

## 대도시 이동전파신호에 대한 단구간 페이딩 특성

正會員 宋 棋 洪\* 正會員 金 鍾 昊\* 正會員 李 東 斗\* 正會員 梁 基 坤\*

### Short-term Fading Characteristics for Mobile Radio Signal in Built-up Areas

Ki Hong Song\*, Jong Ho Kim\*, Dong Doo Lee\*,  
Ki Gon Yang\* *Regular Members*

#### 要 約

이동전파신호에서의 단구간 페이딩 현상은 이동국이 이동할 때 집, 건물 등 주변 반사체와 숲과 같은 자연적 방해물에 의한 다중경로 반사파에 의하여 발생하게 된다. 본 논문에서는 대전 및 서울 지역에서 측정하여 얻은 이동전파신호의 전계강도 측정데이터를 이용하여 확률밀도함수(PDF), 레벨 교차율(LCR), 페이드의 깊이와 넓이에 대하여 분석하였다.

분석 결과, 평균치가 일정한 작은 구간내에서의 신호 변화에 대한 통계적 분포는 레일리 분포를 따른다. 페이드 깊이는 위치에 대한 크기의 변화는 심하나 도심지역이나 변두리지역 등 지역적 특성에 따른 깊이 차는 거의 없었으며, 페이드 넓이는 주변 구조물과 지역특성에 따라 변화가 매우 심하였다. 또한 레벨 교차율은 평균치 근처에서 최대가 되는 것을 볼 수 있었다.

#### ABSTRACT

Short-term fading in a mobile radio channel is mainly caused by multipath reflected wave by local scatterers or natural obstacles surrounding a mobile unit. In this paper, we analyze probability density function(PDF), level crossing rate(LCR) and widths and depths of fades for the measured field strength data in Seoul and Daejeon areas.

As a result, the statistical distribution of signal variations within any small area with the constant mean value becomes the Rayleigh distribution. The variation of fade depths is small regardless of the environment such as urban, suburban, etc. However, the variation of fade widths is large with the change of circumstantial structures and environment. The maximum level crossing rate is obtained near the mean value.

\*韓國電子通信研究所  
Electronics And Telecommunications Research Institute  
論文番號 : 93216  
接受日字 : 1993年 11月 11日

#### I. 서 론

이동통신시스템에서, 기지국과 이동국간의 신호전송은 가시거리 경로에 의한 직진파 뿐만 아니라 반

사, 산란 및 굴절로 인한 다중경로 전파에 의해 이루어진다. 이 다중경로 전파는 이동전파 신호의 크기와 위상에 심각한 영향을 미친다. 반일 직진파와 크기가 같고 180°위상차를 가진 하나의 반사파가 직진파와 함께 수신기에 도달한다면 신호는 서로 상쇄되어 나타나지 않게 된다. 이와같이 수신기에 도래하는 모든 직진 및 반사신호의 합은 동상(in phase) 또는 이상(out of phase)인지의 여부에 따라 신호세기가 변한다. 이러한 변화의 크기는 이동국 안테나가 지면 가까이 위치해 있고 이동하고 있을 때 point-to-point 통신시스템에서 겪는 것보다 더 큰 변화를 겪게 된다. 또한 이동국 안테나가 지면 가까이 위치해 있기 때문에 대부분 수신신호는 주변 물체로부터 반사를 받으며 서로 간섭을 일으키는 요인이 된다. 이처럼 차량안테나의 위치 및 주위환경에 따라 수신신호 크기변화에 대한 특성과 깊이가 결정된다. 마찬가지로 기지국안테나가 주위의 반사체들 사이에 둘러싸여 있는 경우에도 다중경로파가 발생될 수 있다. 이러한 상황에서의 수신신호 크기변화는 차량안테나 근처에서의 다중경로에 의한 신호의 크기변화보다 매우 심하게 나타난다. 그리고 다중경로 신호 변화뿐만 아니라 지형특성에 의한 shadowing이나 인위적 전파방해에 의한 변화도 수신신호 크기에 많은 영향을 미친다[1].

본 논문에서는 이동전파의 페이딩특성중에서 인위적 환경에 의한 단구간 페이딩에 대한 분석을 위하여 직진파 및 전파경로손실이 없다고 생각되는 작은 구간에서 현재 이용중인 이동전파 신호를 측정하여 확률밀도함수, 레벨 교차율, 페이드의 깊이와 넓이에 대하여 분석하였다. 이는 이동통신품질향상을 위한 주요 요소로서 시스템의 설계 및 운용시 고려되어야 할 사항이다. 페이딩현상을 분석하기 위하여 사용된 전계강도 측정 방법은 전계강도 수신기의 아날로그 출력을 차량의 이동속도에 관계없이 일정한 거리간격으로 샘플링하여 이를 A/D 변환 후 PC에 기록하는 방법을 이용하였다.

## II. 단구간 페이딩 분석

단구간 페이딩은 언덕, 산등의 지형구조보다는 인위적 구조물 및 자연적 방해물에 의한 다중경로파가 페이딩 발생의 요인이 된다. 즉, 국지적인 반사체에 의해 발생하는 다중경로 반사파가 그 원인이다. 국지적인 반사체로 집, 빌딩, 등 인위적 구조물과 이동국

을 둘러싸고 있는 숲과 같은 자연적 방해물등을 들 수 있다. 이와 같이 다중경로 반사파로 인한 정재파 형태로 나타나는 페이딩 신호는 공간상에서 약 반파장을 주기로 변동하므로 900MHz에서는 주기가 약 17cm가 된다. 수신파가 반사파만으로 구성되는 경우 수신파는 레일리 분포를 따르므로 단구간 페이딩을 레일리 페이딩 또는 다중경로 페이딩이라고도 한다. 레일리 분포의 특징은 수신파가 평균치보다 낮은 확률이 63%로서 <그림 1>에서 평균치인 점선보다 낮은 확률이 63%, 높은 확률이 37%가 된다[2].

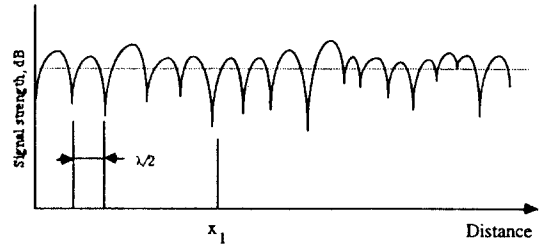


그림 1. 이동전파신호의 단구간 페이딩 현상  
Fig. 1. Short-term fading in mobile radio signal.

페이딩신호 분석을 위한 측정데이터는 크게 서울 지역과 대전지역 측정데이터로 나누었다. 서울지역 상로는 송인기지국을 기점으로 하여 청계로, 퇴계로, 종로, 을지로 구간을 선정하였으며, 대전지역 경로는 대전기지국을 기점으로 하여 가수원동, Expo현장, 외동구간을 선정하여 이 구간내에서 수신 전계강도를 측정하였다[3]. 측정 방법은 기지국에서 항상 일정하게 송출하는 셋업 채널의 수신 전계강도를 측정하는 것으로서, 전계강도 수신기에 의해 수신된 아날로그 전계강도 신호의 크기를 차량의 이동속도에 관계없이 일정한 거리간격(약 2cm)으로 샘플링하여 A/D 변환 후 PC에 기록하였으며 이 중에서 지형구조에 대한 영향이 없고 급격한 페이딩 현상을 보이는 작은 구간의 전계강도 데이터를 택하여 분석하였다.

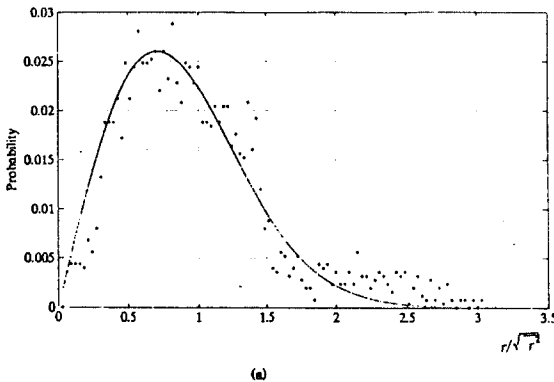
### 2.1 확률밀도함수(PDF)

수신 이동전파 신호가 이동국과 주위 반사체사이의 다중경로 반사파로 인한 정재파들의 합으로 구성되어 있을 경우 수신신호의 확률밀도함수는 레일리 분포를 따르게 된다. 본장에서는 측정데이터를 이용하여 이를 확인하고자 한다. 서울지역 청계로 구간중

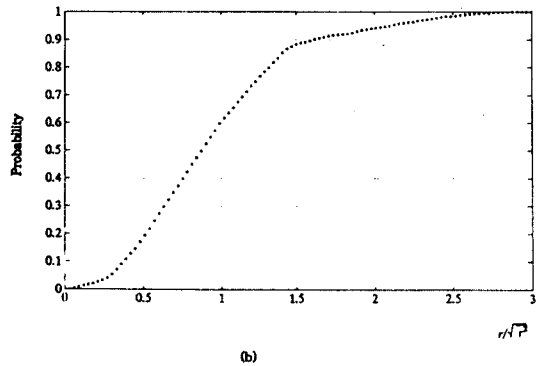
평균치가 일정하고 급격한 페이딩 현상을 보이는 작은 구간(40m)에서의 측정데이터를 선형치로 환산한 다음, 이의 확률밀도함수 및 누적확률분포(CPD) 결과를 <그림 2>에 보였다. <그림 2>에서 x축은 선형치로 환산된 데이터 r에 대하여 r의 rms치를 나눈 값으로 수신신호의 rms치에 대한 수신신호 세기의 비를 나타낸다. y축은 그림에서 표시된 각 점이 전체 데이터에 대하여 차지하는 비율로서, 각 점의 합은 1이 된다. <그림 2a>를 보면 전체 모양이 레일리 분포를 따라 가는 것을 볼 수 있으며 <그림 2b>는 <그림 2a>에 대한 누적확률분포로서 1로 접근한다. <그림 3>은 대전지역 가수원 구간 중 일부구간(40m)에 대한 확률밀도함수와 누적확률분포이며 <그림 2>와 같이 레일리 분포를 따른다는 것을 알 수 있다.

<그림 2>와 <그림 3>에서 보는 바와 같이 레일리

분포를 확인하기 위해서는 직진과 성분이 포함되지 않고, 경로손실이 거의 없는 지역을 선정해야 하지만 일반적인 이동전파 신호는 직진과 성분 또는 경로손실 등에 따른 변화를 포함하고 있기 때문에 측정된 데이터중에서 이러한 요건에 만족되는 작은 구간이 전체 구간에 비하여 상당히 적었다. 특히 대전지역이 서울지역에 비하여 레일리 분포를 만족하는 구간이 더욱 적었는데, 이것은 대전지역의 기지국 안테나가 주변환경에 비해 매우 높을 뿐만 아니라 송신출력이 크며 주변건물의 높이가 낮기 때문에 다중경로 반사파의 발생 요인이 서울지역에 비해 부족하다는 것을 알 수 있다. 또한 레일리 분포의 특징은 평균치보다 작은 확률이 63%가 되는데 <그림 2>와 <그림 3>에서 보면 평균치보다 작은 확률이 60-70%사이를 나타내고 있어 이론치에 근접하였다.



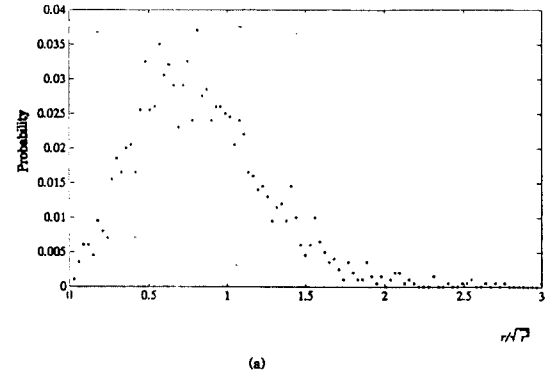
(a)



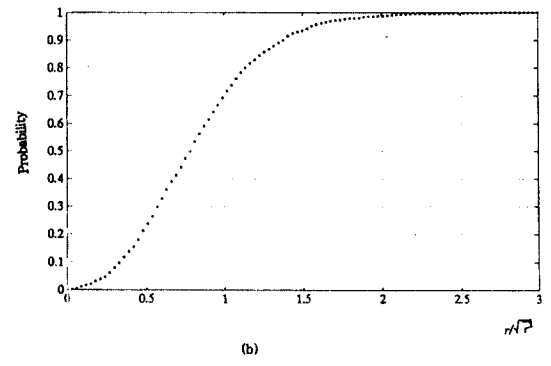
(b)

그림 2. 서울청계로구간에서의 레일리 분포  
(a) PDF (b) CPD

Fig. 2. Rayleigh distribution at Chunggye street in Seoul  
(a) PDF (b) CPD



(a)



(b)

그림 3. 대전 가수원구간에서의 레일리 분포  
(a) PDF (b) CPD

Fig. 3. Rayleigh distribution at Gasuwon street in Daejeon  
(a) PDF (b) CPD

2.2 레벨 교차율(Level Crossing Rate)[4]

〈그림 4〉에서 보는 것처럼 신호의 포락선은 때때로 페이딩의 깊이가 매우 심하게 나타날 수 있으며 페이딩의 깊이가 얕으면 얕을수록 포락선의 변화는 더욱 빈번하게 발생된다. 이러한 특성의 정량적 표현을 레벨 교차율(LCR)이라 하며, 측정구간의 전체 거리 W에 대하여 특정 레벨 A에서 양의 기울기로 교차하는 페이딩신호 r의 갯수 N의 비율로서 다음과 같이 정의된다.

$$n(A) = \frac{N}{W} \tag{1}$$

여기서  $n(A)$ 는 페이딩 신호 r에 대하여 특정 레벨 A에서의 레벨 교차율을 나타낸다.

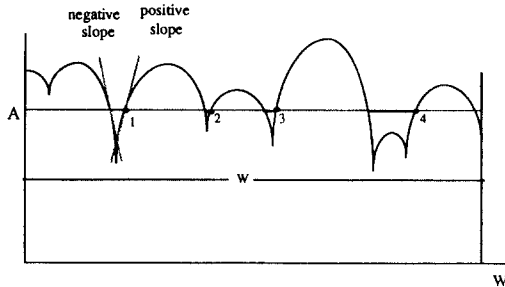


그림 4. 페이딩에 대한 레벨 교차율  
Fig. 4. Level Crossing Rate of fades

레이리 분포 분석에 이용되었던 구간의 데이터로 레벨 교차율의 확률밀도함수를 구하여 〈그림 5〉에 보였다. 〈그림 5〉는 수신신호를 1dBu단위로 잘라 전체 거리에 대하여 각 dBu레벨에서 양의 기울기를 가지고 교차하는 갯수의 비율을 확률밀도함수로 나타내었으며, 전체 평균치(35dBu) 근처에 가장 많이 분포되어 있다. 그림에서 보면 평균치이하에 분포되어 있는 비율이 전체의 70%정도로 평균치이상의 것보다 훨씬 높다. 이는 선정된 구간에서의 측정데이터가 레이리 분포를 가짐을 나타낸다. 또한 확률밀도함수가 평균치 근처에서 최대가 된다는 것은 그 주위에서 신호세기의 변화가 가장 많기 때문이다. 대전지역의 가수원 구간에 대한 레벨 교차율의 확률밀도함수 〈그림 6〉도 〈그림 5〉과 거의 같은 현상을 볼 수 있다.

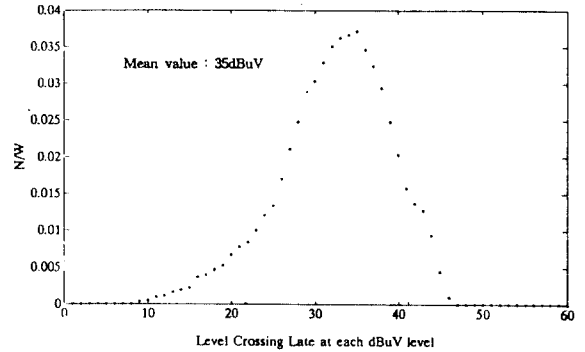


그림 5. 서울정계로구간에서의 레벨 교차율에 대한 PDF  
Fig. 5. PDF of LCR at Chunggye street in Seoul

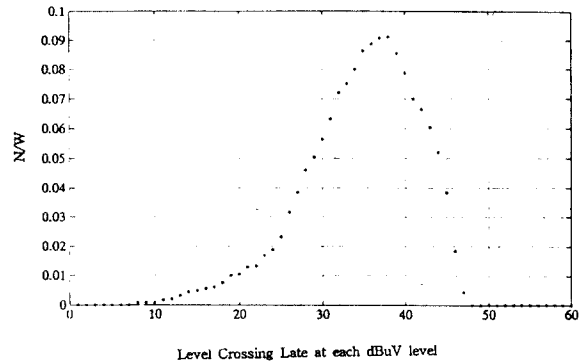


그림 6. 대전 가수원구간에서의 레벨 교차율에 대한 PDF  
Fig. 6. PDF of LCR at Gasuwon street in Daejeon

2.3 페이드 깊이와 넓이

기지국과 이동국간에 신호를 전송하고자 할 때, 가끔 이동국에서 수신한 신호는 수백미터동안 신호세기가 거의 변화가 없는 상태로 수신할 수 있다. 이것은 매우 예외적인 경우로서 근처에 건물이나 나무등이 거의 없는 개활지같은 곳에서만 가능하다. 도심지역에서는 보통 단 수십미터이내에서도 20dB이상 수신 신호세기가 변한다. 이러한 경로에 따른 변화는 빌딩 또는 그외 다른 물체로부터의 반사를 포함하는 다중경로 전파에 기인한다. 이와 같은 급격한 페이딩의 특성은 예측하기가 매우 어려우며, 페이드의 깊이 또는 넓이는 위치에 따라 현저하게 특성이 변한다.

중앙치이하에 위치한 각 신호최소치를 페이드(fade)라고 하며, 페이드의 깊이는 중앙치이하에 위치한 신호최소치와 중앙치와의 차로써 dBu로 측정된

다. 또한 페이드의 넓이는 신호가 기준 레벨이하에 머물러 있는 거리를 뜻한다. 중앙치를 기준레벨로 잡으면, 신호가 중앙치이하에 있는 동안 차량이 움직인 거리를 알 수 있으며, 이 거리가 중앙치 페이드 넓이가 된다[5].

1) 페이드 깊이

〈그림 7a〉는 서울지역의 청계로, 퇴계로, 종로, 을지로 등 각 경로에 대하여 중앙치이하의 페이드 깊이의 누적분포곡선을 나타내었다. 누적분포곡선에 이용된 경로는 레일리 분포를 나타내는 구간을 선정하였다. 〈그림 7b〉는 대전지역의 와동, 가수원, EXPO 등 3개 경로에 대한 누적분포곡선이다.

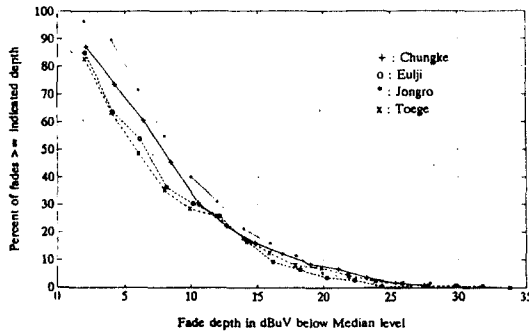
서울지역의 각 경로에 대한 측정결과인 〈그림 7a〉에서 보는 것처럼 페이드의 50%는 평균값이 약 7dBuV가 되며 심한 구간은 8.5dBuV 이상을 나타내고 있다. 각 경로에서 가장 심한 페이드 깊이는 27-

34dBuV사이이며, 평균은 30dBuV 근처이다. 대전지역의 결과를 나타낸 〈그림 7b〉에서도 〈그림 7a〉와 비슷한 결과를 보이는 것으로 보아 페이드 깊이는 경로에 대한 변화는 심하나 대도시 도심지역이나 변두리 지역등 지역특성에 따른 변화가 거의 없다는 것을 알 수 있다.

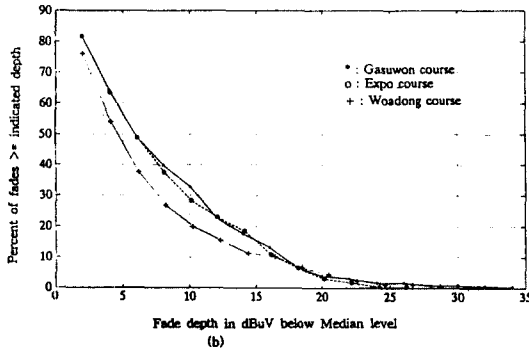
2) 페이드 넓이

서울지역 각 경로의 페이드 넓이에 대한 누적분포곡선을 〈그림 8a〉에 보였으며 〈그림 7b〉는 대전지역 각 경로의 페이드 넓이에 대한 누적분포곡선이다. 〈그림 8a〉를 보면 페이드 넓이의 50%는 약 10Cm의 넓이를 가지며 10%지점에서는 20-40Cm까지 변하는 것을 볼 수 있고 경로간의 최대 페이드 넓이의 차는 종로구간과 퇴계로구간에서의 차이로 약 100Cm가 남을 알 수 있다.

대전지역 측정결과인 〈그림 8b〉에서도 비슷한 분



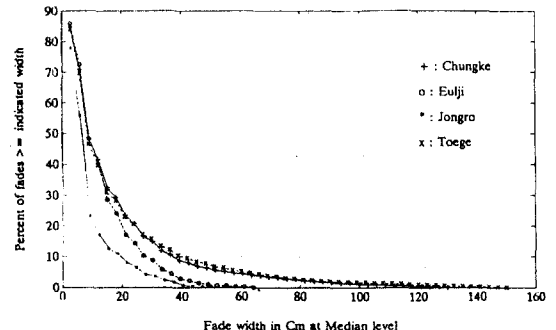
(a)



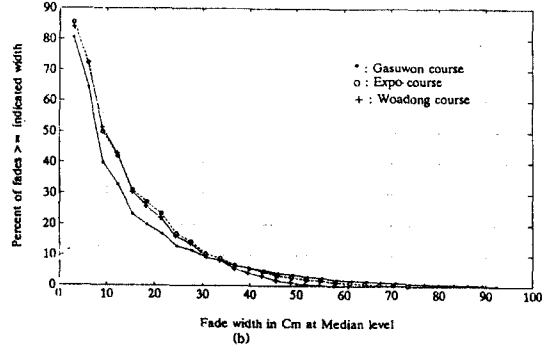
(b)

그림 7. Fade 깊이에 대한 CPD  
(a) 서울지역 CPD (b) 대전지역 CPD

Fig. 7. CPD of Fade Depths  
(a) CPD in Seoul area (b) CPD in Daejeon area



(a)



(b)

그림 8. Fade 넓이에 대한 CPD  
(a) 서울지역 CPD (b) 대전지역 CPD

Fig. 8. CPD of Fade Widths  
(a) CPD in Seoul area (b) CPD in Daejeon area

포로서 최대 페이드 넓이의 차가 30Cm정도로 서울보다 적었다. <그림 8>에서 알 수 있듯이 서울 및 대전의 각 구간에서 측정된 최대 페이드 넓이는 60Cm에서 150Cm사이로 고층건물이 밀집해있는 서울도심지역이 상대적으로 건물 밀집도가 적은 대전지역보다 크게 나타나며, 페이드 깊이의 변화보다 변화폭이 심하였다. 이는 지역특성에 따른 변화폭이 거의 없는 페이드 깊이와는 달리 페이드 넓이는 주변구조물과 지역특성에 따라 변화가 심함을 나타낸다. 또한 전체 거리에 대하여 중앙치 페이드 넓이가 차지하는 비율은 약 50%로서 중앙치 이상의 신호가 차지하는 넓이와 거의 같았다.

### III. 결 론

본 논문에서는 이동전파신호의 전계강도 측정데이터를 이용하여 단구간 페이딩 신호의 확률밀도함수, 레벨 교차율 및 페이드 깊이와 넓이에 대하여 분석하였다. 각 파라미터를 분석하기 위한 표본은 주변 반사체에 의한 페이딩 현상만이 나타나는 구간, 즉 신호의 크기가 거의 같은 다중경로 반사파들이 존재하는 구간을 선정하였다.

분석 결과, 평균치가 일정하다고 간주되는 단구간에서의 신호세기의 변화에 대한 확률밀도함수는 레일리 분포를 따라가지만, 직진파 및 전파경로손실의 영향으로 인하여 평균치가 일정하다는 조건을 만족하는 구간이 전체구간에 비해 상당히 적었다. 페이드 깊이는 위치에 대한 변화는 심하나 대도시 도심지역이나 변두리지역 등 지역특성에 대한 변화폭이 적었다. 그리고 페이드 넓이의 변화는 대전지역보다 서울

지역에서 변화폭이 더욱 크게 나타났으며, 지역적 특성에 따라 변화폭이 심하다는 것을 알 수 있었다. 각 레벨에 대한 레벨 교차율은 평균치 근처에서 최대가 된다. 이것은 평균치 근처에서 신호세기의 변화가 가장 심하기 때문이다.

이상에서 살펴본 바와 같이 대도시지역에서는 언덕, 고개등 지형구조에 따른 장구간 페이딩뿐만 아니라 주변 반사체에 의한 단구간 페이딩현상이 심하게 나타나 통신두절, 혼신 등 이동통신에 장애요인인 됨을 알 수 있다. 따라서 보다 다양하고 광범위한 측정·분석을 통해 시스템 운용방 설계시 충분히 고려되어야 할 것이다.

### 참 고 문 헌

1. William C. Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals, Indianapolis, IN: Howard W. Sams & Co., 1986.
2. William C. Y. Lee, Mobile Communications Engineering, New York, McGraw-Hill, 1982.
3. 송기홍, 정인명, 김중호, 양기관, "서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로손실 분석," 한국전자과학기술학회, Vol. 4, No. 2, pp. 4-10. 6. 1993.
4. David Parsons, The Mobile Radio Propagation Channel, John Wiley & Sons, 1992.
5. H. W. Nyland, "Characteristics of Small-area Signal Fading on Mobile Circuits in the 150MHz Band," IEEE Trans. Veh., VT-17, pp. 24-30, Oct. 1968.



宋 棋 洪(Ki Hong Song) 정회원  
1962년 10월 9일생  
1988년 2월: 경북대 전자공학과(공학사)  
1990년 2월: 경북대 대학원 전자공학과(공학석사)  
1990년 2월~현재: 한국전자통신연구원 전파신호처리연구실 선임연구원

※주관심분야: 무선통신, 이동통신



金 鍾 昊(Jong Ho Kim) 정회원  
1963년 8월 22일생  
1986년 2월: 충남대 전자공학과(공학사)  
1988년 2월: 충남대 대학원 전자공학과(공학석사)  
1989년 2월~현재: 한국전자통신연구원 전파신호처리연구실 연구원

※주관심분야: 무선통신, 이동통신



李 東 斗(Dong Doo Lee) 정회원  
1961년 6월 2일생  
1987년 2월 : 경북대 전자공학과(공학사)  
1987년 3월~1992년 12월 : 한국표준과학연구원 연구원  
1993년 1월~현재 : 한국전자통신연구소 전파신호처리연구실 연구원

※주관심분야 : 무선통신, 이동통신

梁 基 坤(Ki Gon Yang)  
제19권 3호(1994년 3월) 참조

정회원