

제주의 지형 및 토지이용 데이터를 이용한 전계강도 예측 프로그램

Field Strength Prediction Program Using Terrain and Land Usage Data for Cheju

홍성욱 · 김흥수

Seong-Wook Hong · Heung-Soo Kim

요 약

전파 전파에서 손실은 주로 전파의 산란과 회절 그리고 감쇠로 발생한다. 교외 지역에 대한 대부분의 전파 전파 모델들은 주로 지세의 영향을 고려하였으나 토지 이용으로 인한 영향은 고려하지 않았다. 본 논문에서는 제주 지형에 적합한 전파 예측 프로그램을 개발하기 위하여 지세와 토지 이용에 의한 영향을 고려하였다. 전파 경로 및 토지 환경을 분별할 수 있도록 지형 데이터와 토지이용 데이터를 화소로 구성하였다. 2-ray 모델은 지형 기울기와 예측 반사계수에 의하여 가시 등가 모델로 변환하였으며 비가시 경로에서는 정량적인 방법으로 손실을 구하였다. 그 결과 이 프로그램은 제주 교외지역에서의 서비스 범위를 예측하는데 적용할 수 있다.

Abstract

The significant additional path loss is caused by scattering, diffraction, and attenuation of propagation. Most of the wave propagation models for rural areas mainly have considered the influence of topography but ignored the effects due to land usage. The goal of this paper is development of the field strength prediction program for Cheju which is used the contour map and the effects due to land usage. In order to classify the propagation path and divide the environment of land, data of the terrain and the land-cover are formed into a pixel. Two-ray model is transformed into equivalent model by the predicted reflection coefficient and the slope of terrain. For non line of sight, the additional loss is determined by quantitative analysis. The result show good accord and the wave propagation model program can be applied to predicted the service region in rural area of Cheju.

I. 서 론

무선통신에서의 전파 전파는 자연 및 인공 구조물과 같은 환경 요인과 안테나의 특성 등에 많은

영향을 받는다. 따라서 전파 도달거리가 동일한 지역이라도 음영 및 전파 불량지역이 될 수 있다. 이러한 문제점을 개선시키기 위한 방법으로는 장애물의 위치 및 형태에 대한 해석이 필요하다.

전파 전파에서 손실은 주로 전파의 산란과 회절

제주대학교 통신공학과 (Dept. of Telecommunication Eng., Cheju Nat'l Univ.)

· 논문 번호 : 980904-081

· 수정완료일자 : 1998년 10월 30일

그리고 감쇠로 발생한다. 교외지역에 대한 전파 전파 모델들은 지세의 영향을 고려하는데 경로 손실은 주로 경험적 보정에 의한 방법이다. 국외에서의 전파 전파에 대한 연구는 지형 데이터에 의한 전파 경로 추적법과 부가적으로 수신기 주변 환경을 분석하여 토지이용 분류를 규정하는 방법도 있다^[1]. 실내 전파 전파에 있어서 벽, 천장 등의 구성 요소에 대한 전파 특성 분석, 다양한 벽면에 대해 유효 복소 유전상수를 적용하고 복도와 계단 환경에서 광선투사 방법으로 실내 전파 특성 연구가 이루어지고 있다^{[2],[3]}. 한편 국내에서는 건물 내부의 구조에 따른 오차, 반사 회수와 회절 계수의 부정확성으로 인한 오차의 영향 분석, 도심지의 건물에 대한 데이터를 구성하여 광선투사 방법으로 경로 손실 예측 및 시간 지연에 관한 연구가 이루어지고 있다^{[4],[5]}.

무선 신호의 평균 수신 신호 세기나 경로 손실을 예측하는데 유일한 방법은 없으며 주어진 상황에서 보다 정확한 예측 방법을 제안하기 위해서는 필요한 파라미터의 적절한 선택이 중요하며 또한 선택된 파라미터들이 그 지역에 대해 적합한지의 여부를 판단하여야 한다. 수신 위치의 환경은 대지를 덮고 있는 물질의 형태에 따라 분류할 수 있다. 식물의 종류와 크기 그리고 인공 구조물의 분포에 따라 대지 분포도를 여러 가지 분류하였다. 제주 지역은 다른 지역과는 달리 대부분의 대지가 화산 토양으로 구성되어 있으며 지형은 한라산을 중심으로 해안까지 완만한 경사로 이루어졌다. 해안 지대에는 대부분 마을과 경작지이고 중산간 지대는 농장이며 고산 지대는 산림을 형성하고 있다. 이러한 토지 환경은 위성 사진으로도 확인할 수 있으며 해양 관측위성 자료에 의해 분류된 제주의 대지 분포도는 화산토양, 산림, 초지, 시가지, 경작지 등으로 분류하고 있다^[6]. 전파 수신 위치 환경을 구분할 수 있도록 위성 사진에 의해 분류된 대지 분포도를 전파 측정을 토대로 산림, 초지, 시가지로 나누었다^[7]. 제주의 지형은 전역에 걸쳐 오름(기

생화산)이 분포되어 있고 지면의 굴곡 또한 심하기 때문에 이러한 것들이 전파에 미치는 영향을 고려해야 한다. 이에 대한 적절한 방법 중 하나는 지형 데이터의 구성이다. 송수신간의 지형을 프로파일로 나타낼 뿐만 아니라 장애물의 높이, 지면의 굴곡 정도를 알 수 있으며 이 파라미터들로부터 전파 환경 구분, 회절 변수, 지형의 경사 등을 계산할 수 있다. 교외 지역에 대한 대부분의 전계강도 예측 모델에서 주로 지세의 영향을 고려하나 수신기 주변 환경은 고려하지 않았다.

본 논문에서는 제주 지형에 적합한 전계강도 예측 프로그램을 개발하기 위하여 지세와 수신 위치의 주변 환경을 데이터로 구성하여 적용하였다. 지형 데이터에 의해 구분된 가시 환경 모델은 비탈에서 일어나는 반사 현상에 지형 기울기와 수신 환경에 따른 반사계수를 고려하여 제주 지형에 맞는 2-ray 모델로 변환한다. 비가시 환경에서는 오름으로 인한 회절 현상을 정량적으로 분석하여 부가 손실을 구한다. 예측 모델에 적용된 파라미터는 측정 실험으로 비교 분석하며 예측 프로그램으로 모의 실험한 전계강도 분포와 운용중인 서비스 범위를 확인한다.

II. 전파 환경 해석

자유공간 전파 방정식은 제한적인 조건하에서 적용할 수 있다. 실제 환경에서 전파 경로 상이나 수신기 주위는 매우 다양한 환경이므로 지형을 화소로 구분하여 지형 데이터와 토지이용 코드로 구성하고 이를 바탕으로 전파 환경을 해석한다.

2-1 지형 및 토지이용 데이터 구성

자유공간 경로 손실 이외에 부가적으로 발생하는 손실은 전파 경로 상의 지형과 수신기 주위의 다양한 환경에 기인하며 이 손실은 디지털 지형과 각 화소에 대한 토지이용 데이터를 정성 및 정량

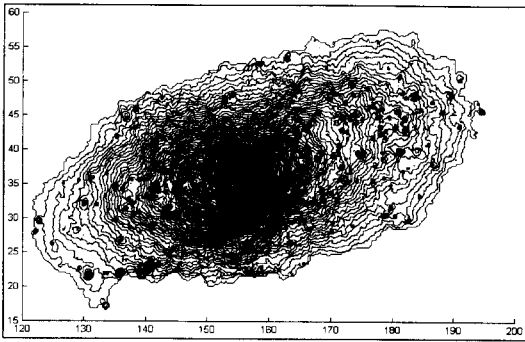


그림 1. 지형도
Fig. 1. Contour map.

적으로 분석하면 예측할 수 있다.

그림 1에 보이는 것처럼 한라산을 중심으로 360여 개의 오름으로 형성되어 있는 제주 지형은 동서 방향은 $3^{\circ}\sim 5^{\circ}$ 사면을 이루고 있고 남북으로는 $5^{\circ}\sim 7^{\circ}$ 의 경사를 갖는다. 특히 고도에 따른 경사는 20° 이상인 고산지대(1,200~1,950 m), $10^{\circ}\sim 20^{\circ}$ 인 산악지대(600~1,200 m), $5^{\circ}\sim 10^{\circ}$ 인 중산간 구릉지대(200~600 m) 그리고 평원지대(200 m 이하)에서 5° 미만으로 분포되어 있다. 이러한 지형에서의 대지 반사는 평탄한 면에서의 반사 현상과는 달리 지형을 고려하여 해석해야 한다. 전계강도 예측에 있어서 송수신 위치의 변화에 따른 송수신간의 프로파일뿐만 아니라 장애물의 위치와 개수 그리고 경로 손실 계산 등이 필요하므로 지형 데이터는 위도와 경도에 대한 고도값을 갖는 3차원 데이터로 구성되어야 한다. 제주도는 TM(Transverse Mercator) 좌표로 세로축의 범위인 16.5~58와 가로축 범위인 121.25~195.5 내에 위치하며 지형 데이터는 0.25에 해당하는 250 m×250 m 간격에 대한 고도로 이루어졌다. 화소 크기는 기존 데이터에 보간법을 적용하여 25 m, 50 m, 100 m, 200 m, 400 m, 500 m으로 증감시켜 정하였다. 그림 1은 제주 지형을 20 m 등고선으로 도시한 것이다.

수신 위치에서 전계강도에 영향을 주는 요인으로 주변 환경을 들 수 있다. 수신 위치의 주위 환

경은 자연 및 인공 구조물로 형성되어 있으며 이를 표현하기 위한 하나의 방법은 대지를 덮고 있는 물질을 분류하는 것이다. 제주의 토지 이용은 해안지대에 분포되어 있는 마을을 제외하고는 대부분이 자연 구조물이다. 제주에 대한 위성 자료를 분석해 보면 화산토양, 산림지대, 초지, 시가지, 경작지로 분류되었다^[6]. 화산토양과 초지, 경작지를 초지 환경으로 가정하여 제주의 토지 이용을 산림, 초지, 시가지로 분류하였다^[7]. 그림 2에서 보이는 것과 같이 산림 환경과 초지 환경을 1,661×2,971 개의 화소로 이루어진 디지털 데이터로 구성하였다. 산림 환경은 침엽수와 낙엽수로 뒤덮인 지역으로 공기와 대지 사이의 유한한 유전체 층으로 가정하였으며 초지 환경은 초지, 농경지 등으로 음영 현상이 발생하지 않는 곳이다.

전파 전파 모델은 직접 경로의 존재 여부에 따라 가시 환경과 비가시 환경으로 나누어 해석한다. 비가시 환경은 송수신간의 직접적인 전파 경로가 경로상의 장애물에 의해 차단되는 경우로 전파의 음영 정도인 회절 계수로 회절 손실을 계산하는 방법이며, 다른 경우는 대지 반사 모델로 비탈에서의 반사 현상과 반사계수를 고려한다.

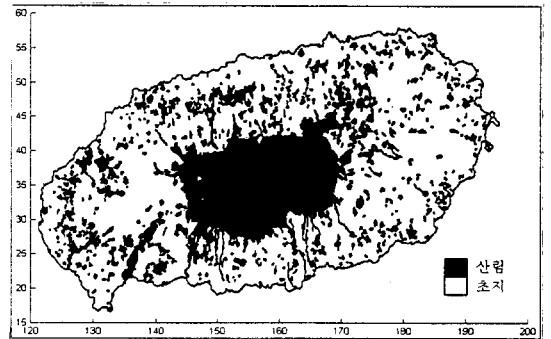


그림 2. 토지 이용 형태
Fig. 2. Land usage class.

2-2 대지 반사 환경

그림 3은 송·수신 사이의 지형 프로파일로 지형 데이터에 의해 계산된 지형 기울기를 이용하면 실제 지형에 알맞은 평면으로 등가 변환할 수 있다^[8] 따라서 파라미터 즉 안테나 높이, 송수신 거리, 장애물의 높이, 경로 차에 의한 위상은 지형 기울기에 의해 변하게 된다. 특히 고도가 부가된 송신 안테나의 높이는 송수신간 거리에 비해 매우 짧기 때문에 지형 기울기에 의해 크게 감소한다. 지형 기울기는 먼저 800 등분된 송수신간 거리에서 순차적으로 두 점의 고도 차에 대한 기울기를 계산하고 이 값들 중에서 95.45 %의 정규분포를 갖는 값들의 중앙값으로 하였다.

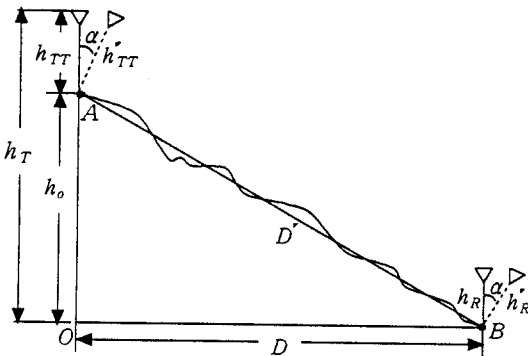


그림 3. 비탈에서의 반사
Fig. 3. Reflection over a slope.

반사계수는 입사파와 반사파의 비로 매질의 도전율과 유전상수 그리고 입사각의 관계식이다. 반사계수의 범위는 입사각에 따른 반사계수, 측정 전계강도 분포 그리고 지형적 여건으로부터 예측할 수 있다. 수직편파인 경우 일정한 각도(Pseudo-Brewster's angle)에서 반사계수의 크기는 0에 가까운 값을 가지며 위상은 $-\pi/2$ 이다. 이 각도를 기준으로 이전 영역에서의 크기는 1로 증가하고 위

상은 $-\pi$ 로 감소한다. 이후 영역에서는 일정한 값으로 수렴하고 0° 로 증가한다. 송수신 간격이 원거리라면 입사각은 브루스터 각(Brewster's angle)보다 크지 않다. 주파수가 324.75 MHz일 때 초지 환경에서 반사계수의 크기는 0.35~0.45이고 위상은 -176° 이며 산림 환경에서는 크기가 0.45~0.65이고 위상은 -171° 인 반사계수를 얻었다^[7].

2-3 회절 환경

회절 손실은 주파수와 거리에 의한 경로 손실에 부가되는 손실로 송수신 사이에 분포한 장애물에 의해 전파가 차단되는 음영의 정도로 표현하며 Huygen의 원리로 설명할 수 있다. 수신점의 전계강도는 2차 Huygen 전원의 합으로 복소 프레넬 적분식으로 구해진다. 여기서 회절 높이와 프레넬 반경의 비인 Fresnel-Kirchhoff 회절 변수가 있으며 Fresnel-Kirchhoff 회절이론으로 해석되었다. 지형 데이터는 회절 변수를 계산하는 기초가 될 뿐만 아니라 지면의 굴곡 정도를 분석할 수 있다. 장애물에 대한 회절 변수는 장애물의 높이와 가시선의 높이 그리고 프레넬 반경을 파라미터로 갖는다. 프로파일에 나타난 장애물은 대응하는 화소의 지형 데이터로부터 회절 영향을 분석하게 된다.

그림 4는 회절 손실에 대한 여러 가지 해석기법 중에서 Deygout의 구조로 제주지형의 다중 장애물에 대한 분석에 적합하였다. 해석 방법은 경로 T-A-R, T-B-R, T-C-R에 대해 각각의 회절 변수를 계산하여 회절 변수가 가장 큰 값을 갖는 장애물이 기준 장애물이 된다. 질차는 기준 장애물 B에 대한 손실을 구한다. 둘째 송신점과 기준 장애물(B) 사이에 분포하는 장애물(A)에 대한 회절 변수를 산출하여 회절 손실을 구한다. 마지막으로 기준 장애물(B)와 수신점 사이에 분포하는 장애물에 대해 반복한다. 장애물에 의한 손실은 각각의 손실을 합하면 된다^[9]. 그러나 실제 환경에서 장애물은 췌기형태가 아니며 장애물간의 지형 또한 평면이 아

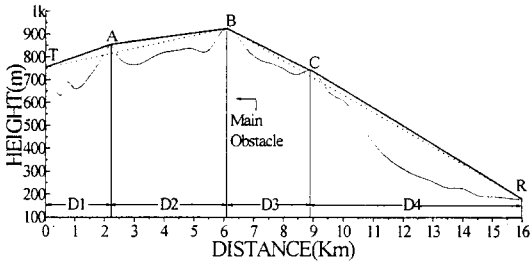


그림 4. Deygout의 회절구조
Fig. 4. The Deygout diffraction construction.

년 굴곡으로 이루어졌다. 이러한 문제점을 해결하기 위해 굴곡에 의한 영향을 정량적으로 분석하여 그에 대한 손실을 부가하였다.

2-4 예측 프로그램

송신 시스템의 제원인 안테나 높이, 전력, 주파수, 위치 등을 변경하는 경우와 새로운 기지국을 선정하면 그에 따른 서비스 범위는 변하게 되며, 이를 확인하기 위해서는 실제 측정을 필요로 한다. 그러나 예측 프로그램을 이용하면 직접 측정을 하지 않고도 서비스 범위를 예측하여 분석할 수 있다.

지형에 대한 정보를 갖고 있는 데이터와 수신위치의 환경을 나타낸 데이터를 이용하여 보다 정확하게 서비스 범위를 예측하고 분석할 수 있는 프로그램에 대한 흐름도를 그림 5에 나타내었다.

그림 6은 송·수신 위치가 각각 위도 34.25, 27.85 경도 149.25, 123.85로 선택하였을 때의 전계강도 예측에 대한 결과이다. 송·수신 위치 입력에 따라 지형데이터로부터 거리 및 고도를 계산하고 두 지점 사이에 있는 장애물을 파악한다. 각각의 장애물에 대한 회절계수를 계산하여 전파 환경을 판별한다. 전파 환경이 직접파일 때 수신 위치의 주위 환경은 토지 이용 데이터로부터 산림과 초지 영역을

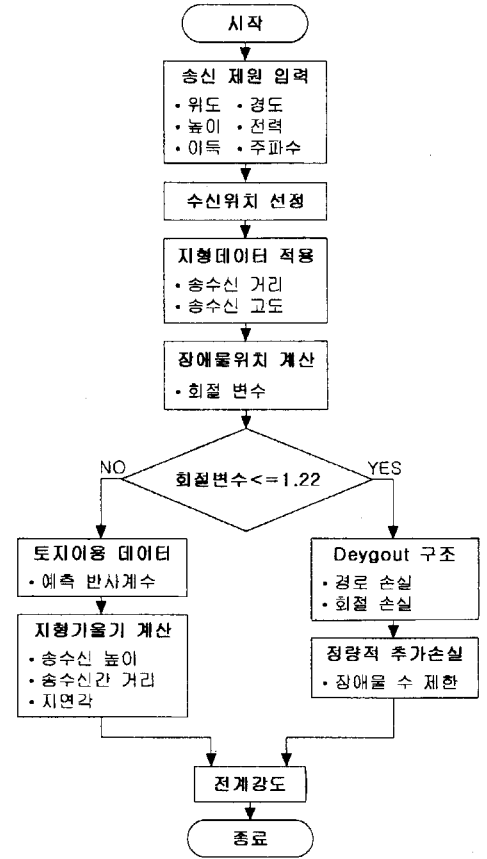


그림 5. 예측 프로그램 흐름도
Fig. 5. Flow chart for the prediction program.

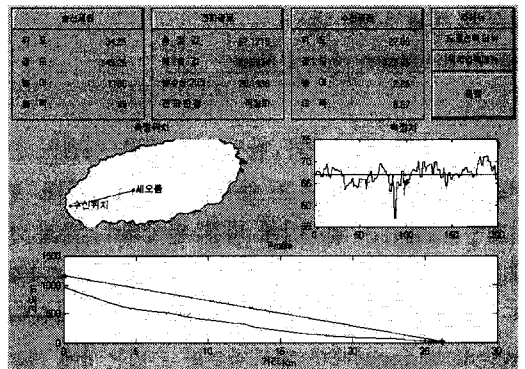


그림 6. 임의의 수신 위치에 대한 결과화면
Fig. 6. Result window for sample received point.

확인하고 예측 반사계수를 선택하여 지형 기울기에 의해 변형된 2-ray 모델에 적용한다.

III. 측정 시스템 및 표본 환경

본 측정에서는 토지이용 형태의 구분과 지형 데이터의 적합성을 고찰하기 위해 가시 환경과 비가시 환경의 조건에 알맞은 위치를 선정하였다. 또한 수평면에 대해 지향성이 없는 수직편파 안테나로 구성되어 지면 형태에 따른 반사계수의 변화를 측정 검토하였다.

전계강도 측정에 사용된 시스템 구성은 그림 7과 같다. 송신 주장치는 제주이동통신(주)에서 현재 운용중인 무선호출 시스템이며 324.75 MHz의 실험 주파수를 사용하였다. 주파수 변조방식으로 단방향통신이며, 송신 안테나는 Collinear이고 송신 전력은 80 W이다. 측정에 이용된 기지국은 동부 지역에 있는 해발 743 m의 견월악과 서부 지역에 있는 1132 m의 세오름이다. 수신 장치는 GPIB interface로 휴대용 컴퓨터를 연결한 전계강도 측정 수신기이며 25~1,000 MHz의 주파수 범위를 갖고 있다. 수신 안테나는 반파장 다이폴이며 높이는 2.45 m이다.

전계강도 측정은 그림 7의 측정 시스템으로 고

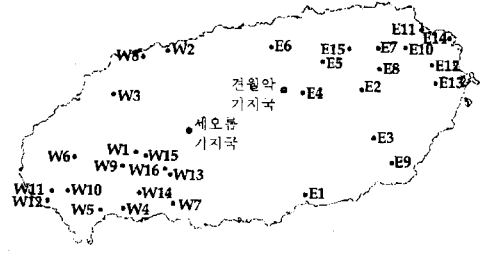


그림 8. 전계강도 측정 표본지점
Fig. 8. Sample points for field strength measurement.

정 및 이동 환경에서 이루어졌다. 고정 측정은 그림 8에 표시한 위치에서 초당 14개의 데이터를 일정 기간 수신하여 컴퓨터에 저장하였고 이동 측정의 경우는 제주의 중요 도로 566.9 Km 거리를 평균 시속 40 Km로 이동하면서 실시간 수신 저장하였다. 이러한 측정을 2회에 걸쳐 반복하였다.

그림 8에 표시된 임의의 위치들은 전파 경로가 가시 환경인 경우 대기 반사가 초지 환경과 산림 환경에 일어나도록 표본지점으로 선정하였고 그리고 비가시 환경에 대해서는 오름에 의한 단일 및 다중 회절 손실을 분석하기 위해 선택하였다. 표본지점은 동·서부지역에 대해 측정 목적에 알맞은 30여 개의 위치를 선정하였다. 표본지점에 대한 전계강도 측정 실험은 토지 이용을 초지 환경과 산림 환경으로 구분한 데이터의 적합성과 예측한 반사계수의 타당성을 확인하고 지형 기울기와 전파 경로 상에 위치한 오름의 자취를 찾는 데 적합한 지형 데이터의 사용 결과를 분석하기 위하여 이루어졌다.

IV. 측정 결과 및 고찰

주어진 환경에서 전계강도 예측 방법에 필요한 파라미터의 적절한 선택이 중요하며 또한 적합성 여부를 평가해야 한다. 전계강도 예측 프로그램 개

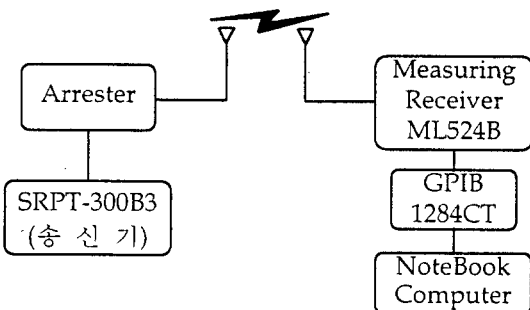


그림 7. 측정 시스템
Fig. 7. Measurement system.

발에 적용된 파라미터는 지형 데이터에 의한 지형 기울기와 회절 변수 그리고 대지 이용도에 따른 반사계수이다. 이 변수들의 영향을 확인하기 위해 고정 위치에 대한 측정과 제주 전역에 대한 도로를 따라 이동하면서 측정하여 모의 실험에 의한 전계강도 분포와 비교 검토하였다.

표 1은 고정 측정 실험 결과로 3장에서 선정된 표본지점의 예측 평균값과 측정 평균값이다. 한 지점에 대한 측정 평균값은 400개의 수신 전계강도로 1 dB 이내의 변동폭을 가졌으며 이론 평균값은 예측 반사계수에 의해 1 dB 정도의 변동을 보였다. 예측치와 측정 평균값의 오차는 8 dB 이내로 발생하여 이 결과로 정량적으로 구한 반사계수는 제주 지형에서 유효하였고 초지 영역과 산림 영역으로 나눈 토지 이용의 분류 또한 적합하였다. 비가시 환경에서 오름에 의한 회절 손실을 부가하여 예측한 전계강도는 국부 지역에서 많은 오차를 보였다. 이것은 환경 분석에 있어서 전파 경로 상의 주변에 위치한 오름의 영향을 분석 대상에서 제외한 결과로 고찰되며 3차원 전파 경로를 적용하면 오

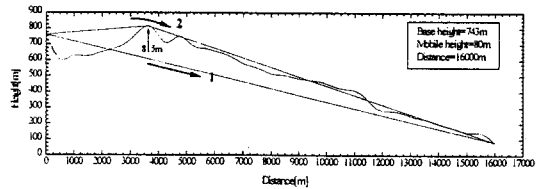
차를 줄일 수 있을 것으로 본다.

그림 9는 회절 변수에 의해 구분된 가시 환경과 비가시 환경의 표본지점에 대한 프로파일이며, 전파 경로와 지형의 경사 정도를 확인할 수 있다. 두 환경으로 구분한 기준 회절 변수는 1차 프레넬 반경에 장애물이 접했을 때의 값으로 1.22이다. 비가시 환경인 표본지점 E1에서 해발 815 m의 오름을 기준 장애물로 두어 회절로 인한 부가 손실이 계산된다. 경로 1은 가시 경로이며 경로 2는 회절 경로이다. 한편 가시 환경인 표본지점 E6에서 반사 현상은 직선 상의 한 점에서 일어나며 이 직선은 3.4o의 지형 기울기에 의해 표현한 것이다. 지형 기울기로 인하여 송수신 안테나 높이와 거리, 경로 차에 의한 지연 각도 등이 변하게 되며 이것을 등가모델로 변환하면 송신 안테나는 761 m에서 156 m로 된다.

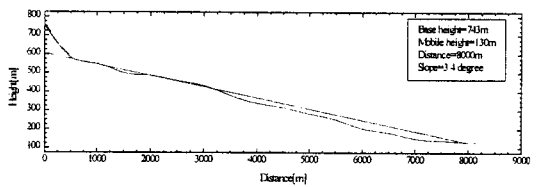
표 1. 표본지점의 전계강도(단위: dB μ V/m)

Table 1. Field strength of sample points.

		가시 경로				비가시 경로			
환경	위치	예측	평균	오차	위치	예측	평균	오차	
초지	W5	72.0	69.0	3.0	W2	74.9	67.9	7.0	
	W6	71.5	70.7	0.8	W3	54.6	61.9	7.3	
	W9	76.1	68.5	7.6	E1	23.7	21.6	2.1	
	W10	70.5	73.4	2.9	E2	71.2	65.5	5.7	
	W13	79.1	71.4	7.7	E3	34.7	28.6	6.1	
	W15	79.0	81.2	2.2	E5	62.7	54.4	8.3	
	W16	79.3	83.4	4.1	E7	47.7	53.5	5.8	
	E6	79.0	78.9	0.1	E8	39.8	31.9	7.9	
산림	W1	76.3	74.2	2.1	E9	57.5	49.1	8.4	
	W7	73.9	75.1	1.2	E10	62.9	56.9	6.0	
	W11	67.9	72.0	4.1	E11	57.2	55.1	2.1	
	W12	66.9	72.9	6.0	E12	59.3	51.3	8.0	
	W14	72.5	77.9	5.4	E13	62.9	57.6	5.3	
	E4	82.6	78.2	4.4	E15	59.8	53.4	6.4	



(a)



(b)

그림 9. 프로파일(E1과 E6)

(a) 표본지점 E1 (b) 표본지점 E6

Fig. 9. Profile for sample point(E1, E6).

(a) Sample point E1, (b) Sample point E6.

그림 10은 예측 프로그램으로 모의 실험한 동부 지역의 전계강도 분포이다. 약전계 분포 지역은 실제 서비스 불량 지역과 일치하였으며 오름으로 인한 회절 영역을 쉽게 확인할 수 있었다. 그림 10(a)는 1,661×1,621 행렬 크기의 수신 위치에 대하여 계산하였으며 그림 10(b)는 167×163 행렬 크기에 대한 것이다. 250 m 화소로 표현한 전계강도 분포는 25 m 화소에 비해 오름에 의한 영향이 상세히 분석되지 않지만 서비스 영역을 예측하는데는 충분하며 약 10² 정도의 계산 시간을 단축할 수 있다.

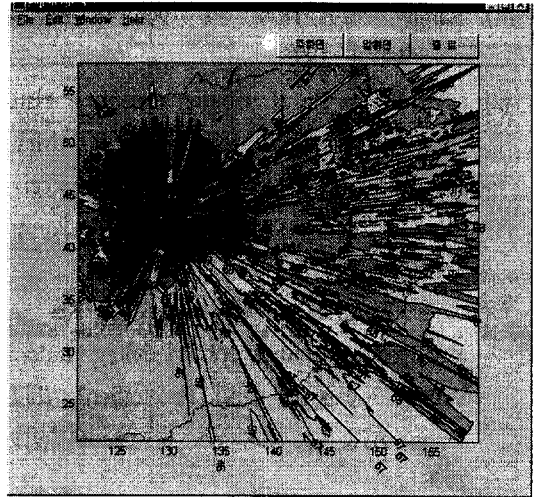
V. 결 론

본 논문에서는 지형적 조건인 지형 데이터와 토지이용 데이터 그리고 지형 파라미터를 고려하여 제주 지형에 적합한 전계강도 예측 프로그램을 개발하였다.

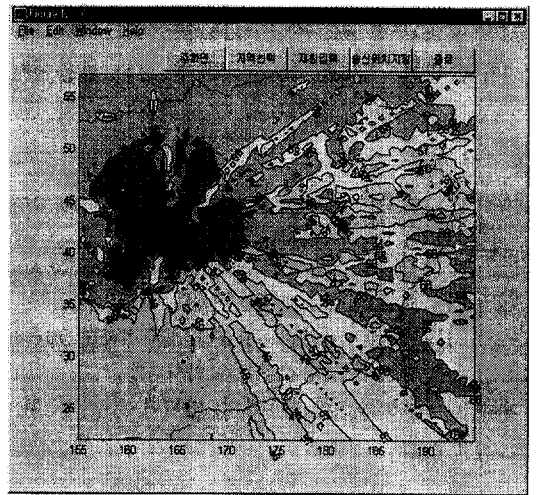
양질의 무선 서비스를 제공하기 위한 서비스 가능 범위는 기지국을 선정하거나 기존 기지국 제원을 변경할 경우 예측하기가 어렵다. 실제 측정 작업을 하기 전에 미리 이러한 서비스 가능 지역을 예측하고 분석할 수 있는 소프트웨어의 필요성이 대두되었다. 이에 지형도와 위성 사진을 사용하여 지형 및 토지이용 데이터를 구성하였고 전계강도 측정으로 반사계수와 토지이용 분포 그리고 지형 영향을 분석하여 그 실효성을 확인하였다. 이로서 지형적 조건을 고려한 예측 전계강도 프로그램은 제주의 교외 지역에 대한 서비스 범위를 예측하는데 적용할 수 있다.

참고문헌

- [1] T. Kurner, D. J. Cichon and W. Wiesbeck, "The Influence of Land Usage on UHF Wave Propagation in the Receiver near



(a)



(b)

그림 10. 예측 전계강도 분포

(a) 동부 지역(25 m)

(b) 동부 지역(250 m)

Fig. 10. Distribution of predicted field strength.

(a) Eastern part(25 m).

(b) Eastern part(250 m).

Range", *IEEE Trans. VP.*, vol. 46, no. 3, pp. 739-746, 1997.

[2] J. H. Tang, W. R. Chang and B. J. Hsu, "Three-Dimensional Modeling of 900 MHz and 2,44 GHz Radio Propagation in Corridors", *IEEE Trans. VP.*, vol. 46, no. 2, pp. 519-527, 1997.

[3] C. F. Yang, B. C. Wu and C. J. Ko, "A Ray-Tracing Method of Modeling Indoor Wave Propagation and Penetration", *IEEE Trans. AP.*, vol. 46, no. 6, pp. 907-919, 1998.

[4] 김희중, 박한규, "Ray-tracing을 이용한 도심지 환경에서의 경로손실특성 및 시간지연에 관한 연구", 한국통신학회 하계학술발표 논문집, vol. 17, no. 2, pp. 773-776, 1998.

[5] 손혜원, 명노훈, "마이크로셀 전파 환경에서

광선 추적법에 의한 예측 결과의 오차에 관한 분석", 한국전자과학회 논문집, vol. 9, no. 2, pp. 211-218, 1998.

[6] 後藤惠之輔, 湯藤義文, 七俣哲彰, 武政剛弘, 韓國濟州島の土地利用分類への海洋觀測衛星MOS-1データの適用", 九州大學校型計算機センタ-計算機科學研究報告 第7号, pp. 19- 28, 1990.

[7] 홍성욱, 김홍수, "제주도 위성사진을 이용한 토지이용지역의 반사계수 비교", 전자과학회 종합학술대회 논문집, pp. 187-191, 1997.

[8] 이권익, 홍성욱, 강부식, 김홍수, "제주서부지역의 지형 특성을 고려한 전파전파 예측", 한국통신학회 하계학술대회 논문집, vol. 15, no. 1, pp. 192-195, 1996.

[9] D. Parsons, *The Mobile Radio Propagation Channel*, John Wiley & Sons, 1992.

홍 성 욱



이동통신

1993년 : 제주대학교 통신공학과(공학사)
 1996년 : 제주대학교 대학원 통신공학과(공학석사)
 1996년~현재 : 제주대학교 대학원 통신공학과 박사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파,

김 홍 수



학과 교수

[주 관심분야] 전자파 산란, 안테나 설계

1978년 : 한양대학교 전자통신공학과(공학사)
 1980년 : 한양대학교 전자통신공학과(공학석사)
 1990년 : 한양대학교 전자통신공학과(공학박사)
 1987년~현재 : 제주대학교 통신공