

대도시지역에서의 이동전파신호에 대한 수신전력 예측 모델

正會員 宋 棋 洪*, 李 東 斗*, 咸 泳 權*, 李 赫 宰*

Empirical Prediction Model for Received Power of Mobile Radio Signal in Large City Area

Ki Hong Song*, Dong Doo Lee*, Young Kwon Hahm*, Hyuck Jae Lee* Regular Members

要 約

대도시지역내에서 이동전파신호의 수신전력에 대한 실험적 예측모델을 제시한다. 이를 위하여, 본 논문에서는 수신전력의 장구간 페이딩 성분을 측정하는데 필요한 파라미터인 평균길이와 표본간격을 산출하기 위한 계산식과 전환점 산출 방법을 보였다. 계산식에서 얻은 이론치 중에서 국내 전파환경에 맞는 적절한 파라미터 값을 선택하기 위한 방법으로 측정을 통한 실험치와 이론치를 비교하여 가장 적절한 값을 선택하였다.

분석결과, 대도시 환경에서 90% 신뢰구간에 대해 평균길이는 30λ 이고 평균간격은 0.6λ 가 되었으며, 측정구간에서의 전환점 거리는 안테나 높이보다는 장애물의 크기에 영향을 받았다. 또한 선택된 파라미터를 이용하여 측정된 수신전력을 바탕으로, 건물의 높이와 폭, 도로 넓이 등 지역적 특성의 변화에 기인한 장구간 페이딩이 더해진 대도시 지역에서의 수신전력을 예측하는 모델을 제시하였다.

ABSTRACT

We propose an empirical prediction model for received power of mobile radio signal in a large city area. To do so, this paper presents the methods calculating a break point, theoretical values of mean length and sample duration in need of measurements for a proper long-term fading element of received power. And we select the best fit values by comparing empirical values with theoretical values so as to obtain long-term fading parameters in a domestic radio environment.

As a result, long-term fading parameters are determined to be 30 wavelength for mean length and 0.6 wavelength for sample duration with 90% confidence interval. The distance of break point in measured area is more deeply affected by the size of obstacles than antenna heights. On the basis of a measured received power using selected parameters, we propose an empirical prediction model for received power superimposed with a long-term fading causing a variation of local characteristics in a large city area.

* 한국전자통신연구소

Electronics and Telecommunications Research
Institute

論文番號 : 94361

接受日字 : 1994年 12月 4日

I. 서 론

이동전파의 수신전력에 대한 예측은 서비스 영역의 설정 및 이동통신시스템을 설계하는 데 있어서 반드시 고려되어야 하는 매우 중요한 요소이다. 따라서 지금까지 상당히 많은 예측모델이 개발되었으나 수신전력은 지형구조와 밀접한 관계가 있기 때문에 측정지역에 따라 예측치가 다르게 나타날 뿐만 아니라, 대부분 수십 km 이상의 거리에 대하여 제시되었다^(1,2,3). 그러므로 국내지형에 맞는 수신전력 예측모델 개발이 요구되며, 특히 대도시 지역에서의 서비스 영역이 수백 m에서 수 km 이내로 줄어들어서 지형구조의 변화뿐만 아니라 빌딩, 공원 등 인공적 구조물에 의하여 변화된 수신전력에 대한 예측모델이 필요하다.

본 논문에서는 대도시지역내에서 장구간 페이딩을 고려한 수신전력에 대한 실험적 예측모델을 제시한다. 이를 위해서는 먼저 건물의 밀집정도에 따른 수신전력의 변화량을 측정 및 분석하고, 분석된 데이터를 통해 결과식을 유도하여야 한다.

지형구조 및 건물의 밀집정도에 따른 수신전력, 즉 장구간 페이딩을 측정하기 위해서는 장구간 페이딩 파라미터인 평균을 취하기 위한 적절한 적분길이를 뜻하는 평균길이와 평균길이내에서 샘플링하고자 하는 데이터사이의 공간적 간격을 뜻하는 표본간격을 알아야 한다. 이를 위하여 지역여파방법등 많은 방법^(4,5)들이 제시되고 있지만, 분석코자 하는 지역의 환경 특성에 따라 각 파라미터의 크기가 달라지므로 실험적 통계에 의하여 적절한 수치를 산출하여야 한다. 또한 수신전력은 송신안테나에서 가까운 거리 내지 가시거리 구간(Line of Sight)에서는 직접파 또는 우세파가 존재하여 거리에 따른 감쇠정도가 완만하나, 먼 거리에서는 이보다 빨리 변화하게 되는 데 이때 감쇠정도가 달라지는 점을 전환점(break point)이라 하며⁽⁶⁾, 경로손실은 전환점을 기준으로 전환점 전후에서 서로 다르게 이루어지므로 전환점의 올바른 산출이 필요하다. 마지막으로 적절한 선택된 장구간 페이딩 측정 파라미터를 이용하여 측정된 수신전력을 바탕으로, 건물의 높이와 폭, 도로 넓이등의 변화에 기인하여 나타나는 장구간 페이딩이 더해진 대도시 지역에서의 수신전력을 예측하는 모델을 제시하였다.

본 논문은 다음과 같이 구성되어 있다. 먼저 2절에서는 수신전력에 대한 측정 및 분석을 하였다. 2.1절은

장구간 페이딩을 측정하는 데 필요한 파라미터인 평균길이와 표본간격을 산출하는 기준 및 이론치와 전환점 산출방법을 제시하였으며 2.2절에서는 2.1절에서 계산된 이론치들중에서 국내 전파환경에 맞는 최적의 파라미터 값을 정하기 위하여 측정을 통해 얻어진 실험치와 이론치를 비교하여 가장 적절한 값을 선택하였다. 제 3절에서는 2.2절의 방법으로 측정된 수신전력을 분석하여 건물의 높이와 폭, 도로 넓이등을 고려한 대도시 지역에서의 수신전력을 예측하는 모델을 제시하였다.

II. 장구간 페이딩에 대한 측정 및 분석

1. 측정 파라미터의 이론적 산출

수신 이동전파신호에 대한 장구간 페이딩 신호를 얻기 위해서는 평균을 취하기 위한 적분길이인 평균길이와 그 길이에서 표본 데이터 수를 나눈 표본간격을 결정하여야 한다. 즉 지형구조의 변화에 의한 신호세기의 변화량을 얻기 위한 적절한 길이를 선택하여야 하며, 선택된 길이내에서 적절한 신뢰도를 얻을 수 있는 표본 데이터 간격인 표본간격을 결정하여야 한다.

1.1 평균길이

수신 이동전파신호에서의 장구간 페이딩을 얻기 위해서는 평균을 취하기 위한 적절한 길이를 선택하여야 한다. 만약 평균을 취하기 위한 길이가 너무 짧으면 단구간 페이딩 성분이 평균을 취하는 과정을 거치고 난 뒤에도 존재하며, 너무 길면 단구간 페이딩 성분뿐만 아니라 장구간 페이딩 성분도 제거된다. 장구간 페이딩의 평균을 얻기 위한 길이는 지형구조와 밀접한 관련이 있다. 즉 자연적인 구조의 변화와 인위적 구조물의 크기등 지역적 특성에 따라 길이의 선택이 달라져야 한다.

수신 페이딩 신호를 거리 x 에 대한 함수로 나타내면 다음과 같이 쓸 수 있다⁽⁷⁾.

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

여기서 $m(x)$ 는 장구간 페이딩, $r_0(x)$ 는 단구간 페이딩 요소이다.

식(1)에서의 장구간 페이딩 $m(x)$ 를 얻기 위하여 임의의 지점 x_1 을 중심으로 $2L$ 의 길이에 대하여 적분한다.

$$\begin{aligned} \widehat{m}(x_1) &= \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} r(x) dx = \\ &= \frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} m(x) r_o(x) dx = \quad (2) \\ m(x_1) \left[\frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} r_o(x) dx \right] &= m(x_1) \end{aligned}$$

여기서 식(2)를 만족하기 위해서는

$$\frac{1}{2L} \int_{x_1-L}^{x_1+L} r_o(x) dx = 1 \quad (3)$$

이 되어야 하며 식(3)을 만족하는 적분구간 2L을 택하고 이를 식(2)에 대입하여 평균치로 일반화된 표준편차 σ_m 을 구한다음 식(4)에 대입한다⁽⁶⁾.

$$1\sigma_m \text{ spread} = 20 \log \left(\frac{1+\sigma_m}{1-\sigma_m} \right) \quad (4)$$

식(4)는 표준편차량이 추정 평균치에서 1dB이내에 분포되어 있는가를 나타내는 $1\sigma_m \text{ spread}$ 에 대입하여 결과가 1dB이하가 되는 적분길이를 구한다. 따라서 적절한 장구간 페이딩을 얻기 위하여 식(3)과 식(4)를 만족하는 길이 2L을 구한다⁽⁸⁾.

1.2. 표본간격

i번째 평균길이 구간내의 수신 장구간 페이딩 신호 r_i 가 대수정규분포를 갖는다면 r_i 가 특정레벨 R보다 작을 누적확률분포 $P(r_i \leq R)$ 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} P(r_i \leq R) &= \int_{-\infty}^R \frac{1}{\sqrt{2\pi}\sigma_r} \\ &\exp\left(-\frac{(r_i - \widehat{m})^2}{2\sigma_r^2}\right) dr \quad (5) \end{aligned}$$

여기서 σ_r 은 측정된 페이딩신호의 표준편차, \widehat{m} 은 평균을 나타낸다. 식(5)에 일반화된 $\frac{r_i - \widehat{m}}{\sigma_r}$ 및 R에 대한 적분구간 (-Z, Z)를 적용하고 이를 90%의 신뢰구간 (Confidence Interval)에 대하여 고쳐쓰면⁽⁹⁾

$$P\left(\widehat{m} - \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \widehat{m} \leq \overline{r}_i \leq \widehat{m} + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \widehat{m}\right) = 90\% \quad (6)$$

이므로 모평균 \widehat{m} 으로 일반화한 다음 dB로 표현하면 식 (7)과 같이 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} 90CI &= 20 \log \left\{ \frac{[1 + (0.8625/\sqrt{N})] \widehat{m}}{\widehat{m}} \right\} \\ &= 20 \log \left(\frac{1 + 0.8625}{\sqrt{N}} \right) \quad (7) \end{aligned}$$

식(7)에서 90CI는 90%신뢰구간을 뜻하고 표본평균 \overline{r}_i 가 모평균 \widehat{m} 에 대하여 $\pm 1\text{dB}$ 이내의 오차를 갖도록 한다면 식 (8)로 쓸 수 있다⁽⁸⁾.

$$90CI = 20 \log \left(1 + \frac{0.8625}{\sqrt{N}} \right) \leq 1 \text{ dB} \quad (8)$$

따라서 식 (8)에서 90%의 신뢰구간에 대하여 1dB이내의 오차를 가지기 위해서는 표본 수 N이 50이상이어야 한다. 이와 동일한 방법으로 99%의 신뢰구간에 대해 적용하며 표본 수 N은 122이상이어야 한다. 따라서 표본간격(SD: Sample Duration)은 식 (4)를 만족하는 길이 2L과 식 (8)에서 얻은 표본 수N을 이용하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$SD = \frac{2L}{N} \quad (9)$$

식 (9)는 장구간 페이딩 측정시 측정 데이터들 과도하게 수집하지 않고 적절한 데이터량을 수집할 수 있는 최대 측정간격을 뜻한다.

1.3 전환점(Break point) 산출

이동전파신호의 수신전력은 가시거리 및 근접한 거리에서는 직접파 또는 우세파가 존재하여 감쇠정도가 거리에 대하여 2승이하로 나타나며, 먼 거리에서는 이보다 빨리 변하게 되는데 이 때 감쇠 기술기의 불연속이 생기

는 지점을 전환점(break point)이라 한다.

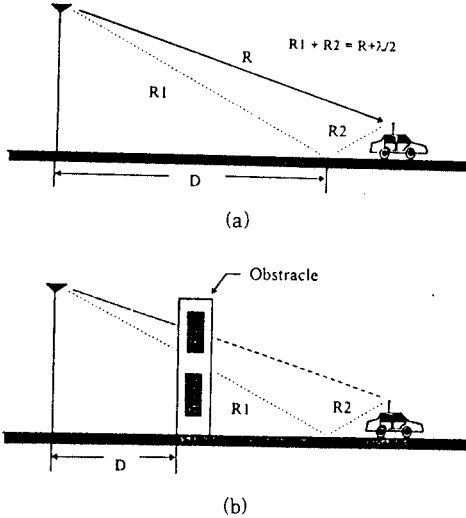


그림 1. 전환점거리 산출.
 (a) 가시거리 구간
 (b) 비가시거리 구간
 Fig. 1. Calculation of break point distance.
 (a) Line of sight region
 (b) Non line of sight region

그림 1에서 보는 바와 같이 전환점 거리 D는 가시거리 구간과 비가시거리 구간에 따라 달라진다. 송·수신 안테나가 가시거리 구간내에 있을 경우 그림 1a와 같이 첫번째 프레넬 영역(first fresnel zone)이 지면에 의해 차단되기 시작하는 지점과 송신 안테나간의 거리가 되며, 그림 1b와 같이 송·수신 안테나 사이에 장애물이 존재하는 비가시거리 구간에서는 장애물에 의해 직접파 및 우세파가 차단되는 지점과 송신 안테나와의 거리를 말한다⁽⁶⁾. 가시거리 구간에서의 전환점 거리는 다음과 같은 식으로 구할 수 있다.

$$D = \frac{1}{\lambda} \sqrt{(\Sigma^2 - \Delta^2)^2 - 2(\Sigma^2 + \Delta^2)\left(\frac{\lambda}{2}\right)^2 + \left(\frac{\lambda}{2}\right)^4} \quad (10)$$

식 (10)에서 h_b 는 안테나 높이, h_m 은 수신 안테나 높이를 나타내며 λ 는 파장이다. 그리고 $\Sigma = h_b + h_m$ 이며 $\Delta = h_b - h_m$ 이다. 만일 주파수가 높을 경우 파장과 안테나 높이에 대한 근사식으로 표현된다.

$$D = \frac{4h_b h_m}{\lambda} \quad (11)$$

이 전환점거리는 마이크로 셀의 크기를 정의하는 데 이용되기도 한다⁽¹⁰⁾.

2. 측정 파라미터의 실험적 산출

2.1 평균길이와 표본간격

수신 이동전파신호에서의 장구간 페이딩은 지형구조와 인공적 구조물에 밀접한 관계가 있다. 그러므로 도시를 형성하는 자연적인 요소뿐만 아니라 빌딩, 공원 등과 같은 인공적 구조물이 장구간 페이딩의 크기를 변화게 하는 요인이 된다. 따라서 장구간 페이딩은 해당지역의 지역 특성에 따라 달라지므로 앞에서 설명한 이론적 배경을 근거로 실험을 통하여 장구간 페이딩 측정 파라미터를 얻은 다음, 얻어진 각 파라미터를 이용하여 최적의 장구간 페이딩 신호를 얻어야 한다.

본 논문에서 이용되는 측정 데이터는 기지국에서 송출하는 제어채널의 포락선을 대역폭 30 kHz인 수신기로 수신하였고⁽¹¹⁾, 보다 정확한 위치 측정을 위하여 부가한 GPS는 25m 구형 에러확률(SEP)을 가지며 1초간격으로 GPS신호를 수집할 수 있는 시스템을 이용하였다. 또한 GPS신호에 있는 오차는 측정 데이터 분석시 이를 보정하는 방법을 이용하였으며 전체 구성도는 그림 2와 같다.

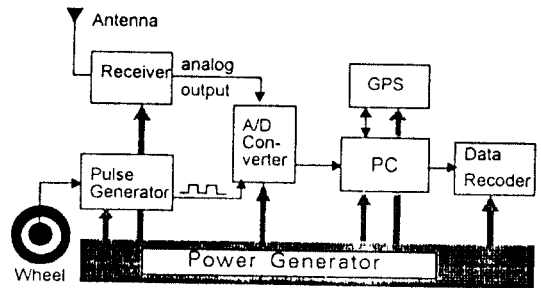


그림 2. 전계강도 측정시스템의 구성도.
 Fig. 2. Block diagram of field strength measurement system.

이러한 측정신호를 이용하여 대도시지역에서의 장구간 페이딩 분석을 위한 평균길이와 표본간격에 대한 측정

결과치를 이론치와 비교 분석하였다. 그림 3 은 장구간 페이딩을 얻기 위한 평균길이를 변화시켰을 때 서로 다른 평균길이에 따라 변하는 장구간 페이딩의 모습을 나타내었다.

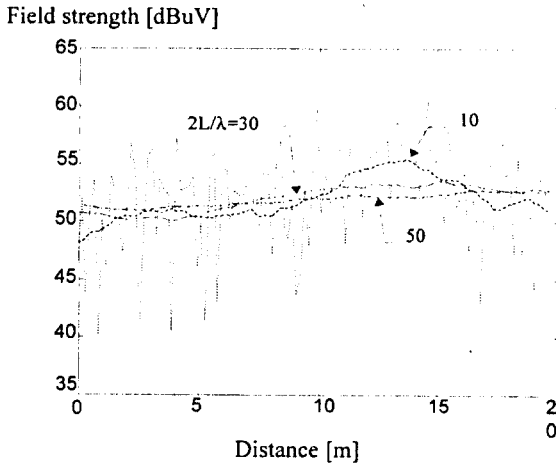


그림 3. 각 평균길이에 대한 장구간 페이딩의 변화량.
Fig. 3. Variation of long-term fading for various mean lengths.

그림 3 에서 보는 바와 같이 $2L/\lambda=10, 30, 50$ 인 경우를 비교해 보면 $2L/\lambda=10$ 인 경우는 $30, 50$ 인 경우에 비하여 신호세기의 변화에 매우 민감하게 따라가 단구간 페이딩 성분이 존재하게 되며 50 인 경우는 신호세기의 변화에 둔감하여 단구간 페이딩 성분뿐만 아니라 장구간 페이딩 성분도 제거됨을 알 수 있다. 그러므로 단구간 페이딩 성분만이 제거되는 적절한 길이를 선택해야 한다. 그림 4 는 평균길이 $2L/\lambda=30$ 에서 $0.15\lambda, 0.6\lambda, 1.8\lambda$ 의 표본간격에 대하여 장구간 페이딩을 구한 결과를 나타내었다.

그림 4 에서 보는 바와 같이 0.15λ 와 0.6λ 의 표본간격에 의한 곡선은 두 곡선사이의 차이가 거의 없으나 1.8λ 인 경우 두 곡선에 비해 차이가 크게 나타남을 볼 수 있다.

표 1 은 각 평균길이 및 표본간격에 대하여 측정신호를 분석하여 얻은 일반화된 표준편차의 $1\sigma_{\text{mspread}}$ 결과치를 나타내었다. 표에서 보는 바와 같이 880MHz 근처의 주파수에 대하여 $2L/\lambda=30$ (약 10m)인 평균길이에 대해 표본간격이 0.6λ 이하 즉 $30/0.6=50$ 개의 표본

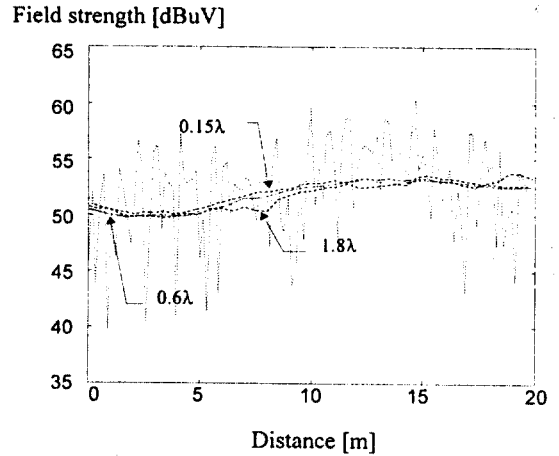


그림 4. 각 표본간격에 대한 장구간 페이딩의 변화량.
Fig. 4. Variation of long-term fading for various sample durations.

데이터 수이상 이 되도록 선택하면 최적의 장구간 페이딩을 얻을 수 있음을 알 수 있다. 따라서 이상의 결과로부터 대도시지역 장구간 페이딩을 얻기 위해서는 평균길이가 $2L/\lambda=30$ 이고 0.6λ 의 표본간격이 적절하다. 이러한 결과를 보면 건물의 폭, 도로 넓이 등이 미국, 일본 등의 대도시에 비해 상대적으로 작은 국내 대도시지역에서의 평균길이는 기존에 제시된^[4,12,13] 평균길이보다 짧은 것을 알 수 있었다.

표 1. 각 평균길이 및 표본간격에 대한 $1\sigma_{\text{mspread}}$.
Table 1. $1\sigma_{\text{mspread}}$ for various mean lengths and sample durations.

$2L/\lambda$	샘플 간격		
	0.15λ	0.6λ	1.8λ
10	1.6261	1.7265	1.9464
20	1.3227	1.3841	1.5751
30	1.0808	1.0841	1.3089
40	0.8493	0.8579	1.0179
50	0.5506	0.5940	0.7972

2.2 전환점 산출

국내 대도시지역의 여러구간에서 측정된 측정 데이터를 이용하여 전환점을 분석한 결과 주로 비가시거리 통화가 이루어지는 도심지역에서는 전환점 거리가 송·수신 안테

나 높이와 무관하게 나타났으나 교외지역에서는 송·수신 안테나 높이에 따라 결정됨을 알 수 있었다. 표 2는 측정 구간중 일부 경로에 대한 전환점을 나타낸다.

표 2에서 수신안테나의 높이는 지상고 2.7m로 모든 경우에 동일하며 경로 3, 5 는 가시거리 구간으로서 전환점이 이론치와 거의 유사하였다. 그림 5는 표 2의 경로 1에서 측정된 수신전력에 대하여 전환점주위에서의 기울기를 나타낸다.

그림에서 보는 바와 같이 송신국으로 부터 1km지점

에서 전환점이 생기는 것을 볼 수 있다. 이것은 빌딩등 장애물로 인하여 가시거리가 차단되므로서 이론치와 무관하게 접합점이 발생된다는 것을 나타낸다. 그림 6은 경로 3에 대한 측정결과로서 700m부근에서 전환점이 생겼으며, 이것은 전환점이 가시거리 영역이내에 있음을 보여준다. 그림 5 와 6 에서 보는 바와 같이 수신전력의 거리에 따른 감쇠정도는 전환점에 대하여 가까운 거리와 먼 거리에 따라 매우 심한 차이가 있음을 볼 수 있다.

표 2. 각 경로에서의 전환점 거리 산출.

Table 2. Calculation of break point distance for various propagation paths.

경로	구간	송신 안테나 높이(m)	송신 전력 {W:ERP}	전환점(m)	
				이론치	측정치
1**	대전기지국 - 특수급속	70	91.2		1000
2**	서대전기지국 - 산내	40	91.2		800
3*	도룡동기지국 - 유성기업사	20	91.2	655	700
4**	갈마기지국 - 용문동사거리	20	91.2		400
5*	유성기지국 - 국방과학연구소	40	91.2	1310	1300
6**	승인기지국 - 광화문우체국(청계로)	30	14.5		900
7**	승인기지국 - 서울역(퇴계로)	30	14.5		900

* : 가시거리 구간 ** : 비가시거리 구간

Field strength [dBuV]

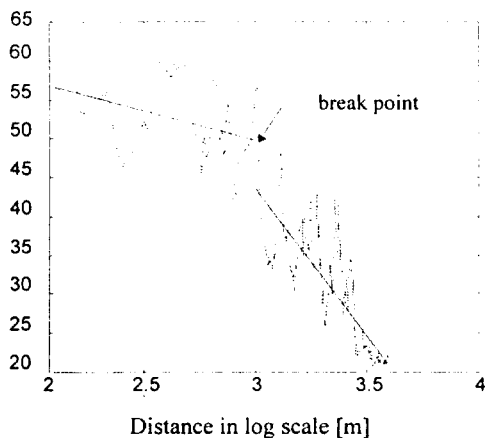


그림 5. 경로 1에서의 수신전계강도 곡선.
Fig. 5. Received signal strength curve for path 1 in Taejon.

Field strength[dBuV]

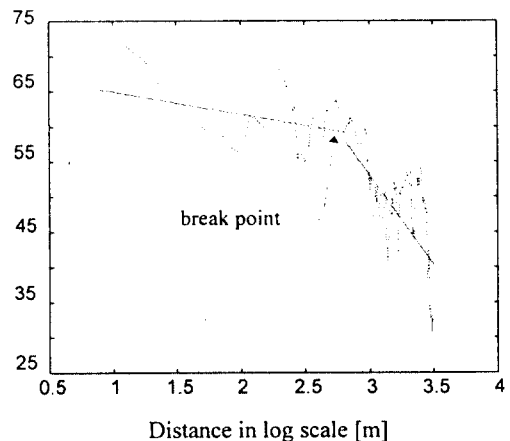


그림 6. 경로 3.에서의 수신전계강도 곡선.
Fig. 6. Received signal strength curve for path 3. in Taejon.

III. 수신전력 예측모델

이동전파신호에 대한 수신전력 예측모델은 지금까지 많은 방법들이 연구, 제시되어 왔지만 대부분 수십 km의 장구간에 대한 경로손실 예측모델로서 서비스 영역이 축소되고 송출전력이 줄어들뿐만 아니라 도시가 밀집화되는 추세인 최근의 이동전파신호의 예측모델로서 적용하기는 부적절하다. 또한 서비스 영역이 줄어들에 따라 건물의 높이, 도로 폭 등 지금까지 무시되어 왔던 요소들이 고려되어야 한다.

본 논문에서는 앞에서 제시한 장구간 페이딩 측정방법을 이용하여 서울 및 대전과 같은 대도시지역에서 도시의 밀집정도에 따라 측정된 장구간 페이딩신호를 분석하여 만든 새로운 예측모델을 제시한다.

1. 지역적 특성 분류 및 분석

대도시지역을 형성하는 지역적 특성을 분류하면 일반적인 도시 형태로서 표 3과 같이 나눌 수 있다.

표 3. 건물의 밀집정도에 따른 구분.
Table 3. Classification with built-up grade.

경우	도시 형태	표 2의 경로
1	고층(4층이상)건물 밀집지역	경로 1, 6, 7
2	고층건물 저 밀집지역	경로 3
3	저층(4층이하)건물 밀집지역	경로 2, 4
4	건물이 거의 없는 지역(2층이하, 고개)	경로 5

또한 도시의 밀집화정도가 심해짐에 따라 고층건물에 의한 가시거리 차단, 반사, 회절 및 송출전력의 감소등으로 서비스 영역이 줄어들어 기존의 예측 모델의 이용이 불가능하다. 이로 인하여 통화차단, 잡음 등 서비스 품질에 영향을 미치는 장애발생 요인은 경로손실에 의한 것보다는 shadowing, 다중경로 페이딩 등 국부적 장애요인에 의한 것이 심하게 된다. 따라서 지형구조 및 도시를 형성하는 주변구조물이 신호세기에 미치는 영향을 분석하는 것이 요구된다.

본 논문에서는 이상의 지역내에서 가시거리 지역, 건물 높이 및 폭, 도로 폭, 사거리, 고개, 고가도로 등에 대한 신호세기를 조사하여 이들의 평균을 통계화함으로

서, 특정지역의 지역특성에 따른 신호세기를 예측할 수 있도록 한다.

전환점이상의 거리에 대한 수신전력의 변화량을 이용하여 대전 및 서울지역의 전파환경을 분석하면 도시화의 정도에 따라 건물이 거의 없는 지역(경우 4)에서는 거리의 4.5승, 고층건물 저밀집지역, 또는 저층건물 밀집지역(경우 2, 3)에서는 4승, 고층건물 밀집지역(경우 1)에서는 거리의 2.9승에 반비례하는 경로손실을 가짐을 알 수 있다. 또한 지역 특성에 의한 신호세기를 세분화하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

- 1) 일반적으로 fitting curve이하에 존재하는 신호 세기의 폭의 크기는 장애물의 폭과 같다.
- 2) 가시거리 전환점을 가진 경로에서의 신호세기는 비가시거리 전환점을 가진 경로에서의 신호세기보다 약 9dB 높다.
- 3) 4차선이하의 도로에서는 가로수에 의한 감쇠가 심각한 통화장애요인이 될 수 있다.
- 4) 지역특성에 따라 fitting curve에 대한 신호세기의 변화량은 거리와는 무관하였으며, 대표적인 지역특성에 대한 변화량을 표 4에 보였다.

2. 이동전파 예측모델

서울 및 대전지역 장구간 페이딩 분석 결과 대도시지역의 전파환경에서는 건물 밀집정도에 따라 경우 2., 3.에서는 2.9승, 경우 1.에서는 거리의 4승, 경우 4에서는 거리의 4.5승에 비례하는 전파손실을 가지는 것으로 나타났으며 식 (12)는 대도시지역의 지역적 특성을 고려한 수신전력에 대한 것이다.

$$P_r = P_t + G_m - 12 \log \left(\frac{f_c}{5} \right)^2 - 45 \log d + 13.8 \log h_b + 5.5 \log \left(\frac{h_m}{3} \right)^2 - 42.5 + \alpha + \beta + \delta \quad (12)$$

여기서 α 는 건물 높이, 도로 폭 등 도시내의 평균 건물 밀집정도를 나타내는 요소에 의한 수신전력의 변화량을 뜻하며 β 는 수신지점에서의 도로 폭, 건물 높이 등 지역 특성에 따라 달라지는 수신전력을 뜻하는 장구간 페이딩요소이다.

또한

- P_t : 송신전력 [ERP:dB]
- f_c : 캐리어 주파수 [MHz]
- G_m : 차량 안테나 이득
- d : 송·수신 안테나간 거리 [100m]
- h_b : 기지국 안테나 높이 [m]
- h_m : 이동국 안테나 높이 [m]

으로 정의된다. 식 (12)를 보면 전파손실은 주파수와 거리에 비례하며 송·수신 안테나의 높이 및 이득에 반비례한다. 윗식에서 도시화정도를 나타내는 요소인 α 는

$$\alpha = 15 \log \left[\sqrt{w_o \times (0.5 \times h_o)} \right] - 20 \log (1.6h_o - 2.7h_m) + A \quad (13)$$

로 쓸 수 있다. 여기서 A는 건물 밀집정도에 따라 고층건물 밀집지역 : $A=16 \log d + 8 \log f_c - 32.0$

고층건물 저밀집지역 } $A=4.5 \log d - 6.5$
 저층건물 밀집지역 }

건물이 거의 없는 지역 : $A=0$

이며 β 는 수신지점에서의 지형구조 및 구조물에 의한 지역 특성에 의한 지역 특성에 따른 장구간 페이딩 보정 요소로서

$$\beta = 20 \log \left[\frac{\sqrt{w_l \times 0.5s \times m \times n}}{h_l - (h_m + h_e)} \right],$$

$$\frac{w_l}{h_l - (h_m + h_e)} < 1.5h_m$$

$$= 20 \log \sqrt{\frac{w_l}{h_l}},$$

$$\frac{w_l}{h_l - (h_m + h_e)} \geq 1.5h_m, \text{ LOS} \quad (14)$$

로 표현된다.

여기서

- w_l : 차량이 위치한 도로의 폭 [m]
- h_l : 차량이 위치한 근처 건물들의 높이 [m]
- h_e : 도로의 평균 높이와 차량이 위치한 도로 높이

와의 차이 [m]

n : 차량이 위치해 있는 도로 형태

$m = \frac{h_o}{h_l}$: 근처 건물들의 높이 대 기지국 안테나 높이 h_l 이의 비

s : 건물의 배치형태

이며 n 은 차량이 위치해 있는 도로 형태를 나타내는 요소로서 일반 직선도로인 경우 $n=2$, 사거리인 경우 $n=4$, 5거리인 경우 $n=5$ 가 되며 s 는 반사파에 대한 영향을 고려한 요소로서 비가시거리 영역에서 도로 양쪽에 건물이 위치했을 때 $s=2$, 한쪽 편에만 건물이 존재할 경우 $s=1$ 이 된다. 이는 건물이 도로 양쪽에 위치했을 때 회절 및 반사파에 의하여 신호세기가 증가되기 때문이다. 따라서 식 (14)는 도시의 구성형태를 알고 있을 때 신호세기의 변화를 예측할 수 있으며 이는 곧 장구간 페이딩을 뜻한다. 그리고 δ 는 전환점이 가시거리, 또는 비가시거리 지역인가에 따른 전환점 이후 수신전력의 신호세기를 보정하기 위한 요소로서, 비가시거리 전환점 전후의 신호세기가 가시거리 전환점 이후의 신호세기에 비해 약 9dB 낮게 나타난다. 또한 송·수신 안테나, 주파수 변화에 의한 수신전력의 변화는 참고문헌^(1,14)을 이용하였다.

그림 7, 8 은 표 2 의 경로 2, 5에 대하여 100m마다 평균하여 얻은 전계강도 측정치의 수신전력 예측곡선을 비교하였다.

Field strength [dBuV]

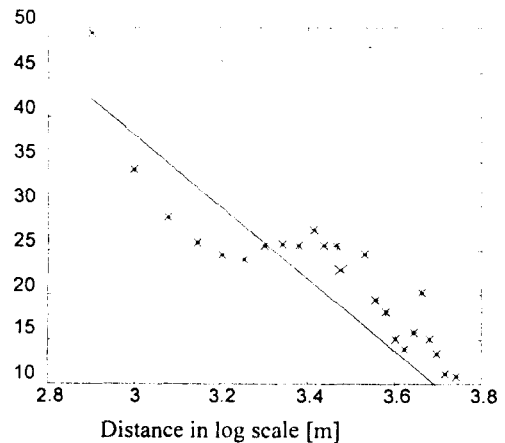


그림 7. 경로 2 에서는 평균전계강도와 예측곡선과의 비교.
 Fig. 7. Comparison average signal strength with prediction curve for path 2 in Taejon.

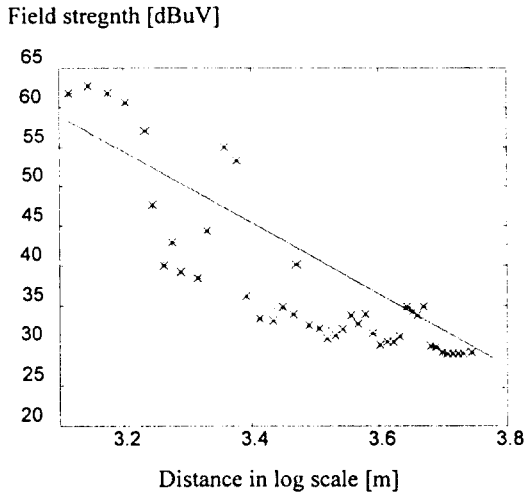


그림 8. 경로 5에서의 평균전계강도와 예측곡선과의 비교.
Fig. 8. Comparison average signal strength with prediction curve for path 5 in Taejon.

경로 2는 경우 3, 경로 5는 경우 4로 분류되어 각 예측 곡선과 비교하였으며, 비교 결과 측정된 신호세기의 fitting curve와 예측곡선과의 편차가 3dB이내로 나타났다. 표 4는 장구간 페이딩 요소인 지역 특성에 따른 신호세기의 변화량을 실제 측정치와 식 (16)에서 얻은 β 값을 비교하였다.

표 4. 지역특성에 따른 신호세기의 변화량.
Table 4. Variation of signal caused by local characteristics.

지역 특성	신호세기의 변화량 (측정평균치)	신호세기의 변화량 (실험식(β))
가시거리 지역	6~7dB	5~7dB
15m이상의 건물군	-7~-5dB	-7~-4dB
10m~15m	(건물군의 폭만큼)	(건물군의 폭만큼)
고가도로	5~6dB	5~7dB
사거리, 다리	5~6dB	5~7dB
4차선이하 도로의 가로수	-8~-6dB	

그림 9는 그림 5의 예측 곡선에 지역적 특성의 변화에 의한 장구간 페이딩 변화량을 더한 수신 전력량을 나타낸다.

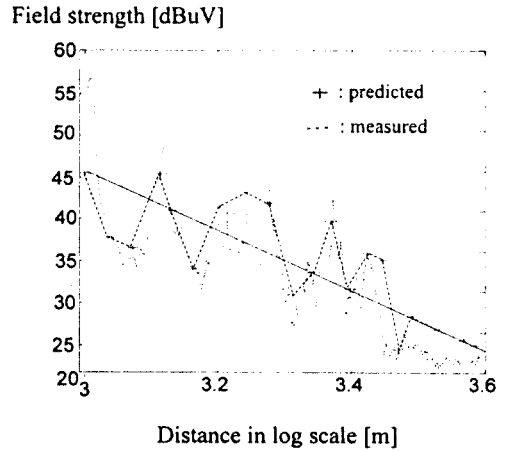


그림 9. 경로 1에서 지역특성을 고려한 수신전계강도와 예측곡선과의 비교.
Fig. 9. Comparison received signal strength caused by local characteristics with prediction curve for path 1 in Taejon.

그림 9와 표 4에서 보듯이 측정하고자 하는 지점에서의 주변 건물, 도로 등 지역특성을 파악하면 해당지점에서의 장구간 페이딩이 고려된 수신전력을 예측할 수 있다. 그림 10은 대전지역 경로 4에서 측정된 100m 평균 전계강도와 예측 곡선을 비교하였으며, 그림 11은 서울지역중에서 경로 6, 7에서 측정된 100m 평균 전계강도와 예측 곡선을 비교하였다. 그림 10, 11에서 보듯이 두 경우 모두 예측 곡선이 측정된 전계강도의 감쇠기울기를 잘 따라감을 알 수 있다.

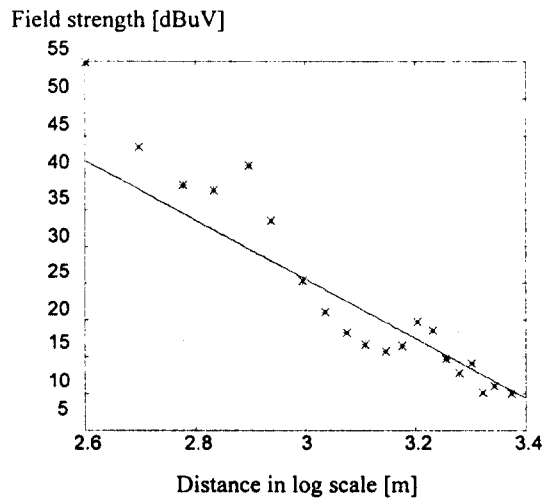


그림 10. 경로 4에서의 평균전계강도와 예측곡선과의 비교.
Fig. 10. Comparison average signal strength with prediction curve for path 4 in Taejon.

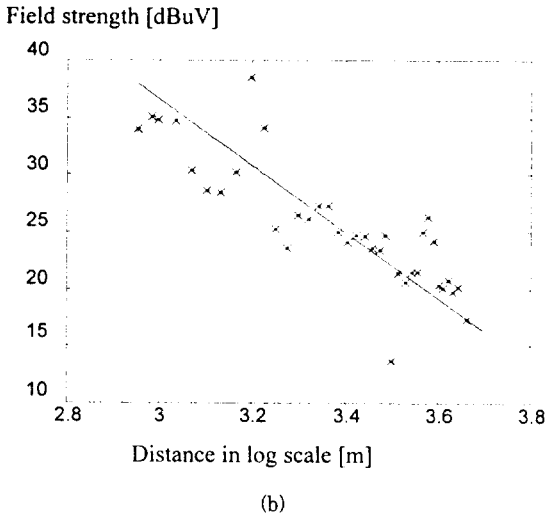
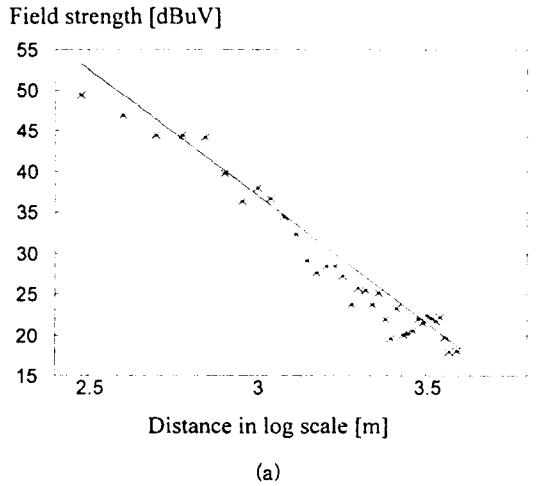


그림 11. 경로 6 과 7 에서의 평균전계강도와 예측곡선과의 비교
 (a) 청계로 구간(경로 6)
 (b) 퇴계로 구간(경로 7)
 Fig. 11. Comparison average signal strength with prediction curve for path 6 and path 7 in Seoul.
 (a) Chunggye street course (path 6)
 (b) Toegy street course (path 7)

IV. 결 론

본 논문에서는 국내 대도시지역에서 건물의 밀집 정도에 따라 변하는 수신전력 예측을 위한 실험적 모델을 제시하였다. 먼저 실험적 모델 도출을 위해서는 정확한 장구간 페이딩을 측정하여 분석하는 것이 필요하다. 이를 위해 빠르게 변하는 이동전파신호중에서 적절한 측정시

간 및 데이터량을 가지도록 장구간 페이딩 측정 파라미터인 평균구간과 표본간격을 실험적으로 산출하여 이론과 비교·분석하였으며, 분석 결과 얻어진 파라미터 값을 이용하여 대전 및 서울지역에서의 장구간 페이딩을 측정하여 지역적 특성에 따라 달라지는 전환점, 신호세기의 변화량 등을 분석하였다. 이를 토대로 수신전력 예측을 위한 실험적 모델을 도출하였다.

분석 결과, 대도시 환경에서 90% 신뢰구간에 대해 평균길이는 30λ 이고 표본간격은 0.6λ 가 되었으며, 건물의 폭, 도로 넓이 등이 상대적으로 작은 국내 대도시 지역에서의 장구간 페이딩의 평균 길이는 기존에 적용되는 평균길이보다 짧음을 알 수 있었다. 도심에서의 전환점은 빌딩 등 장애물에 의한 가시거리 차단으로 인하여 안테나 높이에는 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났으며, 수신전력의 거리에 따른 감쇠정도는 전환점에 대하여 가까운 거리와 먼 거리에 따라 매우 심한 차이가 있음을 볼 수 있었다. 또한 유사한 지역 특성을 가진 구간에서는 송·수신 거리에 관계없이 페이딩의 크기 및 폭이 유사하였다. 예측모델을 이용한 수신전력의 예측은 대체로 측정된 수신전력에 근접함을 볼 수 있었다. 앞으로 개인통신 주파수 등 주파수와 안테나 높이의 변화 등에 따른 수신전력 측정과 같이 보다 다양한 전파환경에 따른 수신전력을 측정하므로써 예측모델의 보정이 필요할 것이다.

참고문헌

1. Yoshihisa Okumura, Eiji Ohmori, Tomihiko Kawano, and Kaneharu Fukuda, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Services," Rev. Elec. Commun. Lab. Vol. 16, pp. 825-873, Sept.-Oct. 1968.
2. Gilles Y. Delisle, Jean-paul Lefevre, Michel Lecours, and Jean-yves Chouinard, "Propagation Loss Prediction : A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel," IEEE Trans. V.T., Vol. VT-34, No. 2, pp. 86-96, May 1985.
3. M. hata, "Empirical Formular for Propagation Loss in Land Mobile Radio Services," IEEE

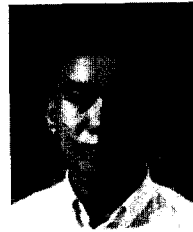
Trans. Veh. Technol., VT-29, no. 3, pp. 317-325, 1980.

4. Michel Lecours, Jean-Yves Chouinard, Gilles Y. Delise, Jean Roy, "Statistical Modeling of the Received Signal Envelope in a Mobile Radio Channel," IEEE Trans. V.T., Vol. 37, No. 4, Nov. 1988.
5. William C. Y. Lee, "Estimate of Average Power of a Mobile Radio Signal," IEEE Trans. V.T., Vol. VT-34, No. 1, Feb. 1985.
6. Howard H. Xia, Henry L. Berton, Leandro R. Maciel, Andrew Lindsay-Stewart, Robert Rowe, and Limond Grindstaff, "Radio Propagation Measurements and Modeling for Line-Of-Sight Microcellular Systems," in Proc. 42nd IEEE Veh. Technol. Conf., pp. 349-354, May 10-13 1992.
7. William C. Jakes, Jr., Microwave Mobile Communications, John Wiley & Sons, Inc., 1974.
8. William C. Y. Lee, Microwave Communications Design Fundamentals, John Wiley & Sons, Inc., 199.
9. A. Papoulis, Probability, Random Variables, and Stochastic Process, McGraw-Hill, NewYork, 1965.
10. Mitsuhiro Mizuno, Eimatsu Moriyama, and Takeshi Manabe, "An Overview of Recent Propagation Studies for Land Mobile Communication," IEICE Trans. Commun., Vol. E76-B, No. 2, pp. 58-64, Feb. 1993.
11. 송기홍, 정인명, 김종호, 양기근, "서울 및 대전지역에서의 전계강도와 경로손실 분석," 한국전자과학기술회, Vol. No. 2, pp. 4-10, 6. 1993.
12. Joram Walfisch and Henry L. Bertoni, "A Theoretical Model of UHF Propagation in Urban Environments," IEEE Trans. A.P., Vol. 36, No. 12, pp. 1788-1796, Dec. 1988.
13. Victor Graziano, "Propagation Correlation at 900 MHz," IEEE Trans. V.T., Vol. 27, No. 4, Nov. 1978.
14. Lena Melin, Martin R nnlund and Rickard Angbratt, "Radio Wave Propagation A Comparison Between 900 and 1800 MHz", IEEE VTS 43th Vehicular Tech. Conf. 1993.



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

* 주관심분야 : 무선통신, 이동통신



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

* 주관심분야 : 무선통신, 이동통신



成泳權 (Young Kwon Hahm) 정희원
 1958년 6월 12일생
 1980년 2월 : 연세대 전자공학과(공학사)
 1982년 2월 : 연세대 대학원 전자공학과(공학석사)
 1984년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 전파신호처리연구실 선임연구원

* 주관심분야 : 디지털 이동통신



李赫宰 (Hyuck Jae Lee) 정희원
 1947년 11월 20일생
 1970년 2월 : 서울대 전자공학과(공학사)
 1977년 : Oregon State Univ. 전자공학과(석사)
 1982년 : Oregon State Univ. 전자공학과(박사)

1970년 ~ 1973년 : 해군 기술장교

1976년 ~ 1982년 : Oregon State Univ. 연구조교 및 Teaching Assistant

1983년 ~ 현재 : 한국전자통신연구소 전파공학 연구부장