 배치상태에 따라 영향을 더 많이 받는 것으로 나타났다. 그러나, 저층 아파트 지역의 경우는 이와는 반대로 주변의 환경이 비슷하더라도 기지국으로부터의 거리에 따라 전파지연특성이 매우 크게 변하며, 거리가 멀수록 지연확산값이 더 큼을 알 수 있었다.

공단지역의 경우, LOS의 공단 전파환경에서의

RMS 지연확산은 0.023 μ s 에서 0.22 μ s 까지 변화하였고, N-LOS의 환경하에서는 0.068 μ s 에서 0.37 μ 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 5 dBm에서 6 dBm정도 적은 수신전력이 수신되었고 RMS 지연확산값 또한 예상값에 비해 0.04 μ s 에서 0.06 μ s 정도 높게 수신되었다. 또한 N-LOS의 경우에는 직접파보다는 반사와 회절 등의 간접파 성분이 지배적으로 LOS 환경보다 N-LOS 전파환경에서의 RMS지연확산 평균이 0.061 μ s 높게 분석되었고 코히런스 대역폭으로는 2.6 MHz 낮게 분석되었다. 수신전력 또한 LOS의 환경하에서 수신전력은 -1.6 dBm에서 -28.8 dBm로 변화를 보인 반면, N-LOS에서는 -16 dBm에서 -36.5 dBm로 LOS에 비하여 비교적 높게 분석되었다. LOS 환경보다 N-LOS 전파환경에서의 수신전력 평균치는 8.9 dBm 낮게 분석되었다.

현재 우리 나라에서 발표되어지고 있는 전파환경 예측모델들은 우리 나라의 특징적인 전파환경을 제대로 고려하지 못하고 있는 실정이므로 향후 과제로서 본 연구에서 다중전파 특성 분석을 위한 측정지로 선택되어진 대단위 고층 아파트 단지과 공단지역 이외에도 언덕이나 산악, 해변 또는 대규모 하천 및 강변 지역에서의 측정을 통한 우리 나라의 특징적 지형에 맞는 이동전파 예측모델 개발에 대한 연구와 아울러 미이용 주파수 대역인 밀리미터파 대역의 전파특성 연구가 계속 진행되어져야 하겠다.

참 고 문 헌

[1] C. E. Dadson, J. Durkin, and E. Martin, "Computer Prediction of Field Strength in

the Planning of Radio Systems," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-24, no. 1, pp. 1-7, February 1975.

[2] T. Okumura, E. Ohmori, and K. Fukuda, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land Mobile Service," *Review Electrical Communications Laboratory*, vol. 16, no. 9-10, pp. 2935-2971, September-October 1968.

[3] M. Hata, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. VT-29, no. 3, pp. 317-325, August 1980.

[4] J. Walfisch and H. L. Bertoni, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. AP-36, pp. 1788-1796, October 1988.

[5] M. J. Feuerstein, K. L. Blackard, T. S. Rappaport, S. Y. Seidel, and H. H. Xia, "Path Loss, Delay Spread, and Outage Models as Functions of Antenna Height for Microcellular System Design," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, vol. 43, no. 3, pp. 487-498, August 1994.

[6] Michel Daoud Yacoub, *Foundations of Mobile Radio Engineering*, CRC, 1993

[7] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Engineering*, McGraw-Hill, 1982.

[8] W. C. Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, John Wiley & Sons, 1986.

[9] J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, 1992.

[10] H. Bremmer, *Terrestrial Radio Waves*, Elsevier, New York, 1949.

[11] L. E. Vogler, "Radio Wave Diffraction by

A Rounded Obstacle," *Radio Science*, 20(3), pp. 582-590, 1985.

[12] 진년강, 아날로그와 디지털 통신, 청문각, pp. 583-615, 1992.

[13] D. C. Cox and R. P. Leck, "Distributions of Multipath Delay Spread and Average Excess Delay for 910 MHz Urban Mobile Radio Paths," *IEEE Transactions on Antennas and*

Propagation, vol. AP-23, no. 5, pp. 206-213, March 1975.

[14] T. S. Rappaport, S. Y. Seidel, and R. Singh, "900 MHz Multipat Propagation Measurements for U.S. Digital Cellular Radiotelephone," *IEEE Transactions on Vehicular Technology*, pp. 132-139, May 1990.

≡필자소개≡

최 명 선

1990년 3월~1991년 4월: 전파연구소 검정과장
 1993년 10월~1994년 7월: 정보통신부 전파방송관리국 주파수과장
 1996년 7월~1998년 3월: 정보통신부 정보화기획실 초고속기획과장
 1998년 3월~현재: 전파연구소장

위 규 진

1981년 2월: 연세대학교 전기공학과 졸업
 1983년 2월: 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학석사)
 1988년 2월: 연세대학교 대학원 전기공학과 졸업(공학박사)
 1988년~1991년: 동양화학공업(주) 중앙연구소 전자재료연구실 책임연구원
 1997년 6월~현재: TTA 차세대 이동통신 분과위 의장
 1997년 2월~ 현재: ITU-R TG8/1 WG4 의장
 1991년 11월~현재: 전파연구소 공업연구관

황 인 희

1993년 2월: 충남대 전자공학과 졸업
 1995년 2월 : 충남대 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1995년 4월~1995년 7월: 전파연구소 위촉연구원
 1995년 8월~현재: 전파연구소 공업연구사

이 경 희

1988년 2월: 이화여대 물리학과 졸업
 1990년 2월: 이화여대 대학원 물리학과 졸업(이학석사)
 1989년 2월~1990년 8월: 천문우주과학 연구소 위촉연구원
 1991년 6월~현재: 전파연구소 공업연구사

임 재 우

1995년 2월: 경원대 전자공학과 졸업
 1997년 2월: 경원대 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)
 1997년 6월~현재: 전파연구소 공업연구사