

1.95GHz의 전파-전파 특성에 관한 연구

Study on the Electromagnetic Wave Propagation Characteristics at 1.95GHz

라 유 찬*, 신 홍 규**
(Yoo Chan Ra*, Hong Kyu Shin**)

요 약

본 논문에서는 우리나라의 지형과 환경을 고려하여 전파환경을 분류하고, 1.95GHz에서 전파-전파특성을 연구하기 위해 PN 코드 상관 검파법을 이용한 다중지연파 측정 시스템을 구축하였다. 정확하고 기본적인 전파-전파 특성 측정을 위하여 우리나라의 특징적인 구조물인 시화공단을 선정하였다. 측정환경은 LOS와 N-LOS로 구분하여 전송거리에 따른 수신전력과 RMS 지연확산의 변화를 측정하였다.

측정결과 LOS의 수신전력은 -1.6dBm 에서 -28.8dBm , RMS 지연확산은 $0.023\mu\text{s} \sim 0.22\mu\text{s}$ 이며 N-LOS의 수신전력은 -16dBm 에서 -36.5dBm , RMS 지연확산은 $0.068\mu\text{s} \sim 0.37\mu\text{s}$ 가 측정되었다.

핵심용어: 상관검파법, 수신전력, RMS 지연확산

투고분야: 음향통신기술 분야(6.5)

ABSTRACT

In this paper, considering configuration of the earth and environment of country, it is classified a radio propagation environment Multipath propagation measuring system based on PN code correlation detection method is built to study a wave propagation characteristics of 1.95GHz.

Considering the characteristic artificial structure of country, Cihwa plant superintendent area has been selected for basic and accurate measurement a radio propagation characteristic. The experiments are carried out with respect to the RMS delay spread and the received power in the two kind of geographical areas, LOS (Line of Sight) and N-LOS (Non Line of Sight).

The measurement result of that received power of LOS area is $-1.6 \sim -28.8\text{dBm}$, RMS delay spread is $0.023\mu\text{s} \sim 0.22\mu\text{s}$ and received power of N-LOS area is $16 \sim 36.5\text{dBm}$ and RMS delay spread is $0.068 \sim 0.37\mu\text{s}$

Key words: Correlation detection method, Received power, RMS delay spread

I. 서 론

무선통신서비스를 로밍(roaming)을 통하여 세계 어느 곳에서나 동일한 단말기로 음성 뿐만 아니라 영상 데이터의 이용을 위해서는 높은 가입자 밀도를 가지는 마이크로 셀(micro cell)의 도입이다. 셀 내의 전파환경은 마이크로 셀의 모양을 결정한다. 즉 전파전송은 특정지역의 자연적, 인위적인 환경 조건과 서비스수용자의 규모에 따른 회선수로 셀을 설계하게 된다. 따라서 효율적인 서비스를 위해서 전파 채널특성에 대한 정확한 이해가 있어야 하나 전파환경에서의 전파거동은 매우 시변적이고 예측하기

어렵다¹⁾. 전파특성연구로 전파의 수신 전계강도로 전파환경을 예측한 모델로 Hata, Okumura등이 있으나 전파의 경로손실과 다중지연에 따른 신호의 지연특성이 중요한 파라미터로 대두되고 있다^{2,3)}.

본 연구에서는 IMT-2000(International Mobile Telecommunication) 서비스에 능동적인 대처를 위해 우리나라의 전파환경을 보다 정밀한 지형과 환경을 도시계획법에 따라 주거, 상업, 공업, 녹지지역의 대 분류와 13개의 소 분류 후 인공구조물 특성을 보다 실질적으로 고려한 대단위 공업지역인 시화공단을 선정하여 무선채널 전파특성을 측정하고 분석하였다.

연구방법은 1.95GHz의 전파특성 측정을 위한 대역확산 방식으로 시스템을 설계하고 LOS (Line of Sight)와 N-LOS (Non Line of Sight)로 전파환경을 분류하여 측정

* 남서울대학교 정보통신공학과

** 원광대학교 전자공학과

접수일자: 2000년 1월 13일

하였다. 실험내용은 수신 전계 강도와 RMS 지연확산을 측정 분석하였으며 무선채널 측정시스템은 PN 코드의 클럭 주파수는 30MHz로서 다중경로 분해능은 10m와 33ns이며 대역확산 상관기법을 이용한 대역확산 송·수신방법으로 구현하였다. 측정결과는 여름과 겨울의 전파환경에서 수집된 수신전력지연 프로파일을 통계적으로 평균한 결과이다.

II. 전파환경분류

전파전파 특성은 전파환경에 따라 다른 특징들을 보여 주고 있다. 빌딩 높이와 건물들의 밀도, 안테나 높이 등에 따라 전파전파특성이 어떻게 달라지는가를 파악하는 것에 의해 기지국의 위치 선정과 출력의 세기, 셀의 크기를 결정하게 된다. 그리고 송신기와 수신기 사이에 가시거리가 존재하는 경우 (LOS)와 가시거리가 없는 경우 (N-LOS) 수신기에 도달되는 전파 성분이 달라진다. 즉 LOS 경로에서는 직접파와 지면 반사파가 주요 성분이 되고, N-LOS 경로에서는 직접파와 지면 반사파의 영향은 없고 굴절에 의한 전파가 수신기에 도달된다.

고층빌딩이 조밀하게 분포해 있는 도심 환경에서 기지국을 가로등 높이에 설치한다면 전파전파는 빌딩의 옥상을 넘어 일어나는 굴절 요소를 무시할 수 있게 되고, 주로 빌딩 모서리를 도는 굴절과 빌딩 면에서의 반사에 의한 것이 될 것이다. 또 기지국이 빌딩 꼭대기에 설치된다면 옥상 너머 일어나는 굴절을 고려해야 한다. 주로 낮은 건물들로 구성된 전파 환경에서는 옥상 너머 지상으로의 굴절이 큰 요인이 된다. 이 경우 건물 바로 앞에는 전파가 도달하기 어려워 그림자 페이딩(shadow fading)이 발생하게 된다. 건물 사이의 간격과 분포 형태에 따라라도 다른 특성을 갖게 될 것이라는 것을 짐작할 수 있다. 따라서 전파 특성 연구 이전에 전파 환경을 어떻게 분류하느냐에 따라 연구 방법과 과정이 달라질 것이다.

전파 환경을 분류하는 기준은 측정자, 국가 및 지역에 따라 다를 수 있다⁹⁾. Kozono와 Watanabe는 1977년 동경에서 수신 전력이 미치는 빌딩의 영향을 조사하기 위해 나름대로 도시 환경의 양적인 구분을 시도하였다. Ibrahim과 Parsons는 토지 이용 요소 L과 도시화정도 요소 U를 이용하여 런던의 측정지역을 특성화하였다.

보편적으로 가장 많이 사용되고 있는 분류 방법이 Kafuru의 분류이다. 이 분류는 미국과 유럽의 도시와 도시 외곽, 전원지역을 잘 구분하여 나누고 있다. 그래서 미국과 유럽에서 측정된 실험과 이론 연구는 대부분 이 분류에 의해 지역을 구분하고 있다.

그러나 우리나라는 미국과 달리 평원 또는 지평선이 보이는 넓은 지역과 사막과 같은 지형이 없는 대신 도심 내부에 있는 산악 지형도 전파전파의 관점에서 볼 때 매우 높은 경우가 많다. 그리고 교외로 구분할 만한 지역이 거의 존재하지 않으며, 대단위 아파트 단지와 같이 외국에는 존재하지 않는 특이한 주거 구조도 가지고 있다. 따라서 우리 환경에서의 전파 특성을 연구하기 위해서는 전파 환경에 대한 분류가 우선되어야 한다.

우리의 도시계획법에 의하면 분류 기준에 따라 지역과 지구, 구역을 다음과 같이 정의하고 있다. 우선 지역은 도시의 전반적인 발전방향에 따른 토지 이용의 입지배분을 위해서 지정하는 것이고, 지구는 도시개발에 있어서 특정한 목적달성이나 구체적인 사업도모를 위해 조사의 국부적인 지역을 지정한 것이며, 또한 구역은 도시의 과대 집중과 도시주변의 무질서한 확산을 방지하고, 광역시설 및 도시계획시설의 충분한 확보와 유지를 위해 설치된다. 이러한 구분들 중에서 우리의 전파 환경 분류에 응용할 수 있는 것은 지역에 대한 분류로서 크게 주거지역, 상업지역, 공업지역 그리고 녹지지역으로 되어있다. 보다 세분된 내용은 표 1에 나타내었다.

그러나 전파-전파 특성 측정 실험을 수행하는데 위의 분류 방법을 그대로 적용하기에는 무리가 있어 전파환경을 재분류하는 것이 필요하여 전파자원개발연구의 일부로서 다음에 기술할 전파-전파 특성 실험과 병행하여 전파환경 분류작업을 진행할 예정이다.

표 1. 도시계획법에 의해 지정된 지역 세분

Table 1. A given place subdivision region with urban planning.

분류	세분	내용
주거지역	전용주거지역	저중 중심의 양호한 주거 환경을 보호하기 위해 필요할 때
	일반주거지역	일상의 주거기능을 보호하기 위해 필요할 때
	준주거 지역	주거기능을 주로 하되, 상업적인 기능보완이 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 유통기능의 증진을 위해 필요할 때
공업지역	전용공업지역	주로 중화학 공업 및 공해성 공업 등을 수용하기 위해 필요할 때
	일반공업지역	환경을 저해하지 아니하는 공업의 배치용 위해 필요할 때
	준공업 지역	경공업 및 기타 공업을 수용하되, 주거기능의 보완이 필요할 때
녹지지역	보전녹지지역	도시의 자연환경 및 녹지를 보전할 필요가 있을 때
	생산녹지지역	주로 농업적 생산을 위해 개발을 유도할 필요가 있을 때
	자연녹지지역	녹지공간의 보전을 해하지 않는 범위에서 제한적 개발이 불가피 할 때

III. 다중 지연파 시스템

무선통신을 이용되는 전파는 여러 가지 원인에 의해서 영향을 받지만, 무엇보다도 지형 장애물에 의한 영향이 가장 큰 요인이라고 할 수 있을 것이다⁹⁾. 특히 우리나라의 경우 전 국토의 70% 이상이 산악지역으로 되어 있고, 또 고층 아파트 및 신도시와 같은 인공적인 환경이 많은 국내 전파환경에서는 무엇보다 이런 환경에 의한 회절 손실 및 지연파 측정에 의한 각 파라미터 값들이 매우 중요한 데이터라 할 수 있다.¹⁰⁾¹¹⁾¹²⁾

실외의 무선채널에서 시간지연 특성과 다중 지연파를 측정하는 방법은 PN코드에 의해 대역 확산된 신호를 PSK 변조하여 무선채널을 통해 송신한 후, 수신측에서는 상관기를 통하여 임펄스 응답을 얻는 방법으로 변복조 및 측정장치가 복잡하고 송수신간의 동기가 필요하지만 전력효율이 좋아 원거리 측정도 가능하다. 또한 PN 코드에 의한 Spread Spectrum은 자기신호 외의 잡음에 대해 영향은 거의 받지 않으며, 신호의 위상 정보까지 알 수 있으므로 실외환경에서 광범위하게 쓰인다. 그리고 PN 코드의 칩율 (Chip rate)을 증가시키면 지연신호의 분해능이 좋아지므로 실내에서도 사용이 가능하다. 따라서 전파-전파 특성을 PN코드 상관 방법을 이용하여 측정을 실시하였다.

3.1. 측정시스템 원리

3.1.1. 자기상관함수의 특성

PN부호의 자기상관함수를 구하면 주기적이며 2개의 값을 갖는 자기상관함수가 된다. 2진 계열 {Pn}이 주어졌을 때 자기상관함수는 다음과 같이 정의된다.

$$R_c(R) = \frac{1}{N} \sum_{n=1}^N P_n P_{n-k} \quad (1)$$

여기서 N은 PN부호의 주기이고 k는 자기상관계열의 지연 수이다. 실 예로 PN부호 (1110100)의 자기상관을 구하려면 우선 0은 -1로 1은 +1로 대치하여야 한다.

즉, (111-11-1-1)의 자기상관을 구한다. 만약 k = 0 이면

$$R_c(0) = \frac{1}{7} [1^2 + 1^2 + 1^2 + (-1)^2 + 1^2 + (-1)^2 + (-1)^2] = 1 \text{ 이 된다.}$$

즉 서로 같은 부호를 곱한 것이 7번 있으므로 R_c(0)=1 이 된다. R_c(1)일 때 (111-11-1-1)과 한번 지연시킨 (11-11-1-11)의 상관함수를 구하면 다음과 같이 된다.

$$R_c(1) = \frac{1}{7} [1 \cdot 1 + 1 \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot 1 + 1 \cdot (-1) + (-1) \cdot (-1) + (-1) \cdot 1] = -\frac{1}{7}$$

즉 서로 같은 부호를 곱한 것이 3번 있고 다른 부호를 곱한 것이 4번 있으므로 그 합은 -1 이 되어 R_c(1)=-1/7이 된다.

$$R_c(k) = \begin{cases} 1 & , k=1N \\ -\frac{1}{N} & , k \neq 1N \end{cases} \quad (2)$$

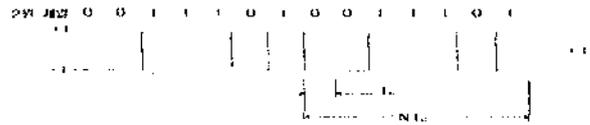
여기서 1은 정수이다. R_c(7)=1이 되어 R_c(k)는 주기함수임을 알 수 있고, 길이 N이 무한히 클 때 자기상관계열 R_c(k)는 랜덤 2진 계열이라 할 수 있다. 위 식을 PN 부호의 자기상관함수를 다시 쓰면 아래와 같다.

$$\begin{cases} R_c(0) = 1, & k=0, N, 2N, \dots \\ R_c(k) = -1/N, & \text{기타} \end{cases} \quad (3)$$

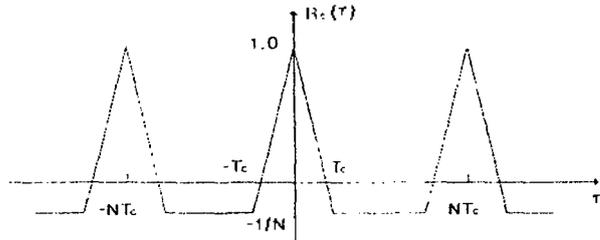
이산적인 k를 연속변수 τ로 변환시키면 자기상관함수는 다음과 같이 된다.

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) P(t-\tau) dt, \quad -\infty < \tau < \infty \quad (4)$$

그림1(a)의 PN부호에 대한 자기상관함수를 도시하면 그림1(b)에 보인 바와 같다.



(a) 최장계열의 파형, (a) Pulse of maximum-length sequence,



(b) 최장계열의 자기상관 (b) Auto-correlation of the maximum-length sequence

그림 1. 귀환 쉬프트레지스터의 출력 Fig. 1. Output of the feedback shift register.

3.1.2. PN 코드 상관 검파법

PN 계열신호 P(t)의 자기상관 함수 (Auto-correlation) R_c(τ)는 다음과 같다.

$$R_c(\tau) = \frac{1}{T} \int_0^T P(t) P(t-\tau) dt \quad [P(t) : NRZ] \quad (5)$$

반송파 ω_c가 P(t)에 의해 BPSK 변조된 송신신호를

$$S(t) = P(t) \cos \omega_c t \quad (6)$$

라고 하면, 다수의 반사경로를 경유한 i 번째 신호의 크기 A_i, 지연시간 τ_i 그리고 반송파 위상 φ_i를 가지며, 수신신호 R(t)는 이들 신호들의 중첩으로서 다음과 같이 표현된다

$$R(t) = \sum_i A_i P(t-\tau_i) \cos(\omega_c t + \phi_i) \quad (7)$$

수신측에서 지연시간을 갖는 상관복조를 위해 사용되는 국부신호를 Lo(t-τ)라 하면

$$L\alpha(t-\tau) = P(t-\tau)\cos\omega_c t \quad (8)$$

가 되며, 수신신호와 국부신호의 동상 (In-phase)과 직교 (Quadrature-phase)성분에 대한 각각의 상관출력은 다음의 식으로 나타난다.

• 동상출력 $R_I(\tau) = \frac{1}{2} \sum_i A_i \cos(\varphi_i) R_S(\tau - \tau_i)$ (9)

• 직교출력 $R_Q(\tau) = \frac{1}{2} \sum_i A_i \sin(\varphi_i) R_S(\tau - \tau_i)$ (10)

• 크기 $h(\tau) = \sqrt{R_I^2(\tau) + R_Q^2(\tau)} = \frac{1}{2} \sum_i A_i R_S(\tau - \tau_i)$ (11)

로 얻어진다.

지연프로파일의 특성 $h(\tau)$ 로 부터 평균지연시간 (mean delay time) D와 지연확산(delay spread) S는 다음과 같이 계산된다.

우선 M개의 프로파일에 대한 평균전력지연프로파일 (APDP)은

$$P_A(\tau) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M h_i(\tau)^2 \quad (12)$$

평균지연시간 D는 M개의 시계열에 대한 지연 시간을 나타내는 파라미터로서 다음과 같다.

$$D = \frac{1}{E} \int_0^h \tau P(\tau) d\tau \quad (13)$$

여기서 E는 P(τ)의 전체전력으로서

$$E = \int_0^h P(\tau) d\tau \quad (14)$$

로 계산된다.

지연확산 (delay spread) S는 APDP $P_A(\tau)$ 의 표준편차이다

$$S = \sqrt{\frac{1}{E} \int_0^h \tau^2 P_A(\tau) d\tau - D^2} \quad (15)$$

IV. 다중경로 전파특성 측정 및 분석

본 논문에서 우리 나라의 특징적 지형과 인공구조물 특성을 보다 실질적으로 고려한 1.95GHz 주파수대의 이동전파 특성을 연구하기 위하여 대단위 공업지역인 시화공단지역을 선정하여 보다 정밀하고 기초적인 측정 및 분석을 실시하였다.

4.1. 측정지역 및 측정방법

측정실험은 '97년 7월부터 9월 및 12월까지 4차례 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 2에 보이고 있다.

자동화센터 정면에서 센터를 등지고 바라보면 앞 도로를 따라 좌에서 우로 건물 높이 15m 정도의 공장으로 유사한 외형과 구조를 지고 있으며 공장들 사이 간간이 세워진 철재 플랜트(plant)를 제외하고는 거의 같은 두께의 콘크리트 외벽으로 주택 단지에서 보았던 베란다 창 등이 없는 비교적 표면 거칠기는 비슷한 환경이다. 도로의 폭은 약 12m 정도로 주로 화물차와 승용차가 다니는 양방향 4차선 도로이며, 양옆은 폭이 3m 정도의 보행자 도로로서 잎사귀가 작은 단풍나무의 가로수가 심어져있다.

공단 전체는 일정한 크기의 블록으로 정돈된 바둑판형식의 모양이며 한 블록의 크기는 500m×500m 이다. 송신 안테나의 높이에 비해 건물이 더 높게 위치하고 수신에 대한 건물지붕 위로의 회절파의 영향은 무시할 수 있으리라 예상된다. 무선 채널은 시간적 분산특성의 분산 매질로 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.

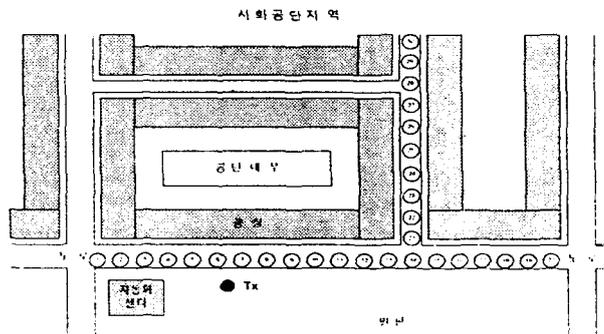


그림 2. 공단지역 전파특성을 측정하기 위한 실험장소 지적도
Fig. 2. Measurements site map for measuring wireless channel characteristics of factory area.

4.2. 측정 및 분석

본 측정은 1.95GHz 주파수대역에서의 이동전파특성 측정실험으로 우리 나라 지형특성에 광범위한 적용이 가능한 다중경로 전파모델을 개발하기 위해 대단위 공단지역을 선정하여 수행되었다.

IMT-2000의 사용 주파수대역의 전파특성을 알아보기 위해 구현된 1.95GHz 주파수 대역의 광대역 무선채널 측정 시스템을 이용하였으며, 전파의 반사, 회절 및 산란의 복합적인 전파환경을 갖는 지역을 선정하여 우리 나라 고유특성에 알맞은 다중경로 전파예측 모델을 개발에 필

요한 RMS 지연확산과 평균초과지연 등의 다중경로 전파의 채널 파라미터 등을 계산했다. 측정시스템의 규격은 표 2, 3과 같다.

표 2. 송신기 규격
Table 2. Standard on transmitter.

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

표 3. 수신기 규격
Table 3. Standard on received.

항 목	사 양	비 고
수신 주파수	1.95GHz	
수신입력 레벨	-90 dBm 이하	
국부신호 입력	주파수 : 1.81GHz 레 벨 : 10 dBm	FR - 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	Δf = 30/10230MHz
표준신호입력	주파수 : 10MHz 레 벨 : 6 dBm	
디지털 출력	디지털 변환후 1, Q linear 성분의 전송이 가능	RS-232C

공단지역에서의 전파특성을 분석하기 위해 LOS와 N-LOS로 구별 가능한 지역을 택하여 거리의 증가에 따라 전파측정을 행하였다. 실험이 수행된 장소는 구체적인 지적도는 그림 2에 보이고 있다. 송신 안테나는 공단지역의 시작 지점인 공단 자동화 센터의 주차장에 지면으로부터 4m 높이에 위치하고 있으며, 수신 안테나를 콤비버스의 지붕에 설치하여 지면으로부터 3m 높다. 수신지점은 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. 전술

한 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 지점에서 측정된 평균 전력지연 프로파일을 그림 3에 보이고 있다.

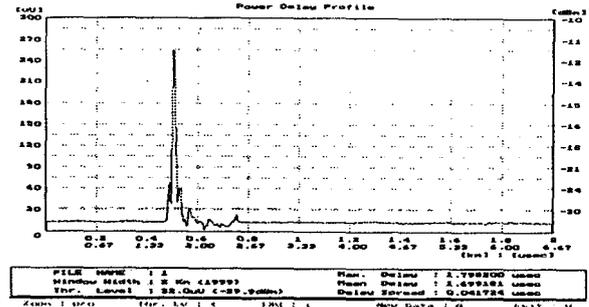


그림 3. 1번 지점에서 측정된 평균 전력지연 프로파일
Fig. 3. Measured average power delay profile at a site 1.

이때 측정된 RMS 지연확산은 0.04 μ s로 계산되었다. 그림 4은 자동화 센터 앞 직선로의 LOS 전파환경하에서 각 지점의 평균전력 지연 프로파일로부터 측정된 거리의 증가에 따른 분석결과와 수신전력과 RMS 지연확산 값을 보이고 있다. 공단지적도에서 알 수 있듯이 송신기에서 거리가 제일 가까운 지점은 7번 지점이고 7번에서 20번 지점으로 거리가 증가한다. 7번 지점은 송신기의 직접파 성분이 거의 지배적으로 수신전력은 -1.6dBm로 측정되었다. 그림 4에서 보는 바와 같이 가지거리에서 수신전력은 -1.6dBm에서 -28.8dBm로 변화하였고, 그림 5에서 보는 바와 같이 RMS 지연확산은 0.023 μ s에서 0.22 μ s까지 변화하였다. 17번 지점과 14번 지점에서 관찰된 주위 값과 다소 상이한 RMS 지연확산 값은 관측결과 도로 옆에 일정한 높이로 세워진 공장 건물들 사이사이 철재 플랜트 구조물의 위치로 주변환경에 민감하게 반응하여 전파의 산란, 회절이 급격한 변화로 생긴 결과라 생각되어진다.

그림5 자동화 센터 앞 도로 14지점에서 공단내부로 뚫린 도로를 따라 N-LOS 전파환경에서 각 지점의 평균전력지연프로파일로 거리에 따른 분석결과인 수신전력과 RMS 지연확산 값을 보이고 있다. 공단지적도에서 알 수 있듯이 N-LOS일 때 송신기에서 21번에서 31번 지점으로 거리가 증가하며 21번 지점은 송신기의 직접파 성분으로 수신전력은 -16dBm로 측정되었다. 그림 6에서 보는 바와 같이 수신전력은 -16dBm에서 -36.5dBm로 변화하였고, 그림 7에서 보는 바와 같이 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.

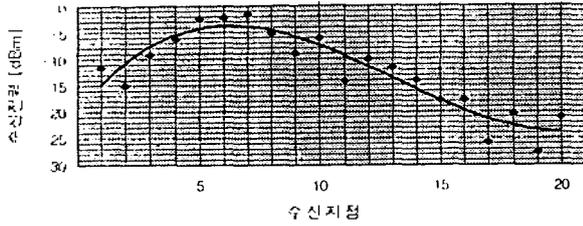


그림 4. 수신지점에 대한 LOS의 수신전력의 변화
Fig. 4. The received power variation with respect to LOS for a received site.

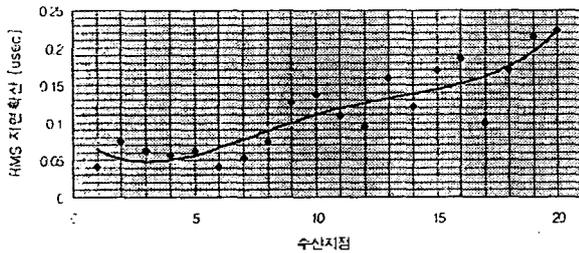


그림 5. 수신지점에 대한 LOS의 RMS 지연확산 변화
Fig. 5. The RMS delay spread variation with respect to LOS for received site.

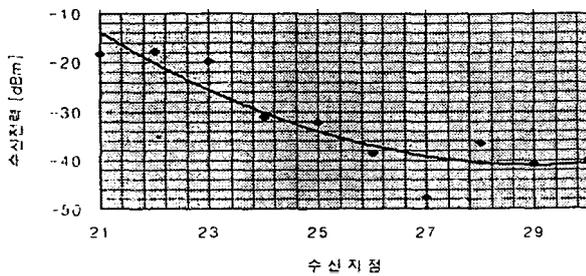


그림 6. 수신지점에 대한 N-LOS의 수신전력의 변화
Fig. 6. The received power variation with respect to N-LOS for a received site.

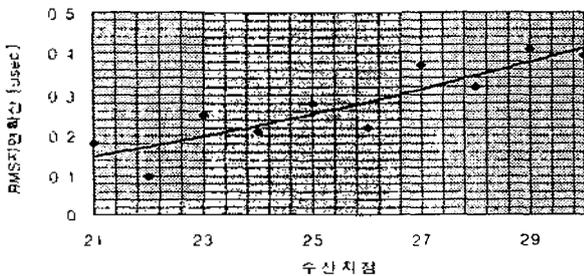


그림 7. 수신지점에 대한 N-LOS의 RMS지연확산 변화
Fig. 7. The RMS delay spread variation with respect to N-LOS for a received site.

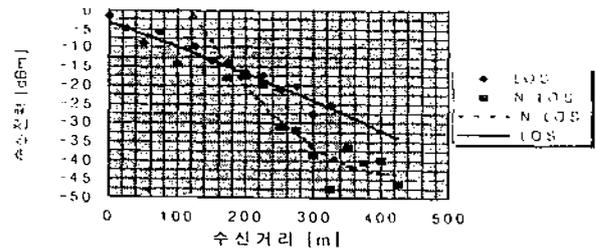


그림 8. 거리에 대한 LOS와 N-LOS 수신전력 변화
Fig. 8. The received power variation with respect to LOS and N-LOS for a distance.

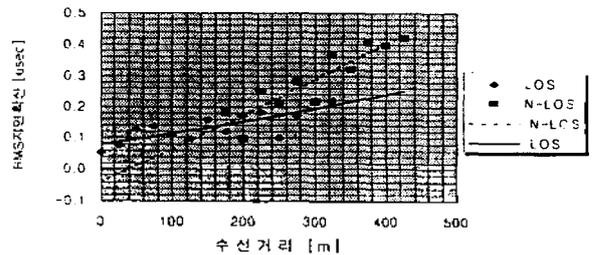


그림 9. 거리에 대한 LOS와 N-LOS 지연확산 변화
Fig. 9. The RMS delay spread variation with respect to LOS and N-LOS for a distance.

그림 8에서 보는바와 같이 수신지점 14와 수신지점 21은 LOS와 N-LOS로 구분되는 전파환경으로 14번 지점이 4.3dBm정도 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 8의 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 μ s 적게 나타남을 알 수 있다.

V. 결 론

외국의 전파환경분류 방법을 참조하여 우리나라 도시 계획법에 의해 지정된 지역세분화로 우리지형에 맞는 전파환경을 분류한 후 인공구조물을 보다 특징적으로 고려하기 위해 대단위 공단지역에서 차세대 이동통신 주파수대의 전파지연 특성 연구를 위해 수행되었다. 신규 이동통신 시스템인 IMT-2000의 실용화를 위해 급속히 변화 발전하는 통신시장에 대처하기 위해 우리 나라 실정에 맞는 전파환경에 대한 보다 실질적인 연구와 정확한 이해가 선행되어야 한다고 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 전파-전파 특성은 셀내의 자연적 그리고 인공적인 요소에 의하여 결정되므로 기존의 이동통신 설계를 위하여 개발된 수신전력의 세기만을 고려하는 분석 방법으로는 충분하지 않다. 따라서 1.95GHz 주파수대역의 이동전파 측정을 대단위 공단지역인 시화공단을 선정하여 보다 정밀하고 기초적인 측정 및 분석을 하였다.

본 논문을 위해 사용한 다중전파 측정시스템은 PN 코드 클럭 주파수가 30MHz 로서 다중경로 분해능은 10m 이다. 무선채널 측정은 1.95GHz에서 측정환경은 LOS와 N-LOS로 구분하여 전송거리에 따른 수신전력과 RMS 지연확산의 변화를 측정한 데이터를 근거로 계산하였다.

측정실험은 '97년 7월부터 9월 및 12월까지 4차에 걸쳐 총 16회의 측정실험을 수행하여 얻은 데이터를 통계적으로 평균한 결과로 정확도를 높였다. 분석결과 LOS의 공단 전파환경에서의 RMS 지연확산은 0.023 μ s에서 0.22 μ s까지 변화하였고, N-LOS의 환경하에서는 0.068 μ s에서 0.37 μ s까지의 변화로 측정되었다. LOS의 공단환경은 송신기의

전파가 공장들의 사멘트 벽면에 반사되는 반사파와 직접파가 지배적이었다. 공단지역의 특징적인 구조물이라 할 수 있는 철재 구조물의 영향으로 회절과 산란이 심한 지역에서보다 5dB에서 6dB정도 적은 수신전력이 수신되었고 RMS 지연확산값 또한 0.04 μ s에서 0.06 μ s 정도 높게 수신되었다. 또한 N-LOS의 경우에는 직접파 보다는 반사와 회절등의 간접파 성분이 지배적으로 LOS 환경보다 N-LOS전파환경에서의 RMS지연확산 평균이 0.061 μ s 높게 분석되었고 코히어런스 대역폭은 주파수상관함수 RT(f) 0.9일때 0.2MHz이고 RT(f) 0.5일때 2.6MHz 낮게 분석되었다. 수신전력은 LOS의 환경하에서 -1.6dBm에서 -28.8dBm로 변화하였으며 거리에 따른 감쇄보다는 주위 환경에 따른 변화가 많은 N-LOS에서는 -16dBm에서 -36.5dBm로 LOS에 비하여 비교적 높게 분석되었다. LOS 환경보다 N-LOS전파환경에서의 수신전력의 평균치는 8.9dB 낮게 분석되었다.

본 연구에서 전파실험장소로 택한 공단지역은 전파환경 예측모델 분석을 위한 하나의 특징지역이므로 우리나라의

특징적인 전파환경을 위한 향후과제로서, 언덕이나 산악, 해변 또는 대규모 하천 및 강변 지역에서의 측정이 이동전파 예측모델의 개발에 대한 연구가 계속 진행되어야 하겠다.

감사의 글

이 논문은 1999년도 원광대학교의 교비지원에 의해서 연구됨.

참 고 문 헌

1. T.S. Rappaport, "Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Buildings," IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 37, no. 8, August 1989, pp. 1058-1069.
2. R. Edwards and J. Durkin, "Computer Prediction of Service Area for VHF Mobile Radio Networks," Proceedings of the IEEE, vol. 116, no. 9, pp. 1493-1500, 1969.
3. C. E. Dadson, J. Durkin, and E. Martin, "Computer Prediction of Field Strength in the Plannin99g of Radio Systems," IEEE Transactions on Vehicular Technology, vol. VT-24, no. 1, pp. 1-7, February 1975.
4. 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.
5. 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.
6. European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research EURO-COST 231, "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800 MHz Bands," Tech. Rep., The Hague, September 1991.
7. 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.
8. 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.
9. J. D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, pp. 16~106, 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. J. Epstein, and D. W. Peterson, "An Experimental Study of Wave Propagation at 850 MHz," Proc. IRE, 41(5), pp. 595~611, 1953.

▲ 나 유 찬(Yoo Chan Ra)

한국음향학회지 제18권 2호 참조

▲ 신 홍 규(Hong Kyu Shin)

한국음향학회지 제18권 2호 참조