

서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로손실 분석

(Analysis of Field Strength and Path Loss in Seoul and Daejeon Area)

송기홍*, 정인명*, 김종호*, 양기곤*

(Ki Hong Song, In Myung Jeong, Jong Ho Kim, Ki Gon Yang)

요약

이동통신에서, 전파경로는 이동국의 위치변동때문에 시간 및 공간에 따라 변한다. 전파경로 손실은 주파수와 거리뿐만 아니라 안테나 높이, 지형구조와 인위적 환경에 따라 달라지므로 이동 전파신호의 전파 경로손실을 예측하기는 매우 어렵다.

본 고에서는 대전 및 서울 지역에서 전계강도를 측정하여 단구간 중앙치, 500m 거리별 평균치 및 표준편차를 산출하여 분석하였다. 분석 결과, 경로손실 특성이 예측모델과 유사하였으며, 특히 단구간 중앙치는 기지국 안테나 높이, 지형구조와 인위적 환경에 의존하며, 표준편차는 2~10dBuV사이에 있음을 알 수 있다.

Abstracts

In mobile radio communication, propagation paths are time or spacial varying because of the motion of mobile unit. The propagation path loss not only involves frequency and distance but also the antenna height at both the base station and the mobile unit, terrain configuration, and the man made environment. These additional factors make the prediction of propagation path loss of mobile radio signals more difficult.

In this paper, it is measured field strength of mobile radio signals in Daejeon and Seoul area, also calculated local median, 500m sample mean, and stadard deviation. As the result of analysis, it can be seen that propagation path loss of measured data is similiar to predicted field strength, especially local median is dependent upon base antenna height, terrain configuration and the man-made environment. The standard deviation has been noted to lie between 2 and 10 dBuV.

* 한국전자통신연구소
Electronics and Telecommunication Research Institute

I. 서 론

도심지역의 이동통신에서 기지국과 이동국간 전파 경로(Propagation Path)는 직진파가 도래하는 경우는 드물며 주로 건물, 지면, 자동차에 의한 여러 방향의 반사파로 구성된다. 이 경우 전파경로는 이동국의 위치에 따라 달라지므로 전파 경로상에 발생하는 전계강도의 손실은 이동국의 위치에 따라 큰 편차를 보인다. 이러한 전계강도는 이동통신 시스템의 설계 및 셀의 설계, 운용에 중요한 의미를 가진다.

일반적으로 전계강도는 기지국과 이동국간 직선거리에 따라 달라지며 이 거리가 짧은 경우 수신 전계강도가 크고 거리가 멀수록 전계강도가 작아진다. 자유공간에서는 이 이론이 잘 적용되어 수신으로 표현이 가능하나 이동통신 전파환경에서는 그대로 적용되지 않는다. 이동통신 전파환경에서는 수신위치마다 도래하는 반사파가 서로 상이하고 여러 개의 반사파가 동시에 도래한다. 각각의 도래파는 서로 다른 크기 및 위상을 가지며, 경로 거리도 상이하다. 이러한 전파환경에서 기지국과 이동국간 송수신 거리에 따라 달라지는 전계강도 또는, 경로손실(Path Loss) 예측모델을 구하기는 매우 어렵다. 기존에 외국에서 제시된 예측모델들은 대개 방대한 현장 측정을 통하여 얻은 통계적 데이터에 기인하며 지역별로 서로 다른 특성을 보여주고 있다.^[14]

본 고에서는 전계강도의 전파경로 손실을 중심으로 먼저 이동통신 전파의 기본 이론을 조사분석하고 특히 단구간 중앙치, 500m 거리별 평균치, 표준편차 등을 구하여 외국에서 제시된 예측모델과 현장측정 데이터의 분석결과를 비교하였다. 현장측정은 먼저 반복 재현성을 알아보기 위하여 대전기지국을 중심으로 2구간을 선정하고 이를 반복측정, 분석하여 측정데이터간 차이를 살펴보았다. 이와 함께 대전 및 서울 송인기지국의 각 4구간을 선정하여 전계강도를 측정하고 분석함으로써 외국에서 제시된 모델과 비교하였다. 본 연구는 이를 통하여 전계강도 측정, 분석방법을 제시함으로써 앞으로 국내 각 지역의 이동전파환경 측정분석에 기여하고자 한다.

II. 이동통신의 전파특성

이동 전파환경에서는 전파 경로손실이 주파수와 거리 이외에 기지국 및 이동국의 안테나 높이, 지형

구조, 인위적 환경에 따라 달라진다. 이동국의 안테나 높이는 지면으로부터 1~3m로 주위 건물보다 낮고, 반송주파수의 파장은 주위 구조물보다 매우 작으므로 이동국에는 다중경로파가 합성되어 수신된다. 이러한 수신파는 다음 <그림 1>과 같은 페이딩 신호현상을 나타낸다. 즉, 신호는 약 40dB 범위내에서 변동하며 이는 평균 신호레벨을 기준으로 위로 10dB, 아래로 30dB정도 분포하는 특징을 갖는다. 또한 이 신호는 공간상에서 정재파에 의해 약 반파장을 주기로 변동하는 특징이 있으며, 900MHz에서는 페이딩 신호 주기가 반 파장인 약 17cm가 된다.

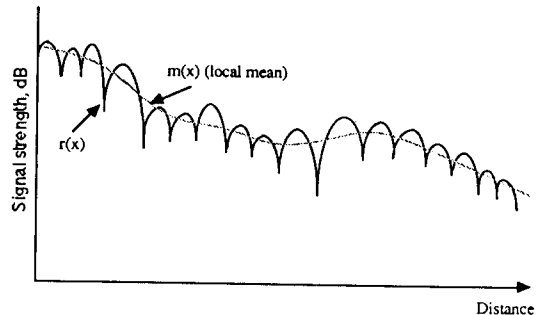


그림 1. 이동국에서의 수신전계

Fig 1. Received signal strength at the mobile unit

<그림 1>에서 수신신호 $r(x)$ 는 인위적으로 두 함수의 곱으로 나타낼 수 있다.^[5] 즉,

$$r(x) = m(x)r_0(x) \quad (1)$$

(1)식에서 $m(x)$ 는 <그림 1>의 점선부분으로 페이딩 신호 $r(x)$ 의 평균을 나타낸다. 이 $m(x)$ 를 단구간 평균(local mean), long-term페이딩 또는 log-normal페이딩이라고 하며 기지국과 이동국간 지형구조와 인위적 환경에 의해 주로 결정된다. 지형구조는 개활지역, 평야지역, 구릉지역, 산악지역 등으로 구분하며 인위적 환경은 시골지역, 소읍지역, 도시변두리지역, 도심지역등으로 구분된다. $r_0(x)$ 는 국지적인 반사체에 의해 발생하는 다중경로 반사파가 발생원인이 되며 short-term fading이라 한다. Long-term 페이딩을 가장 쉽게 접하는 지형은 언덕으로서, 언덕 위에서는 큰 신호를, 언덕 아래서는 약한 신호를 수신하게 되며 언덕의 지형 구조가 페이딩 신호의 파형을 결정한다. 일반적으로 Long-term fading의 크기

는 기지국과 이동국간의 직선거리가 멀어짐에 따라 줄어든다. 이와 같은 평균 신호레벨 감쇠량을 전파경로 손실이라 하며 이동국의 위치에 따라 큰 편차를 보인다. 이러한 전계강도는 이동통신 시스템의 설계 및 셀의 설계, 운용에 중요한 의미를 가진다.

Ⅲ. 전계강도 현장측정

<그림 1>과 같은 전계강도를 측정하기 위해서는 일정한 전력으로 전파를 발사하는 기지국과 이를 송수신간 거리별로 수신하기 위한 수신장치가 있어야 한다. 이 장에서는 현장측정에 이용된 기지국 및 수신장치에 대해 기술하고 측정방법도 간략히 소개한다.

1. 기지국 제원

송신 기지국으로 현재의 이동통신 기지국을 그대로 이용하여 대전에서는 대전 기지국, 서울에서는 송인기 지국을 선정하였으며 각 기지국의 제원은 다음 <표 1>과 같다.

표 1. 기지국 제원

Table 1. Specification of base stations

기지국명	송신주파수	채널	송신전력 (ERP, W)	안테나 방향성	안테나높이 (m)
대 전	879.900	330	91.2	무지향성	40
송 인	879.810	327	14.5	무지향성	33

위 표에서 채널수는 각 기지국의 셋업채널(set-up channel)중 기지국에서 이동국으로의 송신 채널로서 신호 변조방식은 FSK(Frequency Shift-Keying)이고 전송속도는 10Kbps이다. 송신주파수는 이 셋업채널의 주파수로서 인근 셀에서는 서로 다른 셋업채널을 사용한다. 또한 안테나 높이는 지면으로 부터의 높이이며 안테나 방향성은 전부 무지향성(Omnidirectional)이다. 안테나로 부터의 송신 출력은 위 표와 같이 일정하게 유지하므로 송신 전력과 수신 전력간 차이를 용이하게 산출할 수 있다.

1. 주파수가 879.9MHz, 안테나 이득이 5dB, 안테나 종단저항이 50Ω일 때[7]
 $dBm = dBuV - 107$
 $dBuV / m \approx dBuV + 24$

2. 수신장치 제원

수신장치는 안테나와 수신기로 구성되며 이를 차량에 탑재하여 이동하면서 전계강도를 측정하였다. 안테나 길이는 약 70cm 이고 차량에 탑재된 안테나의 지상에서의 높이는 2.7m, 이득 5dB, 사용주파수 범위가 820~895MHz인 차량용안테나를 사용하였고 수신기는 측정주파수 범위 25MHz~1GHz, Resolution 12.5kHz, 대역폭 15kHz, 측정단위가 dBuV⁽¹⁾, 측정레벨을 0~1volt의 Analog 전압 레벨로 변환하는 기능을 갖는 제품을 사용하였다.

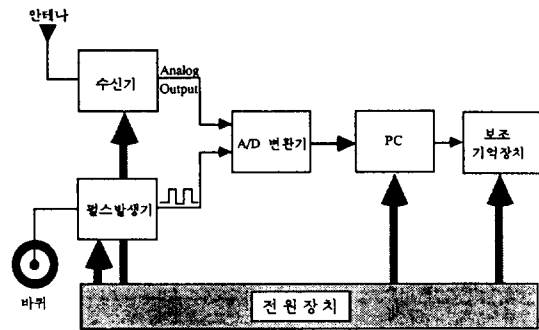


그림 2. 수신장치 계통도

Fig 2. Block diagram of signal strength measurement system

3. 측정방법 및 측정구간

수신기의 Analog 출력을 샘플링하여 이를 A/D변환후 PC에 기록하도록 하는 <그림 2>와 같은 측정 시스템을 구성하였으며 바퀴와 연결되어 있는 펄스 발생기에서는 바퀴 1회전당 100개의 펄스가 발생되도록 하여 차량의 이동속도에 관계없이 약 2cm마디의 일정한 거리간격으로 샘플링되도록 하였다.

측정구간은 대전기지국에서는 기지국을 중심으로 직교하는 4방향의 구간을 선정하였고 이중와동, 가수원구간은 각각 4회, 3회 측정을 반복하여 반복 데이터간 차이를 분석할 수 있도록 하였다. 또한 서울 송인기지국에서는 기지국을 시발점으로 하는 서로 다른 4개의 평행구간을 선정하여 경로손실 분석이 용이하도록 하였다.

Ⅳ. 전계강도 분석

<그림 2>와 같은 수신장치를 이용하여 측정된 측

정데이타중에서 송인지지국-퇴계로-대우빌딩 구간중 일부(2m 폭) 구간만을 다음 <그림 3>에 나타내었다. <그림 3>로부터 수신전계강도는 반파장 (17cm) 을 주기로하여 변동하고 있음을 알 수 있다.

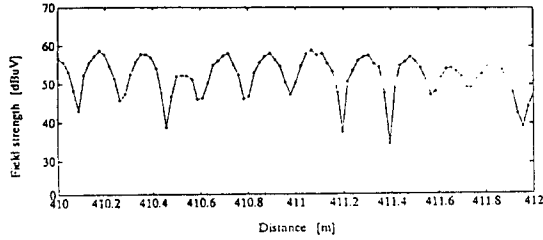


그림 3. 퇴계로 일부(2m 폭)구간에서의 측정데이타
Fig 3. Measured data on the Toege street in Seoul area

1. 단구간 중앙치

전파거리에 따른 경로손실을 구하기 위해서 단구간 중앙치(local median)을 구하였다[6]. <그림 3>에서 x축의 거리는 기지국과 이동국사이의 직선 전파거리로서 전파경로라고 한다. 측정시에는 차량이동거리가 구해지므로 측정데이타와 지도를 이용하여 전파경로를 산출하였으며 이 방법을 <그림 4>에 보였다. <그림 4>에서 x_1, x_2 는 실제 차량이 이동한 거리를 뜻하며 x 는 차량이동거리의 직선거리이다.

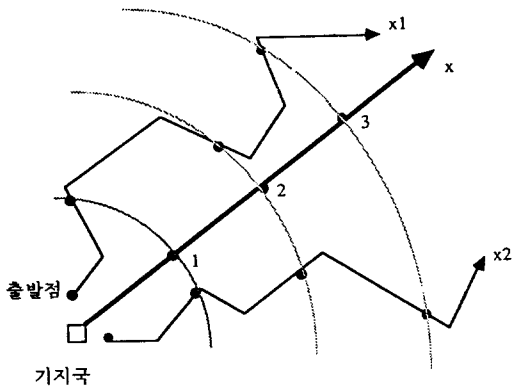


그림 4. 전파경로 산출
Fig 4. Calculation of propagation path

측정데이타의 재현성을 알아보기 위하여 4회에 걸쳐 반복측정한 와동구간에 대하여 20m 간격으로 얻

서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로손실 분석

은 단구간 중앙치를 이용하여 500m 간격으로 단구간 중앙치의 평균을 산출하였고 이를 <그림 5>에 나타내었다. <그림 6> ~ <그림 7>은 와동 및 EXPO구간에 대하여 산출된 20m 단구간 중앙치와 500m 평균치를 보였고 <그림 8> ~ <그림 9>에 서울지역 퇴계로 및 종로구간에 대해 나타내었다. 또한 서울 및 대전 각 구간에 대한 단구간 중앙치의 표준편차를 500마다 구하여 <그림 10>에 나타내었다.

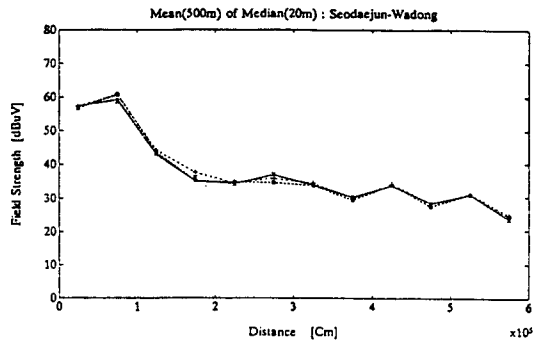


그림 5. 반복 측정데이타의 500m평균치(와동 구간)
Fig 5. 500m Mean value of repeatedly measured data (Wadong street)

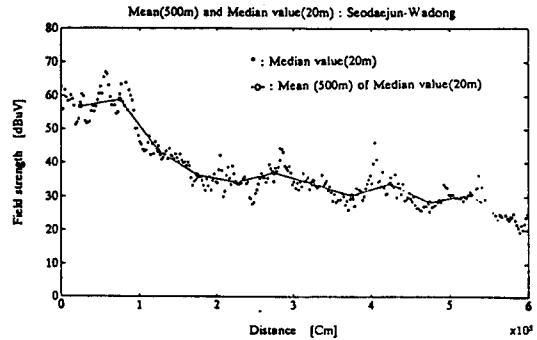


그림 6. 와동 구간
Fig 6. Wadong street in Daejeon area

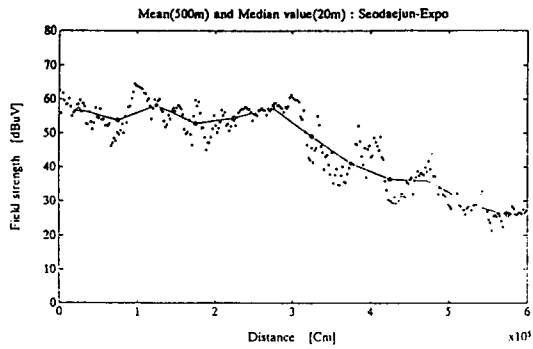
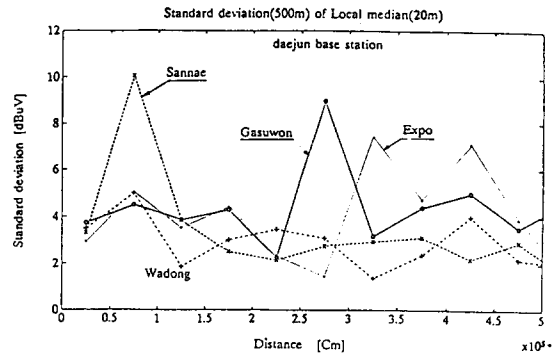


그림 7. 엑스포 구간
Fig 7. EXPO street in Daejeon area



(a)

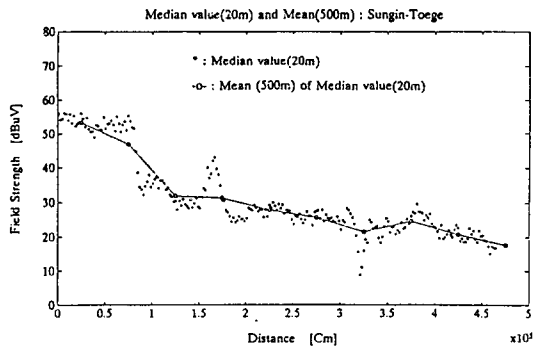
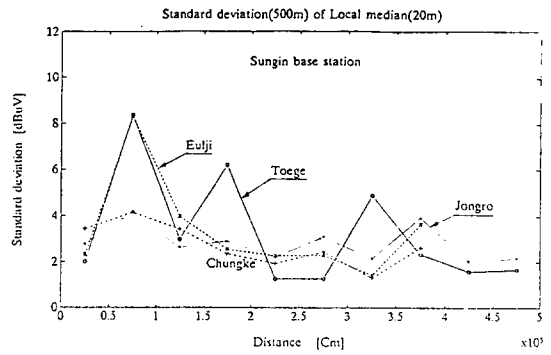


그림 8. 퇴계로 구간
Fig 8. Toege street in Seoul area



(b)

그림 10. 지역별 표준편차

- (a) 대전지역
- (b) 서울지역

Fig 10. Standard deviation for each area

- (a) Daejeon area
- (b) Seoul area

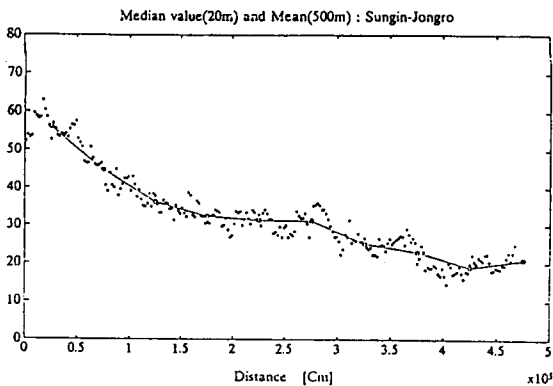


그림 9. 종로 구간
Fig 9. Jong street in Seoul area

2. 경로손실 분석

전과거리 1Km이후 구간에 대하여 산출한 대전 및 승인기지국별 경로손실 결과를 William C.Y.Lee의 예측모델[5]과 함께 <그림 11>에 나타내었다.

서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로손실 분석

-반복측정한 대전기지국 2구간의 단구간 중앙치 및 500m 평균치로 부터 반복 측정데이터간차이는 거의 없으며 특히 500m 평균치는 그 차이가 최대 3dB미만으로서 전파 수신기의 측정오차 ($\pm 2dB$) 보다 작은 것으로 나타났다. 이로 부터 측정데이터의 재현성을 충분히 알 수 있다.

-가수원, 엑스포구간의 강도가 일반적인 대도시보다 높게 나타나고 있는데 이는 각 구간이 송신국으로부터 거의 직선도로상이며, 주위의 빌딩이 낮고 밀집도가 약하기 때문이다.

-와동구간에서는 대전의 가장 중심지역을 통과하는 2Km까지는 대도시 예측모델과 유사하며 그 이후는 역시 교외지역 모델에 접근하고 있다.

-산내구간에서는 0.8Km부근 큰 고개를 넘어간 후 수신전계강도가 급격히 저하하여 계속해서 영향을 받게 된다.

-대전지역의 경로손실 기울기는 대체적으로 예측 모델과 일치하나 구간별로 차이를 보이고 있으며, 이는 구간의 지형 및 인위적 환경이 크게 다르기 때문이다. 또한 동일구간에서의 큰 편차는 고가도로, 고개, 다리위 등 지형의 스카이라인이 크게 영향을 받고 있다.

2) 송인기지국 측정데이터 분석

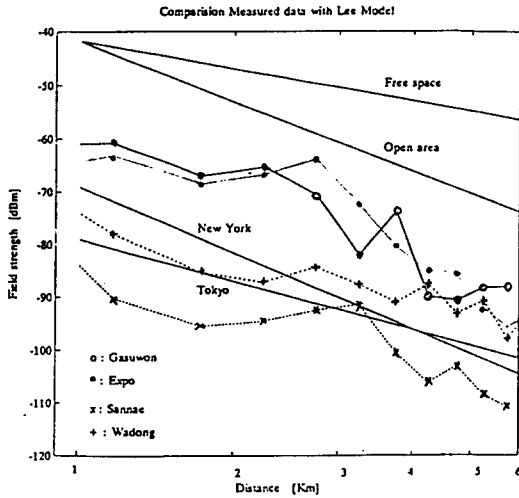
-서울 각 지역에 대한 표준편차의 변화는 전체적으로 2~8dBuV 사이로서 대전지역보다 작았으며, 네거리가 많은 퇴계로 구간에서의 변화가 다른지역의 것보다 크게 나타났다.

-송인기지국에서 측정한 4구간은 모두 서울 도심 지역으로 경로손실이 서로 큰 차이가 없는 것으로 측정되었고 그 이유는 서로 평행도로로서 전파환경이 유사하기 때문인 것으로 생각된다.

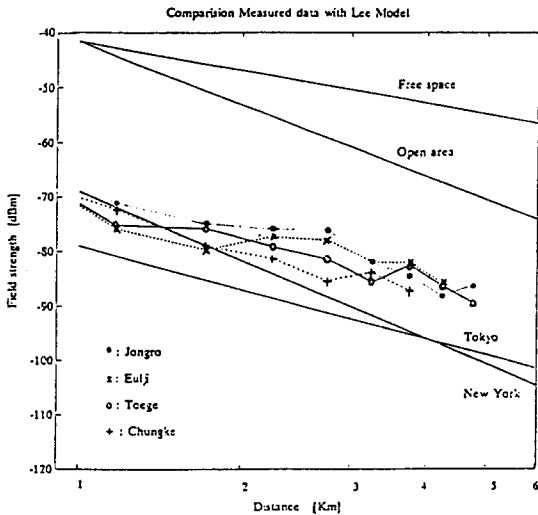
-4구간 모두 대전기지국 가수원, Expo구간보다는 경로손실이 크고 와동구간과는 큰차이가 없었으며 산내구간보다는 오히려 경로손실이 작은 것으로 나타났다.

-1Km 지점에서의 전계강도는 4구간 모두 뉴욕에 예측모델과 유사하였고 경로손실 기울기는 도쿄 예측 모델과 유사한 것으로 나타났다.

-전계강도의 변화는 대전지역보다는 작은 것으로 나타났으나 네거리 지역에서 큰 편차를 나타내었다.



(a)



(b)

그림 11. 경로손실의 측정치 예측치 비교

- (a)대전지역
- (b)서울지역

Fig 11. Comparison between prediction values and measured of pathloss

- (a)Daejeon area
- (b)Seoul area

1) 대전기지국 측정데이터 분석

-대전지역의 표준편차는 전체적으로는 2~10dBuV 사이에 있으며, 지형의 변화가 심하지 않는 구간보다 고개, 개활지등이 포함된 구간에서 큰 편차를 보였다.

V. 결 론

참 고 문 헌

본 고에서는 대전과 서울 일부구간에 대한 이동전파의 전계강도를 측정·분석하였다. 구간별로 2cm 마다 측정된 데이터를 통계적 처리하여 먼저 전파거리 20m마다 단구간 중앙치를 구하였고 이로부터 500m 마다 평균치와 표준편차를 구하였다. 분석결과, Fast fading의 주기가 대체로 $\lambda/2$ 임을 확인하였으며, 지형의 구조 및 인위적 환경에 따라 다소 편차가 있으나 측정·분석된 경로손실 특성이 예측모델과 유사하게 나타남을 알 수 있었다. 서울 지역 측정구간에서는 지형의 높이가 비교적 일정하여 장구간 페이딩이 심하게 나타나지 않았으나 대전의 일부구간에서는 언덕, 고가도로등에 의한 장구간 페이딩이 뚜렷함을 알 수 있었다.

서울지역 각 구간은 자유공간 경로손실치보다 약 30dB 낮은 상태에서 도쿄의 경로손실 기울기와 비례하여 경로손실 기울기가 나타났으며, 대전지역 가수원, EXPO구간은 기지국 근처에서 차폐물이 거의 없기 때문에 빌딩, 고개등 차폐물이 존재하는 산내, 와동구간에 비해 10~20dB 높은 상태로 뉴욕의 경로손실 기울기와 유사하게 나타내었다.

결론적으로, 이동전파신호는 1) 좁은폭의 도로보다 넓은 도로에서 전파가 잘된다. 2) 지형의 변화가 거의 없는 도로에서는 신호세기가 교차로부근에서 강해지고 차폐물중간에서는 약해진다. 3) 송신기근처에서 신호 변화가 심하며 멀어질수록 변화폭이 적어진다. 4) 언덕, 고가도로등에서 신호세기가 최대를 나타냄을 알 수 있었다.

1. William C. Y. Lee, Mobile Communications Engineering, New York : McGraw-Hill, 1982.
2. Yoshihisa Okumura, Eiji Ohmori, Tomihiko Kawano, and Kaneharu Fukuda, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service," Rev. Elec. Commun. Lab., Vol. 16, pp.825-873, Sept.-Oct. 1968.
3. M. Hata, "Empirical Formular for Propagation Loss in Mobile Radio Services," IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. VT-29, pp.317-325.
4. George Calhoun, Digital Cellular Radion, MA : Artech House, 1988.
5. William C. Y. Lee, Mobile Communications Design Fundamentals. Indianapolis, IN : Howard W. Sams & Co., 1986.
6. 준마이크로파대 개발을 위한 조사연구보고서, 이동무선센터, 일본, 1990.
7. Neil J. Boucher, The Cellular Radio Handbook, CA : Quantom Publishing, CH 8, 1990.