

교외지역 전파환경을 위한 예측모델 제안

A Prediction Model Proposition for Propagation Environments of a Suburban Area

김 재 섭*, 박 창 균**
(Jae-Sub Kim*, Chang-Kyun Park**)

※이 논문은 96년도 조선대학교 학술연구비 지원에 의한 결과임

요 약

무선통신에서 전파환경을 보다 정확히 예측하는 것은 통신서비스 영역의 결정, 최적의 기지국선정 그리고 셀 설계 등을 위해 매우 중요하다. 따라서 안테나의 종류와 지향각 그리고 지형지물의 형태에 따라 변화하는 전파예측모델을 정확히 제시함으로써 통신망을 경제적으로 운용할 수 있음은 물론 통화품질과 가입자 서비스 또한 향상시킬 수 있을 것이다.

본 논문에서는 현대 교외지역 전파환경을 위한 최적 전파예측모델을 제안하기 위해 실험 대상지역으로 전남 나주시 세지 기지국을 선택, 전계강도를 실측하고, 이 결과를 토대로 전파예측모델을 제안한다. 제안모델은 지금까지 제안된 여타 예측 모델에서 고려되지 않았던 기지국과 이동국 안테나 유효높이의 상대차를 보정계수로 추가 활용함으로써 오차를 최소화 할 수 있었고, 제안모델과 Hata 모델, Egri 모델 그리고 Carey 모델의 컴퓨터 시뮬레이션(PPGIS)결과를 비교함으로써 그 적정성을 확인하였다.

ABSTRACT

In mobile communications, it is very important that we predict the propagation environments of radiation pattern, in order to decide the service area, select the best location of the base station, design the cell etc. Therefore, by analyzing the propagation prediction model that is varied according to the kind of antenna, the beam angle, the terrain and obstacles, we expect that the economic operating of communication networks, the calling quality and the service of subscriber will be enhanced.

In this paper, we select the around of Seji base station in Naju-city Chonnam for modern suburban area and measure the field strength to propose the optimal propagation prediction model for suburban areas.

We propose the propagation prediction model that, it is not found in the other models until now, consists of the correction coefficient with the relative differences of antenna effective height of the base station and mobile station for minimizing errors.

Finally, comparing the results of the field test with the computer simulation(PPGIS: Propagation Prediction Geographic Information System) results for the Hata model, the Egri model, the Carey model and the proposed model, we confirm the property of the proposed model.

I. 서 론

열린공간을 전송매체로 하는 무선통신은 전송로의 비용을 절감할 수 있는 장점이 있는 반면, 불균일한 매질과 지형지물의 변화가 원인이 되어 신호의 안정된 전송이

어려운 단점이 있다. 따라서 생활공간의 무선 전파환경을 정확히 예측하여 이동전화와 무선통신 그리고 PCS(Personal Communication Service) 등의 무선통신 시스템에 활용하는 것은 최적의 기지국 위치선정과 셀 설계 등에 있어 매우 유용하다. 결국, 지형지물의 형태와 안테나의 지향특성에 따라 달라지는 전파모델을 보다 정확히 예측하여 무선통신에 활용하는 것은 시스템의 효율적 운용과 통화품질 개선은 물론 이용자에 대한 서비스 또한 향상시킬 수 있을 것이다.¹⁻³⁾

*조선대학교 대학원 전자공학과

**조선대학교 공과대학 전자·정보통신공학부

접수일자: 1997년 2월 25일

특히, 무선전파는 지형의 다양한 형태와 복잡한 환경에 의해 많은 간섭을 받게 되므로 특정 장소의 이론적 수신전계강도와 실측 수신전계강도 사이에는 상당한 차이가 있기 때문에, 이 오차를 최소로 하기 위해서는 현장 실측결과를 근간으로 한 실험적 전파 예측모델을 만들어 무선통신 시스템에 활용해야 할 필요가 있다.

다중경로의 전파특성을 예측하기 위해 여러 학자들이 근대 생활공간 전파환경에서 실험적 예측모델을 제안하였지만,^{4~11)} 현대 생활공간 중 교외지역의 다양한 전파환경등을 충분히 고려한 전파 예측모델은 최근 발표된 바 없다. 지금까지 널리 활용되어온 교외지역 전파환경을 위한 대표적 전파 예측모델로서 Hata모델,¹²⁾ Egri모델^{13~14)}, Carey모델¹⁵⁾ 등^{16~18)}이 있으나, 이들 모델은 서비스 구간을 광역화 한 경우 구해진 결과이기 때문에 서비스 영역을 마이크로 셀화하고 있는 현대 생활공간 전파환경에 응용하기에는 그 오차가 너무 커 부적합하다.

본 연구에서는 현대 생활공간 중, 교외 평원지역 전파환경에 알맞은 전파 예측모델을 제안하기 위해 실험 대상지역으로 전남 나주시 세지 기지국을 중심으로 한 그 일대를 선정하고, 기지국 출력을 91.2W로 할 때, 실측결과와 비교 예측모델인 Hata모델, Egri모델 그리고 Carey모델을 이 지역에 적용한 컴퓨터 시뮬레이션(PPGIS: Propagation Prediction Geographic Information System) 결과를 비교하므로써 이미 제안되어 활용되고 있는 각 비교 예측모델의 부적정성을 먼저 확인한다.

그리고 현대 생활공간 평원지역 전파환경에 최적한 전파 예측모델을 제안하기 위해, 지금까지 한번도 여타 예측모델에서 고려하지 않았던 기지국과 이동국 안테나 유효높이의 상대차를 보정계수로 추가 활용한 전파 예측모델을 제안하고, 제안모델의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 현장 측정결과를 비교하므로써 그 적정성을 확인한다.

II. 비교 전파 예측모델

실험을 위한 대상지역으로 전남 나주시 세지기지국을 중심으로한 그 일대의 교외 평원지역을 선정하고, 현장 실험에 의해 측정된 실측결과와 제안 모델에 의한 시뮬레이션 결과를 비교하기 위해 선정한 대표적 전파 예측모델은 Hata모델, Egri모델 그리고 Carey모델이다.

2.1 Hata모델

Okumura는 UHF/VHF 대역에서 일본 Tokyo 지역을 중심으로 한 그 일대를 샘플링하여 측정된 실험데이터를 근거로 예측한 값을 Graph로 만들었으나, Hata모델은 Okumura모델¹⁶⁾의 이용에 따른 불편을 해소하기 위해 실측 실험데이터를 근사화한 전파 예측모델로서, 시가지(중소도시와 대도시), 교외지, 개방지로 구분하여 각각의 경우 경로손실모델을 제시하였고, 비교하기 위해 사용한 모델은 교외지 경로손실의 경우이다¹²⁾.

2.1.1 교외지 경로손실

$$Lps[dB] = Lpu - 2 \log \left(\frac{f}{28} \right)^2 - 5.4 \tag{1}$$

$$Lpu[dB] = 69.55 + 26.16 \log f - 13.82 \log h_b - k(h_m) + (44.9 - 6.55 \log h_b) \log D \tag{2}$$

Lps: 교외지 경로손실

Lpu: 시가지 경로손실

h_b: 기지국 안테나 유효높이 [m]

h_b: *h_{bs}*(기지국 안테나 해발고) - *h_e*(평균 지상고) [m]

h_m: 이동국 안테나 유효높이 [m]

h_m: *h_{ms}*(이동국 안테나 해발고) - *h_e*(평균 지상고) [m]

k(h_m): (1.1 log f - 0.7) *h_m* - (1.56 log f - 0.8)

D: 구간거리 [Km]

f: 사용주파수 [MHz]

2.1.2 안테나 유효높이

실제 Hata모델에서는 기지국 안테나 높이를 200m 이내로 하고 이동국 안테나 높이는 1.5m로 하였을 뿐, 기지국 안테나와 이동국 안테나의 유효높이차를 전혀 고려치 않았다.

2.1.3 모델의 문제점

- 1) 경로손실 계산에서 안테나 보정 Factor의 산출방법이 없다.
- 2) 기지국 안테나 유효높이가 200m까지로 제한되어 있기 때문에, 이 범위를 벗어날 경우 실측값과 큰 차이가 발생할 것을 암시하고 있다.
- 3) 수신안테나의 높이가 Pager와 같이 낮을 경우, 시가지 형태에 따른 변화가 없다.
- 4) 서비스 거리 *D*를 광역화 하므로써 소역화된 현대 무선통신 중계시스템에 이 모델을 응용하는 경우 많은 오차가 예상된다.

2.2 Egri모델

실험 대상지역에서 현장측정된 실측결과 그리고 제안 모델의 컴퓨터 시뮬레이션 결과와 비교하기 위해 사용한 Egri모델은 극히 초보적이고 단순한 모델로서, 고층건물이 없는 일상 평면공간의 경로손실에 준시가지 형태의 지형계수와 송수신 안테나의 유효높이 그리고 사용주파수를 변수로 취한 경로손실모델이다^{13~14)}.

2.2.1 일상 평면공간의 경로손실

$$Lps[dB] = 20 \log f + 40 \log D - 20 \log h_b + k \tag{3}$$

Lps: 일상 평균공간의 경로손실

h_b: 기지국 안테나 유효높이 [m]

h_m: 이동국 안테나 유효높이 [m]

D: 구간거리 [Km]

- f : 사용주파수 [MHz]
- k : $76.3 - 10 \log h_m, (h_m < 10m)$
 $: 85.9 - 20 \log h_m, (h_m > 10m)$

2.2.2 안테나 유효높이

일상 평면공간의 개념에서 경로손실을 계산하였기 때문에 기지국 이동국 안테나 유효높이의 계산을 함에 있어 지상고의 산술평균치를 취하므로 오차의 원인을 유발시켰고, 여타 그밖에 구체적인 제한은 설정하지 않았다.

2.2.3 모델의 문제점

- 1) 송수신 안테나 높이와 주파수가 동일하면 지형지물의 형태에 관계 없이 전파 예측모델의 예측값이 거의 동일하므로 원형으로 나타난다.
- 2) 방향별 지형계수를 각각 다르게 설정해야 하는 불편이 있다.
- 3) 특히 서비스 구간 거리 D를 제한하지 않고 있기 때문에 소역 중계 시스템에의 활용은 부적합 할 것으로 예상된다.

2.3 Carey모델

Carey모델은 CCIR Recommendation 을 기본으로 작성한 FCC Part 22에서도 규정한 바 있으며, 교외지의 구간거리를 근거리와 원거리로 구분하여 경로손실모델을 제시하였다¹⁵⁾.

2.3.1 교외시 경로손실

$$L_{pn}[\text{dB}] = 110.7 - 19.1 \log h_b + 55 \log D \quad (4)$$

단, 8Km ≤ 48Km

$$L_{pd}[\text{dB}] = 91.8 - 18 \log h_b + 66 \log D \quad (5)$$

단, 48 Km ≤ D < 96 Km

L_{pn}: 근거리 경로손실

L_{pd}: 원거리 경로손실

h_b : 기지국 안테나 유효높이 [m]

D : 구간거리 [Km]

2.3.2 안테나 유효높이

기지국 안테나의 유효높이는 실험대상 전지역의 평균 해발고에 안테나 실제높이(30-150m)를 더한 값이고, 이동국 안테나의 유효높이는 해발고에 관계없이 1.8m로 하였다.

2.3.3 모델의 문제점

- 1) 사용주파수를 경로손실 factor로 활용하지 않으므로 오차가 커진다.
- 2) 모델의 전파 예측구간을 중장거리(8~48Km), 장거리(48~96Km)로 구분하고, 이 구간지형 높이를 산술 평균하여 모델에 적용하므로써 지형의 높낮이에 따

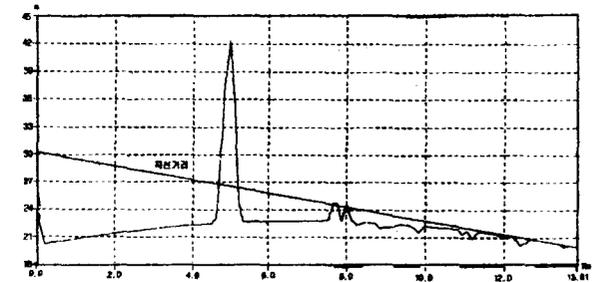
른 오차가 불분명해진다.

- 3) 앞서 두 모델과 마찬가지로 광역화된 서비스 구간에서 구한 모델이므로 현대 생활공간 무선전파 환경에서는 부적합하다.

Ⅲ. 전파환경과 각 비교모델의 시뮬레이션

3.1 측정 대상지역의 전파환경

실험 대상 지역인 세지기지국으로부터 나주방면까지의 교외지역 지형단면도 및 제원은 그림 1과 같고, 실험 구간 13.8km내 약 5km지점에 위치한 높이 42m의 전파장벽을 제외하면 대체로 평지(최저 20m~최고 25m)로 형성되어 있다. 한편 각 수신지역의 평균해발고는 기지국이 위치한 지역의 해발고 보다 약 7m정도 낮은 지대로 이루어졌다. 실제 기지국 안테나 유효높이(해발고 30.2m + 첩탑고 35.0m)가 65.2m인 점을 고려할 때, 반경 13.8Km내의 수신점 해발고는 기지국 안테나 유효높이 보다 최저 13m에서 최고 35m정도 낮은 지형분포를 갖는다.



- 송신지점 : 세지기지국	- 최고고도 : 19.98 m	- 직선거리 : 13.809 Km
경도 : 126° 42' 53"	경도 : 126° 44' 56"	- 평면거리 : 13.809 Km
위도 : 34° 56' 8"	위도 : 35° 3' 14"	- 지표면거리 : 13.842 Km
- 수신지점 : 나주방면	- 최고고도 : 42.33 m	- 경사도 : -0.04°
경도 : 126° 44' 59"	경도 : 126° 43' 37"	- 방위각 : 13.53°
위도 : 34° 3' 24"	위도 : 34° 58' 45"	

그림 1. 지형단면도 및 제원

Fig. 1. Profile map and specifications

3.2 비교 예측모델의 시뮬레이션

표 1의 제원을 활용하여 비교모델인 Hata모델, Egri모델 그리고 Carey모델을 각각 PPGIS(Propagation Prediction Geographic Information System)로 시뮬레이션한 예측결과의 등전계도는 그림 2, 그림 3, 그림 4와 같고, 각 위치 별 주요지점 수신전계강도의 계량화 값은 표2와 같다.

표 1. 표 1. 실험 제원

Table 1. Experimental specifications

기지국명	세지기지국	기타손실	0.0dB
기지국위치	126° 42' 53", 34° 56' 8"	수평편편	없음
평균 지상고	22.7m (차고 + 안테나고)	수직편편	없음

기지국 안테나 유효높이	65.2m	기울기	0
이동국 안테나높이	2.8m	회전각	0
기지국 해발고	30.2m	회절모델	Multi-Knife-Edge
기지국 철탑고	35.0m	지형형태	교외지역
사용주파수	900.0 MHz	기후특성	100%
송신출력	91.2 W	해석간격	4'
급전손실	1.0dB	분석반경	13.3~13.8Km

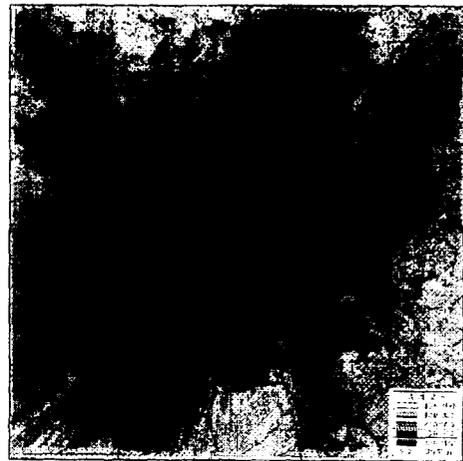


그림 4. Carey모델을 이용한 등전계도
Fig. 4. Equipfield intensity curve by the Carey model

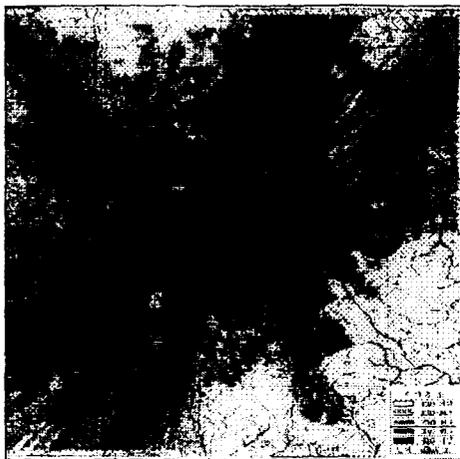


그림 2. Hata모델을 이용한 등전계도
Fig. 2. Equipfield intensity curve by the Hata model

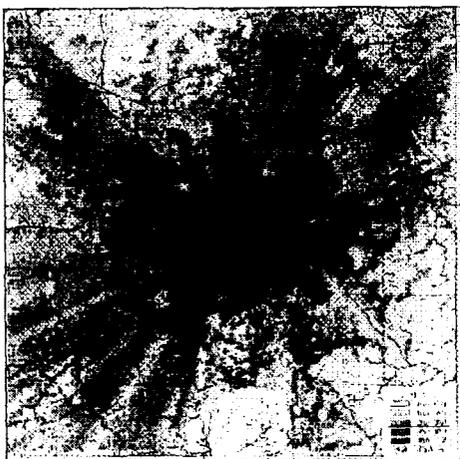


그림 3. Egri모델을 이용한 등전계도
Fig. 3. Equipfield intensity curve by the Egri model

IV. 측정 및 비교 분석

측정에 활용한 제원은 비교 예측모델에서 활용한 제원 (표 1)과 같고, 지형형태와 시가지 구조에 따른 수신전계 강도의 변화를 정확히 측정하기 위해 세지기지국으로 부터 나주간 국도를 따라 자동차로 이동하면서 45m~50m 마다 측정하였다. 이 때 사용주파수는 Bband 340CH의 900MHz, 기지국 출력은 91.2W이고 자동차에 부착된 수신 안테나의 높이는 1.8m이다.

4.1 측 정

세지-나주간 13.8Km의 국도를 따라 자동차로 이동하면서 측정한 실측 데이터와 이 구간 각 비교모델의 시물레이션에 의한 예측데이터는 표 2와 같다.

표 2. 실측결과 및 각 비교모델을 이용한 예측결과
Table 2. Results of field test and prediction by each comparison model($P_t = 91.2W$)

좌표		거리	실측		Hata	Egri	Carey
경도	위도	Km	dB μ V/m	dBm	dB μ V/m		
126:42:50	34:56:7	0.06	96	-38	120.77	113.8	161.37
126:42:51	34:56:15	0.27	92	-42	137.64	98.40	140.18
126:42:50	34:56:20	0.45	85	-39	101.24	90.73	129.63
126:42:49	34:56:26	0.63	94	-40	94.06	82.25	117.97
126:42:48	34:56:31	0.79	93	-41	91.46	73.16	113.71
126:42:48	34:56:37	0.96	83	-51	80.24	76.52	110.09
126:42:48	34:56:43	1.14	85	-49	82.66	68.74	93.39
126:42:48	34:56:48	1.32	90	-44	84.05	70.39	101.55
126:42:47	34:56:53	1.48	85	-49	85.59	72.20	104.15
126:42:46	34:56:59	1.66	76	-58	69.30	52.59	77.74
126:42:44	34:57:4	1.82	76	-58	64.55	47.45	70.11
126:42:42	34:57:9	1.98	66	-68	77.33	63.17	91.73
126:42:39	34:57:14	2.14	65	-69	76.13	61.05	98.81
126:42:35	34:57:19	2.30	67	-67	85.25	48.94	72.16
126:42:32	34:57:24	2.46	74	-60	80.39	43.17	64.23
126:42:32	34:57:30	2.64	72	-62	68.26	51.78	76.06
126:42:32	34:57:36	2.82	73	-61	61.19	43.49	64.68
126:42:32	34:57:41	2.99	76	-58	71.60	55.70	81.46
126:42:33	34:57:47	3.15	74	-60	70.40	54.29	79.53
126:42:33	34:57:52	3.32	70	-64	69.84	53.63	78.62
126:42:32	34:57:57	3.48	76	-58	80.12	65.75	95.28
126:42:31	34:58:3	3.65	72	-62	72.89	57.23	83.56
126:42:29	34:58:8	3.83	66	-68	67.71	51.13	75.17
126:42:28	34:58:14	3.99	63	-71	60.33	42.48	63.29
126:42:26	34:58:19	4.15	60	-74	66.27	49.44	72.66
126:42:25	34:58:25	4.35	67	-67	75.20	59.95	87.30
126:42:23	34:58:30	4.51	63	-71	62.11	44.56	66.14
126:42:22	34:58:35	4.68	66	-68	79.05	64.48	93.53
126:42:22	34:58:41	4.84	68	-66	43.10	25.71	47.57
126:42:22	34:58:46	5.00	69	-65	60.62	42.63	63.76
126:42:22	34:58:52	5.18	64	-70	55.76	36.20	58.22
126:42:22	34:58:57	5.36	68	-66	64.18	47.00	69.49

126	42	23	34	59	3	5.50	63	-71	65.02	47.97	70.84
126	42	25	34	59	8	5.65	69	-65	61.77	44.17	65.61
126	42	28	34	59	12	5.78	75	-59	61.49	43.83	65.15
126	42	33	34	59	16	5.89	73	-61	72.23	56.45	82.49
126	42	39	34	59	19	5.99	74	-60	74.31	58.90	85.86
126	42	43	34	59	23	6.08	69	-65	66.26	46.13	68.30
126	42	49	34	59	26	6.20	63	-71	66.78	50.03	73.67
126	42	54	34	59	29	6.28	46	-88	58.63	40.52	60.58
126	42	57	34	59	34	6.42	44	-90	48.71	29.24	45.08
126	42	58	34	59	39	6.58	46	-88	59.46	41.47	61.90
126	42	55	34	59	44	6.74	38	-96	27.97	8.30	25.10
126	42	54	34	59	50	6.90	46	-88	60.33	42.49	63.29
126	42	52	34	59	55	7.08	48	-86	48.14	28.64	44.25
126	42	49	35	35	0	7.23	51	-83	36.66	18.26	37.46
126	42	47	35	35	0	7.39	55	-79	58.99	39.61	59.34
126	42	44	35	35	0	7.53	53	-81	35.71	17.35	36.65
126	42	45	35	35	0	7.69	49	-85	48.20	29.89	49.29
126	42	48	35	35	0	7.85	53	-81	58.60	39.03	58.53
126	42	50	35	35	0	8.01	51	-83	58.69	39.91	59.74
126	42	53	35	35	0	8.16	44	-93	46.19	24.17	40.65
126	42	55	35	35	0	8.34	41	-93	48.50	29.03	44.79
126	42	57	35	35	0	8.50	43	-91	15.05	-5.43	10.91
126	42	57	35	35	0	8.67	43	-91	8.53	-12.61	3.80
126	42	56	35	35	0	8.84	47	-87	47.97	28.45	44.00
126	42	56	35	35	0	9.01	47	-87	43.78	22.31	39.51
126	42	59	35	35	1	9.17	48	-86	30.28	9.54	27.79
126	43	1	35	35	8	9.33	45	-91	53.08	31.14	47.69
126	43	1	35	35	14	9.49	59	-95	13.33	-5.61	10.59
126	43	58	35	35	18	9.64	40	-94	49.20	29.90	45.96
126	43	52	35	35	21	9.74	39	-95	46.72	25.29	42.12
126	43	47	35	35	25	9.85	38	-96	45.74	24.32	40.94
126	43	43	35	35	30	9.99	37	-97	44.47	23.91	40.81
126	43	40	35	35	34	10.14	37	-97	45.09	23.96	40.93
126	43	41	35	35	45	10.46	38	-96	15.00	-4.88	12.54
126	43	43	35	35	50	10.62	35	-99	49.27	30.17	46.36
126	43	48	35	35	53	10.72	40	-94	46.44	25.30	42.06
126	43	53	35	35	57	10.83	47	-87	47.63	27.00	45.34
126	43	57	35	35	6	10.98	39	-95	43.43	22.02	39.14
126	43	0	35	35	6	11.10	37	-97	12.06	-7.88	9.70
126	43	3	35	35	11	11.25	37	-97	28.82	8.40	26.06
126	43	2	35	35	16	11.41	39	-95	21.44	0.00	17.91
126	43	3	35	35	21	11.59	40	-94	39.35	18.15	35.42
126	43	7	35	35	26	11.73	38	-96	14.49	-5.56	11.94
126	43	1	35	35	30	11.86	43	-91	56.71	35.44	53.60
126	43	16	35	35	34	11.99	44	-90	49.87	29.35	48.35
126	43	19	35	35	38	12.12	43	-91	38.96	26.49	39.10
126	43	21	35	35	43	12.28	43	-91	37.09	18.70	37.50
126	43	23	35	35	49	12.44	41	-93	9.55	-9.48	6.80
126	43	29	35	35	51	12.52	39	-95	45.24	24.10	42.09
126	43	36	35	35	52	12.57	38	-96	33.75	12.50	30.33
126	43	43	35	35	53	12.62	35	-99	34.37	13.29	30.56
126	43	50	35	35	54	12.68	31	-103	42.98	23.89	40.01
126	43	56	35	35	55	12.73	36	-98	37.47	18.39	34.50
126	44	2	35	35	56	12.79	42	-92	48.67	29.22	45.05
126	44	9	35	35	57	12.84	40	-94	18.92	2.07	15.84
126	44	15	35	35	58	12.91	33	-101	49.13	29.69	45.70
126	44	22	35	35	0	12.97	32	-102	49.14	29.67	45.67
126	44	27	35	35	2	13.07	34	-100	48.94	29.46	45.37
126	44	29	35	35	3	13.12	38	-96	59.18	41.15	61.45
126	44	35	35	35	6	13.23	44	-90	59.74	41.80	62.35
126	44	41	35	35	9	13.34	42	-92	40.44	21.31	37.41
126	44	46	34	35	12	13.45	41	-93	37.94	19.22	38.12
126	44	51	35	35	15	13.60	45	-89	48.32	28.82	44.50
126	44	55	35	35	20	13.74	48	-86	58.37	40.21	60.16
126	44	59	35	35	24	13.90	47	-87	39.93	21.43	39.36

4.2 비교 분석

표 1의 제원을 활용한 현장 실측 데이터와 비교모델인 Hata모델, Egri모델 그리고 Carey모델의 컴퓨터 시뮬레이션 예측 데이터를 구체적으로 비교한다. 그림 5는 세지~나주간 실측 결과와 각 비교모델의 예측결과이다. 좌표상에서 전계강도의 변동폭이 20dBμV/m 정도로 끊임없이 크게 변동하는 이유는 수신 안테나의 높이가 측정 지역 주변 구조물보다 낮고 이동국의 연속적인 움직임 때문에 무수한 전파로가 형성되기 때문이다. 다시말해 여러 경로를 통해 수신된 값과 빠른 페이딩에 의해 전계강도는 큰 변동을 일으킨다.^{20~21)}

구간별 실측값과 각 비교모델의 예측값을 비교할 때, 구간거리 1.5Km 미만에서 Hata모델은 평균 +15dBμV/m, Carey모델은 +30dBμV/m, Egri모델은 -15dBμV/m 정도의 큰 오차로 나타났으며, 한편 1.5Km~12.5Km에서 Hata모델은 +10dBμV/m, Carey모델은 +5dBμV/m 정도로서 비교적 실측값에 근사하였고, Egri모델은 -30dBμV/m 정도로 큰 오차를 보였다. 그리고 구간거리 12.5Km 이상에서는 Hata모델과 Carey모델은 +15dBμV/m, Egri

모델은 -20dBμV/m 정도로 역시 큰 오차로 나타났다.

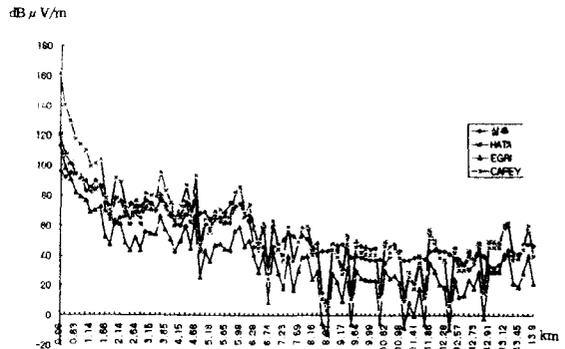


그림 5. 측정결과 및 각 비교모델을 이용한 예측결과
Fig. 5. Results of field test and prediction by each comparison model

이상의 결과 근거리와 원거리를 제외한 나머지 구간에서만 Carey모델과 Hata모델을 이용한 예측결과가 비교적 실측결과에 근접하였으나 Egri모델을 이용한 예측결과는 전구간에 걸쳐 큰 오차로 나타났다.

지형단면도(그림 1)를 고려할 때, Hata모델과 Carey모델에 의한 예측결과는 예상할 수 있는 결과인 반면, Egri 모델에 의한 예측결과는 전혀 예측할 수 없는 결과로 나타났다.

V. 실험적 전파 예측모델 제안 및 시뮬레이션

5.1 실험적 전파 예측모델 제안

5.1.1 가상 예측모델 제안

실측값을 근거하여 제안한 실험적 전파 예측모델의 개략적 함수관계는 식 (6)과 같고, 제안한 전파 예측모델은 지금까지 발표된 여러 전파 예측모델에서 사용하지 않은 기지국 안테나와 이동국 안테나의 유효높이 상대차를 새로운 보정 factor로 활용하므로써 오차를 최소화 하였다.

$$L_{pp} [dB] = k_0 + k_1 \log f + k_2 \log D - k_3 (h_b - h_m) - k_4 \log |h_b - h_m| - k_5 \log h_m \quad (6)$$

L_{pp}: 제안모델 전파 경로 손실

f : 사용주파수 [MHz]

D : 구간거리 [Km]

h_b : 기지국 안테나 유효높이 [m]

h_m : 이동국 안테나 유효높이 [m]

5.1.2 제안모델의 상수값 결정

1) k₁ 값 결정 [k₁ log f]

자유공간손실은 동일 거리에서 주파수에 비례한다. 제안모델의 응용범위를 Pager, 이동통신 그리고 PCS까지 확대하기 위해 사용주파수 범위를 300~1,000[MHz]로 가

정하고, 개략적 통신거리를 13.8Km(※그림 1)로 할 때, 주파수대에 따른 순수 공간손실은 각각 105dB와 116dB이다. 따라서 k_1 값은 $k_1 \log 300=105\text{dB}$ 부터 $k_1 \log 1,000=116\text{dB}$ 의 범위를 만족해야 한다. 이로부터 k_1 값의 범위는 38.7~42.4이다. 이 범위 내에서 제안모델을 만족할 수 있는 k_1 값을 연산적 반복 계산에 의해 구한 결과 40.5이었다.

2) k_2 값 결정 [$k_2 \log D$]

실험에 의한 실측결과로부터 세지가지국을 중심으로 한 나주방면 최소거리 0.1Km와 최대거리 13.8Km 지점에서의 최대 경로손실과 최소 경로손실의 차를 구하면 약 39dB(50-11)이다. 이에 근거하여 k_2 값은 제안모델식의 $k_2 \log D$ 에 거리 0.1Km와 13.8Km를 대입한 결과의 범위를 만족하는 k_2 값의 범위 -34에서 39를 구하고, 실측 데이터를 기준으로 제안 모델을 만족할 수 있는 k_2 값을 연산적 반복 계산에 의해 구한 결과 33.3이다.

3) k_3 값 결정 [$k_3 |h_b - h_m|$]

현장실험 대상지역의 지지국과 이동국의 안테나 유효높이의 상대차 $|h_b - h_m|$ 를 구하면 약 20~45m이다. 향후 미래의 통신망이 마이크로셀화 될 것을 고려하여 비교적 평원으로 구성되어 있는 나주 방면을 기준으로 하였고, 제안모델의 $k_3 |h_b - h_m|$ 이 20~45를 만족하는 값으로써 실측 데이터를 기준으로 k_3 값을 연산적 반복 계산에 의해 0.25로 결정하였다.

4) k_4 값 결정 [$k_4 \log |h_b - h_m|$]

k_3 값 결정에서와 마찬가지로 중계시스템의 마이크로셀화 경향을 감안하여 비교적 평지로 구성되어 있고, 지지국 유효 안테나와 이동국 유효 안테나의 상대높이의 평균 차 $|h_b - h_m|$ 가 20~45m인 나주 방면을 기준하여, $k_4 \log |h_b - h_m|$ 이 약 20을 만족하는 k_4 값으로써 연산적 반복 계산에 의해 6으로 결정하였다.

5) k_5 값 결정 [$k_5 \log h_m$]

이동국 안테나의 최저 해발고가 약 20m, 최고 해발고가 44.3m인 점을 감안하여 $k_5 \log h_m$ 이 약 20을 만족하는 k_5 값으로써 12~16의 범위내에서 연산적 반복 계산에 의해 13.8로 결정하였다.

6) k_0 값 결정

k_0 값은 식 (6)에 이상과 같이 결정된 $k_0 \sim k_5$ 값을 대입하여 얻어진 결과가 방면별 측정결과에 가장 근사할 수 있도록 한 자유공간 전파 보정상수로서 $D \leq 6\text{Km}$ 에서는 18, $D > 6\text{Km}$ 에서는 25로 결정하였다.

5.1.3 제안 전파 예측모델

k_0 로부터 $k_1, k_2, k_3, k_4, k_5, k_0$ 의 결과를 식 (6)에 대입하여 제안한 실험적 전파 예측모델의 결과는 식 (7)과 같다.

$$L_{pp} [\text{dB}] = 18 + 40.5 \log f + 33.3 \log D - 0.25 |h_b - h_m| - 6 \log |h_b - h_m| - 13.8 \log h_m \quad (7)$$

단, $D \leq 6\text{Km}$ 이다.

$$L_{pp} [\text{dB}] = 25 + 40.5 \log f + 33.3 \log D - 0.25 |h_b - h_m| - 6 \log |h_b - h_m| - 13.8 \log h_m \quad (8)$$

단, $D > 6\text{Km}$ 이다.

여기서 서비스 구간을 6Km이내와 6Km이상으로 구분한 것은 미래의 저출력 마이크로 셀룰라 중계시스템을 고려하여 제안모델 예측값의 오차를 최소로 하기 위함이다.

5.2 제안한 전파 예측모델의 시뮬레이션

비교모델의 시뮬레이션에 활용했던 표 1의 제원으로 제안모델을 시뮬레이션 하고, 중요 구간을 발췌한 결과는 표 3과 같다. 참고로 제안 및 각 비교 모델의 결과식 (1), (2), (3), (4), (5), (7), (8)의 데이터 값의 단위가 dB이기 때문에 표 2의 단위 $\text{dB}\mu\text{V/m}$, dBm 을 dB로 통일 표기하였다.

표 3. 측정 및 각 모델의 시뮬레이션 결과

Table 3. The results of field test and each model simulation ($P_t = 91.2\text{W}$)

좌 표		D (Km)	실측 (dB)	제안 (dB)	Hata (dB)	Egri (dB)	Carey (dB)
경도	위도						
126:42:50	34:56:7	0.06	-87.6	-58.52	-63.13	-69.78	-22.23
126:42:50	34:56:20	0.45	-88.6	-86.96	-82.36	-92.87	-53.97
126:42:48	34:56:37	0.98	-100.6	-98.24	-94.36	-107.1	-73.51
126:42:47	34:56:53	1.48	-98.6	-104.2	-98.01	-111.4	-79.45
126:42:42	34:57:9	1.98	-122.6	-108.4	-105.6	-120.4	-91.87
126:42:32	34:57:24	2.46	-109.6	-111.6	-122.6	-140.4	-119.4
126:42:32	34:57:41	2.99	-107.6	-114.4	-112	-127.9	-102.1
126:42:32	34:57:57	3.48	-107.6	-116.7	-103.4	-117.8	-88.32
126:42:28	34:58:14	3.99	-120.6	-118.6	-123.2	-141.1	-120.3
126:42:23	34:58:30	4.51	-120.6	-120.4	-121.4	-139	-117.5
126:42:22	34:58:46	5	-114.6	-125.1	-122.9	-140.8	-119.8
126:42:23	34:59:3	5.5	-120.6	-123.3	-118.5	-135.6	-112.8
126:42:33	34:59:16	5.89	-110.6	-124.3	-111.3	-127.1	-101.1
126:42:49	34:59:26	6.2	-120.6	-125	-116.8	-133.6	-109.9
126:42:56	34:59:39	6.58	-137.6	-132.9	-124.1	-142.1	-121.7
126:42:52	34:59:55	7.08	-135.6	-134	-135.4	-155	-139.3
126:42:44	35:0:10	7.53	-130.6	-134.9	-147.8	-166.2	-146.9
126:42:50	35:0:25	8.01	-132.6	-135.8	-124.9	-143.7	-123.9
126:42:57	35:0:41	8.5	-140.6	-136.6	-168.5	-189	-172.7
126:42:56	35:0:58	9.01	-136.6	-137.4	-139.8	-161.3	-144.1
126:43:1	35:1:14	9.49	-144.6	-138.2	170.2	-189.2	-173
126:42:47	35:1:25	9.85	-145.6	-138.7	-137.8	-159.3	-142.7
126:42:40	35:1:34	10.1	-146.6	-139	-138.5	-159.6	-142.7
126:42:48	35:1:53	10.7	-143.6	-139.9	-137.1	-158.3	-141.5
126:43:0	35:2:6	11.1	-146.6	-140.4	-171.5	-191.5	-173.9
126:43:3	35:2:21	11.5	-143.6	-140.9	-144.2	-165.4	-148.2
126:43:16	35:2:34	11.9	-139.6	-141.4	-133.7	-154.2	-135.2
126:43:23	35:2:49	12.4	-142.6	-141.9	-174.0	-193.1	-176.8
126:43:43	35:2:53	12.6	-148.6	-142.2	-149.2	-170.3	-153
126:44:2	35:2:56	12.7	-141.6	-142.3	-134.9	-154.4	-138.5
126:44:22	35:3:0	12.9	-139.6	-142.5	-123.8	-141.8	-121.2
126:44:35	35:3:6	13.2	-139.6	-142.8	-123.8	-141.8	-121.2
126:44:51	35:3:15	13.6	-138.6	-143.3	-135.2	-154.8	-139.1

126:44:59	35:3:24	13.9	-136.6	-143.6	-143.6	-162.2	-143.6
평균 (dB)	D ≤ 6Km		-109.3	-109.7	-106.9	-121.8	-93.7
	D > 6Km		-140.5	-139.4	-142.9	-162.7	-145.0
평균오차 (dB)	D ≤ 6Km		0	0.4	-2.4	12.5	-15.6
	D > 6Km		0	-1.1	2.4	22.1	4.4

표 3의 결과, 제안모델의 시뮬레이션 결과와 실측값을 비교할 때, 전 구간 측정점에서의 최대 오차폭이 약 ±5dB 범위를 초과하지 않았고, 구간별 평균오차는 D ≤ 6Km 범위에서 약 +0.4dB, D > 6Km 범위에서 약 -1.1dB로서 실측값에 거의 근사함을 나타냈다.

반면 실측값에 대한 각 비교모델의 전 구간 측정점에서의 최대 오차폭은 약 +10dB~+20dB 범위였고, 구간별 평균 오차를 D ≤ 6Km의 경우와 D > 6Km의 경우로 각각 나누어 비교할 때, Hata모델은 -2.4dB, +2.4dB, Egri모델은 +12.5dB, +22.1dB, Carey모델은 -15.6dB, +4.4dB였다.

이상의 결과 비교모델 중 Hata모델이 타 비교모델보다 비교적 실측값에 근사하였으나, 최대 오차가 +10dB 이상으로 제안모델의 오차 ±5dB와 비교할 때, 상대적인 오차는 5~15dB 큰 것으로 확인되었다. 그리고 구간별 평균오차에서도 마찬가지로 비교모델 중 Hata모델이 비교적 실측값에 근사하였으나, 각 비교모델의 오차범위는 ±2.4dB~±15.6dB범위이므로 제안모델의 오차 -1.1dB~+0.4dB와 비교할때, 상대적인 오차는 훨씬 큰 것으로 확인되었다.

VI. 결 론

현대적 생활공간인 교외지역 전파환경에 알맞는 전파 예측모델을 제안하기 위해 실험 대상지역으로 나주시 세지 기지국을 중심으로 한 그 일대를 선정, 세지~나주간 국도에서 실측값을 구하고, 이를 근간으로 기지국과 이동국의 안테나 유효높이 차를 새로운 보정 factor로 활용한 전파 예측모델을 제안하였다. 제안모델의 적정성을 확인하기 위해 제안모델과 각 비교모델을 시뮬레이션(PPGIS)하고, 그 결과를 실측값과 비교한 오차의 정도는 다음과 같다.

- 제안모델에 의한 시뮬레이션의 결과를 실측값과 비교할 때, 전 구간 측정점에서의 최대 오차폭이 약 ±5dB 범위를 초과하지 않았고, 전 지역 평균 오차는 D ≤ 6Km에서 +0.4 dB, D > 6Km에서 -1.1 dB로써 실측값과 거의 동일하였다.
- 실측값에 대한 제안모델과 각 비교모델의 평균 오차를 D ≤ 6Km의 경우와 D > 6Km의 경우로 각각 나

누어 비교한 결과는 다음과 같다.

거리에 따른 평균오차 모델	평균오차		최대 오차폭
	D ≤ 6Km	D > 6Km	
제안모델	0.4 dB	-1.1 dB	±5dB
Hata 모델	-2.4 dB	+2.4 dB	±10dB
Egri 모델	+12.5 dB	+22.1 dB	±12dB
Carey 모델	-15.6 dB	+4.4 dB	±15dB

이상의 결과 각 비교모델 중 Hata 모델의 예측값이 비교적 실측값에 근사하였으나, 거리에 따른 각 측정점의 상대적인 평균오차가 10dB, 구간별 평균오차는 약 ±2.4dB로서, 이를 제안모델의 거리에 따른 각 측정점의 상대적 평균오차 ±5dB와 구간별 평균오차 약 ±1dB와 비교할 때, 훨씬 큰 오차를 가졌다.

앞으로 현대 생활공간인 도심지역과 산악지역을 위한 예측모델에 대한 연구를 계속 진행하여 기고할 예정이다.

참 고 문 헌

1. 박창균 외, "이동통신 환경에서의 전파전파 모델" pp. 89-96, 한국음향학회지 VOL. 15 NO. 3 1996.
2. 박창균 외, "이동통신의 음영지역 전파환경 개선" pp. 104-108, 한국음향학회지 VOL. 15 NO. 3 1996.
3. 박창균 외, "이동통신의 CDMA이동국과 Analog FM이동국의 상호간섭에 관한 연구" pp. 105-112, 한국음향학회지 VOL. 14 NO. 3 1995.
4. Dreissen, P. F., "Multipath delay characteristics in mountainous terrain at 900 MHz," in Proc. 42nd IEEE Veh. Technol. Conf., pp. 520-532, Denver, Co, May 10-13, 1992.
5. Lawton, M. C. and McGeenhan, P. j., "The application of GTD and ray launching Techniques to channel modeling for cordless radio systems." in Proc. 42nd IEEE Veh. Technol. Conf, pp. 125-130, Denver, Co., May 10-13.
6. Davies, R, Bensebti, M, Beach, M. A and MacGeehan, J. p., "Wireless propagation measurement in indoor iultipath environments at 1.7GHz and 60Hz for small cell system." IEEE Veh. Technol. Conf., '91, pp. 589-593, 1991.
7. Bensebti, M., McGeehan, J. P. and Beach, M. A., "Indoor Multipath Radio Propagation Measurement and Characterisation at 60GHz," Proc. 21st European Microwave Conf, pp. 1217-1222, Sep. 1992.
8. Ott, G. D., and A. Plitkins, "Urban path-loss characteristics at 820 MHz," IEEE Trans. Veh. Tech., Vol. 27, pp. 189-197, Nov. 1978.
9. Constantine A. Balanis, Advanced Engineering Electromagnetics, John wiley & sans, 1989.
10. Rustako, Jr A. J., Amitay, N., Owens, G. J. and Roman, R. S., "Radio propagation at microwave frequencies for line-of-sight microcellular mobile and personal communi-

- cations," IEEE Trans., Veh. Technol., vol. 40, no. 1, pp. 203-210, Feb. 1991.
11. Xia, H. H., Bertoni, H. L., Maciel, L.R. and Lindsay Stewart, A., "Radio propagation measurements and modeling for line-of-sight micro-cellular system." in Proc. 42nd IEEE Veh. Technol. Conf, pp 349-354, Denver, Co, May 10-13, 1992.
 12. M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," IEEE Trans. Veh. Technol., vol. 29, no. 3, pp. 317-325, Aug. 1980.
 13. J.J. Egli, "Radio propagation above 40 Mc over irregular terrain," Proc. IRE. vol. 45, no. 10, pp. 1383-1391, Oct. 1957.
 14. W. C. Jakes, Microwave Mobile Communications, Wiley, 1974. New York.
 15. R. Carey, "Technical factors affecting the assignment of facilities in the domestic public land mobile radio Service," FCC Washington DC, Rep. R-6406, 1964.
 16. R.E. Edwards and J. Durkin, "Computer prediction of field strength in the planning of radio systems," Proc. Inst. Elec., vol. 116, no. 9, Sept. 1969., pp. 1493-1500.
 17. Kozono, S. and Takeuchi, T., "Recent Propagation studies on land mobile radio in Japan," IEICE Trans., vol. E-74, no. 6, Jun. 1991.
 18. Takeuchi, T, Sako M. and Yoshida, S., "Multipath delay profile prediction on a workstation for urban mobile radio communications," International symposium on personal, indoor and mobile radio communications, pp. 13-18, London, 1991.
 19. Y. Okumura, "Field strength and its variability in UHF and VHF land-mobile radio service," Rev. Elec. Commun. Lab., vol.16, pp. 825-873, 1968.
 20. 정만영 외, "공중선과 전파전파," 문운당, pp 56, 57, 1992.
 21. 이강영., "이동통신과 마이크로파 통신의 실무와 이론," pp. 49-56, 기다리 출판사 1993.

▲김 재 섭(Jae-Sub Kim)

1967년 9월 3일생



1990년 2월: 조선대학교 전자공학과 졸업(공학사)

1993년 8월: 조선대학교 대학원 전자공학과 졸업(공학석사)

1993년 9월~현재: 조선대학교 대학원 전자공학과 박사과정

※주관심분야: 이동통신, 신호처리,

디지털 통신, 신경회로망 등

▲박 창 균(Chang-Kyun Park)

한국음향학회지 제14권 3호