

한국 지형에서의 무선평출 주파수 대역의 전계강도 예측모델

The Path Loss Prediction in Korean Terrain Environment

이 형 수* · 조 삼 모*

Hyung-Soo Lee* · Sam-Mo Cho*

요 약

육상 이동통신의 서비스 범위 예측에 가장 기본이 되는 전송 손실 계산 방식은 그 적용범위 및 모델도출 방법에 따라 많은 발전을 거듭하여 왔다. 그러나, 전파는 이것이 지나가는 환경, 즉 빌딩의 특성이나, 나무, 그리고 지형형태 등에 의해 너무나 많은 영향을 받으므로 미국, 일본 등 외국의 환경에서 만들어져 국내에 도입된 전파 예측모델들은 우리나라의 실정에 적합하지 않는 점이 많다. 본 논문에서는 국내 지형을 분석하여 그 특성에 따라 여섯가지의 종류로 분류하고 각각에 해당하는 국내 지역을 선정하여 무선평출 주파수 대역에서 전계강도 측정을 수행하였다. 또한, 이 측정 데이터를 이용한 실험식과 함께 산악지역에서의 회절 계산식을 포함하여 가시거리 및 비가시거리를 구분하여 전계강도를 계산하는 예측모델을 만들었다. 제안된 모델을 국내 지형 데이터 베이스와 연결하여 전계강도 예측을 수행한 값과 실측된 데이터와 비교한 결과, 최소 3dB에서 최고 9dB 정도로 오차가 나타났으므로 실용성이 있을 것으로 판단된다.

Abstract

Path loss prediction method, one of the most essential parts in measuring the service area in mobile telecommunication, has been developed for many years. But, wave propagation depends on many kinds of environmental factors such as frequency, distance, the heights of transmitting and receiving antenna and the terrain status (buildings in large city, hilly terrain, mountain). These are the main reasons that the propagation models developed in foreign environments can not fit into Korean propagation condition. In this paper, therefore, we performed the measurement in Korean terrain environment in pager frequency band after deviding the terrain characteristics into six types. With this measured data, we derived several curves that follows the long-term wave propagation behavior and developed the wave propagation prediction model which calculates the field strength at any point in the service area. The proposed model estimates the field strength in two categories, LOS (line-of-sight), or non LOS. We applied this model using the digital terrain data base and compared with the measured data. The result shows that the errors were between 3~9dB, which turned out to be practical.

* 한국전자통신연구소 전자파공학연구실 (ETRI, Electromagnetic Science Section)

· 논문번호 : 96-2-024

· 접수일자 : 1996년 6월 8일

I. 서 론

육상 이동통신의 서비스 범위 예측에 가장 기본이 되는 전송 손실 계산 방식은 그 적용범위 및 모델도출 방법에 따라 많은 발전을 거듭하여 오고 있는데 그 주요한 특징을 서술하면 다음의 몇가지로 요약될 수 있다.

첫째로 전파의 전송특성이 주파수 및 송수신점간의 거리뿐만 아니라 송수신 안테나 사이에 존재하는 모든 지형적, 환경적 요인에 의해 영향을 받으므로 순수한 이론을 통한 예측을 수행하기 보다는 Okumura[1,2] 및 CCIR방식[3], Allsebrook와 Parson[4] 등과 같이 특정한 환경하에서의 측정된 값의 통계적인 수치로서 전계강도를 예측하고자 하는 시도이다. 이러한 모델들은 각 모델들이 개발될 당시의 전파환경에 의존하기 때문에 다른 지역에서는 적용이 되지 않는 경우가 대부분이다.

그리고, 복잡한 지형에서의 전계강도를 예측하기 위하여 위와 같은 경험적인 방법 및 이론적인 방법을 동시에 고려하여 전계강도를 예측하도록 하는 방식들[5,6]이 많이 개발되어 있는데 여기에서 이론적 방식은 자유공간이나 평면지구에서의 전파이론으로 표현된 수식으로서 회절손실, 지구곡률, 대기의 영향, 빌딩차폐 등의 요소를 부가적으로 추가하고 있다.

또한, 예측하고자 하는 지역의 지형, 지물 및 기후 데이터를 저장하고 있는 컴퓨터를 이용하여 직접 field test를 수행하지 않고도 임의의 지점의 전계강도를 알아 볼 수 있게 하도록 하는 방법들이 많이 개발되고 있는데 미국 상무성의 TIREM[7] 모델을 비롯하여 Longley-Rice[8], CRC[9] 모델 등이 이러한 방식으로 개발된 모델들이다. 컴퓨터를 이용한 전송손실의 계산에는 계산 모델의 정확성뿐만 아니라 실제 지형을 대변하는 지형 데이터의 정확성도 수반되어야 한다.

한국지형의 특징은 산이 많이 존재하기 때문에 도시나 평야지의 반경이 10 km를 넘는 곳이 드물

고 또한, 하나의 도시 내부에서도 그 도시 특성의 변화가 복잡하여 그 특성을 정확하게 구분하여 결정하기가 곤란한 지역이 대부분이다.

국내에서는 부분적으로 국내 지형의 특성을 고려하여 기존 모델에 보정인자를 포함시킨 연구들[10, 11]이 있었는데 한국 지형의 특성을 체계적으로 분류하여 측정된 데이터는 아직 미흡하고 대부분 외국의 모델에 국내 환경의 차이를 보정하여 손실 예측을 하고 있는 실정이다.

본 논문에서는 한국 지형에서의 전파특성을 경험적이고 이론적인 방법을 통해 도출해낸 전파전파 예측 모델을 제시한다. 이를 위하여 한국 지형을 그 특성에 따라 밀집대도시, 대도시, 중소도시, 평야, 해안 그리고 산악 지역으로 나누고 각 지역에 해당하는 국내 지역을 선택하여 2년간 측정을 수행하여 특성 데이터를 수집하였다.

측정된 데이터를 통계적인 처리 방법을 이용하여 기본적인 전송손실 곡선을 추출해 내었다. 또한, 산이 많은 지역의 회절 손실을 보상하기 위하여 프레넬-키르호프 이론에 기인한 knife-edge 회절손실식을 이용하여 점대점 예측을 할 수 있도록 하였다.

제안된 모델을 국내 지형 데이터 베이스와 연결하여 국내 지역의 임의 점에 대한 전파 특성을 예측할 수 있도록 프로그램 하였는데 이 결과를 실측 데이터와 비교한 결과 최소 3 dB에서 최고 9 dB 정도의 오차가 나타났다.

II. 국내 지형구분 및 전파특성 측정

지형의 종류는 일반적으로 준평활 지형과 불규칙 지형으로 크게 구분된다. 여기에서 준평활 지형이란 전파경로상 지형의 기복이 약 20m 이내의 평탄한 지형을 말한다. 그러나, 지형의 형태뿐만 아니라, 지상 장애물의 종류 또한 매우 다양하고 주거지역, 빌딩지역, 숲지역 등의 형태도 각 나라마다 조금씩 다르기 때문에 더 세분화된 지형의 정의는 쉽지가 않다. 그러므로 각국에서는 자국의 환경에 따라 보통 주거, 빌딩, 나무 등 산란체의 통계적 특성

을 추출하거나 빌딩의 점유면적, 높이, 나무밀도, 도로의 평균 폭 등과 같은 파라미터들을 도입하여 지물을 정의하고 있다.

본 논문에서는 위와 같은 여러 지형 및 지물특성 구분의 예들을 고려하여 한국 지형에서 전파전파 특성상 현저히 구분될 수 있는 지형, 지물로서 다음과 같은 6 가지의 형태를 기준으로 하여 측정 지역을 선정하였다. 이러한 기준에 따라 국내 지역을 선정하여 '94 년 및 '95 년에 걸쳐 측정을 실시하였다.

- 밀집대도시 - 주변 빌딩이 15층 이상인 건물 밀집지대
- 대 도시 - 4층 이상 15층 미만의 빌딩이 존재하는 지역
- 중소도시 - 4층 미만의 저밀도 지역, 중소도시
- 평야 - 송수신점이 가시거리 범주내인 지역
- 해안 - 육상에 기지국이 있고 해안에 수신 지점이 분포한 지역
- 산악 - 지형의 기복도가 심하고 대부분 가시거리가 보장이 안되는 지역

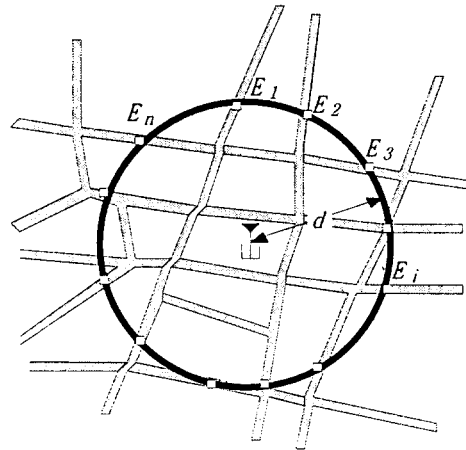
본 측정에서는 금성 GSPT-320을 320 MHz 주파수대로, 삼성 SRPT-300A1을 160 MHz 주파수대의 송신기로 각각 사용하였다. 그리고, 안테나는 무지향성 안테나를 사용하여 무선평파 서비스에 주로 사용되는 수직 편파로 송신하였다. 이동국의 전계강도 측정기로는 Anritsu사의 ML521B와 ML522B를 사용하였다. 또한, GPS로부터 입력되는 위치정보를 매초 2개씩 샘플링하여 전계강도 데이터와 위치정보를 한 파일로 저장매체에 기록하도록 하였다. 측정이 완료된 후, 저장된 순시데이터로부터 단구간 중앙치 및 장구간 평균값을 도출하였다.

III. 전파전파 예측모델

3-1. 지역대 지역 예측

이동국의 위치가 기지국에서 가시거리에 위치할 경우, 지역대 지역 예측방식으로 전계강도 값을 계산한다. 이러한 지역대 지역 예측모델을 만들기 위해서는 측정된 데이터를 통계 처리하여 그 변화의 추이를 수식으로 만드는 경험적 방식을 사용하게 된다. 이것은 가시거리 조건 하에서 지역 구분에 따른 변화, 송수신안테나 높이의 변화, 주파수의 변화에 따른 측정된 데이터의 각 지역별 장구간 중앙값으로부터 도출할 수 있다. 이 때, 같은 지역 특성을 갖더라도 각 경로 주변의 인공 구조물이나 빌딩, 도로의 형태가 전부 동일한 것이 아니므로 전파환경에 차이가 나게 된다. 이러한 점을 반영하기 위해 본 논문에서는 [그림 1]과 같이 각 경로를 산술평균하여 추세선으로 설정하였다.

위와 같은 방식으로 측정된 데이터를 처리하여 지역별로 추세선을 나타내어 보면 다음의 [그림 2]의 그래프들과 같다.

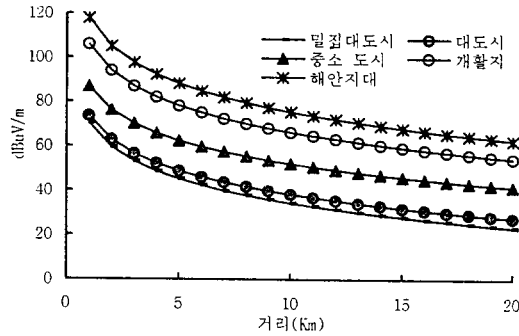


$$E(d) = \frac{1}{n} \sum_{i=1}^n E_i$$

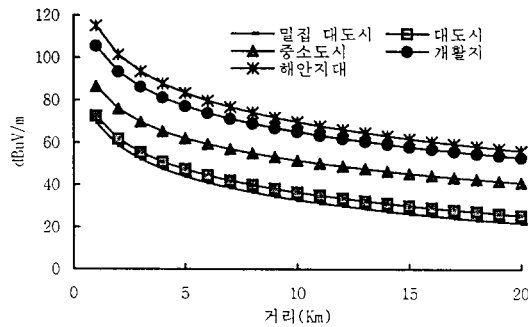
E_i : short term median

[그림 1] 장구간 중앙치 개념도

[Fig. 1] Long-term median.



a) 160 MHz



b) 327.05 MHz

[그림 2] 주파수별 전계강도 그래프(50%)

[Fig. 2] Field strength curve for frequency (50%).

이 곡선들을 비교해 볼 때, 전계강도 E(dB (V/m)와 거리 d(km)의 변화에 따른 특성은 거리의 지수승에 비례하여 전계강도가 감소하는 것을 볼 수 있고, 곡선 전체의 유형이 거리의 4승 정도에 비례하여 감소되는 경향을 볼 수 있으며, 지역별로 160MHz와 327.05MHz의 주파수 변화에 대한 추세선의 차이는 그다지 크지 않은 것으로 나타난다.

지역별 차이는 중소도시에서는 개활지에 비해 약 20dB 정도의 차이를 보이며 밀집대도시인 경우 주파수에 따라 36~40dB의 차이를 보이고 있다. 이러한 차이는 도시의 밀집화, 주변 빌딩의 높이에 기인하여 그 차이가 심하게 나타나기 때문이라고 생각된다.

그리고 그림에서 보이는 바와 같이, 지역별 전계강도의 차이는 거리에 무관하게 등간격임을 알 수 있다. 이것은 어느 한 지역을 기준으로 하여 각 지역별 손실보정을 하는 방법이 유리함을 보여준다. 또한, 지역별 전계강도의 차이는 수신안테나의 높이에도 영향을 받기 때문에 지역별 보정뿐만 아니라 수신안테나의 높이에 따른 보정을 같이 검토하여 최종 결과를 도출하는데 사용하였다.

이상과 같은 분석을 통해 우리는 개활지에서의 장구간 중앙치 데이터를 기본 전송손실 곡선으로 정하고 거리와 주파수의 관계인 다음과 같은 회귀 모델 형태로 가정하였다.

$$BFS = b_0 + b_1 \cdot \log(d) \cdot b_2 \cdot \log(f) \quad (1)$$

이 식을 통계 패키지 SAS(Statistical Analysis System)을 사용하여 상수를 유도하였는데 다음의 식 (2)와 같다.

$$S = -40.15 \cdot \log_{10}(d) - 2.91 \cdot \log_{10}(f) + 112.86$$

$$R\text{-square} : 99.98(\%) \quad (2)$$

식 (3)은 해안지역의 데이터를 처리하여 도출해 낸 추세선 수식이다.

$$S = -34.62 \cdot \log_{10}(d) - 8.3 \cdot \log_{10}(f) + 96.65$$

$$R\text{-square} : 84.12(\%) \quad (3)$$

여기서, R-square란 설정한 모델이 통계적으로 데이터를 얼마나 잘 설명하는가를 나타내는 값으로 모델 평가의 척도로서 일반적으로 이 값이 85%가 넘게 되면 도출된 모델이 주어진 데이터를 잘 설명하고 있다고 평가된다.

송수신점 간의 거리가 멀 경우에는 수신 전력은 이동국 근처의 주 반사파에 의하여 영향을 크게 받는다. 따라서 지형이 달라지면 안테나의 효과도 다르게 나타나며 이러한 효과를 고려하여 수신 전력도 유효 안테나 높이를 이용하여 나타내고 있다

<표 1> 지역별 이동국안테나높이에 따른 보정치

<Table 1> Correction value dependent on mobile antenna height

이동국 안테나 높이 h_m (m)	중소도시		대도시		밀집대도시	
	165 MHz	327 MHz	165 MHz	327 MHz	165 MHz	327 MHz
0.8	-24	-24	-37	-37	-40	-42
1.8	-20	-20	-32	-33	-36	-38
5	-15	-15	-25	-25	-25	-27

[1].

본 논문에서는 이동국 안테나 높이를 각 지역에서 0.8m, 1.8m, 5m로 가변시켜 측정된 후 높이에 따른 차이점을 통계 처리하였다. 그리고 각 지역이 개활지에 대해 대부분 등간격으로 변화하고 또한, 이동국 안테나의 높이에도 대부분 등간격의 차이를 가진다는 관계를 이용하여 중소도시, 대도시지역, 밀집 대도시지역에 대해 이동국 안테나의 높이에 대한 주파수별 보정치를 정리하여 <표 1>에 나타내었다.

<표 1>에서 알 수 있는 바와 같이 주파수에 따른 보정치의 차이는 거의 없으며 지역과 이동국 안테나 높이에 따른 보정치의 차이는 상당히 큰 차이를 볼 수 있다. 이 표에서 제시된 값의 오차는 평균 약 1 dB 이내이다.

보정치의 경향은 이동국 안테나 높이(h_m)와 주파수 변화에 따라 log함수로 비례하는 것을 알 수 있으므로 다음과 같은 회귀 모델을 사용하였다.

$$a(h_m) = b_0 + b_1 \cdot \log(h_m) + b_2 \cdot \log(f) \quad (4)$$

식 (4)와 같은 회귀모델을 사용하여 측정 데이터를 분석한 결과 지역별 보정식은 아래와 같이 도출되었다.

$$\text{중소도시} : 10.84 \cdot \log_{10}(h_m) \cdot 2.89 \cdot \log_{10}(f) - 16.05 \quad (5)$$

$$\text{대 도시} : 14.74 \cdot \log_{10}(h_m) \cdot 5.24 \cdot \log_{10}(f) - 23.48 \quad (6)$$

$$\text{밀집대도시} : 18.20 \cdot \log_{10}(h_m) \cdot 5.55 \cdot \log_{10}(f) - 27.11 \quad (7)$$

여기에서 h_m 은 이동국 안테나 높이이고 f 는 사

용주파수를 나타낸다.

기지국 안테나의 높이에 따른 손실변화는 송신시스템 위치 선정 및 안테나 높이의 가변이 어려우므로 실제 측정은 하지 못하였으나, 이동통신 환경에서는 지표 반사파 및 지표파의 영향이 적어 이들을 무시했을 경우, 송신 안테나의 높이의 변화에 따라 수신 전계강도가 6 dB/octave 로 변화한다는 경험적인 사실에 근거하여 다음의 식 (8)과 같이 표현할 수 있다.

$$BAL = 20 \log\left(\frac{h_{te}}{30}\right) \quad (8)$$

이때 기지국 안테나 높이는 유효 안테나 높이이다. 이 식에서 30m를 기준으로 삼은 것은 측정의 기준 송신높이를 30 m로 설정하였기 때문이다.

3-2. 점대 점 예측

대부분의 회절손실보정은 장애물이 하나일 때는 키르호프-프레넬이론에 근거한 knife-edge 계산식을 사용하고 있으며 장애물이 두개 이상일 때는 Epstein-Peterson방식[12]을 사용하는 것으로 분석되었다. 그리고 경험치로써 주어진 모델은 Okumura 모델에서 사용하고 있다. 그리고 ITU-R REC.526[13]에서도 회절손실식을 Epstein-Peterson방식을 확장시킨 cascaded cylinder model을 제시하고 있으나 이동통신과 같이 계산량이 많고 출력이 낮은 특성을 고려하면 등근모서리에 의

<표 2> 장애물이 하나인 경우의 회절손실

<Table 2> Diffraction losses of one obstacle paths

경로	송신점과 장애물 사이 거리 d_1 (m)	장애물과 수신점 사이 거리 d_2 (m)	장애물 높이 h (m)	E-P (dB)	Oku (dB)	실측 (dB)
①	800	968	124	31.7	10.2	21.3
②	800	2,597	125	30.3	14.1	23.7
③	1,630	860	140	31.5	10.1	18.2
④	4,685	1,424	87	24.6	10.4	14.1

<표 3> 장애물이 두개일 때 회절손실 비교

<Table 3> Diffraction losses of the paths with two obstacles

경로	장애물 높이		장애물들 사이의 거리			Σh_i (m)	E-P (dB)	Oku. (dB)	실측
	h_1 (m)	h_2 (m)	d_1 (m)	d_2 (m)	d_3 (m)				
①	131	18	790	3,263	347	190	47.5	10	33.1
②	127	97	755	7,321	1,509	260	55.9	14	36
③	67	163	579	3,895	947	330	57.5	18	39.4

한 보정은 피하는 것이 유리하다고 판단된다.

따라서 본 논문에서도 산악특성인 장애물에 의한 회절손실을 분석하기 위하여 야외기지국에서 측정을 하여 비가시거리가 되는 지점을 지형단면도를 이용, 선정하여 이 지역에서의 장애물에 의한 회절손실을 살펴보았다. <표 2> 및 <표 3>에서 장애물 1개인 지점 4개와 장애물이 2개인 지점 3개를 택하여 각 지점에서의 회절손실을 Epstein-Peterson방식의 결과와 Okumura 방식(산악고에 대한 실험통계치 그래프로 계산한 값)의 결과를 상호 비교하였다.

위의 표들을 비교해 보면, Epstein-Peterson방식에서는 장애물이 1개일 때는 실측치보다 약 7~13dB가 높고 장애물이 2개일 때는 실측치보다 14~19dB가 높은 것을 볼 수 있으며 Okumura모델에서는 장애물이 1개일 때는 실측치보다 약 4~9dB가 낮고 장애물이 2개일 때는 실측치보다 21~23dB가 낮은 것을 볼 수 있다.

이것은 Epstein-Peterson방식이 자유공간손실을 기준으로 상대적인 회절손실을 계산하는 방법이

며, 실측치와 Okumura의 불규칙지형 장애물 보정 방식은 반사파 등 페이딩을 고려한 평탄 경로에 대한 상대적 회절손실이기 때문이다. 그러므로 Epstein-Peterson방식에서는 실측치보다 높게 나오는 것으로 판단되며, Okumura모델에서는 기준 높이에서 측정된 경험치값과 장애물 전체높이에 대한 측정치이므로 기지국과 이동국의 높이, 장애물까지의 거리가 기준보다 달라질 때 상대적인 회절손실의 값이 실측치보다 낮게 반영되는 것으로 판단된다.

본 논문에서도 비가시거리인 지역에서 전파전파 예측은 각 지점에서의 회절손실을 계산하게 하는데, 장애물이 1개인 경우는 계산의 편리성과 정확성을 가진 ITU-R Rec. 526에서 제시한 다음 식(9)를 이용한다.

$$v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2} \right)}$$

$$J(v) = 6.9 + 20 \log \sqrt{(v - 0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \text{ (dB)} \quad (9)$$

그리고 등근모서리의 보정은 지형정보의 처리량, 계산량에 비해 보정치의 값은 크지 않기 때문에 고려하지 않았다.

2개 이상의 산악이 중첩된 불규칙 지형에서 전파경로는 다중 산악 전파경로가 되며 2개 이상의 산악에 의한 장애물 보정에 대해서는 [그림 3]과 같이 각 knife-edge 형태의 장애물에 따른 감쇄를 차례로 계산하여 합산하는 방식을 취하는 Epstein-Peterson의 방법을 확장시킨 cascade 모형을 이용하였다.

그러나 회절손실 계산시 이 방식은 그 값이 자유공간에 대한 상대적인 손실이다.

2개 이상의 장애물에 의한 전체 회절손실은 다음 식 (10)과 같다.

$$L_d = \sum_{i=1}^N L'_i + L''(wx)_1 + \sum_{i=1}^N L''(yz)_i \quad (10)$$

여기서,

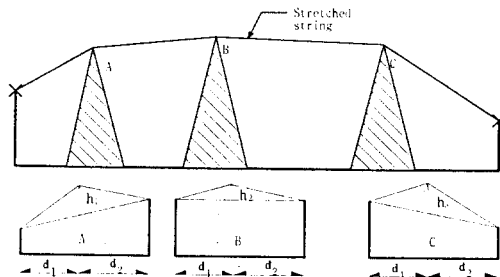
L'_i : i 번째 knife-edge 회절손실(dB)

$L''(wx)_1$: 기지국과 첫번째 knife-edge사이의 sub-path에 의한 회절손실

$L''(yz)_i$: i 번째와 $i+1$ 번째 knife-edge사이의 sub-path에 의한 회절손실

3-3. 전계강도 예측모델

앞에서 제안된 경험적, 이론적인 모델을 이용하



[그림 3] 다중 knife-edge 모델

[Fig. 3] Multiple Knife-edge model.

여 전파경로에 따른 전계강도를 구하는 식은 아래와 같이 가시거리, 비가시거리 2가지로 구분하여 계산할 수 있다.

3-3-1. 가시거리일 때

$$E(dB\mu V/m) = BFS(dB\mu V/m) + RAL(dB) + RAL(dB) \quad (11)$$

여기에서 BFS는 개활지에서의 기본 전계강도 값이며 RAL은 수신안테나 높이에 따른 손실보정항, BAL은 송신안테나 높이에 따른 손실보정항이다. 여기서 BAL은 어떤 지역에서나 동일하게 적용되므로 이 값을 BFS에 합산시켜 다음과 같은 식으로도 표현할 수 있다.

$$E(dB\mu V/m) = BFS(dB\mu V/m) + RAL(dB) + DL(dB) \quad (12)$$

3-3-2. 비가시거리일 때

$$E(dB\mu V/m) = \min(BFS, DL) + RAL(dB) \quad (13)$$

위의 식 (12) 및 (13)에서, DL은 전파경로가 비가시거리 또는 sub-path인 경우, 자유공간 전계강도값 E_f 에 회절손실 L_d 를 뺀 값이다($DL = E_f - L_d$).

즉, 최종 전계강도는 개활지에서의 전계강도와 회절손실에 의한 전계강도를 계산하여 이 중 더 작은 값을 택한 후 지역별 수신안테나 보정을 하게 된다. 그리고 무선국 설계시 전계강도 값보다는 손실 값이 요구될 때가 많으므로 이 전계강도 식을 손실(loss)식으로 변환하면 다음 식과 같다.

$$L(dB) = P(dBW) - E(dB\mu V/m) + 20 \cdot \log(f) + 135.1 \quad (14)$$

이러한 전체 전계강도 값을 경로 구분에 따라 구분하여 정리하면 <표 4>와 같다.

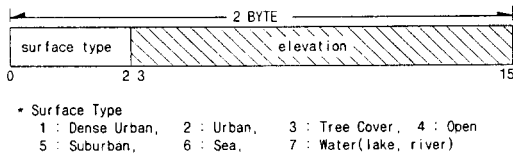
<표 4> 전파경로별 전계강도 계산식

<Table 4> Equations for field strength calculation according to the paths

경로 구분		전계강도 계산식
가 시 거 리	기본전계 강도 (BFS)	$BFS = BFS = -40.15 \cdot \log_{10}(d) - 2.91 \cdot \log(f) + 112.86 + 20 \cdot \log_{10}\left(\frac{h_{ie}}{30}\right)$
	중소도시 (RAL)	$E_1 = BFS + 10.84 \cdot \log_{10}(h_m) - 2.89 \cdot \log_{10}(f) - 16.05$
	대도시 (RAL)	$E_2 = BFS + 14.74 \cdot \log_{10}(h_m) - 5.24 \cdot \log_{10}(f) - 23.48$
	밀집 대도시 (RAL)	$E_3 = BFS + 18.20 \cdot \log_{10}(h_m) - 5.55 \cdot \log_{10}(f) - 27.11$
비 가 시 거 리	단일 장애물 (DL)	$BFS = \min(BFS, DL)$ $DL = E_F - J(v)$ $v = h \sqrt{\frac{2}{\lambda} \left(\frac{1}{d_1} + \frac{1}{d_2}\right)}$ $J(v) = 6.9 + 20 \log \sqrt{(v-0.1)^2 + 1} + v - 0.1 \text{ (dB)}$
	다중 장애물 (DL)	$BFS = \min(BFS, DL)$ $DL = E_F - L_d$ $L_d = \sum_{i=1}^N L'_i + L''(wx)_1 + \sum_{i=1}^N L''(yz)_i$

IV. 컴퓨터를 이용한 전계강도의 예측

[그림 4]는 본 논문에서 사용된 지형 데이터의 한 엘리먼트의 구조를 나타낸 것이다. 여기에서 2 byte 길이의 데이터의 앞부분은 지형 특성 데이터가 차지하고 나머지 뒷부분에는 지형 고도데이터가 저장되어 있다.



[그림 4] 지형데이터 엘리먼트의 구조

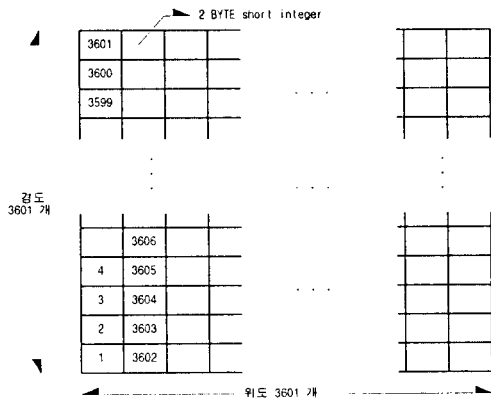
[Fig. 4] Structure of terrain data element.

전계강도 예측 수행시 고도데이터나 특성데이터가 필요할 경우, 프로그램 내부에서 이 엘리먼트들을 읽어들이고 고도데이터와 특성 데이터로 나누어 사용하게 된다.

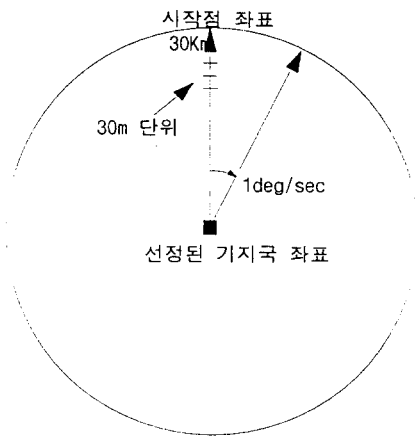
[그림 5]는 이러한 단위로 저장된 지형 데이터 파일의 구조를 나타낸 것이다.

다음의 [그림 6]은 지형 데이터를 추출하는 과정을 나타낸 것이다. 입력된 기지국의 좌표로부터 북쪽으로 30 km 떨어진 지점을 시작점으로 잡은 다음 기지국에서 시작점까지의 지형 데이터를 읽어들이고, 읽어들이는 지형 고도 각 지점에 대해서 전계강도를 계산한 다음 방위각을 1도 만큼 증가시켜 다음 방향의 지형 프로파일의 각 지점에 대한 전계강도를 계산한다. 이러한 방법으로 30 km 반경의 동심원을 따라 모든 방위각의 모든 점에 대한 전계강도를 계산하게 된다.

한국 지형에서의 무선호출 주파수 대역의 전계강도 예측모델



[그림 5] 지형 데이터 파일의 구조
[Fig. 5] Terrain data file structure.



[그림 6] 지형 정보 검색 과정
[Fig. 6] Terrain data access procedure.

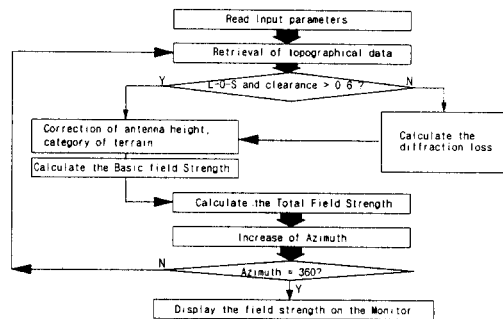
프로그램의 초기 입력 단계에서 안테나 높이, 기지국 좌표 등을 입력으로 받은 후 먼저 기지국의 좌표와 기준 방위각의 예측 범위에 해당하는 지형 정보를 검색하게 된다. 검색된 지형으로부터 가지거리 여부를 판정하고 가지거리일 경우에는 해당지역에 따른 수신안테나 보정치를 계산하게 되고, 비가지거리일 경우에는 회절손실을 추가로 계산하게 된

다. 이렇게 한 후, 기본 전계강도를 합하게 되면 이 방위각에서의 전계강도 값이 나오게 되는데, 이러한 방법으로 기지국을 중심으로 한 모든 방향에 대해서 지형을 검색하여 전계강도를 계산하게 된다. 예측시스템의 구성 및 예측 알고리즘의 순서를 설명하면 다음 [그림 7]과 같다.

본 논문에서는 프레넬 반경의 path clearance를 0.6을 기준으로 회절 계산 및 가지거리 계산 여부를 판정하고 있다. 또한, 수신 안테나의 높이에 따른 보정항은 각 지형의 유형별로 각기 다른 수식을 적용하게 되는데, 이 계산의 결과는 수신 안테나의 높이 및 사용주파수 값을 이용하여 얻을 수 있다.

전계강도의 계산에 사용된 시스템 SUN SPARC 20 워크스테이션상의 Motif를 이용하여 프로그램된 것으로서 예측된 전계강도를 그 레벨별로 그림으로 표시하기 위한 20 inch 칼라 모니터와 화면에 도시된 결과를 프린트 하기 위한 칼라프린터, 그리고, 전계강도 계산에 필요한 남한 지역의 지형 고도 및 지물 데이터가 저장된 메모리로 구성되어 있다.

이와 같이 계산한 값의 정확도를 알아보기 위하여 각 지역별로 선택된 150 여개 지점의 실측데이터와 비교한 결과 다음의 <표 5>와 같은 결과를 얻을 수 있었다.



[그림 7] 지형 정보를 이용한 손실계산 절차
[Fig. 7] Propagation loss calculation procedure using terrain data base.

〈표 5〉 각지역별 예측 및 실측 데이터의 오차의 평균 및 표준편차

〈Table 5〉 Regional means and standard deviations of error

지역	밀집대도시		대도시		중소도시		개활지		해안지	
	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차	평균	표준 편차
주파수										
164.5	4.6	4.65	13.1	5.90	2.76	8.54	0.52	6.45	0.07	3.07
327.05	2.9	4.59	9.15	5.50	6.98	9.58	0.56	5.84	4.05	3.48

위의 표에서 볼 때, 중소도시에서의 표준편차가 주파수별로 가장 크게 나타나는데, 이것은 측정지역 선정시 정의한 중소도시의 특성을 따르는 지역이 국내에서는 아주 작은 부분을 차지하고 대도시 및 개활지의 특성을 혼합적으로 나타내는 도시가 대부분이기 때문인 것으로 사료된다.

V. 결 론

육상 이동통신에서 서비스 범위 예측이나 시스템 설계 및 그 품질 평가를 위해서 가장 필수적인 것이 바로 사용하고자 하는 전파의 전송특성을 결정하는 것이다. 그러나, 전파의 전송특성은 주파수, 송수신 점간의 거리뿐만 아니라 송수신 안테나 사이에 존재하는 모든 지형적, 환경적인 요인에 의해 영향을 받으므로 그 특성을 한마디로 요약하기가 매우 어렵다. 따라서 미국 등 선진 외국에서는 이미 1900년대 초부터 자국 지형내에서의 전파 특성을 오랫동안 연구하여 이 결과를 각종 무선 서비스에 이용해 오고 있다.

국내에서는 부분적으로 국내 지형의 특성을 고려하여 기존 모델에 보정인자를 포함시킨 연구들이 있었는데 한국 지형의 특성을 체계적으로 분류하여 측정된 데이터는 아직 미흡하고 대부분 외국의 모델에 국내환경의 차이를 보정하여 손실 예측을 하고 있는 실정이다.

한국지형의 특징은 산이 많이 존재하기 때문에 도시의 반경이 10 km를 넘는 곳이 드물고, 또한, 하나의 도시 내부에서도 그 도시 특성의 변화가 복

잡하여 그 특성을 정확하게 구분하여 결정하기가 곤란한 지역이 대부분이다.

본 논문에서는 한국 지형에서의 전파특성을 경험적이고 이론적인 방법을 통해 도출해낸 전파전파 예측 모델을 제시한다. 이를 위하여 한국 지형을 그 특성에 따라 밀집대도시, 대도시, 중소도시, 평야, 해안 그리고 산악 지역으로 나누고 각 지역에 해당하는 국내 지역을 선택하여 2년간 측정을 수행하여 특성 데이터를 수집하였다.

측정된 데이터를 통계적인 처리 방법을 이용하여 기본적인 전송손실 곡선을 추출해 내었다. 또한, 산이 많은 지역의 회절 손실을 보상하기 위하여 프레넬-키르호프 이론에 기인한 knife-edge 회절손실식을 이용하여 점대점 예측을 할 수 있도록 하였다.

제안된 모델을 국내 지형 데이터 베이스와 연결하여 국내 지역의 임의점에 대한 전파 특성을 예측할 수 있도록 프로그램을 작성하였는데 이 결과를 실측 데이터와 비교한 결과 최소 3 dB에서 최고 9 dB 정도의 오차가 나타났다.

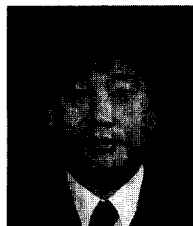
이 결과는 외국의 전파예측 관련 논문[8,9]에서 나온 6~13dB인 것과 비교하면 실용성이 있다고 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] Okumura, et al, "Field Strength and Its Variability in VHF and UHF Land-Mobile Radio Service," *Review Elect. Comm. Lab.*, vol. 16, pp. 825-873, 1968.

- [2] Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-29, pp. 317-325, Aug. 1980.
- [3] *CCIR, XVth Plenary Assembly*, Geneva, 1982, vol. V, Rep. 567-1, Rec. 370-4, Rep. 239-4.
- [4] Allsebrook and J. D. Parsons, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF and UHF bands," *IEEE Trans. Veh. Tech.*, vol. VT-26, no. 4, pp. 313-323, Nov. 1977.
- [5] W. C. Y. Lee, *Mobile Communication Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [6] C. William and Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, McGraw-Hill Book Co., 1993.
- [7] NBS, *Transmission Loss Prediction for Tropospheric Communication Circuits*, 1867.
- [8] Djordje S. Paunovic, et al, "Choice of a Suitable Method for the Prediction of the Field Strength in Planning Land Mobile Radio Systems," *IEEE Trans on Veh. Tech.*, vol. VT-33, no. 3, pp. 259-265, Aug. 1984.
- [9] Gilles Y. Delisle, et al, "Propagation Loss Prediction : A Comparative Study with Application to the Mobile Radio Channel," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-34, no. 2, pp. 86-96, May 1985.
- [10] 장재성, 무선평출 시스템의 성능 개선을 위한 전계강도 해석 및 측정, 제주대학교, '93통신학술 연구과제, 1994.
- [11] 홍분식, 김홍수, "제주 서부지역의 이동전화 주파수대의 전계강도 예측에 관한 연구," 전자공학회지 1994년 7월호, 제31권, 제 A-7호, pp. 47-54.
- [12] J. Epstein and D. W. Peterson, "An experimental study of Wave Propagation at 850Mc," *Proc. IRE*, vol. 41, no. 5, pp. 596-611, 1953.
- [13] ITU-R, *Recommendation RPN series Propagation in Non-ionized Media*, 1992.
- [14] Hyung Soo Lee, Sam Mo Cho, Sung Soo Lee, Hyuck Jae Lee and Jin Wook Chung, "The prediction model of received power using computer in the frequency band of pager service," *Conference Proceedings of APMC '95*, vol. 1, pp. 430-433, 1995.
- [15] 이형수, 조삼모, 정진욱, "무선평출 주파수 전파환경 측정 및 외국 환경과의 비교," 전자과학회지 1995년 9월호, 제6권, 제3호, pp. 15-23.

이 형 수

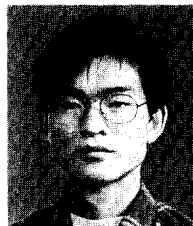


1980년 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1985년 : 연세대학교 전자계산학과 석사
 1995년 : 성균관대학교 정보공학과 박사

1983년~현재 : 한국전자통신 연구소 선임연구원

[주 관심분야] 전파전파특성, 스펙트럼 관리기술, 무선망 설계

조 삼 모



1992년 : 경북대학교 전자공학과 학사
 1994년 : 경북대학교 대학원 전자공학과 석사
 1994~현재 : 한국전자통신 연구소 연구원

[주 관심분야] 전파전파 특성, 무선망 설계