

Hata Path Loss Model에서 Log-normal Distribution을 가정한 CDMA PCS 시스템의 Cell반경 산출

정회원 이명국*, 이호경**

The Calculation of Cell Radius for CDMA PCS System on the presumption of Log-normal Distribution with The Hata Path Loss Model

Moung Kuk Lee*, Ho Kyung Lee** *Regular Members*

요 약

본 논문은 CDMA PCS 이동통신 시스템의 망 설계를 위하여 거리에 따른 신호 감쇄 현상 분석 모델(변형된 Hata path loss model) 및 통계적 신호 강도 분포 모델(Log-Normal 분포)을 제시한다. 제시된 모델에 대구 산적동 및 수성동 지역의 측정 데이터를 적용하여 이들 지역에서 신호 강도의 세기가 임계치를 초과하는 지역의 백분율을 산출하여 망 설계의 기본 자료로 활용할 수 있도록 하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose the signal strength path loss model (modified Hata path loss Model) and the signal strength distribution model (log-normal distribution) for the cell design of the land mobile communication system. We applied the measured experimental data at Soosungdon and Sanjuckdong in Daegu, to this model and calculate the fraction of total area above threshold.

1. 서 론

최근 CDMA PCS시스템은 그 이론 및 기술 구현의 진보에 힘입어 무선통신망의 무선접속 표준으로 채택되기에 이르렀고 CDMA PCS 이동통신 뿐만 아니라, 추후 구현될 여러 형태의 이동통신 분야에도 응용될 것으로 기대되고 있다. 효율적인 이동전화망을 설계하기 위해서는 정확한 전파전달 손실 예측이 요구되어진다. 이러한 전파전달 손실예측에 사용되는 모델로는 Okumura model, Hata model, Walfish-Bertoni model, Ikegami model, Ray tracing

알고리즘 등이 있다. 각각의 모델은 모두 장단점이 있으나, 본 논문에서는 전파예측 모델로서 Hata model을 기본으로, 해석지역을 몇 개의 구간으로 나누어 각 구간마다 모델을 최적화 시켜 보았다. 또한 최적화된 모델로 예측한 결과의 유효성을 확인하기 위하여 대구의 일부지역 측정결과와 비교하였다.

특히 본 논문에서는 breakpoint를 전파환경에 따라 조정하였고, Gaussian 분포를 이용한 셀 크기 산출에 초점을 맞추어, 계산결과를 대구의 수성동, 산적동지역 측정결과와 비교하여, 타당성을 검증하였다.

* (주) LE 텔레콤 망관리팀 근무

** 홍익대학교 전파공학과 조교수(mklee@igtel.co.kr)

논문번호 : 98242-0608, 접수일자 : 1998년 6월 8일

II. Hata Model의 도입

이동통신 환경에서 전파의 감쇄비율은 상수가 아니다. 감쇄비율은 주변환경의 영향에 따라서 거리가 다 변하는 값을 가진다. 이러한 감쇄 상수값이 변하는 점을 breakpoint라고 한다. 아래 그림 II-1에서 breakpoint와 감쇄값의 관계를 나타내었다.^[1]

Hata model은 Okumura curve의 실험 데이터를 사용하여 만든 실험식을 150MHz~1500MHz범위에서 도출하였으며^[2], Hata의 실험식을 2000MHz범위로 확장하여 얻어진 식은 식(1)과 같다.^[3]

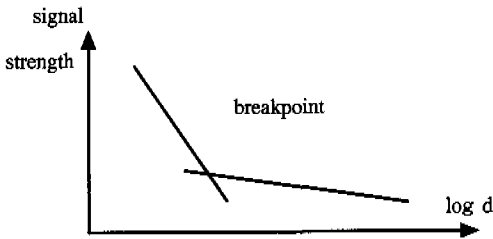


그림 II-1. 신호세기와 breakpoint

PCS에서 대도시의 Hata model

$$PL_{average} = 46.3 + 33.9 \log f_c - 13.82 \log h_{te} - a(h_{re}) + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d + C_M \quad (1)$$

중소도시의 이동국 안테나 높이 보정 factor(Hata's mobile height correction form)

$$a(h_{re}) = (1.1 \log f_c - 0.7) h_{re} - (1.56 \log f_c - 0.8) \quad (1.a)$$

대도시 이동국 안테나 보정 factor

$$a(h_{re}) = 3.2 (\log 11.75 h_{re})^2 - 4.97 \quad (1.b)$$

$PL_{average}$: 대도시(urban) 지역의 평균 특성경로 손실, dB값 (1500MHz to 2000MHz)

f_c : 1.5GHz ~ 2GHz의 주파수로서 MHz단위이다

h_{te} : 30m ~ 200m 영역의 기지국 안테나 높이로서 meter단위이다

h_{re} : 1m ~ 10m 영역의 Mobile안테나 높이로서 meter단위이다

d : T-R separation distance로서 Km단위이다

$a(h_{re})$: 이동국 안테나 높이 보정factor

C_M = 보정상수

식(1)에서 Mobile의 안테나 높이에 따른 영향을 나타내는 $a(h_{re})=0$ 으로 가정하고 주파수를 1800MHz이면 식(1)에 대입하면 다음과 같은 식을 얻는다.

(h_{re} 가 1.8m일 경우 대도시의 $a(h_{re})$ 는 0.65이다)

$$PL_{average} = 156.65 - 13.82 \log h_{te} + (44.9 - 6.55 \log h_{te}) \log d + C_M \quad (2)$$

C_M = 0dB for medium sized city and suburban areas 3dB for metropolitan centers

(2)식을 실제 이동통신 환경에 적용하기 위하여 breakpoint구간별로 다음과 같은 식을 적용한다.

$$PL_{average} = C_1 - C_2 \log h_{te} + (C_3 - C_4 \log h_{te}) \log d + C_5 \quad (3)$$

표 II-1. Drive Test Equipment

No.	명칭	용도	Model	Maker
1	EXP2001	GPS Receiver	명칭과 동일	LCC
2	DCS1800	Rx Receiver	명칭과 동일	LCC
3	TX1500	Transmitter	명칭과 동일	LCC
4	Watt Meter	Watt Meter	Model 43	BIRD Eletronics
5	Antenna		731-621	KA THREIN Eletroni
6	Collect2000	Data Collection Tool	Software	LCC
7	CDMA	DT Analysis Tool	Software	LCC

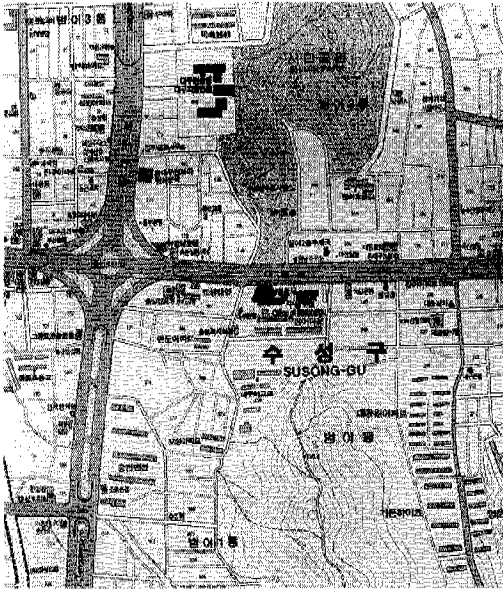


그림 II-2. 수성동지역의 환경
(지도의 ●표시는 base station 표시임)

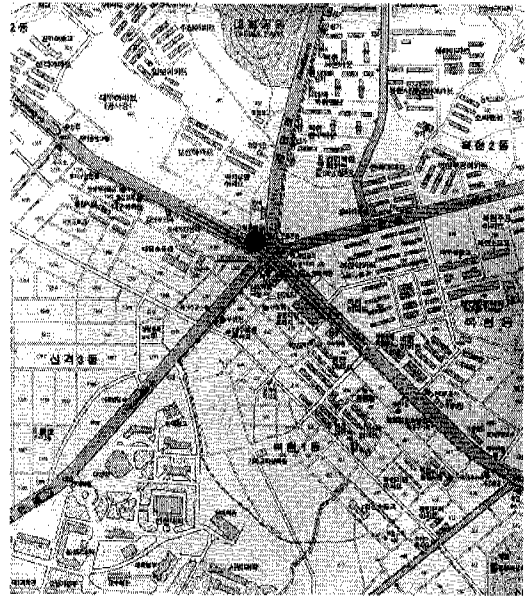


그림 II-3. 산격동지역의 환경

$(C_3 - C_4 \log h_{ie})$: log scale에서 거리에 따른 변
화의 기울기

식(2)를 이용하면 $C_1=156.65, C_2=13.82, C_3=44.9, C_4=6.55, C_5=1$ 값이 된다. 그러나 주변환경에 따라서 전파가 감쇄하는 현상이 가지각색이므로, 셀마다 최적의 breakpoint값과 감쇄비율을 갖는 것이 중요하다. 여기서 최적이라는 표현은 전파모델에 의한 전파세기의 계산값과 실제로 측정된 값이 거의 일치한다는 의미이며, 최적화하기 위해서는 식(3)의 C_1 부터 C_5 까지 파라메타들은 셀 주변환경 마다의 고유한 값들이므로, 특정 형태에 따른 파라메타들의 형태를 예측하는 것은 전파모델의 최적화를 위하여 매우 중요하며, C_3, C_4 을 조정하여 감쇄비율을 조정한다.

III. 변형된 Hata Model

식(2)의 Hata model은 거리 d 에 따른 평균path loss가 $PL_{average} = A \log d + B$ 형태의 식이며, 같은 송수신 거리 d 일지라도, 각각 다른 위치에서는 환경에 따라 수신신호는 다른 값들을 가진다. 그러므로 임의의 거리에 대한 path loss값 $PL(d)$ 는 평균값이 $PL_{average}(d)$ 이며, 표준편차 σ 이고, 거리 d 에 따른 log 함수로써, 같은 거리일지라도, 위치와 환경에

따라 random하게 변함을 가정할 수 있다.

평균 path loss는 지수 n 을 사용하여 거리의 함수인 식(4)로 표현된다.^{[4],[5]}

$$PL_{average}(d) = PL(d_0) + 10n \log \left[\frac{d}{d_0} \right] \quad (4)$$

$$R_{average}(d) = P_t(d) - PL_{average}(d) \quad (5)$$

$PL_{average}(d)$: 평균 path loss이며, dB단위 이다.

n : path loss exponent

d_0 : transmitter에 근접된 기준거리

d : 송수신간 거리

$R_{average}(d)$: 평균 수신신호값

$P_t(d)$: 기지국 송신신호값

$PL(d_0)$: d_0 지점의 path loss이며, dB단위 이다.

여기서 n 은 환경에 따라 다르며, 자유공간에서는 2이며, 장애물이 존재하면 값은 증가한다. path loss exponent를 아래의 (표 III-1)과 같다.

도심지역(urban area)인 대구의 수성동 지역과 산격동 지역은 Hata model를 사용하여, 계산한 결과와 측정치를 비교하였다.(그림 III-1, III-2, III-3, III-4) 기지국 송신출력은 $5W=37dBm$ 으로 하였고, 기지국 안테나 높이=30m, 이동국안테나 높이=1.8m이고, omni안테나를 사용하였다.

표 III-1. 여러 환경에서의 path loss exponent [6]

Environment	Path Loss Exponent, n
Free space	2
Urban area cellular radio	2.7 ~ 3.5
Shadowed urban cellular radio	3 ~ 5
In building line-of-sight	1.6 ~ 1.8
Obstructed in building	4 ~ 6
Obstructed in factories	2 ~ 3

이 그림에서 측정치와 예측치를 동시에 나타냈으며, 수성동 지역 측정치와 예측치를 비교하여 보면 셀 중앙부분의 값이 -72dBm이고, Hata model 예측값은 -75dBm으로 차이가 별로 없는 것을 알 수 있다. 그러나 수성동 지역 전체를 보면 예측값과 평균 11.7dBm의 차이가 있어 Hata model 식(2)를 적용하기에는 문제가 있음을 알 수 있다. 식(4)에서 $d_0 = 1\text{Km}$ 로 할 경우 d_0 지점의 path loss의 측정값을 구하면, 그림 III-2에서 n 값이 3.52이며, 기지국으로부터 2.2Km거리는 Shadowed urban cellular radio 임을 알 수 있다. 즉 d_0 지점의 path loss의 측정값을 구하여 그림 III-2에서 n 값이 예측가능 하므로 평균 path loss를 구할 할수 있다.

또다른 도심지역인 산격동은 그림 III-3에서 볼때 예측값과 측정치가 일치하는 값도 있으나, 전체평균 19.11dBm 차이가 있다. 이와 같이 base station에 가까운 지역에서는 평균 19.4dBm 정도로 예측값과 측정치가 차이가 나고, breakpoint 이후에는 평균 14.8dBm 정도의 차이가 있음을 볼 수 있다.

(그림 III-4)을 보면 최적화 작업 후 신호세기를 볼 수 있는데, 기지국 주변에서 측정값은 -45dBm이고 최적화 후에 계산값도 -41.20dBm임을 알 수 있을 뿐만 아니라, 셀 중앙근처와 셀 주변지역에서도 측정치와 오차가 2.95dBm정도로 거의 일치함을 알 수 있다.

(그림 III-4)에서 n 값이 1.63인 L-M지역(기지국으로부터 0.24Km거리)은 in building line-of-sight이고, 식(4)에서 $d_0 = 1\text{Km}$ 로 할 경우 d_0 지점에서의 path loss의 측정값을 구하면 n 값이 4.93인 M-N지역(0.19Km~1Km거리) Shadowed urban cellular radio이고, n 값이 7.83인 N-O지역(1Km~2.16Km) Obstructed in building임을 알 수 있다. 수성동 지역과 비교하여 보면 산격동 지역은 도시의 아파트 지역이므로 감쇄 기울기가 훨씬 컸으며, 최적화 작업도 셀 중앙보다는 주변지역을 중점으로 최적화

시켜야 한다.

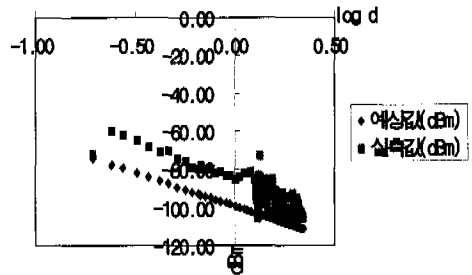


그림 III-1. 대구 수성동 지역
($PL_{average} = A + B \log d$ 에서 $A = -100.23$,
 $B = -35.22$)

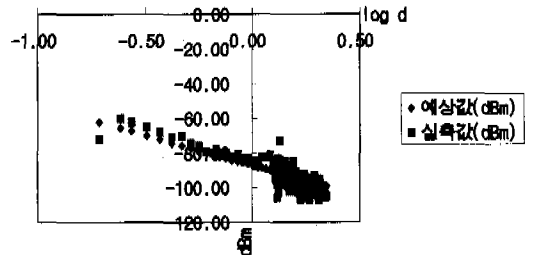


그림 III-2. 대구 수성동 지역 최적화
($PL_{average} = A + B \log d$ 에서 $A = -88.29$,
 $B = -35.22$)

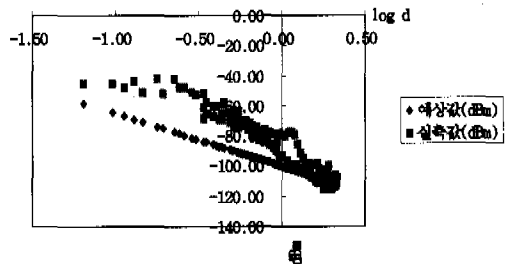


그림 III-3. 대구 산격동 지역
($PL_{average} = A + B \log d$ 에서 $A = -100.23$,
 $B = -35.22$)

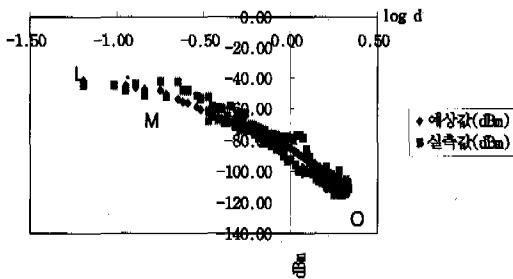


그림 III-4. 대구 산격동 지역 최적화
 $(PL_{average} = A + B \log d$ 에서 L-M :
 A = -60.58, B = -16.32
 M-N : A = -85.58, B = -49.32
 N-O : A = -85.58, B = -78.33)

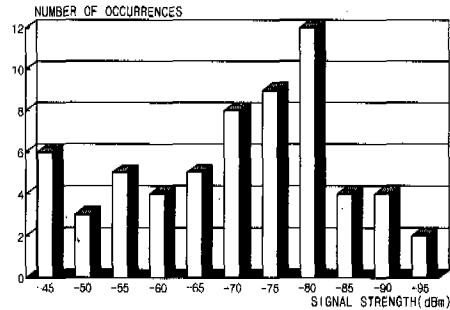


그림 IV-2. 1.05Km지점내의 산격동 Histogram (1800MHz)

IV. Signal Strength의 통계학적 분포

전송손실값(dB)은 지형에 따라 shadowing이 다르며, deep fades가 발생하는 환경에서는 Hata model을 사용하여 예측하기에는 곤란하다. 즉 측정하고자 하는 지역의 정확한 전송손실값 예측은 너무 많은 경계조건(boundary conditions)설정과 지역에 따른 변화성으로 예측 불가능하므로, 전파의 수신신호값을 통계학적인 측면에서 해석하고자 한다.

고정(fixed base)기지국 일 경우, 수신신호값의 분포는 이동국 안테나 높이, 가용주파수, 동일 환경에서 이동국과의 거리에 따라 변화하며, 수신신호값(dBm)은 log-normal distribution하다는 가정하에 Gaussian probability density function을 가지는 log-normal shadowing조건을 만족한다. (그림 IV-1, IV-2)는 1800MHz 주파수에서 사용가능한 수신신호 임계치가 -95dBm이상으로 가정할때, 실측지는 수성동 지역은1.27Km, 산격동 지역은 1.05Km거리임을 알수 있으며, 수신신호값과 발생회수를 나타낸 정규 분포 모델이다.

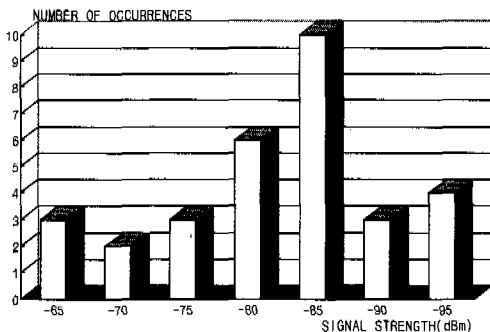


그림 IV-1. 1.27Km지점내의 수성동 Histogram (1800MHz)

각각의 기지국 안테나로부터 셀 반경내의 평균 신호값이 log-normal로 분포되어 있다는 가정 하에, Rayleigh fading으로 평균화된 신호값은 decibels단위를 가진 normal random variable X와, X의 평균 m 그리고 표준편차 σ로 표현된다.

위(5)식의 $R_{average}(d) = m$ 이 평균 수신신호이고, 수신 신호임계치(receiver threshold)를 x_0 로 한다면, 이동국이 수신 신호임계치를 초과하는 지역의 백분율(cell boundary coverage = $P[X > x_0]$)을 결정할 수 있다.

X의 확률밀도는 [7] [8]

$$P(X) = \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m)^2}{2\sigma^2}} \tag{6}$$

임계치 x_0 를 초과하는 X의 Gaussian random variable X의 확률 P_{x_0} 은

$$P_{x_0} = P[X > x_0] = \int_{x_0}^{\infty} \frac{1}{\sigma\sqrt{2\pi}} e^{-\frac{(X-m)^2}{2\sigma^2}} dx \tag{7}$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{x_0 - R_{average}(d)}{\sigma\sqrt{2}}\right]$$

임의의 임계값 x_0 를 초과하는 수신신호 레벨의 확률(probability of received signal) P_{x_0} 는 식(7)로 계산하고, 기지국의 셀 반경 R과 요구되는 수신신호 임계치 x_0 를 이용하여, cell boundary coverage = $P[X > x_0]$ 를 알면, 서비스지역의 백분율을 계산할 수 있다.

$U(x_0)$ 는 셀 반경 R과 기지국에서 이동국 안테나의 거리 r에서 주어진 수신신호 임계치($x_0 = -95$ dBm)를 초과하는 이동국 안테나의 수신신호값이 서비스 가능하다고 예상할 때, 송신 점에서 면적(dA)에 따라 서비스 가능한 지역의 백분율이다.

$$U(x_0) = \frac{1}{(\pi R^2)} \int P_{x_0} dA = 1/(\pi R^2) \int_0^{2\pi} \int_0^R P_{x_0} r dr d\theta \quad (8)$$

$$P_{x_0} = 1/2 - 1/2 \operatorname{erf} \left[\frac{x_0 - \{ P_t(d) - (PL_{average}(d_0) + 10n \log(r/d_0)) \}}{(\sigma \sqrt{2})} \right] \quad (9)$$

path loss를 정하기 위해서 cell boundary를 언급하면 ($r=R$)

$$PL_{average}(r) = 10n \log(R/d_0) + 10n \log(r/R) + PL_{average}(d_0) \quad (10)$$

식(9)에 대입하면

$$P_{x_0} = \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf} \left[\frac{x_0 - \{ P_t(d) - (PL_{average}(d_0) + 10n \log(R/d_0) + 10n \log(r/R)) \}}{(\sigma \sqrt{2})} \right]$$

$$a = \frac{[x_0 - P_t(d) + PL_{average}(d_0) + 10n \log(R/d_0)]}{\sigma \sqrt{2}}, \quad b = \frac{(10n)}{\sigma \sqrt{2}} \quad (11)$$

하고,

식(11)에 대입하면,

$$U(x_0) = \frac{1}{(\pi R^2)} \left(\frac{1}{2} \right) (2\pi) \int_0^R [1 - \operatorname{erf}(a + b \log \frac{r}{R})] r dr$$

$$= \frac{1}{R^2} \left[\int_0^R r dr - \int_0^R \operatorname{erf}(a + b \log \frac{r}{R}) r dr \right]$$

$$= \frac{1}{2} - \frac{1}{R^2} \int_0^R r \operatorname{erf}(a + b \log \frac{r}{R}) dr \quad (12)$$

식(12)에서 $t = a + b \log(r/R)$ 이면,

표 IV-1. 수성동지역 및 산격동에서 x_0 dBm값 이상의 확률

$P[X > x_0]$	임의의 1.5Km지점에서 수성동의 수신신호값(x_0)	임의의 0.97Km지점에서 산격동의 수신신호값(x_0)
90%	-100.3 dBm	-91.2 dBm
80%	-98.0 dBm	-88.9 dBm
70%	-96.3 dBm	-87.3 dBm
60%	-94.9 dBm	-85.9 dBm
50%	-93.5 dBm	-84.6 dBm
40%	-92.2 dBm	-83.3 dBm

$$U(x_0) = \frac{1}{2} + \frac{2e^{2t/b}}{b} \int_{-a}^{\infty} \operatorname{erf}(t) dt \quad (13)$$

$$U(x_0) = 1/2 [1 - \operatorname{erf}(a) + \exp(\frac{1-2ab}{b^2}) \{1 - \operatorname{erf}(\frac{1-ab}{b})\}] \quad (14)$$

$r=R$ 에서 $R_{average}(d) = x_0$ 이면 $a=0$ 이다.

$$U(x_0) = \frac{1}{2} [1 + \exp(\frac{1}{b^2})(1 - \operatorname{erf}(\frac{1}{b}))] \quad (15)$$

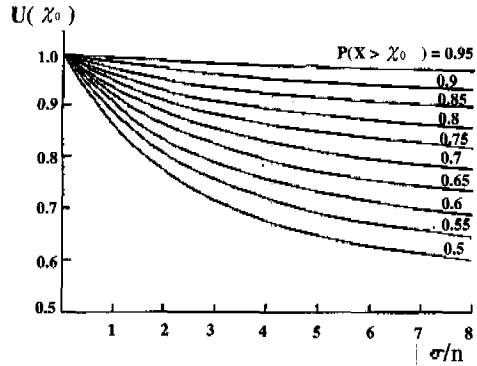


그림 IV-3. $U(x_0)$ 와 $P[X > x_0]$ 의 관계 그래프

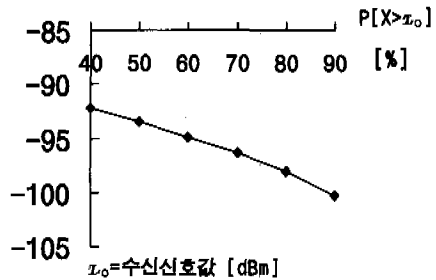


그림 IV-6. 셀 반경1.5 Km지점에서 x_0 dBm값 이상의 확률곡선(수성동지역)

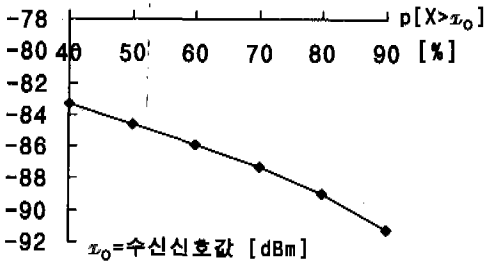


그림 IV-7. 셀 반경 0.97 Km 지점에서 x_0 dBm 값 이상의 확률곡선(산격동 지역)

수성동의 표준편차는 $\sigma = 5.30$ dB이며, 임의의 셀 반경 1.50 Km 지점에 -95 dBm 이상인 signal level을 수신하는 확률은

$$\begin{aligned}
 P[X > -95 \text{ dBm}] &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{x_0 - R_{\text{average}}(d)}{\sigma\sqrt{2}}\right] \\
 &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{(-95 + 93.46)}{5.30\sqrt{2}}\right] = 61.43\%
 \end{aligned}$$

61.4%의 boundary coverage 상에서, 서비스지역 백분율은 (그림 IV-3)에서 88%임을 알 수 있다. 반경 1.50 Km 지점의 셀면적 $\pi R^2 = \pi (1.5 \text{ Km})^2 = 7.06 \text{ Km}^2$ 의 88%인 6.217 Km^2 가 실제 서비스지역으로, 측정값과 비교하면, $\pi r^2 = 6.217 \text{ Km}^2$ 에서 $r = 1.4 \text{ Km}$ 이다. 이것은 측정값에서 보면 실제반경 1.27 Km과 0.13 Km 오차가 있으며,

산격동의 (그림 III-4)의 M-N 구간의 표준편차는 $\sigma = 5.10$ dB이며, 임의의 셀 반경 0.97 Km 지점에서 -95 dBm 이상인 signal level을 수신하는 확률은

$$\begin{aligned}
 P[X > -95 \text{ dBm}] &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{x_0 - R_{\text{average}}(d)}{\sigma\sqrt{2}}\right] \\
 &= \frac{1}{2} - \frac{1}{2} \operatorname{erf}\left[\frac{(-95 + 84.59)}{5.10\sqrt{2}}\right] = 97.92\%
 \end{aligned}$$

97.9%의 boundary coverage 상에서, 서비스지역 백분율은 (그림 IV-3)에서 99%임을 알 수 있다. 반경 0.97 Km 지점의 셀면적 $\pi R^2 = \pi (0.97 \text{ Km})^2 = 2.95 \text{ Km}^2$ 의 99%인 2.92 Km^2 가 실제 서비스지역으로, 실제 측정값과 비교하면 $\pi r^2 = 2.92 \text{ Km}^2$ 에서 $r = 0.93 \text{ Km}$ 이다. 이것은 측정값에서 보면 실제반경 1.05 Km과 0.12 Km 오차가 있음을 알 수 있다.

VI. 결론

본 논문에서 Hata model을 기본으로, 해석 하고

자하는 지역을 몇 개의 breakpoint로 구분하여, 각 구간마다 path loss를 식(4)과 같이 $\log d$ 에 대한 1차식으로 근사한 전파모델의 최적화 하는 방법을 논하였다. path loss exponents를 사용하여 base station에 근접한 임의의 지점의 path loss의 측정값을 사용하여 예측한 값과 측정값과 비교해보니 어느 정도 일치함을 볼 수 있었다. 지형에 맞는 모델 상수를 적용한 변형된 Hata model을 이용하여, 예측한 해당지역이 Gaussian 분포를 이용한 서비스지역 백분율(area coverage)이 측정값과 일치함을 알 수 있었다.

참고문헌

- [1] Kazimierz Siwiak, "Radiowave Propagation and Antennas for Personal Communications," 1995 Artech House, Inc. pp.123-146.
- [2] Hata, Masaharu, "Empirical Formula for Propagation Loss in Land Mobile Radio Service," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol. VT-29, No.3, pp. 317-325, August 1980.
- [3] European Cooperation in the Field of Scientific and Technical Research EURO-COST 231, "Urban Transmission Loss Models for Mobile Radio in the 900 and 1800MHz Bands," Revision 2, The Hague, September 1991.
- [4] Cox, D. C., Murray, R. and Norris, A., "800 MHz Attenuation Measured in and around Suburban Houses," AT&T Bell Laboratory Technical Journal, Vol.673, No. 6, July-August 1984.
- [5] Bernhardt, R. C., "Macroscopic Diversity in Frequency Reuse Systems," IEEE Journal on Selected Areas in Communication, Vol-SAC 5, pp. 862-878, June 1987.
- [6] T.S. Rappaport, "Wireless Communication," Ch3, Ch4.
- [7] Jakes, W.C. Jr., "Microwave Mobile Communications," Wiley-Interscience, 1974.
- [8] Reudink, D. O., "Properties of Mobile Radio Propagation Above 400MHz," IEEE Transactions on Vehicular Technology, Vol.23, No.2, pp.1-20, November 1974.

