

무선호출 주파수 전파환경측정 및 외국 환경과의 비교

(Measurement of wave propagation environment in Korean terrain and comparison with the environments(models) of the other nations in pager system)

이 형 수* · 조 삼 모* · 정 진 옥**

(Hyung Soo Lee* · Sam Mo Cho* · Jin Wook Chung**)

요 약

이동통신에서는 안테나의 높이가 낮기 때문에 송신된 전파가 빌딩과 나무, 지형굴곡에 의해 반사, 회절되어 다경로를 통해 수신되므로 진폭과 주기가 시간적으로 매우 급격히 변하게 된다. 이러한 전파의 불규칙성으로 인해 세계 각국에서는 이의 특성을 이론적으로 해석하기 보다는 많은 실험을 통해 얻어진 데이터를 이용하여 전계강도를 예측하고 있다. 본 논문에서는 국내 지형에서 전파가 나타내는 특성을 파악하기 위하여 국내 지형을 그것이 포함하고 있는 지형 및 지물, 도로상태 등의 특성에 따라 대도시, 중소도시, 시외지역 그리고 산악지역의 네 종류로 분류하고 각각의 특성을 갖는 국내지역을 선정하여 무선호출 주파수 대역에서 이의 전계강도 측정을 수행하였으며, 본 측정치를 가지고 국내 환경에서의 전파특성을 검토하였으며 이를 외국의 Hata와 TIREM 전파예측 모델과 비교 분석하였다.

Abstract

The antenna height of the mobile communications lower than its typical surroundings causes multipath fading usually resulting in fast fluctuations of both signal strength and wave length in mobile radio communications. Therefore, there have been developed and used various wave behavior prediction models, in some other foreign countries, based on the measurement data rather than on theoretical derivation.

The main purpose of this paper is to examine the wave propagation characteristics particularly in Korean terrain with the measurements made in four types of different areas - a large city area, a small city area, a flat terrain area, and a mountain area. Those areas have been classified according to the terrain characteristics with which the particular area contains, such as scale and number of buildings, highways, trees, and so on. With the measured data of the field strength in the frequency band of pager system obtained from those four different areas, we compared the calculated ones from both Hata's and TIREM prediction models which are often applied in Korea.

I. 서 론

무선통신은 그 전달 매체가 전파이므로 주파수,

거리, 송수신 안테나 높이, 지구 곡률, 대기환경 및 대도시의 빌딩, 구릉지, 산악지대의 산과 같은 지형 지물 요인들에 의해 많은 영향을 받는다[1]~[5].

* 한국전자통신연구소 전자파공학연구원(ETRI, Radio science section)

** 성균관대학교 정보공학과(Dept.of.Info.Eng., Sungkyunkwan Univ.)

특히, 도심지역에서는 수신지역에 존재하는 고개, 빌딩, 고가도로 등 자연적, 인공적인 장애물에 의해 신호의 품질이 영향을 받으며 또한, 지연확산, 차폐, 페이딩 등에 의해서도 품질이 저하되므로 서비스 지역 예측이 매우 어렵게 된다[6]~[13]. 따라서 선진 외국에서는 오래전부터 자국의 전파특성을 이론적인 연구 및 측정에 의해 자국의 지형 특성에 적합한 전파 예측 모델을 개발하고 이를 각종 무선 서비스에 이용해 오고 있다.

1968년 일본의 Okumura [14]는 Tokyo 시내와 근교에서 1920MHz까지의 주파수 대역에서 광범위하게 수신 신호의 세기를 측정하여 데이터를 토대로 전송손실 예측 모델을 만들어 내었고, Allsebrook와 Parsons[15]는 영국의 도시들을 대상으로 75~450MHz대의 주파수로 측정을 수행하고 지형의 변화 정도에 따라 flat city 및 hilly city로 구분하여 각각의 손실 모델을 도출하였다. 또한, 유럽과 북미에서 수집된 측정값에 근거한 ITU-R[16] 전송손실 계산방법도 사용되고 있다.

특히, 미국의 상무성에서 개발된 TIREM[3]은 주파수, 대기 및 대지상수와 지형 데이터베이스로부터 두 지점 사이의 지형단면 특성을 고려하여 두 지점 간의 전파손실을 예측하는 컴퓨터 프로그램으로서 국내에서 많이 사용중이다. Hata[17]는 Okumura의 결과를 수식으로 정리해 냄으로써 그 실용적인 가치를 높여 현재까지도 이 모델은 기본적인 전파손실 계산에 널리 사용되고 있다.

국내에서는 부분적으로 국내 지형의 특성을 고려하여 기존 모델에 보정인자를 포함시킨 연구들[18, 19]이 있었는데 한국 지형의 특성을 체계적으로 분류하여 측정된 데이터는 아직 미흡하고 대부분 외국의 모델에 국내환경의 차이를 보정하여 손실 예측을 하고 있는 실정이다.

본 논문의 2장에서는 외국 모델 중 국내에서 자주 활용되고 Hata 및 TIREM 모델을 분석하였으며, 3장에서는 한국에서의 전파환경특성을 분석하기 위해 국내 지형을 대도시, 중소도시, 시외지역 그리고 산악지역의 네 종류로 나누고 각각에 해당하는 지역

의 위치 및 특징들을 설명하고 측정된 방법 및 환경 등을 설명한 후, 4장에서 경로별 측정 결과를 그 특성에 따라 비교 분석한 결과를 각 지역별로 구분하여 분석하였다.

II. 외국 전파모델 분석

각국에서 사용되고 있는 각 모델을 분석해 보면, 자유공간 전파로와 평면대지 전파로를 기반으로 해석하는 방법(이론적 방법)과 측정에 의한 방법(경험적 방법)이 있다.

다중 산란파가 존재하는 이동통신 경로에서 외국에서 기 연구된 전파 예측 모델은 매우 여러가지가 있으나 경험적 모델 중 가장 널리 알려진 일본의 Okumura /Hata 방식과 이론적 모델과 경험치를 혼한 미국의 TIREM 모델을 소개하기로 하겠다.

1. Okumura/ Hata의 모델

Okumura[13]는 Tokyo시내와 근교에서 U/VHF 대역에 걸쳐서 수많은 실험 데이터를 정량화하여 몇 가지의 기본 전송손실 그래프를 만들었다. 전체적인 Okumura 방식의 손실 계산 방법은 준평활지형(굴

<표 1> Hata의 전송손실계산 실험식

<Table 1> Hata's equation for path loss

도시지역	$L_p = 69.55 + 26.16 \log_{10} f_c - 13.82 \log_{10} h_b - a(h^m) * \\ + (44.9 - 6.55 \log_{10} h_b) \log_{10} R \dots \dots \dots (dB)$ <p>* Correction factor for the mobile station antenna in function of the type of urban area</p> <p>Medium small City $a(h^m) = h_m - (1.1 \log_{10} f_c - 0.7) h_m$</p> <p>Large city $a(h^m) = 8.29 (\log_{10}^{1.54} h_m)^2 - 1.1, f_c \leq 200 \text{MHz}$ $a(h^m) = 3.2 (\log_{10}^{11.75} h_m)^2 - 4.97, f_c \geq 400 \text{MHz}$</p>
중소도시	$L_{ps} = L_p(\text{urban area}) - 2 \log_{10} (f_c / 28)^2 - 5.4 \dots \dots (dB)$
개발지	$L_{po} = L_p(\text{urban area}) - 4.78 (\log_{10} f_c^2) \\ + 18.33 \log_{10} f_c - 40.94 \dots \dots \dots (dB)$

h_b, h_m : base, mobile station effective antenna height(m);
 R: distance between antennas(km)

곡 20m 이내)에서 기본 전송손실을 구한 다음, 교외 지역이나 개방지역일 경우 보정값을 빼는 방법을 취한다. 또한, 이 방법에서는 기지국 및 이동국의 안테나 높이를 각각 200m, 3m를 기준으로 하고 안테나 높이가 변화하면 여기에 따른 보정값을 주었다. 그리고, 불규칙 지형에서는 구릉지역, 고립 산악지역, 2개 이상 장애물을 가진 산악지역, 경사 지역과 육지와 바다 혼합지역으로 구분하여 각각의 보정치를 취하게 되어 있다.

그러나, 이 방식으로는 다양한 지역에 대한 해석이 너무 광범위하고 적용이 다를 수 있기 때문에 Hata[14]에 의해 준 평활지역만 대상으로 한 간단한 수식이 <표 1>과 같이 개발되었다.

2. TIREM 모델

TIREM[3]은 terrain integrated rough earth

model의 약어로 미국 상무성에서 개발한 점대점(point to point) 전파모델이다.

이 모델은 주파수, 대기 및 대지 상수, 두 점 사이의 지형 단면의 특성을 고려하여 두 점간의 전파손실을 예측하는데, 지형 고도 데이터베이스는 예측하고자 하는 전파 경로상에 필요한 지형 정보를 제공하고, TIREM 프로그램은 이 경로에 적합한 손실 알고리즘을 선택하여 손실을 계산한다.

TIREM이 평균 기본 전파손실을 계산하는 단계는, 첫째로 지형 단면을 지형 데이터베이스로부터 조사하고 일련의 기본 매개변수 즉, 전파 지평선 거리, 실효 안테나 높이, 방위각 등을 결정한다. 이렇게 한 후 TIREM 프로그램은 3개의 가시거리(LOS) 전파 모드와 9개의 비가시거리(BLOS)의 전파 모드로 <표 2>와 같이 총 12개의 전파 모드 중 해당되는 계산 모드를 입력되는 지형 고도데이터에 의해 자동적으로 선정하여 손실을 계산하게 된다.

<표 2> TIREM의 12개 전파모드
<Table 2> TIREM propagation modes

구 분	모 드	계 산 내 용
LOS	8	$h/r \geq 1.5$: 자유공간 모드: 자유공간 전파손실 사용
	7	$h/r \geq 0.5$: 불규칙 지형 모드: 자유공간 전파손실과 자유공간 전파손실에 상대적인 전파손실의 합
	5	$0.5 < h/r < 1.5$: 과도(transition) 모드: 모드 8과 7의 가중치 합
BLOS	2	knife-edge 회절 모드
	6	불규칙 지형 회절 모드
	1	실효 knife-edge 회절 모드
	4	실효 knife-edge 불규칙 지형회절 모드: 모드 2와 모드 6의 가중치 합
	9	tropospheric 산란 모드
	12	실효 이중 knife-edge 모드
	10	회절-산란 모드 1: 회절과 troposcatter 손실의 조합
	11	회절-산란 모드 2: 모드 10과 모드 12의 손실의 조합
	13	회절-산란 모드 3: 모드 9와 모드 12의 손실의 조합

III. 측정 방법 및 환경

각국에서는 자국의 환경에 따라 주거, 빌딩, 나무

등 산란체의 통계적 특성을 추출하거나 빌딩의 점유 면적, 높이, 나무밀도, 도로의 평균폭 등과 같은 파라미터를 도입하여 지물을 정의하고 있다.

본 논문에서는 이러한 여러 지형 및 지물 특성 구분을 고려하여 한국 지형에서 전파전파 특성상 현저히 구분될 수 있는 지형, 지물로서 다음과 같은 4가지의 형태를 기준으로 하여 측정 지역선정에 이용하였다.

① 도시지역: 대부분의 건물이 4층 이상인 건물 밀집지대

- ② 평야지대: 1km 이상 장애물이 없는 지역
- ③ 중소도시 지역: 대부분의 건물이 4층 이하로 구성된 도시
- ④ 산악지역: 대부분의 지역이 산으로 둘러싸인 곳

이러한 기준에 따라 선정된 국내 측정 지역을 <표 3>에 기술하였다.

<표 3> 측정 지역 선정 및 경로 구성
<Table 3> Measurement paths and their components

지역구분	기지국	측 정 경 로*	경 로 특 성
대 도시	서울 논현	1구간: 혜화동 방면도로 2구간: 월계1교입구 방면도로	-변잡한 도심지역의 직선도로로 구성되어 있고 도로변의 건물높이가 6층 이하인 지역 -대도시 중심에서 출발하여 2km까지의 도로변에 고층 건물들이 밀집된 지역
중소도시	홍천	1구간: 성산리삼거리 방면도로	-중소도시의 도심 외곽에 위치한 기지국에서 전파를 송신하고 2.5km~4km 사이에 도심을 지나는 구간으로 3~5층 정도의 건물들이 밀집된 구간
평 야 지	평택	1구간: 병점국교앞 사거리방면도로 2구간: 삼마사정상방면도로	-주로 논으로 이루어진 평야지대로서 측정구간의 대부분이 가지거리가 보장되는 지역 -4차선 국도를 따라서 15m 정도 높이의 가로수가 늘어진 지역
산 약 지	인제 군축령	1구간: 옥려교 방면도로	-산악지형이기 때문에 송수신점의 해발고 차이가 크고 지형상 장애물이 많으며 비교적 완만한 내리막 경사를 갖는 산악도로 지역

* 실제 측정한 경로는 4개 지역 23개 경로이나 여기서는 현저한 특성을 가진 경로만 취급하였음.

<표 4> 송신국 제원[방사출력: ERP 기준]
<Table 4> Base station specification

구 분	사용주파수 [MHz]	송신출력 [W/dBm]	안테나이득 [dBi]	급전손손실 [dB]	악세사리손실 [dB]	기타손실 [dB]	방사출력 [dBm]	안테나높이
홍천	165.00	80/49	5.1	2.1	-	-	52.0	125m
	328.00	80/49	5.1	2.2	0.1	0.1	51.7	120m
인제	165.00	80/49	5.1	2.1	-	-	52.0	325m
	328.00	80/49	5.1	2.7	-	-	51.4	325m
서울	165.00	80/49	5.1	2.1	-	-	52.0	85m
	328.05	160/52	5.1	2.9	3.6	0.1	50.5	85m
평택	165.00	80/49	5.1	2.1	-	-	52.0	40m
	328.05	200/53	5.1	3.4	3.6	0.1	51.0	20m

* 기타 손실은 콘넥타 손실로 개소당 0.01dB

각 기지국에서 사용한 송신기는 금성 GSPT-320을 320MHz 주파수대로, 삼성 SRPT-300A1을 160MHz 주파수대로 사용하였고 안테나는 무지향성 안테나를 사용하였다. 그리고, 각 송신국의 제원은 <표 4>와 같다.

이동국의 전계강도 측정기로는 Anritsu사의 ML-521B, ML522B를 사용하였다. 또한, GPS로부터 입력되는 위치(좌표) 정보를 매 2초마다 1개씩 샘플링하여 전계강도 측정기의 데이터와 위치정보 데이터를 각각의 파일로 저장 매체에 기록하도록 하였다.

IV. 측정 결과 비교 및 분석

측정 데이터의 구간 데이터는 보통 파장의 10~100배 정도의 길이에 대한 중앙치를 채택하고 있다. 본 측정데이터의 구간 길이는 160MHz와 320MHz를 전부 충족할 수 있게 하기 위해 30m로 재변환시켜 그 중앙치를 가로축(거리(x))과 세로축(전계강도(dBμV))으로 표시하였다.

<표 5> 모델 적용환경

<Table 5> Environment of the Model

지역구분	Hata	TIREM
서울	대도시	지형고도 데이터에 따라 계산모드 자동설정
홍천	중소도시	~
평택	개활지	~
인제	개활지*	~

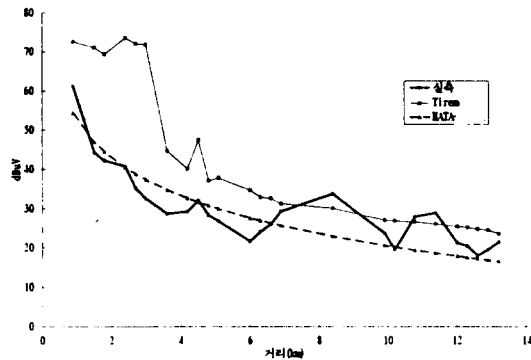
* 이 지역에서는 Okumura의 불규칙 지형의 장애물 계산 방식을 적용해야 되나 적용방법이 임의적이고 복잡하므로 계산 편의상 Hata 환경으로 정하였음.

국내 환경에서의 전파 특성과 외국에서의 전파 환경과의 비교·검토를 위하여, 국내의 4개 지형에서 측정된 데이터와 미국의 TIREM 및 일본의 Hata의 예측 모델과 상대 비교하였다. 각 측정지역에 해당되도록 설정한 모델의 환경은 <표 5>와 같으며 측정값은 약 15km거리까지 연속적으로 이루어 졌으나

페이딩에 따른 전계강도값의 많은 변화와 TIREM 방식이 점대점 예측방식이므로 특정지점에 한하여 상호 비교하였다.

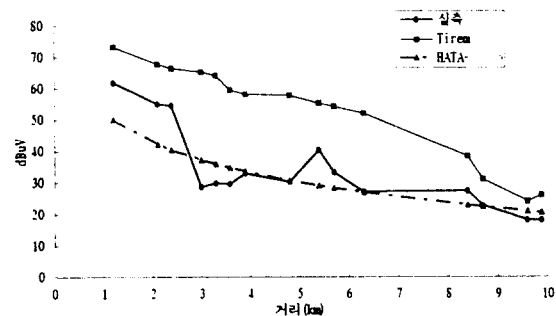
1. 결과 비교

가. 서울지역



[그림 1] 서울 1구간(328MHz)

[Fig. 1] Seoul route 1(328MHz)



[그림 2] 서울 2구간(328MHz)

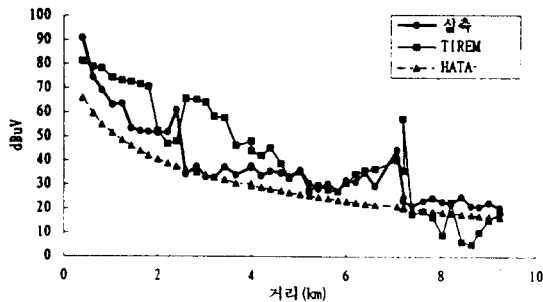
[Fig. 2] Seoul route 2(328MHz)

서울지역의 1구간 [그림 1]은 2km전방의 영동대교를 건널때까지 도로변에 고층 건물들이 밀집해 있고, 도로가 직선으로 뻗어 있으며 주변 건물군의 영향으로 안정된 전송특성을 보인다. 그리고 2구간 [그림 2]는 약 2km전방의 언덕과 고층건물 등 장애

물로 인해 수신 레벨이 낮아지며 4km거리의 도로의 경우에는 도로폭의 확장과 도로의 방향에 따라 수신 레벨이 크게 높아지기도 하는 것을 볼 수 있다. 서울 지역의 측정치는 빌딩의 영향과 페이딩의 원인으로 인하여 TIREM 모델값보다 약 15dB이상 낮으며 Hata 모델과 근사함을 알 수 있다.

나. 홍천지역

홍천지역의 1구간 [그림 3]은 기지국의 약 2.5km 앞에 도시가 나타나고 도시 지역 2km를 지나면 국도를 따라 인제방향으로 가는 구간으로서 도시내 2km정도에 걸쳐서 빌딩(3~5층)이 존재하는 지역이다. 여기에서 측정된 결과는 두 모델의 결과와 모두 유사한 것으로 나타나고 약 3~4km거리의 도시 입구에서 신호가 갑자기 감소하는 것은 중소도시의 빌딩으로 인한 영향(약 15dB)으로 판단된다. 도시 이외의 지역에 대한 해석은 TIREM의 결과에서 잘 반영하고 있다. 약 7km 정도에서 신호가 갑자기 증가하는 것은 측정 경로가 기지국으로부터의 가시거리가 되는 지역을 잠깐 통과하기 때문인 것으로 판단된다.



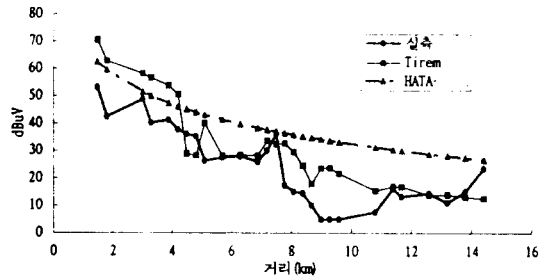
[그림 3] 홍천 1구간(328MHz)
[Fig. 3] Hongchun route 1(328MHz)

다. 평택지역

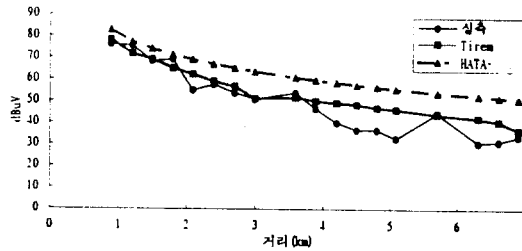
평택의 1구간 [그림 4]는 기지국을 중심으로 서쪽으로 발달한 평야를 가로지르는 구간으로서 대부분 가시거리 지역이고, 2구간 [그림 5]는 기지국을 중심으로 천안 방향의 남쪽 도로 구간으로서 빈번한

차량의 통행과 15m정도의 가로수가 발달한 4차선 도로이다.

이 지역의 경우 약 1.5km부터 Hata 모델의 결과값이 실측치보다 높게 나오나, TIREM 모델은 유사하게 나오고 있다. 이 지역은 기지국 안테나 높이가 30m이기 때문에 프레넬 반경에 따른 회절손실(약 5~8dB) 때문인 것으로 판단된다. 그리고 1구간의 8km부근에서 신호가 떨어지는 것은 마을을 통과하기 때문으로 판단된다.



[그림 4] 평택 1구간(328MHz)
[Fig. 4] Pyungtaek route 1(328MHz)

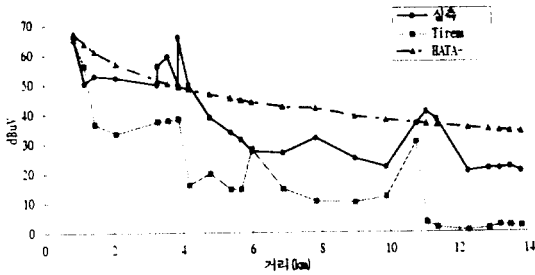


[그림 5] 평택 2구간(165MHz)
[Fig. 5] Pyungtaek route 2(165MHz)

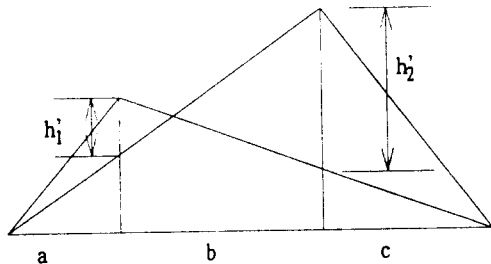
라. 인제지역

인제지역 A구간 [그림 6]은 군축령을 중심으로 남서쪽으로 진행하는 2차선 포장도인 44번 국도를 따라 신남에 이르는 구간으로서 대부분 가로수가 없는 전형적인 내리막 경사를 갖는 산악도로 구간으로

송신지점과 측정지역 사이에 직선경로는 거의 없었다. 이 지역에서는 두 모델 모두와의 유사성을 찾아볼 수 없었다. 이유를 고찰해 보면, 첫째, 측정경로가 주로 산 사이의 계곡과 강을 끼고 있기 때문에 전파의 도달경로가 길수가 있으며 둘째, [그림 7]의 계산 결과와 같이 장애물이 2개 이상일때, TIREM에서 장애물 각각의 회절값을 더하는 방식(Epstein 방식[16])으로 인해 매우 큰 손실(약 20dB)이 발생된 것으로 판단된다. 참고로 5.4km 부근의 지형단면도를 나타내면 [그림 8]과 같다. 기지국에서 11km 지점에서 실측값 및 TIREM의 결과값이 높게 나온 것은 측정 경로가 장애물이 1개인 높은 지점을 통과하기 때문이라 사료된다.



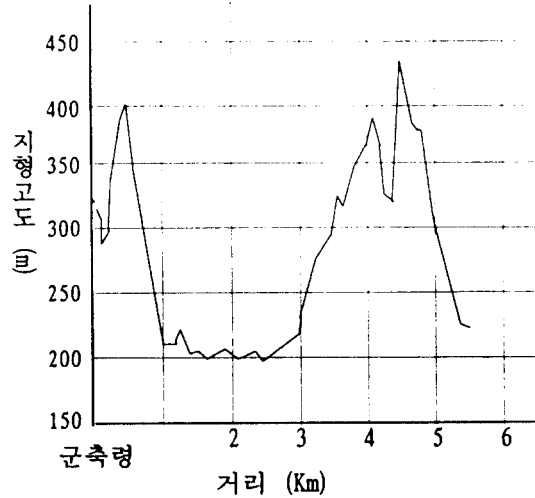
[그림 6] 인제 1구간(328MHz)
[Fig. 6] Inje route 1(328MHz)



TIREM model

변 수	h'1 (m)	h'2 (m)	a (m)	b (m)	c (m)	TIREM (dB)	실측 (dB)
군축령→ 5.4km지점	67.2	162.5	578.9	3894.7	947.4	57.5	35

[그림 7] TIREM 모델의 회절 계산
[Fig. 7] Calculation of the diffraction in TIREM mode



[그림 8] 인제구간의 지형 프로파일
[Fig. 8] Terrain profile of Inje

2 비교결과 분석

각 구간별 실측값과 각 모델의 결과값과의 차이를 표준차로 계산하여 다음 <표 6>과 <표 7>에 나타내었다.

<표 6> Error의 표준편차(165MHz)

<Table 6> Standard deviation of error

구 분	구 간	TIREM	Hata
서 울	A	15.05	5.89
	B	15.14	10.06
홍 천	A	10.41	6.56
평 택	A	5.43	7.37
	B	5.61	6.84
인 제	A	10.79	8.89

<표 7> Error의 표준편차(328MHz)

<Table 7> Standard deviation of error

구 분	구 간	TIREM	Hata
서 울	A	12.00	4.82
	B	10.13	7.31
홍 천	A	13.38	5.22
평 택	A	5.44	7.78
	B	6.46	6.53
인 제	A	10.79	10.56

이러한 결과분석에 따라 도시지역에서는 Hata 모델과 같은 많은 측정치의 장구간 평균치 함수를 도입하는 것이 타당할 것 같으며 국내 지형 특성상 각 도로나 도시의 2~4km 범위 밖이 전부 산으로 둘러싸인 특성에 따라 각 지역에서 지형고도에 따른 장애물을 각각 계산하여 그 값을 보정하는 방식이 되어야 할 것 같다.

그리고, 이 때 사용되는 회절 계산 방식도 장애물이 2개 이상일 때는 ITU-R Rec. 526-3[16]에서 권고한 Eqstein 방식은 국내 지형에서 실측치보다 많은 손실을 미치므로 그 값을 보정하는 것이 좋을 것으로 판단된다.

V. 결 론

전송손실을 예측하고 계산하는 많은 모델이 소개되어 있으나 실제 국내 환경에 적용시 차이점을 분석하거나 또, 어떤 환경에 어떤 모델을 적용해야 될지 판단하는 것은 어려운 일이다.

본 논문에서는 한국에서의 전파 환경 특성을 알아봤으며, 또한 현재까지 국내에서 자주 사용되고 있는 외국 모델이 적용되는 환경과 비교하기 위한 방법으로 국내 지형을 대도시, 중소도시, 시외지역 그리고, 산악지역의 네 종류로 나누고 각각에 해당하는 지역을 선정하여 외국모델과 비교하여 국내 전파 환경과의 차이점을 비교 분석하여 보았다.

이 결과를 토대로 향후에 도시형태를 좀 더 세분화 시킨 측정이 필요할 것 같으며 안테나 높이의 가변에 따른 변화량 분석과 아파트, 건물내에서의 특성과 더불어 장애물의 높이와 거리에 따른 측정할 예정이며, 이를 바탕으로 한 정밀한 전파예측 모델을 개발할 예정이다. 이 때, 지형고도 데이터베이스와 지형지물 데이터베이스(지형특성)을 적절하게 적용하면 국내 지형에 적합한 전파예측이 가능하리라고 기대한다.

참 고 문 헌

- [1] NBS, Transmission Loss Prediction for Tropospheric Communication circuits, 1867.
- [2] Lee W.C.Y., *Mobile Communication Engineering*, McGraw-Hill, New York, 1982.
- [3] Neal H. Shepherd, et al., "Coverage prediction for Mobile Radio Systems Operation in the 800/900MHz Frequency Range," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol.37, no.1, Feb. 1988.
- [4] J.D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, New York, 1992.
- [5] William C.Y. Lee, *Mobile Communications Design Fundamentals*, McGraw-Hill Book Co., 1993.
- [6] Howard H. Xia, et al., "Microcellular Propagation Characteristics for Personal communications in Urban and Suburban Environments," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol.43, no. 3, pp.743-752, Aug. 1994.
- [7] Shigeru Kozono, et al., "Mobile Propagation Loss and Delay Spread Characteristics with a Low Base Station Antenna on an Urban Road," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol.42, no.1, pp.103-109, Feb. 1993.
- [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] John F. Aurand, Robert E. Post., "A Comparison of Prediction Methods for 800MHz Mobile Radio Propagation," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-34, no.4, Nov., 1985.
- [10] James H. Whitteker, "Measurement of Path Loss at 910MHz for Proposed Microcell Urban Mobile Systems," *IEEE Trnas. on Veh. Tech.*, vol.37, no.3, pp.125-129, Aug. 1988.

- 무선호출 주파수 전파환경측정 및 외국 환경과의 비교
- [11] 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.
- [12] 이강영, 이동통신과 마이크로파 통신의 실무와 이론, 기다리, 1993.
- [13] 이혁재, "이동통신에서의 전파전파문제," 전자 공학회지 1989년 10월호, 제16권, 제5호, pp. 38-46.
- [14] M. Hata, "Empirical formula for propagation loss in land mobile radio services," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-29, pp.317-325, Aug. 1980.
- [15] K. Allsebrook and J. D. Parsons, "Mobile radio propagation in British cities at frequencies in the VHF and UHF bands," *IEEE Trans. on Veh. Tech.*, vol. VT-26, no.4, pp. 313-323, Nov. 1977.
- [16] ITU, *Propagation in Non-ionized media: 1994 Pn Series Volume*, Geneva, 1994.
- [17] Y. 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.
- [18] 장재성, 무선호출 시스템의 성능 개선을 위한 전계강도 해석 및 측정, 제주대학교, '93통신학술 연구과제, 1994.
- [19] 홍문식, 김홍수, "제주 서부지역의 이동전화 주파수대의 전계강도 예측에 관한 연구," 전자공학회지 1994년 7월호, 제31권, 제A-7호, pp. 47-54.