

국내 이동전화환경에서의 다중경로에 의한 지연확산특성

(Characteristics of Multipath Delay spread in Domestic Cellular Environment)

이 동 두*
(Dong Doo Lee*)

요 약

지연확산은 이동통신채널을 특징짓는 중요한 파라미터이다. 본 논문에서는 대전 인근의 대표적인 이동통신 서비스 환경에 대하여 측정된 지연과 프로파일의 측정 결과와 이로부터 산출한 지역확산의 분포에 대하여 소개한다. 측정시스템은 1023chip의 코드길이와 4Mbps의 PN code를 사용한 슬라이딩 상관법을 이용하여 구성되었으며, 측정값의 신뢰도를 보장하기 위하여 상용 채널시뮬레이터를 이용하여 시간축과 진폭축에 대한 성능평가를 수행하였다. 지연확산값의 측정 결과는 부도심에서 $2.08\mu\text{s}$, $2.12\mu\text{s}$ 그리고 국도상에서는 $1.31\mu\text{s}$ 의 평균값을 얻었다. 각 측정 지역에서는 50%의 확률로 $3.4\mu\text{s}$, $2.8\mu\text{s}$ 그리고 $1.5\mu\text{s}$, 또한 90%의 확률로 $4.5\mu\text{s}$, $4.2\mu\text{s}$ 그리고 $2.9\mu\text{s}$ 보다 작은 지연확산값을 갖는 것으로 조사되었다. 도심에서 도로를 왕복하면서 측정된 결과의 편차는 7% 이내였으며, 부도심의 경우에는 외국의 발표 자료와 비교하여 지역확산의 분포가 3~4 배정도 큰 값으로 관측되었다.

Abstract

An important parameter in characterizing mobile communication channel is delay spread. This paper presents the results of measured delay profiles and calculated distribution functions of delay spread for typical cellular service environments at Taejon and vicinities. The measurement system uses 1023 chip length, 5 Mbps PN code and sliding correlation method. It has been evaluated by using commercial hardware channel simulator for reliability of our data.

As results, the value of mean delay spread is $2.08\mu\text{s}$ for suburban area, $2.12\mu\text{s}$ for urban area and $1.31\mu\text{s}$ for national /local road. Delay spread is less than $3.4\mu\text{s}$, $2.8\mu\text{s}$ and $1.5\mu\text{s}$ for probability of 50% and $4.5\mu\text{s}$, $4.2\mu\text{s}$ and $2.9\mu\text{s}$ for probability of 90% at each tested site. The difference of delay spread is within 7% between going and returning status along same street. In this experiment, we found delay spread for suburban area is larger than reported foreign test results.

* 한국전자통신연구소(Electronics and Telecommunications Research Institute)

I. 서론

이동전파채널의 지연확산특성에 관한 연구는 1972년 미국에서 시작되었으며[1], 유럽에서는 1980년대 말 GSM시스템 설계를 위해 그리고 일본에서는 비슷한 시기에 spread spectrum통신방식에 대한 연구와 병행하여 측정결과가 발표되었고[2], 현재는 개인통신시스템을 위한 기반연구활동으로서 2GHz 대역에 대한 측정결과와 예측 방법이 활발히 논의되고 있다. 국내의 경우에는 지역확산특성 측정시스템 구성 방안에 대한 연구[3]와 소프트웨어에 의한 광대역 채널 시뮬레이션 알고리즘 구현[4] 등의 연구가 있었으며, 측정된 데이터가 보고된 예는 없다.

지연확산특성은 전파채널의 기하학적 구조와 밀접한 관계가 있으므로 해당지역의 지형과 구조물에 따라 그 특성을 달리한다. 국내 지형과 도시구성의 특징은 대도시의 경우, 도시를 형성하고 있는 건축물은 New-York에 비하여 밀도는 높고, 고도가 낮으며, Tokyo와 비교하면 밀도가 낮고 고도는 높다. 또한 도시 외곽지나 교외지의 경우 산지와 구릉이 많은 우리나라의 지형적특징으로 인하여 국내의 다양한 지형적 조건에 대한 지연확산의 분포를 파악할 필요성이 있다.

본 논문에서는 제II절에서 국내 이동통신대역에서의 지연 확산특성을 분석하기 위하여 구성된 지연파측정시스템에 대하여 소개하였으며, 제III절에서는 측정환경과 측정 방법에 대하여 설명하였다. 그리고 제IV절에 측정된 지연파 프로파일의 특성에 대한 고찰과 지연확산의 분석결과에 대하여 논의하였고, 제V절에서 결론을 맺는다.

II. 측정 시스템

[그림 1]은 측정시스템의 구성도이다. 측정시스템은 임의의 시간 t 에서 채널의 impulse response $h(\tau)$ 를 얻기 위하여 PN계열의 자기상관함수 $R_s(\tau)$ 가 $h(t)$ 와 유사한 특성을 갖는 성질을 이용하고 있다.

PN계열신호 $P(t)$ 의 자기상관 함수 $R_s(\tau)$ 는

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

로 정의된다 [그림 2].

송신신호를 반송파 $\omega_d t$ 가 $P(t)$ 에 의해 BPSK 변조된 신호

$$S(t) = P(t) \cos(\omega_d t) \quad (2)$$

라고 하면, 다수의 반사경로를 경유한 i 번째 신호는 크기 A_i , 지연시간 τ_i 그리고 반송파 위상 ϕ_i 를 가지며, 수신신호 $R(t)$ 는 이들 신호들의 중첩으로서 다음과 같이 표현 된다.

$$R(t) = \sum_i A_i P(t - \tau_i) \cos(\omega_d t + \phi_i) \quad (3)$$

수신측에서 상관복조를 위해 사용되는 국부신호를 $Lo(t - \tau)$ 라 하면

$$Lo(t - \tau) = P(t - \tau) \cos(\omega_d t) \quad (4)$$

가 되며, 수신신호와 국부신호의 동상과 직교신호에 대한 각각의 상관출력은 다음의 식으로 나타난다.

$$\text{동상출력 } R_I(\tau) = \frac{1}{2} \sum_i A_i \cos(\phi_i) R_s(\tau - \tau_i) \quad (5)$$

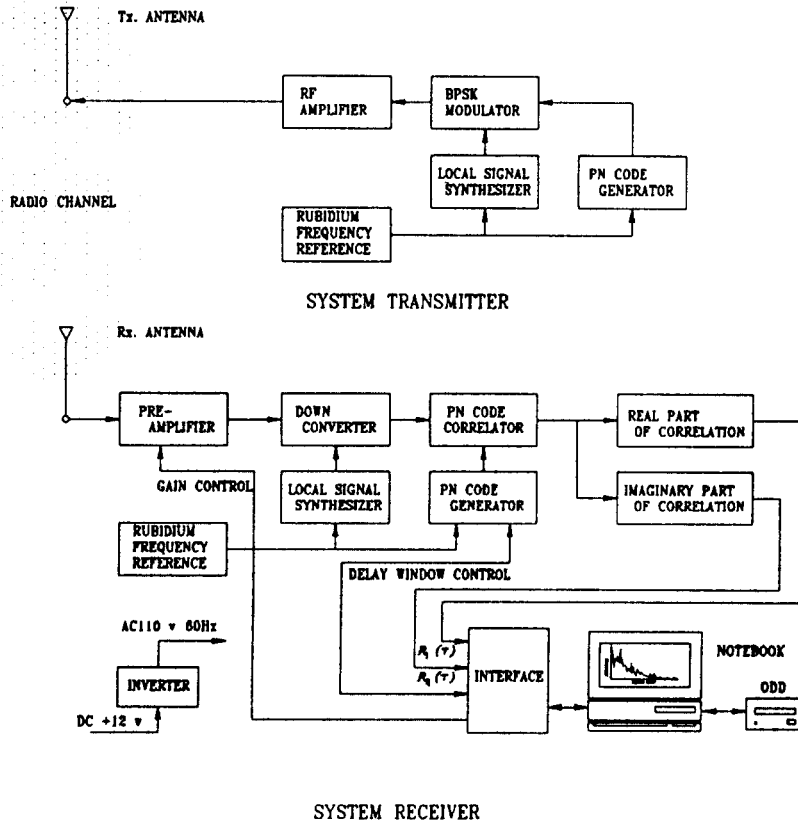
$$\text{직교출력 } R_Q(\tau) = \frac{1}{2} \sum_i A_i \sin(\phi_i) R_s(\tau - \tau_i) \quad (6)$$

한편 Magnitude는

$$h(\tau) = \sqrt{R_I^2(\tau) + R_Q^2(\tau)} = \frac{1}{2} \sum_i A_i R_s(\tau - \tau_i) \quad (7)$$

로 얻어진다.

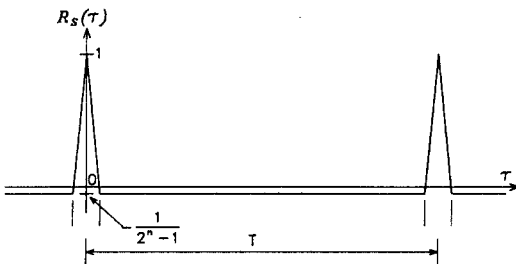
상관출력 $h(\tau)$ 는 지연시간이 τ 인 도래파에 대하여 $t = \tau_i$ 인 경우에만 그 진폭, A_i 에 따른 상관값을 가지므로, 수신신호 $R(t)$ 와, τ 에 의해 위상이 변화(sliding)하는 참조 PN계열 $P(t - \tau)$ 와의 상관출력



[그림 1] 측정시스템의 구조

[fig. 1] schematic diagram of multipath measurement system

$h(\tau)$ 는 도래하는 다중파의 지연시간과 진폭에 따르는 delay profile이 된다[6].



[그림 2] PN-code의 상관특성

[fig. 2] Correlation property of PN-code

Delay profile의 특성 $h(\tau)$ 로부터 평균지연시간 (average delay) D_{XM} 와 지연확산(delay spread) S_{XM} 은 다음과 같이 계산된다[7].

m 개의 profile에 대하여 power delay profile의 평균은

$$P_{XA}(\tau) = \frac{1}{M} \sum_{i=1}^M h_i(\tau)^2 \quad (8)$$

평균지연시간 D_{XM} 은 m 개의 시계열에 대한 delay time에 대한 기대치를 나타내는 파라미터로서 다음과 같다.

$$D_{XM} = \frac{1}{E_{XM}} \int_0^{t_1} \tau P_{XA}(\tau) d\tau \quad (9)$$

여기서 E_{XM} 은 $P_{XM}(\tau)$ 의 total power로서

$$E_{XM} = \int_0^{t_1} P_{XA}(\tau) d\tau \quad (10)$$

로 계산된다.

평균 Power Delay profile $P_{XA}(\tau)$ 의 표준편차를 지연확산이라 하며 다음의 식으로 계산된다.

$$S_{XM} = \sqrt{\frac{1}{E_{XM}} \int_0^{t_1} \tau^2 P_{XA}(\tau) d\tau - D_{XM}^2} \quad (11)$$

Delay spread는 m 개의 시계열에 대한 delay time의 확산정도를 나타낸다.

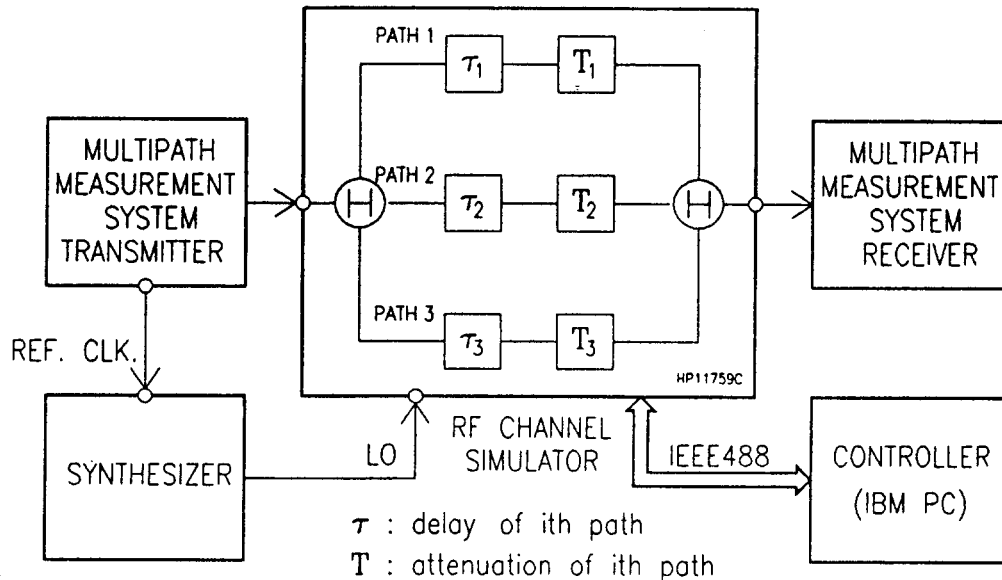
측정값의 신뢰성을 제고하기 위하여 상용 RF channel simulator를 이용하여 시스템을 교정, 평가하였다. 교정에서 사용한 RF channel simulator는

통신시스템의 송수신간에서 임의의 채널 파라미터를 물리적으로 부가할 수 있는 시스템으로서, 3개의 전파경로에 대하여 각각 time delay (τ_i), attenuation(T_i) 등의 설정된 파라미터를 구현하여준다. 교

[표 1] 시스템 제원

[Table. 1] System specifications

CARRIER FREQUENCY	816.0MHz
FREQUENCY STABILITY	10^{-11} /s
TEST SIGNAL PN CODE	M-SEQUENCE, 1023 bit
CODE CHIP RATE	5.0Mbps
MODURATION	DS-SS
DETECTION	CORRELATION RECEIVER
TIME RESOLUTION	0.2 μ s
AMPLITUDE DYNAMIC RANGE	> 35dB
TRANSMITTER OUTPUT POWER	< 3W
ANTENNA(Tx, Rx.)	$\frac{1}{2}\lambda$, MONOPOLE
RECEIVING ANTENNA HEIGHT	2.1m



[그림 3] 측정시스템의 교정과 평가를 위한 구성

[fig. 3] Configuration for system calibration and evaluation

정방법은 송신신호를 RF channel simulator의 입력에 인가하고, simulator 내부의 각 경로에 대하여 서로 다른 임의의 τ_i 와 T_i 를 부여한 후, 설정된 값과 측정시스템 수신부에서 측정한 값을 비교하였다(그림 3). 평가결과, 측정시스템은 time축에서는 0~204.5 μ s에 대하여 200ns의 정확도로 비례관계를 가지며, amplitude축에 대해서는 ± 2 dB의 오차 범위로 35dB의 영역에서 선형성이 있음을 확인하였다. 측정시스템의 제원을 [표 1]에 정리하였다.

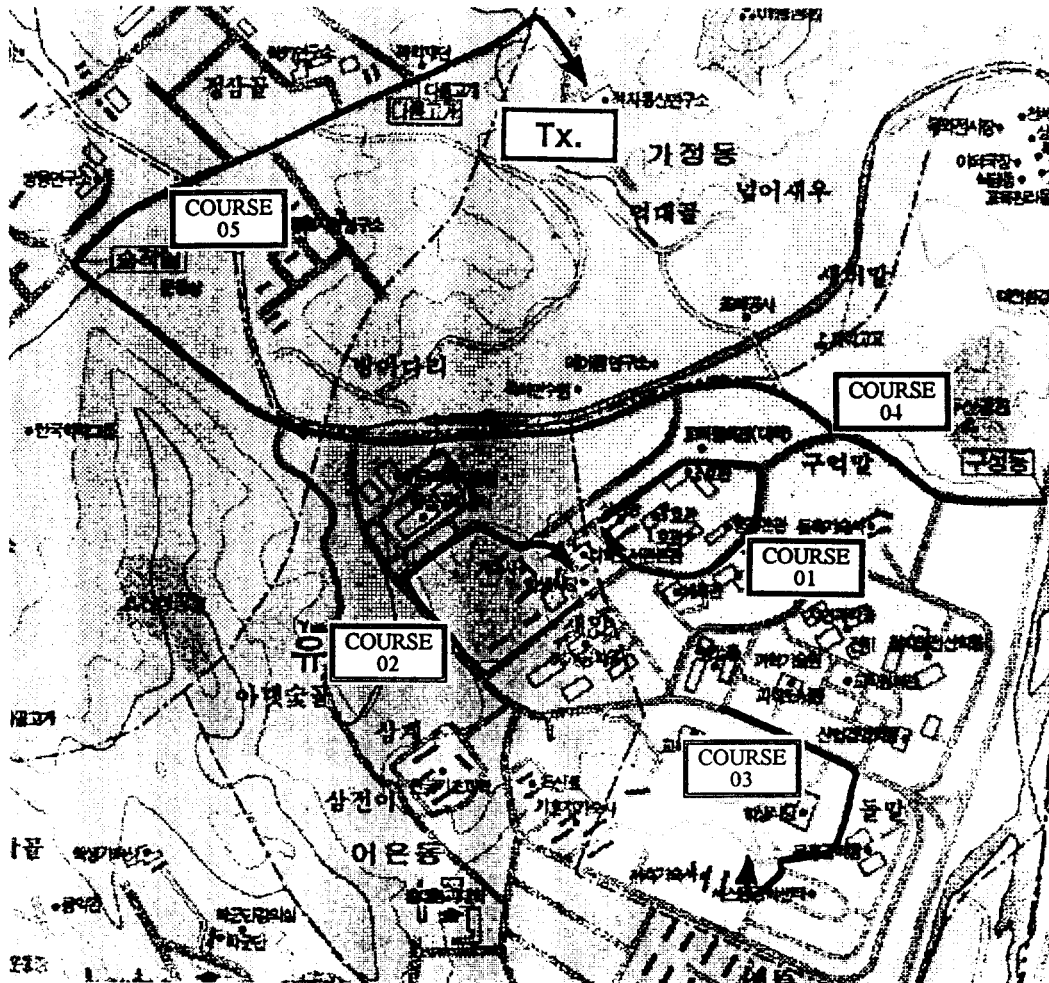
III. 측 정

3.1. 측정지역

측정구역을 전형적인 이동통신 사용 환경인 부도심과 도심 그리고 국도로 크게 나누어 각 구역에 대하여 5개의 측정 course를 선정하였다.

(1) 부도심

부도심으로 선정된 대덕연구단지에서의 측정 course 1~5 [그림 4] (a)에서 보인 것과 같이 갑천



(a) 대덕연구단지 (course 01 ~ course 05)

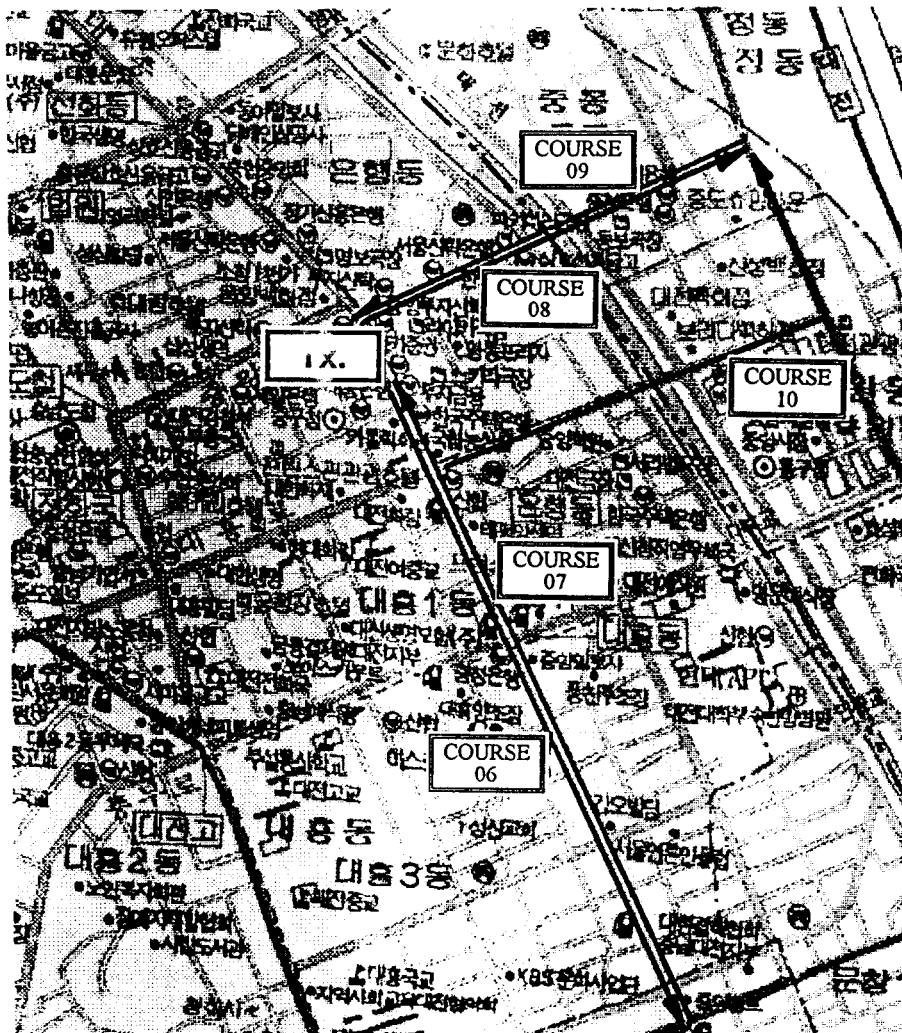
(a) Taedok Science town(course 01 ~ course 05)

을 사이에 두고 15층규모의 아파트단지가 위치하고 있다.

송신안테나는 지상고 35m인 한국전자통신연구소 구내의 연구동 옥상에 위치하였으며, course 1, 2는 과기대 구내 도로, course 3은 과학원 구내 도로 그리고 course 4와 5는 구성동 3가에서 한국전자통신 연구소의 제1연구동 앞에 이르는 경로를 선정하였다.

(2) 도 심

Course 6~10은 도심지로 선정된 대전시중심부 [그림 4] (b)이며, 송신부는 중앙로 4가 부근의 지상고 26m인 7층 건물 옥상에 위치하였다. Course 6, 7은 시 외곽으로 빠지는 도로를 왕복 주행한 경로이며, 이 경로는 3~5층 건물이 편도 2차선 도로 양측으로 배치되어있다. Course 8~9는 [그림 5] (b)에서와 같이 3~10층 규모의 건물이 분포하고 있는 대



(b) 대전직할시 중심부(course 06~ course 10)

(b) Central street of Taejon city(course 06 ~ course 10)

전시내 중앙로의 왕복 주행한 경로이다. Course 10은 송수시간 시선거리가 완전히 차단된 간선도로이며 도로 양측에 2~6층 건물이 분포되어 있는 지형적 특징을 가진다.

(3) 일반 국도

Course 11~15는 일반 국도로 선정된 계룡산 인근

의 32번 국도와 641번 지방도이다[그림 4] (c). 송신부는 지상고 15m에 위치하였고, course 11은 641번 지방도상의 박정자로부터 학봉리, course 12는 학봉리~자작교, course 13은 39번 국도의 박정자에서 반포면 온천리까지, course 14는 39번 국도상의 박정자로부터 유성컨트리클럽 입구에 이르는 도로 그

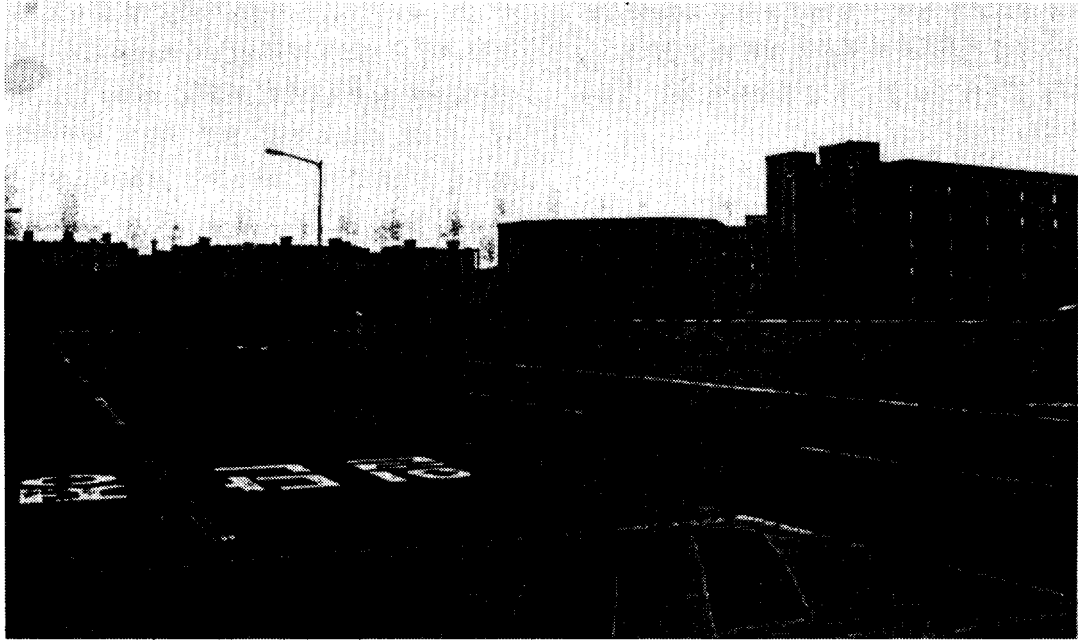


(c) 계룡산 지구(course 11 ~ course 12)

(c) Mountain Kye-ryoun area(course 11 ~ course 15)

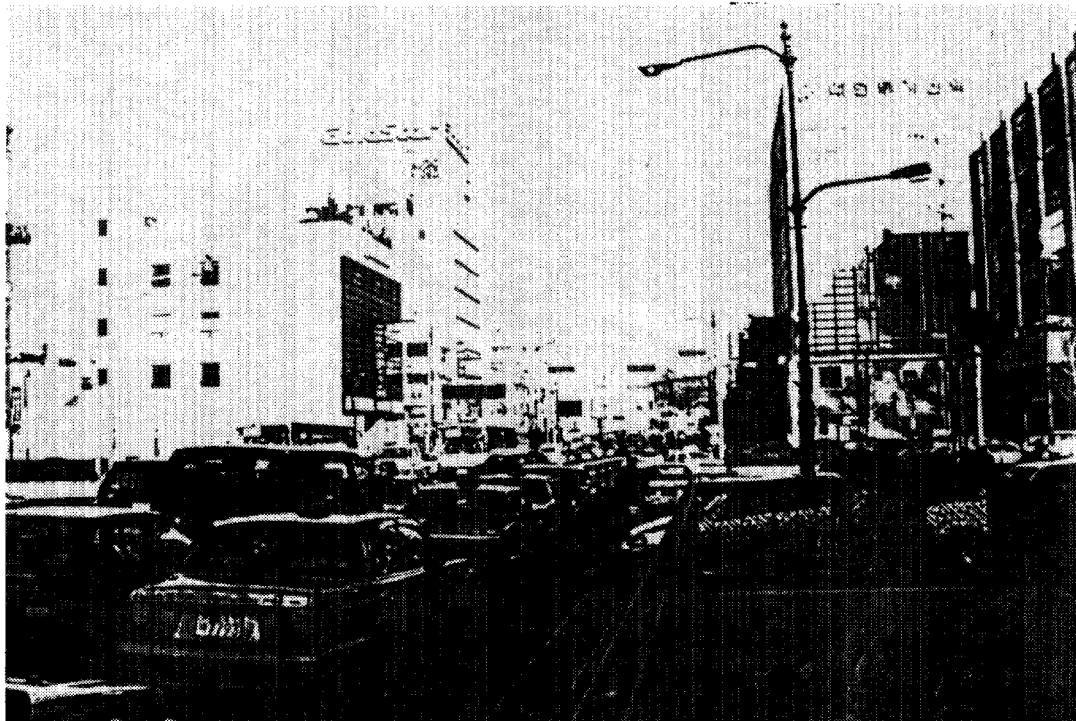
[그림 4] 측정 지역에 대한 지도

[Fig. 4] The map of test areas



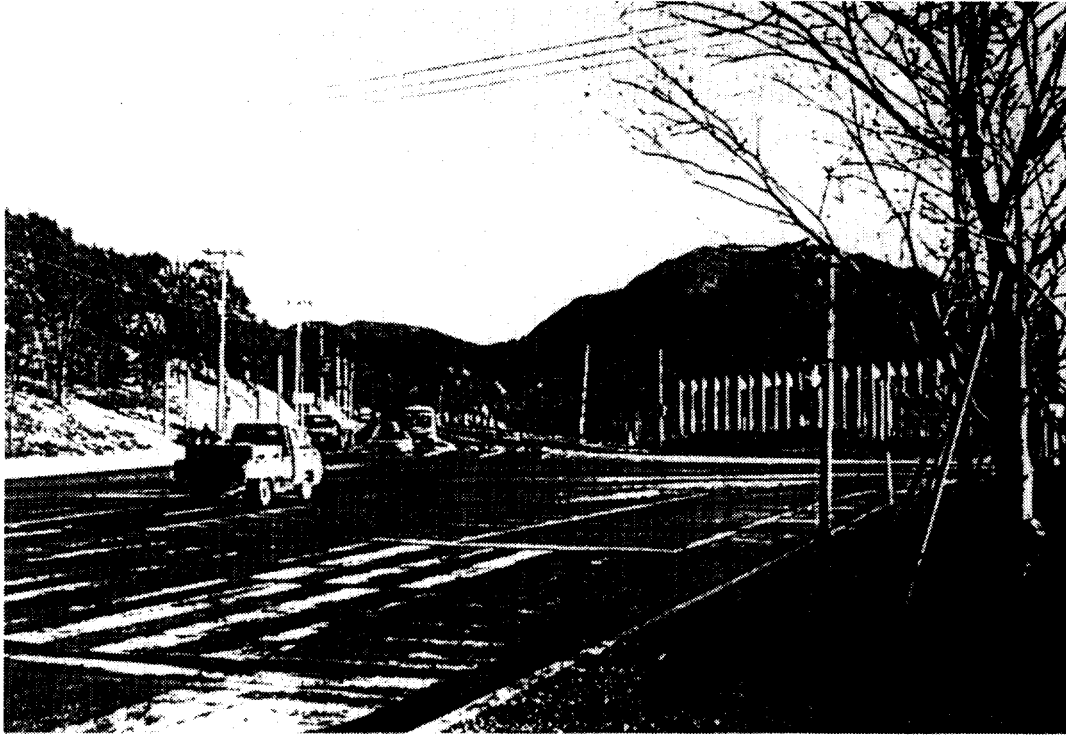
(a) 대덕연구단지의 과학기술원 구내

(a) Inside of KAIST in Taedok science town



(b) 대전시 중심부의 중앙로

(b) Joong-ang Street at Central of Taejon city



(c) 박정자

(c) Parkjungia.

[그림·5] 각 측정지역의 대표적 주위환경

[Fig. 5] Typical surroundings for test areas

리고 course 15는 39번 국도의 삼재 정상으로부터 박정자에 이르는 경로를 선정하였다. 이 지역은 도로양측에 수 10m의 평지를 두고 100~300m의 산이 분포하고 있다[그림 5] (c).

3.2. 측정 방법

측정시스템의 송신부를 기지국으로하고, 수신부를 상용 Jeep에 설치된 rack에 장착하여 이동국으로 하였다. 측정신호는 $3\mu\text{W}/\text{Hz}$ 이내의 송신출력전력 밀도를 갖는 미약전력을 사용하였다. 송신국 안테나의 고도는 현 AMPS기지국 안테나의 평균지상고인 26m에 가능한한 근접한 조건을 선택하였고 수신국 안테나의 지상고는 2.1m이다.

측정대상지역으로 선정한 총 15개의 course에 대하여 각각 250개의 power delay profile을 수집하였으며, 측정된 profile의 최대 거리 간격은 시스템의 분해능인 60m의 1/8에 해당하는 7.5m로 하였다. 통계에 사용된 전체 profile의 수는 3,750개 이다.

전파채널을 거쳐 수신부에서 처리한 복소 delay profile $R_I(\tau)$, $R_Q(\tau)$ 는 동시sampling형의 A/D 변환기를 이용하여 Notebook으로 입력된다. Notebook은 수신기의 Power delay profile 관측장의 조절, 수신기 이득제어, 수신기 상태 감시, 데이터 처리와 file 관리기능을 수행한다. Magnitude와 power delay profile의 계산은 file로 저장된 $R_I(\tau)$, $R_Q(\tau)$ 신호를 이용하여 software로 처리하였다.

수신신호의 크기는 송신점으로부터의 거리, 장애

물의 유무와 수신부의 이득에 따라 변동한다. 본 연구에서는 한 course에 대하여 가장 큰 finger를 갖는 delay profile의 최대값을 0dB로 정규화하였고, -30dB를 threshold로 설정하여 그 이하의 값은 절삭한 후 지연과 파라미터와 분포를 산출하였다.

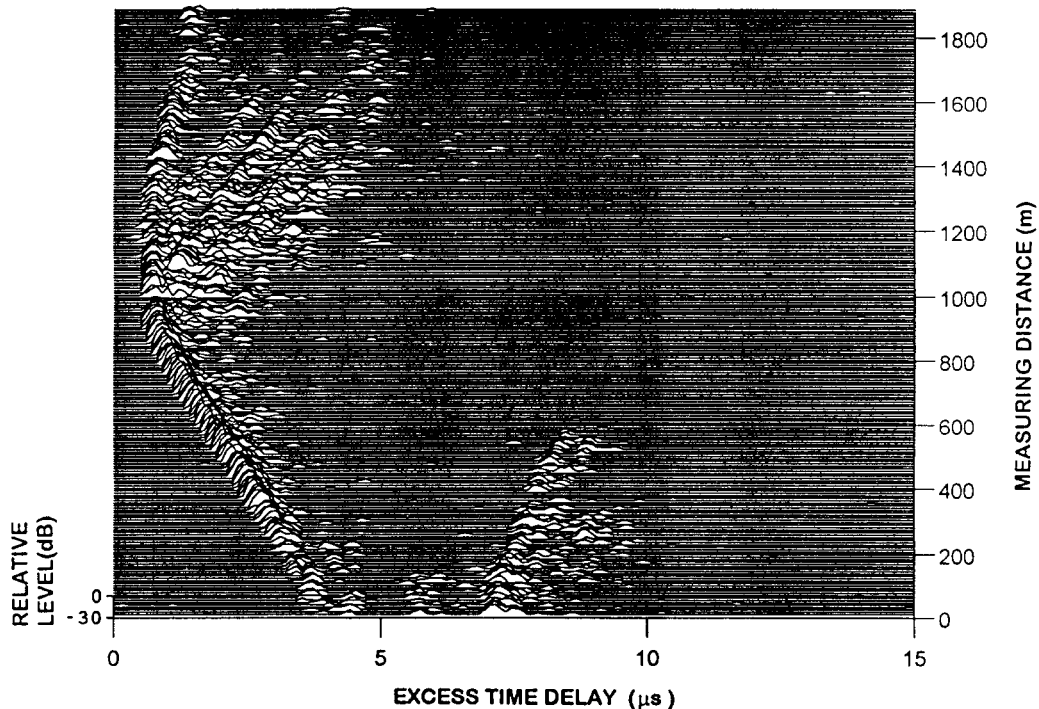
IV. 측정 결과

[그림 6] (a)~(d)는 해당 측정 course에서 측정하여 주행거리에 따라 변화하는 power delay profile의 전형적인 형태이다. Power delay profile은 일반적으로 시간축방향에 대하여 지수적으로 감소하는 특성을 가지는 것으로 알려져있으나 실제 환경에 있어서는 제시된 그림과 같은 매우 다양한 형태로 관측됨을 알 수 있다.

지수적으로 감쇄되는 일반적인 예를 [그림 6] (c)

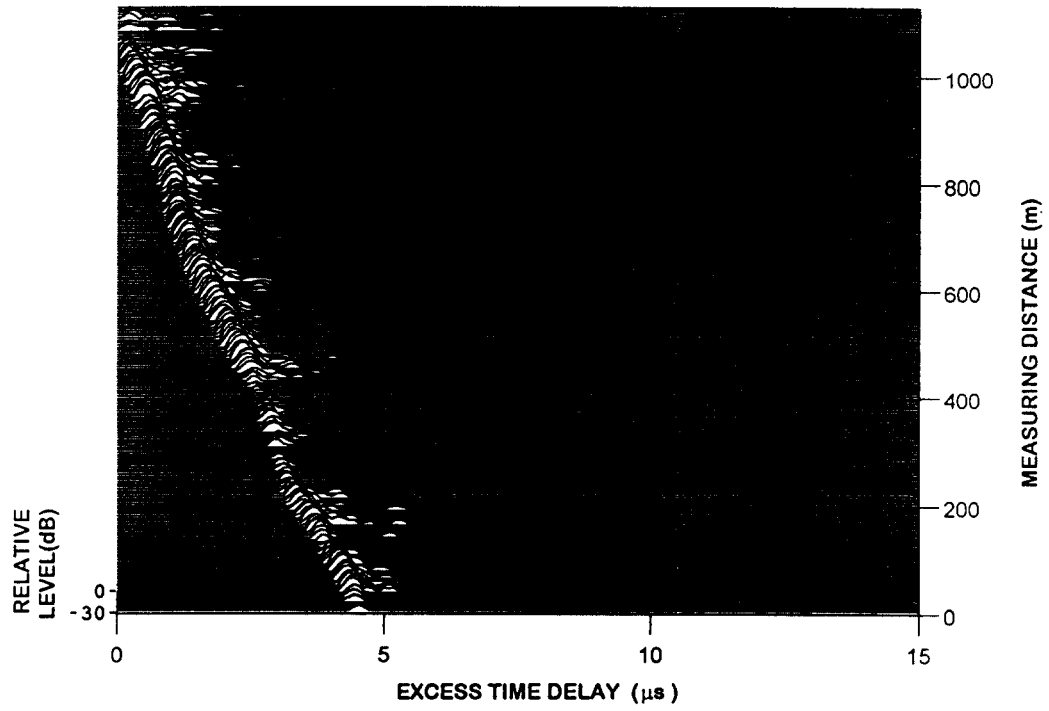
에서 볼 수 있다. 이 데이터의 측정환경인 course 11은 송수신채널간에 두드러진 장애물이 없으며, 기하학적으로도 특이성이 없는 경우이다. [그림 6] (b)의 경우는 매우 단순한 profile들의 예이다.

직접파 또는 회절파에 비하여 반사파가 큰 경우는 두번째 이상의 finger가 두드러지며, [그림 6] (a)의 0~10번과 [그림 6] (d)의 180번 부근에서 볼 수 있다. Finger와 finger 사이에 큰 공백을 갖는 예를 [그림 6] (a)의 0~70번째 거리축에서 볼 수 있다. 이 경우는 갑천을 경계로 하여, 수신점의 건너편에 위치한 아파트단지에 의한 영향으로서 지형구조와 delay profile의 관련성을 명확히 보여주는 사례이다. 또한 이 경우에서 수평방향으로 길게 배치되어 있는 대단위 아파트단지가 채널에 대하여 중요한 영향을 주는 반사체로 작용함을 알 수 있었다. 이동국이 고개(삼재)를 넘는 시점에서 직접파가 단절되고



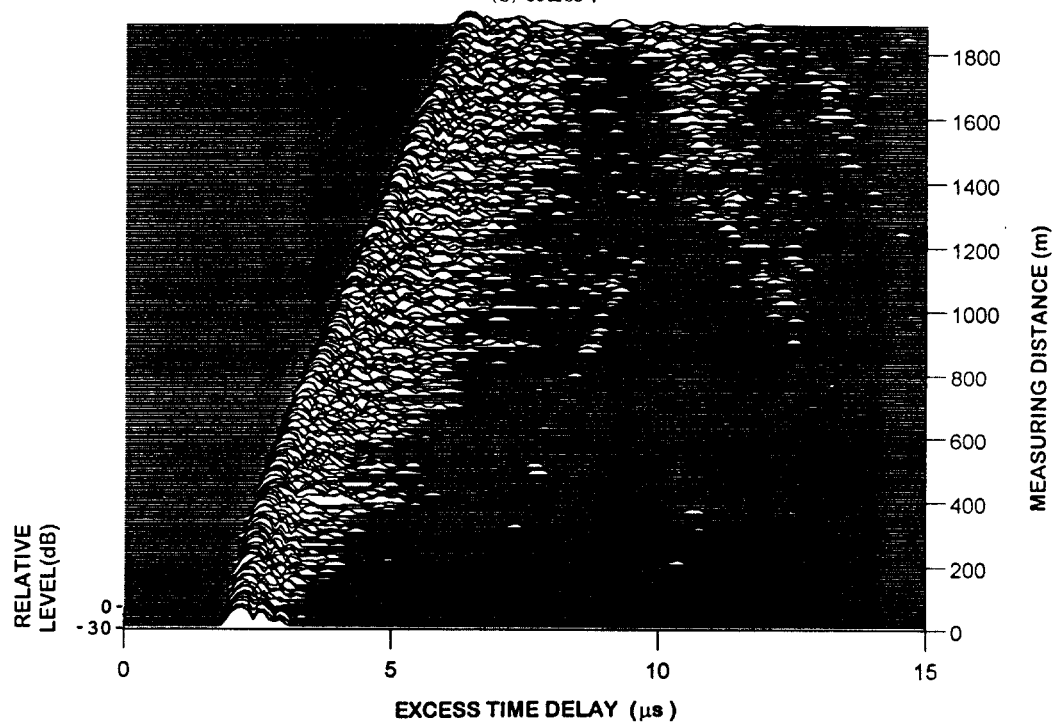
(a) 코스 4

(a) course 4



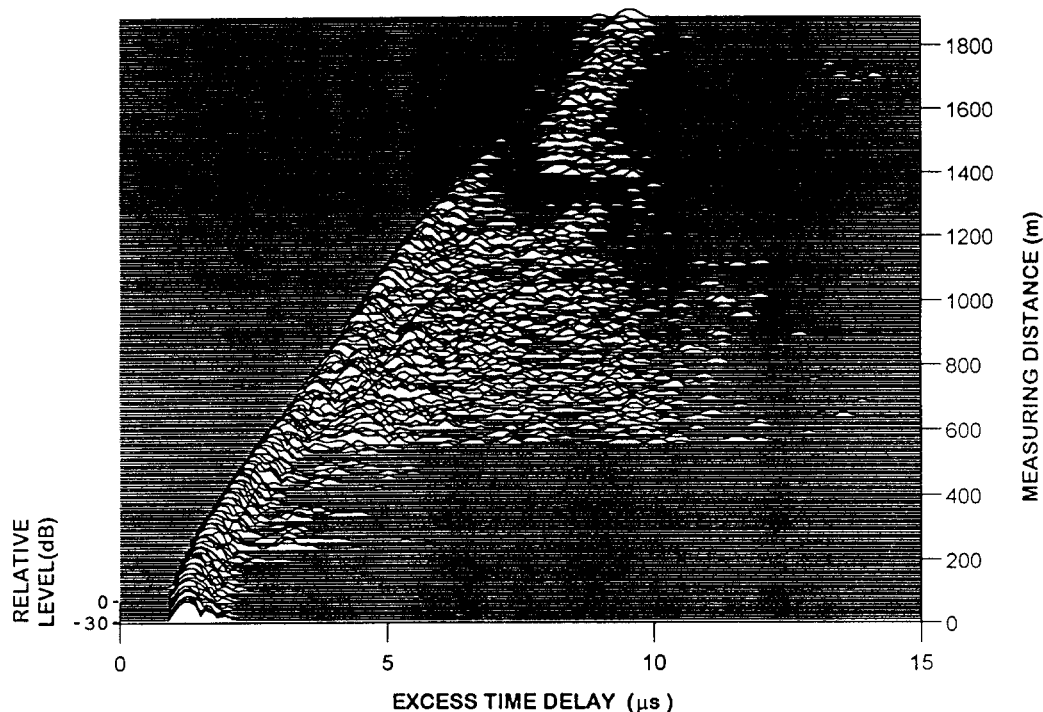
(b) 코스 7

(b) course 7



(c) 코스 11

(c) course 11



(d) 코스 14

(d) course 14

〔그림 6〕 각 측정 코스에서의 시변 power delay profile

[Fig. 6] Time varying power delay profile for each test course

반사파만이 수신되는 경우의 예를 [그림 6] (d)의 175번 거리측에서 볼 수 있다.

이상의 다양한 주위 환경과 연계성을 갖고 나타나는 delay profile에 대하여 average delay time과 delay spread의 상관 관계를 분석한 결과를 [그림 7]에 도시하였다.

상관계수는 1.122로서 기존의 측정 데이터와 유사한 결과를 얻었으며, 이는 옥내와 옥외에서 공통적으로 1내외의 값을 가지는 것으로 조사되어 있다 [5], [7].

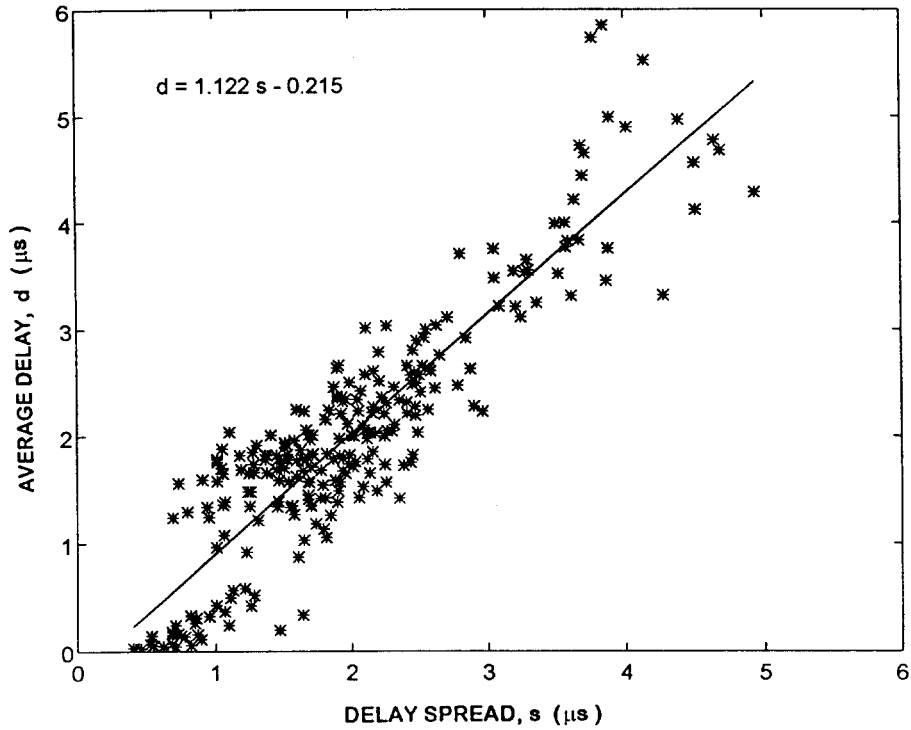
각 측정 course에 대하여 산출한 지연확산의 분포와 누적분포를 측정구역별로 나누어 [그림 8]과 [그림 9]에 정리하였다.

[그림 8] (a)는 측정 course 1~5에서 측정된

data의 delay spread에 대한 histogram으로서 반경 1km이내의 지역에서도 delay spread의 개별값이 0.2~5.3 μ s 평균값은 1.34~3.09 μ s 까지로 매우 변동폭이 큰 것을 알 수 있다.

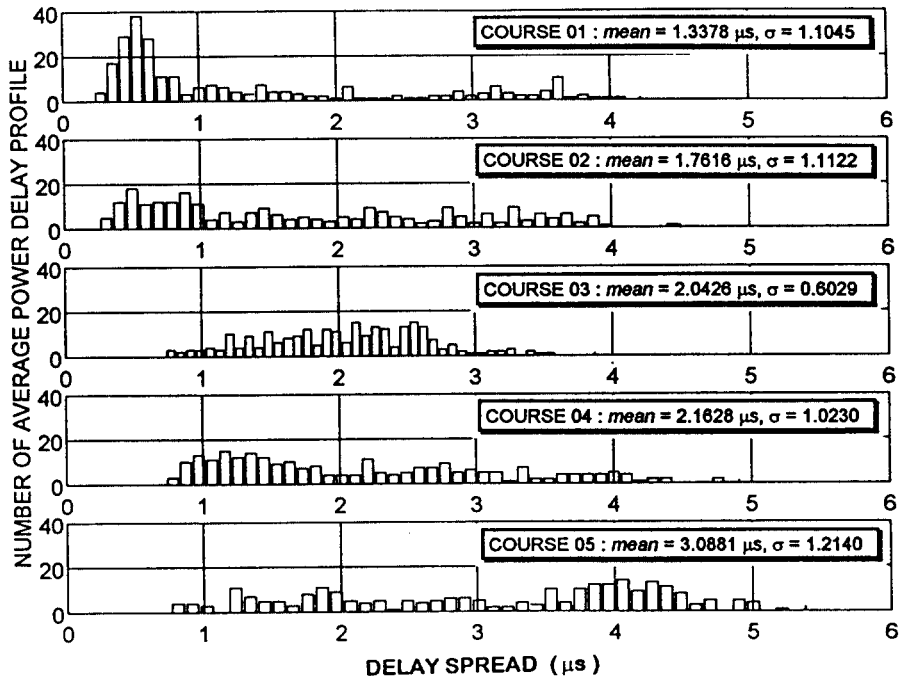
[그림 9] (a)는 이들 delay spread의 CDF를 나타낸다. 그림은 전체 course에 대하여 50%의 영역에서 3.4 μ s, 90%의 영역에서 delay spread가 4.5 μ s보다 작은 결과를 보여준다.

[그림 8] (b)는 측정 course 6~10에서 측정된 data의 delay spread에 대한 histogram으로서, 전체적으로 지형지물의 혼잡도에 따라, 가시거리 확보여부에 따라 분포가 일관성을 갖는 것을 보여준다. Course 6,7과 course 8,9는 동일한 course를 왕복하여 얻어진 결과로서 주행 방향에 따른 지연확산의



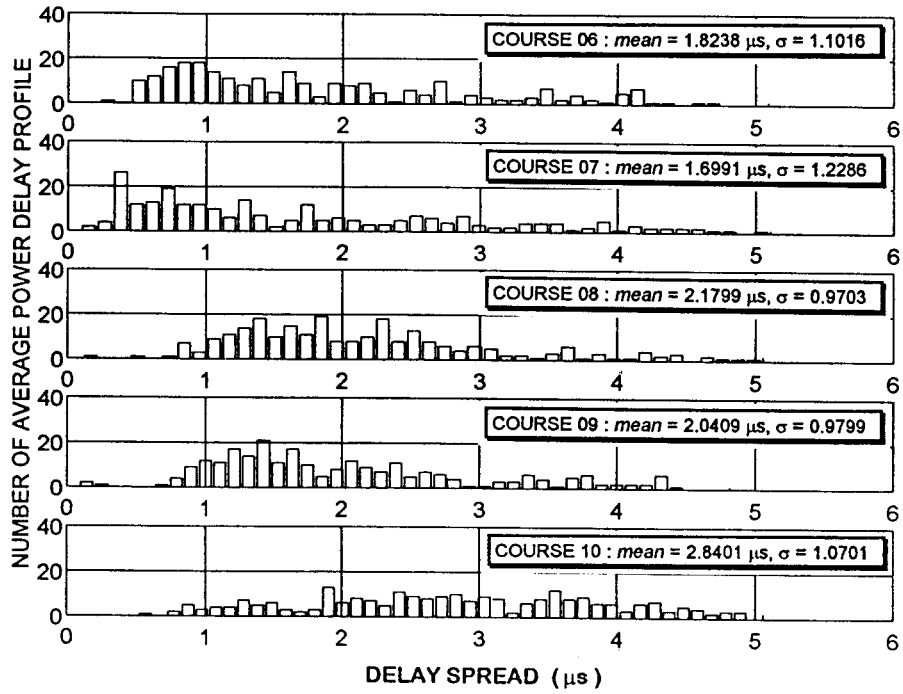
[그림 7] 측정데이터로부터 산출한 average delay 와 delay spread의 상관

[Fig. 7] Correlation fitting of average delay vs. delay spread calculated from measured data.

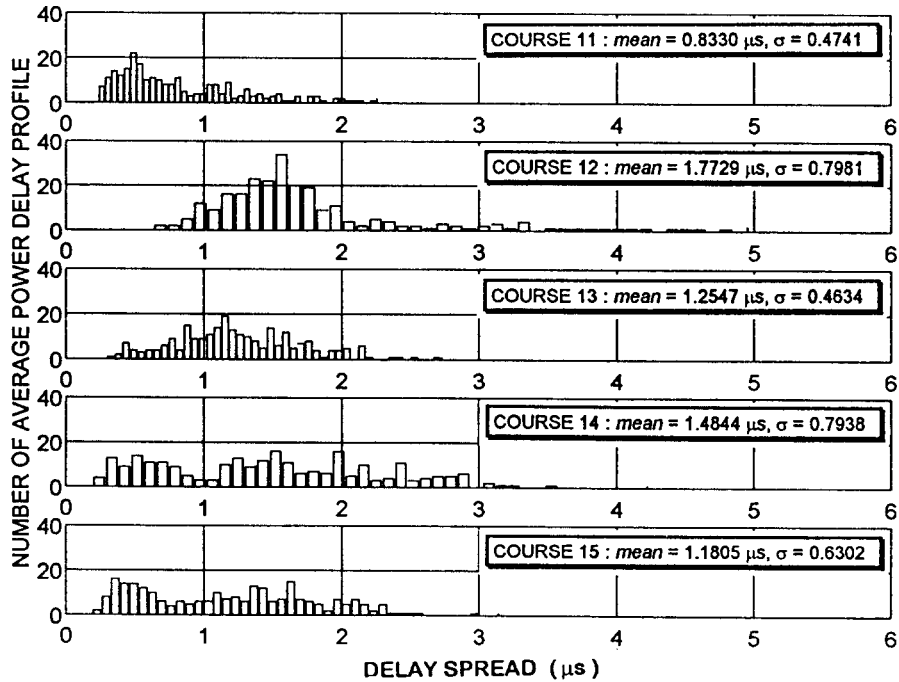


(a) 측정코스 1~5

(a) For test course 1 to 5

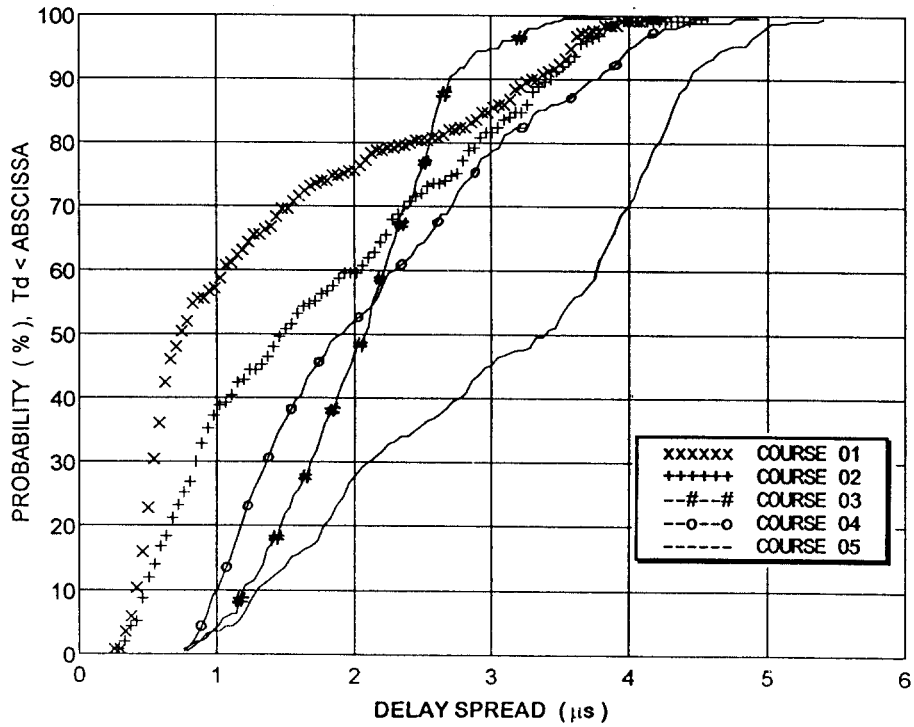


(b) 측정코스 6~10
(b) For test course 6 to 10



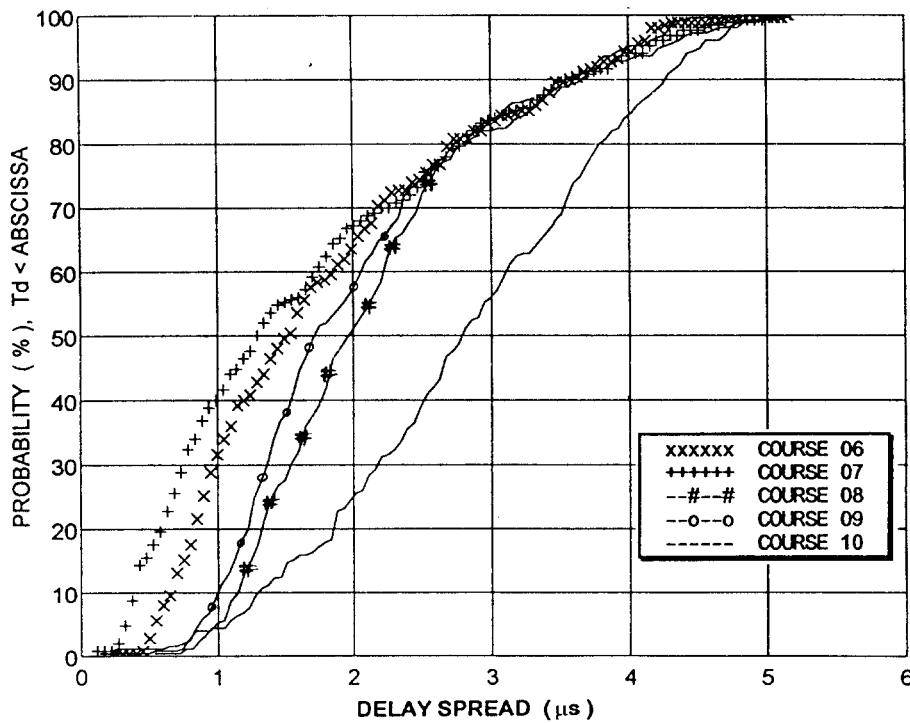
(c) 측정코스 11~15
(c) For test course 11 to 15

[그림 8] Delay spread의 분포
[Fig. 8] Histogram of delay spread



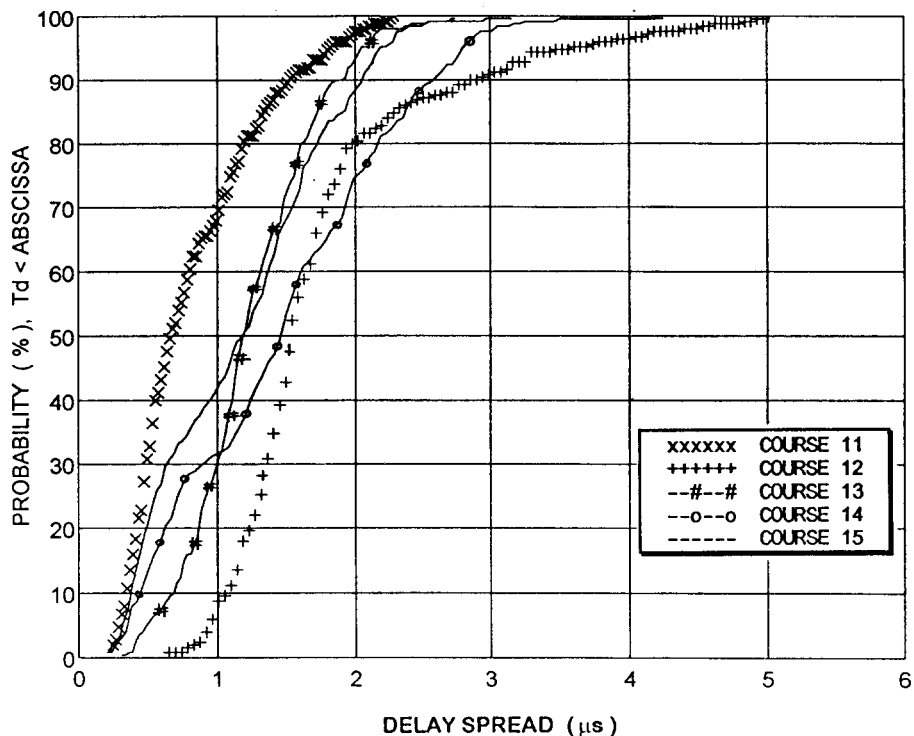
(a) 측정코스 1~5

(a) For test course 1 to 5



(b) 측정코스 6~10

(b) For test course 6 to 10



(c) 측정코스 11~15

(c) For test course 11 to 15

[그림 9] Delay spread값의 cumulative distribution function

[Fig. 9] Cumulative distribution function of delay spread

편차가 7%보다 작음을 확인하였다.

[그림 9] (b)는 이들 course에서의 delay spread 의 CDF를 나타낸다. 그림은 전체 course에 대하여 50%의 영역에서 2.8 μ s, 90%의 영역에서 delay

spread가 4.2 μ s 보다 작다.

[그림 8] (c)는 측정 course 11~15에서 측정된 data의 delay spread에 대한 histogram이다. 지연확 산의 값이 course 1~10의 결과보다 작은 값에 분포

[표 2] 다중반사파 특성 파라미터.

[Table 2] Multipath parameters from the experiment

PARAMETERS	부도심 (COURSE 01 ~ 05)	도심 (COURSE 06 ~ 10)	국도 (COURSE 11 ~ 15)
MEAN DELAY TIME	1.29 ~ 3.25 μ s	1.69 ~ 2.97 μ s	0.72 ~ 1.77 μ s
CORRESPOND PATH LENGTH	385 ~ 975 m	507 ~ 891 m	215 ~ 532 m
MEAN DELAY SPREAD	2.08 μ s	2.12 μ s	1.31 μ s
RANGE OF DELAY SPREAD	1.34 ~ 3.09 μ s	1.70 ~ 2.84 μ s	0.83 ~ 1.77 μ s
MAXIMUM(-30dB)	4 ~ 10 μ s	2 ~ 7.5 μ s	4 ~ 10 μ s
CORRESPOND PATH LENGTH	1.2 ~ 3 km	0.6 ~ 2.25 km	1.2 ~ 3 km

하는 것을 알 수 있다. 이들 course에서의 delay spread의 CDF를 [그림 9] (c)에 나타내었다.

그림은 전체 course에 대하여 50%의 영역에서 $1.5\mu\text{s}$, 90%의 범위에서 delay spread가 $2.9\mu\text{s}$ 이내에 있다.

최대 finger에 대하여 상대 level이 -30dB 인 finger의 지연폭으로 정의되는 maximum delay(최대지연)는 course 3, 14와 15에서 가장 큰 값($10\mu\text{s}$)이 관측되었다.

부도심, 도심, 일반 국도로 구분되는 세가지 유형의 환경에 대하여 분석한 대표적인 지연과 파라미터의 결과를 [표 2]에 정리하였다.

V. 결 론

지연확산특성을 조사하기 위하여 구성된 측정시스템과, 측정된 다양한 유형의 power delay profile을 소개하였다. 측정 data를 분석한 결과는 지연확산의 평균이 부도심에서 $2.08\mu\text{s}$, 도심에서는 $2.12\mu\text{s}$ 그리고 일반 국도에서는 $1.31\mu\text{s}$ 이며, 지연확산의 분산은 각각 0.65, 0.44, 0.35로 나타났다. 각 측정구역에서 지역확산의 크기가 50% 이내에서 $3.4\mu\text{s}$, $2.8\mu\text{s}$, $1.5\mu\text{s}$, 그리고 90% 이내에서 $4.5\mu\text{s}$, $4.2\mu\text{s}$, $2.9\mu\text{s}$ 이며, 도로의 왕복 방향에서 측정된 지연확산의 편차는 7%이내인 것으로 조사되었다. 도심의 교차로에서 지연확산이 증가하는 경향이 있으며, 부도심으 대단위 아파트단지가 지연확산값을 크게 증가시킬 수 있는 요인으로 작용함을 보았다.

Delay spread는 시가지에서 가장 큰 값을 가지며, 뉴욕에서 측정된 결과[9]와 유사한 결과로 나타났으며, 측정지역 중 부도심지로 선정된 course 1~6의 경우 Cox의 결과[1]에 비하여 3~4배 정도 큰 지연분산값을 갖는 것으로 조사되었다.

참 고 문 헌

- [1] D.C. Cox, "Delay Doppler Characteristics of Multipath Propagation at 910 MHz in a Suburban Mobile Radio Environment," IEEE Trans. AP-20, vol.5, pp.625-635, Sep. 1972
- [2] Mitsuhiro Mizuno, Eimatsu Moriyama and Takeshi Manabe, "An Overview of Recent Propagation studies for Land Mobile Communications," IEICE Trans. Comm., vol.E76-B, no.2, Feb. 1993.
- [3] 유병철, 한영렬, "레이리페이딩과 위성통신채널의 지연 프로파일 측정방법," 한국통신학회 하계종합학술발표회 논문지, vol.9, no.2, pp. 758-761, 1990.
- [4] 박태준 외, "Suzuki 페이딩 채널에 대한 광대역 채널 시뮬레이션 알고리즘," 한국통신학회 논문지, vol.19, no.8, pp.1493-1501, 1994.
- [5] Theodore S. Rappaport, "Characterization of UHF Multipath Radio Channels in Factory Building," IEEE Trans. on antenna and propagation, vol.37, no.8, pp.1058-1069, Aug. 1989.
- [6] 이 동주 외, "대역확산신호를 이용한 다중반사파측정시스템의 개발," 한국통신학회 추계종합학술발표회 논문지, vol.12, No.12, pp.617-619, Nov. 1993.
- [7] J.D. Parsons, "Mobile Radio Propagation Channel," John Wiley & Sons, New York, 1992.
- [8] J.D. Parsons, "Mobile Communication System," John Wiley & Sons, New York, 1989.
- [9] D.C. Cox, "910 MHz Urban Mobile Propagation Multipath Characteristics in New York City," IEEE Trans. comm., vol. COM-21, no. 11, pp.1188-1193, Nov. 1973.