DBpia



# 도로변에서의 2.4GHz 전파 다중경로 전파특성 측정

정회원 오 종 택*, 조 동 권**

# A Measurement of Multi-path Propagation Characteristics for 2.4GHz Radio at roadside

Jong-taek Oh*, Dong-kwon Cho** *Regular Members*

요 약

ITS(Intelligent Transport System: 지능형교통시스템)에서 노변장치 및 차량 단말기사이의 근거리통신은 매우 중요한 역할을 차지한다. 노변통신은 통신 환경이 근거리이고 데이터의 전송 속도가 빠르며 통신 가능 시간이 짧다는 독특한 특성이 있고, 도로 환경에 따라 전파의 전파특성이 매우 다르다. 따라서 원하는 통신 성능을 얻기 위해서는 도로변에서의 전파 다중경로 전파특성의 분석이 필수적이다.

ABSTRACT

Short range communications between road-side equipments and on-board equipment is very important for ITS(Intelligent Transport System). Roadside communication is for short range communication, and needs performance of high data bit rate and should support the function for very short term communication. In addition to it, a radio propagation characteristics is very different according to a road environment. In this paper, for reliable roadside communication, the radio multi-path propagation profile at roadside is measured and the characteristics is analyzed.

## Ⅰ. 서 론

ITS는 기존의 교통시설에 정보통신과 차량제어기술을 접목하여 도로 효율과 편의성, 안정성 등을 향상시키기 위한 것으로, 이동하는 차량을 대상으로 하므로 무선통신이 핵심적인 역할을 수행한다. 특히 이동통신과 같이 범용 통신망이 아니라, ITS 전용 서비스를 위한 노변통신(DSRC: Dedicated Short Range Communication)의 경우에는 통행료 징수를 비롯한 다양하고 까다로운 ITS 서비스들을 지원할 수 있으므로 ITS 통신기술의 핵심이 될 것이다.

노변통신의 경우 초기에는 대부분 수m에서 수십m 정도의 통신 영역을 지원하고 통과하는 차량의 속도가 100km 이상의 고속이므로 통신 가능 시간이 수십 msec 정도로 매우 짧다. 따라서 데이터 비트의 전송 속도가 보통 500kbps에서 1Mbps에 이른다. 그러나 통행요금징수장치 등의 경우 통신거리가 매우 짧고 지향성이 큰 안테나를 사용하므로 전파 다중경로 전파로 인한 페이딩 현상이 거의 없었다. 하지만 최근에는 국제적으로 차세대 DSRC 기술이 개발되면서 데이터의 전송 속도가 4Mbps 내지는 10Mbps 이상으로 대폭 향상되고 있으며, 통신 영역의 크기도 최대 1km에 이르고 있다[1]. 이런 경우에는 안테나의 지향성 또한 작아지게 되므로 페이딩 현상의 급속한 증가가 예상된다.

무선통신에 있어 중요한 기반기술 중의 하나는 통신채널특성에 관한 것이다. 통신채널특성에 따라 통신시스템에서 고려되어야 할 세부 요구사항 들이 결정되며, 가격과 성능, 기능의 설계가 가능하고, 제작된 통신시스템이 성공적으로 사용될 수 있다. 특

* 한성대학교 정보통신전공 무선통신연구실(jtoh@hansung.ac.kr), ** 한국통신 통신망연구소 (dkcho@kt.co.kr)
논문번호 : K01152-0709, 접수일자 : 2001년 7월 9일
※ 본 연구는 2001년도 한성대학교 교내연구비 지원과제로 수행되었습니다.



Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

히 무선통신채널 특성은 거리에 따른 전파전파 감쇠와 다중경로 특성이 가장 중요하다. 감쇠에 따른 링크 버짓과 출력, 통신 거리 등이 분석되며, 다중경로에 따른 페이딩을 극복하는 기술이 도입되어야 한다.

본 논문에서는 2.4GHz 대역에서 광대역 신호를 이용하여 도로변의 전파전파 다중경로 특성을 측정한 방법과 그 결과에 대해서 기술하였다. 차세대 DSRC 시스템에 대한 페이딩 영향을 고려할 때 본 연구결과가 활용될 수 있다.

## Ⅱ. 측정 시스템 구성

전파 다중경로 전파특성을 측정하는 방법에는 크게 세가지가 있다[2]. 본 연구에서는 그 중에서 송수신기 사이의 거리가 멀 때 사용이 가능한 대역확산 방식의 슬라이딩 상관기를 사용하였다[3][4][5].

### 1. 랜덤신호에 의한 시스템 응답 측정

정상 랜덤신호 $x_n$이 전달함수가 $H(z)$인 선형 시스템에 입력되었을 때, 출력 랜덤신호를 $y_n$이라고 하고, 이 때 $H(z)$가 식(1)과 같으면[6],

$$H(z)=\sum_{n=0}^{\infty} h_n z^{-n} \tag{1}$$

$z$영역에서 입출력 신호의 수식은 식(2)와 같다.

$$Y(z)=H(z)X(z) \tag{2}$$

출력 신호 $y_n$은 식(3)과 같이 입력 신호 $x_n$과 시스템 임펄스 응답과의 콘볼루션으로 표시되고

$$y_n=x_n * h_n=\sum_{m=0}^{\infty} h_m x_{n-m} \tag{3}$$

$y_n$와 $x_n$의 상호상관 함수는 식(4)와 같다.

$$R_{yx}(k)=\sum_{m=0}^{\infty} h_m R_{xx}(k-m) \tag{4}$$

이 때 만약 입력 신호 $x_n$가 백색잡음이고 분산이 $\sigma_x^2$이면,

$$R_{xx}(k)=E[x_{n+k}x_n]=\sigma_x^2\ \delta(k) \tag{5}$$

이고, 따라서

$$R_{yx}(k)=\sigma_x^2\ h_k \tag{6}$$

이다.

그러므로 그림 1과 같이 어떤 시스템의 특정 입력 신호와 출력 신호의 상호상관함수를 구하면 그 시스템의 임펄스 응답 특성을 알 수 있다. 즉, 유사 랜덤 백색 잡음 $x_n$을 발생시켜 미지의 선형 시스템에 입력하고 출력 신호 $y_n$과 상호상관함수를 계산한다. 식(6)에 의해 이 상호상관 함수는 그 시스템의 임펄스 응답에 비례한다.

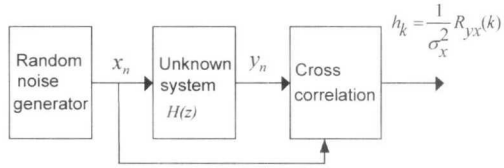



그림 1. 시스템 응답 측정 구성도

송신신호, $x(t)=a(t)\cos\omega_c t$라 할 때, 여기서 $a(t)$는 비트 속도가 10Mbps인 유사랜덤 비트열(PN 코드)이라고 가정하고(즉, 20MHz 구간에서 백색잡음이라고 가정), 이 때 $x(t)$의 자기상관함수는

$$\begin{aligned} R_{xx}(k) &= \sum_{n=-\infty}^{\infty} x(n)x(n-k) \\ &= \sum a(n)a(n-k)\cos\omega_c n \cdot \cos\omega_c(n-k) \end{aligned} \tag{7}$$

이고, 또한 입출력신호의 상호상관함수는

$$\begin{aligned} R_{yx}(k) &= \sum_{m=0}^{\infty}[h(m)R_{xx}(k-m)] \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} h(m)[\sum_{n=-\infty}^{\infty} a(n)a(n-(k-m))\cos\omega_c n \\ &\qquad \cdot \cos\omega_c(n-(k-m))] \\ &= \sum_{m=0}^{\infty} h(m)\sum_n a(n)a(n-(k-m)) \cdot \\ &\left[\frac{(1+\cos 2\omega_c n)\cos\omega_c(k-m)}{2}+\frac{\sin 2\omega_c n\sin\omega_c(k-m)}{2}\right] \end{aligned} \tag{8}$$

이다. 여기서 $h(m)$은 채널의 임펄스 응답 특성이다. $R_{yx}(k)$를 $f_c \pm 10MHz$의 통과대역을 갖는 대역통과필터에 통과시키면, 그 출력 신호는 식(9)와 같다.

$$\begin{aligned} R_{yx}^{BP}(k) &= \sum_{m=0}^{\infty} h_{BP}(m) \cdot \sum_n a(n)a(n-(k-m)) \cdot \frac{\cos\omega_c(k-m)}{2} \\ &= \sum_m h_{BP}(m) \cdot \frac{\sigma_a^2\delta(k-m)}{2} \cdot \frac{\cos\omega_c(k-m)}{2} \\ &= \frac{1}{4}\sigma_a^2 \cdot h_{BP}(k) \end{aligned} \tag{9}$$



Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

이상에서와 같이 비트 속도가 10Mbps인 PN 코드를 사용하여 임의의 주파수 대역의 10MHz 구간에 대한 채널 응답 특성을 측정할 수 있다.

## 2. 전파 다중경로 전파 측정 장치 설계

여러 가지의 sequence 중에 m-sequence는 매우 좋은 자기상관 함수 특성을 갖고 있다. 그림 2는 생성 다항식이 $p(x)=x^{10}+x^9+x^8+x^7+x^3+x^2+1$인 1023개의 비트열를 생성하는 PN 코드 발생기이다. 그리고 그림 3, 4, 5는 생성된 랜덤 비트열를 이용하여 각각 $R_{xx}(k)$, $h_k$, $R_{yx}(k)$를 시뮬레이션으로 구한 것이다. 즉, $R_{xx}(k)$는 전파 다중 경로 특성을 측정하기 위해 사용된 PN 코드의 자기상관 함수이다. 또한 $h_k$는 다중 경로 추정 능력을 시험해 보기 위해 만든 채널의 다중경로특성이다. $R_{yx}(k)$는 사용된 PN 코드가 다중 경로 채널로 전송된 후, 수신기에서 원래의 PN 코드와 상호상관된 것이다. 채널의 다중경로특성을 정확하게 추정하는 것을 보이고 있다.

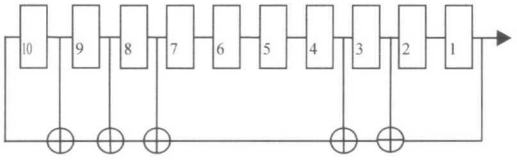



그림 2. PN 코드 발생기

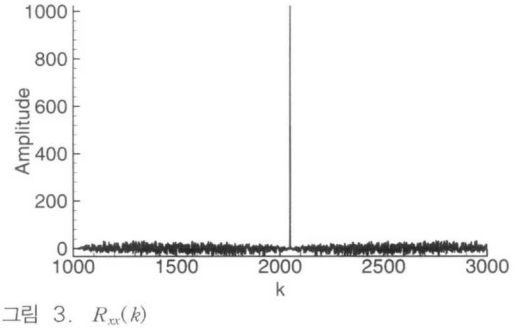



그림 3. $R_{xx}(k)$

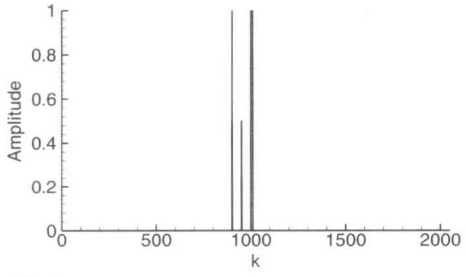



그림 4. $h_k$

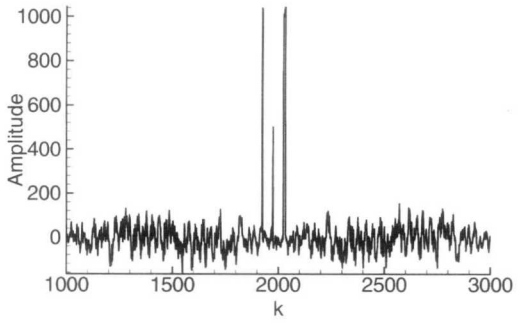



그림 5. $R_{yx}(k)$

## 3. 측정 장치 구현

측정장치는 STDCC(Swept-Time Delay Cross-Correlation) 방식으로 구현되었으며[3], 그림6과 7은 각각 송신기와 수신기의 구성도이고, 그림 8과 9는 실제 구현된 송수신 장치이다. STDCC 방식은 복잡한 신호처리장치를 사용하지 않고 측정 현장에서 실시간으로 채널의 다중경로특성을 측정할 수 있는 구현 방식이다. 즉, 송수신기의 PN 코드 발생기의 기준 클록을 약간 다르게 하고 수신기에서 대역통과필터를 이용하여 상호상관기능을 수행하도록 하는 원리이다[2]. 본 장치에서는 송신기에서 10Mcps, 수신기에서는 9.98Mcps의 클록을 사용하였다. 따라서 전파 다중경로 성분에 대한 시간 분해능은 $\Delta\tau=2/R_c=200\,n\sec$이고, 여기서 $R_c$는 PN 코드의 칩속도이다. 또한 전파 다중경로 전파특성의 갱신시간은 $\Delta T=\gamma l/R_c=51.2m\sec$이다. 여기서 $l$은 PN 코드의 주기이고, $\gamma=\alpha/(\alpha-\beta)$이며, $\alpha$와 $\beta$는 각각 송수신기의 PN 발생기 기준 클록이다. 수신기의 대역통과필터의 대역폭은 $2(\alpha-\beta)=20$kHz이어야 한다.

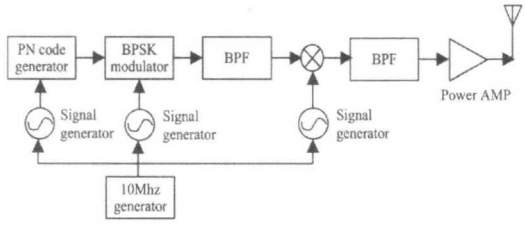



그림 6. 송신기 구성도

송신 안테나는 도로변에 설치되었고 9dBi의 무지향성 안테나를 사용하였으며 높이는 5m이다. 수신 안테나는 6dBi의 무지향성 안테나를 사용하였고 측정 차량 지붕에 설치되었다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

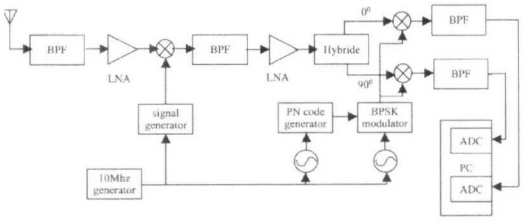



그림 7. 수신기 구성도

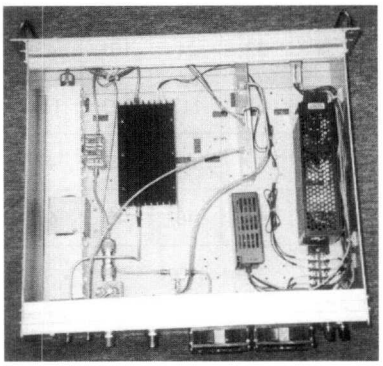


그림 8. 구현된 송신기

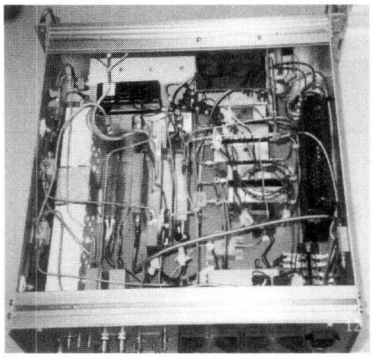


그림 9. 구현된 수신기

### 4. 측정 도로 환경

전파 다중경로 전파특성의 측정은 도심지의 10차선, 6차선, 2차선 도로에서 각각 수행되었다. 10차선의 경우, 도로변의 건물의 높이가 10층 이상의 고층이었으며 도로의 폭은 약 30m 정도이다. 6차선 및 2차선의 경우, 건물의 높이는 6층 이내이고 도로의 폭은 각각 18m와 6m이다. 개활지의 경우는 도심지 외곽의 도로변에 큰 구조물이나 지형지물이 없는 6차선 도로에서 측정이 수행되었다. 모든 경우 송신기가 도로변에 설치되고 수신기가 동일 도로변에 설치된 경우와, 수신기가 길 건너편에 설치되어 전파가 도로를 가로질러 전파되는 두 가지의 경우에 대해 측정되었다.

## Ⅲ. 측정 결과

송수신기에 인접한 도로상을 이동하는 차량 때문에 전파 다중경로 전파특성이 시간에 따라 계속 변화하므로, 모든 지점에서 연속적으로 측정된 4개의 측정 데이터가 평균되어 사용되었다. 그림 10의 임펄스 채널 특성을 살펴 보면 다중경로특성이 전혀 보이지 않는다. 10차선의 넓은 도로이고 송수신기 사이의 거리가 도로에 수직하여 10m이므로 전파 다중경로가 없는 것을 확인할 수 있다. 이에 비해 그림 11은 동일한 도로환경의 70m 거리에서 측정한 것으로 주변의 건물에서의 반사로 인한 추가적인 2개의 전파 다중경로를 분명하게 구분할 수 있다. 이 경우 RMS 지연분산값은 128nsec로 송수신기의 데이터 전송속도가 10Mbps를 넘게 되면 심각한 부호간 간섭이 발생하게 된다. 이것을 극복하기 위해서는 등화기 등의 페이딩의 극복 기술이 사용되어야 하고, 이것은 장치의 복잡도와 비용을 증가시킨다.

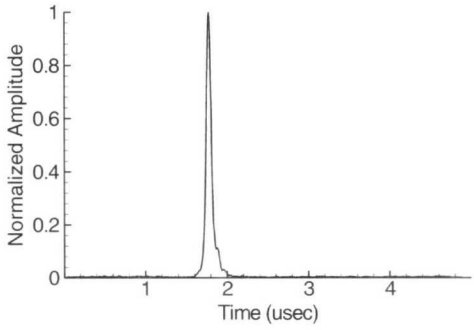



그림 10. 도심 10차선 도로의 10m 거리에서의 임펄스 채널 특성

본 연구에서는 개활지 도로와 도심의 10차선, 6차선, 2차선 도로에서의 측정이 수행되었으며, 각각의 경우 송수신기가 동일 도로변에 위치한 경우와 서로 도로 건너편에 위치한 경우로 구분하였다. 측정 자료를 분석해 보면, 도로의 차선 수와 RMS 지연분산사이의 특별한 상관관계를 발견할 수 없었다. 이것은 근거리 전파전파의 특성상 전파경로 주변의 지형지물에 크게 영향을 받기 때문이다. 즉, 도로 주변의 건물 등의 구조물에 따라 동일한 도로에서도 다양한 RMS 지연분산 값을 나타낸다. 따라서 도로변에서의 전반적인 RMS 지연분산 특성을 분석하였다.

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

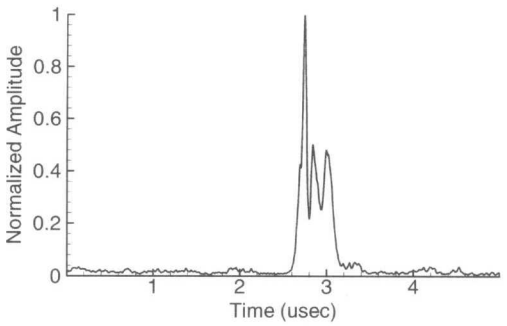



그림 11. 도심 10차선 도로의 70m 거리에서의 임펄스 채널 특성

표 1은 각 장소에 따른 RMS 지연분산 값이고, 그림 12는 RMS 지연분산에 따른 히스토그램이며, 그림 13은 누적 RMS 지연분산이다. 100nsec의 RMS 지연분산에 대한 누적 확률은 20%이므로, 노변통신방식에서 데이터의 전송속도가 10Mbps 이상이 되는 경우, 등화기 등의 전파 다중경로 전파현상을 극복하는 방법이 사용하지 않으면 통신의 신뢰도가 보장되지 않는다. 즉, 데이터 전송의 오류율이 도로의 환경에 따라 크게 달라지는 것을 예상할 수 있다.

또한 본 연구에서는 2.4GHz 대역에서의 거리에 따른 전파전파 감쇠 특성을 주차장에서 측정하였다. 그림 14는 그 결과로 10m 거리당 약 0.8dB의 신호세기의 감쇠가 있다. ITS 서비스의 특성상 도로상에서 큰 차량의 후방이나 측방에 작은 차량이 위치할 수 있으므로, 이런 경우에 대해서도 측정되었다. 50m 거리에서 버스 뒤에서는 4dB의 추가적인 감쇠가 있었고, 100m 거리에서 버스 사이에서는 7.3dB의 추가적인 감쇠가 있었다. 현재 전세계적으로 노변통신방식으로 5.8GHz를 사용하거나, 사용할 예정에 있으며, 선행된 연구결과를 참조하면[4], 2.4GHz에 대한 전파전파특성과 5.8GHz에 대한 특성이 크게 다르지 않을 것으로 예상된다.

2.4GHz대역은 ISM대역(Industrial scientific and medical equipment)으로 통신 장비이외의 전자레인지, 의료기구 등 매우 많은 장치들이 사용되므로 이 대역을 통신용으로 사용하려면 주의를 필요로 한다. 따라서 본 연구에서는 전파 다중경로 특성과는 별개로 참고적으로 2.4GHz 대역에서의 잡음 특성을 측정하였고 그 한 예를 그림 15에 보였다. 이 특성 역시 지역에 따라 매우 큰 편차가 있었다.

표 1. 측정장소에 따른 RMS 지연분산 값 (nsec)

| 거리 | 10m | 30m | 50m | 70m | 100m | 300m |
|---|---|---|---|---|---|---|
| 개활지 건너편 | 55 | 70 | 62 | 57 | 58 | 70 |
| 개활지 동일편 | 129 | 53 | 44 | 48 | 52 | 102 |
| 10차선 건너편 | 37 | 50 | 85 | 128 | 86 | 44 |
| 10차선 동일편 | 121 | 36 | 45 | 48 | 65 | 56 |
| 6차선 건너편 | 38 | 33 | 21 | 101 | 42 | 106 |
| 6차선 동일편 | 104 | 65 | 117 | 123 | 111 | 120 |
| 2차선 건너편 | 34 | 40 | 65 | 52 | 47 | 36 |
| 2차선 동일편 | 34 | 42 | 40 | 45 | 60 | 34 |

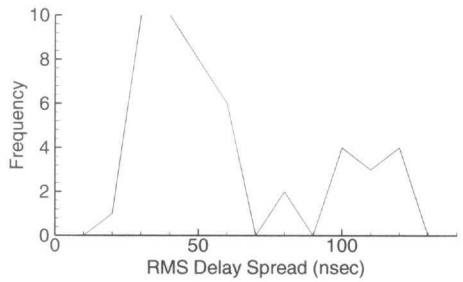



그림 12. RMS지연분산 히스토그램

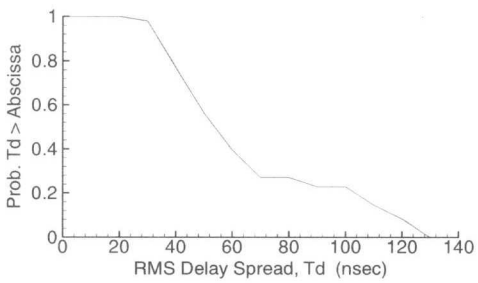



그림 13. 누적 RMS 지연분산

## Ⅳ. 결 론

도로변에서 전파다중경로 특성을 측정하고 그 자료를 분석한 결과 다중경로 특성은 지형과 거리에 따라 매우 다양한 특성을 보였다. RMS 지연 분산이 최소 30nsec에서 최대 130nsec까지 측정되었으며, 100nsec에 대한 누적 확률이 20%였다. 따라서

Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr

노변통신방식에서 데이터 전송속도가 1Mbps 정도는 별 문제가 없지만, 10Mbps정도로 높아지면 전파 다중경로 전파에 의한 부호간 간섭이 예상된다. 이를 극복하기 위한 기술을 채용하던지 제공하려는 서비스를 명확히 고려하여 이에 따른 최대 데이터 전송 속도 설계 및 송수신 시스템 설계 등이 수행되어야 한다.

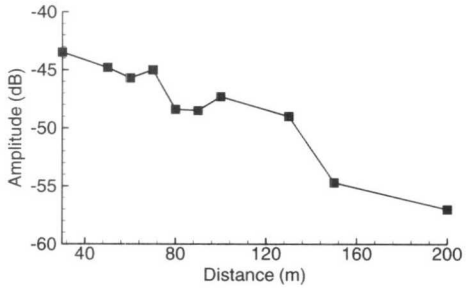



그림 14. 2.4GHz 대역에서의 거리에 따른 감쇠 특성

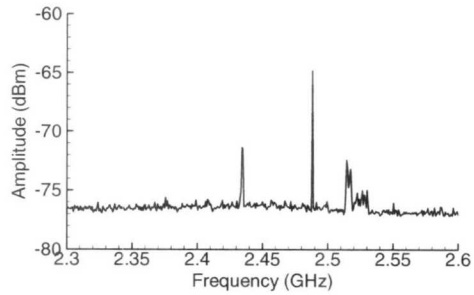



그림 15. 강남 도로변에서 2.4GHz 대역의 수신 잡음 특성

## 참 고 문 헌


[1] J.B.Reddy, "Hybrid OFDM for future DSRC applications, pp.2054-2059, proc. IEEE VTC, 2000.

[2] T.Rappaport, *Wireless Communications*, Prentice-Hall, pp.154-159, 1996.

[3] J.Wepman, J.Hoffman, L.Loew, NTIA Report 94-309, *Impulse Response Measurements in the 1850-1990MHz Band in Large Outdoor Cells*, U.S. Dept. of Commerce, 1994.

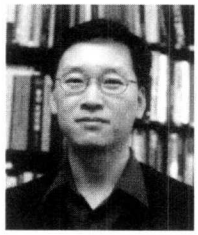
[4] D.Devasirvatham, M.Krain, D.Rappaport, "Radio propagation measure ments at 850MHz, 1.7GHz and 4GHz inside two dissimilar office buildings", *IEE Electronics Letters*, Vol.26, No.7, pp.445-447, 29th March 1990.

[5] V.Erceg, "A model for the multipath delay profile for fixed wireless channels", *IEEE J. Sel. Areas Comm.*, Vol.17, No.3, pp.399-410, March 1999.

[6] S.Orfanidis, *Optimum Signal Processing*, Macmillan, pp.95-100, 1988.

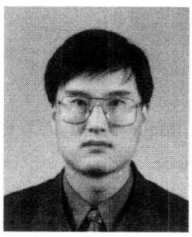


오 종 택(Jong-taek Oh) 정회원



1986년 2월 : 한양대학교 전자통신공학과 학사
1989년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
1993년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
1993년 12월~2000년 2월 : 한국통신 선임연구원
2000년 3월~현재 : 한성대학교 정보통신전공 조교수
<주관심 분야> 무선통신, ITS, 신호처리

조 동 권(Dong-kwon Cho) 정회원



1986년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사
1989년 2월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 석사
1994년 8월 : 한국과학기술원 전기및전자공학과 박사
1994년 3월~1995년 2월 : 고려대학교 전산학과 시간강사
1994년 11월~현재 : 한국통신 선임연구원
<주관심 분야> 통신망관리, ITS, 컴퓨터네트워크, 제어


Copyright (C) 2003 NuriMedia Co., Ltd.
www.dbpia.co.kr