

## 디지털 지도를 이용한 산악지형의 전계강도 분석

임중수<sup>1\*</sup>, 채규수<sup>1</sup>, 박영철<sup>1</sup>, 김민년<sup>1</sup>

### An Analysis of Electric-field Density into Mountain Area Using DTED

Joong-Soo Lim<sup>1\*</sup>, Gyoo-Soo Chae<sup>1</sup>, Young-Chul Park<sup>1</sup> and Min-Nyum Kim<sup>1</sup>

**요약** 본 논문은 디지털 지도를 이용하여 산악지형의 전계강도를 정밀하게 분석하는 방법을 제시한다. 일반적으로 전파의 전계 강도는 직접파와 수평면 반사를 주로 고려하였으나, 산악지역에서는 직접파와 수평면 반사 외에도 산악 지형의 수직면에 의한 반사도 고려해야 한다. 이러한 점을 고려하여 산악지형에서 전파를 송신할 때 일어나는 직접파와 수평면 반사파, 산악 지형에 의한 수직면 반사파의 합성 전계를 전파의 편파 특성과 위상 특성을 고려하여 계산한 결과를 제시하였다.

**Abstract** This paper presents a precision method to calculate the electric field density of mountain area using digital terrain elevation data(DTED). Generally we calculate the electric field density of a point adding a direct field density and horizontal reflection field density between two points. In this paper, we consider a vertical reflection field density from vertical surface near the wave propagation line between transmitter and receiver. The vertical reflection electric field have different propagation path and polarization from a horizontal reflection field. And the total electric field density adding horizontal field density and vertical reflection value is more accurate than a direct path electrical field density or direct field density adding a horizontal reflection field density.

**Key Word** : Electric field density, Horizontal reflection, Vertical reflection, Radar, Multipath.

## 1. 서론

1990년대 이후 디지털 고도 자료를 이용하여 전계강도를 정확하게 계산하는 방식이 제시되고 있으며, 본 논문은 디지털 지형 고도자료(Digital Terrain Elevation Data)를 이용하여 산악지형에서의 전계강도를 정밀하게 분석하는 방법을 제시한다. 일반적으로 전파반사는 수평면 반사를 주로 고려하였으나, 산악지역에서는 절벽 등의 지형에 의한 수직면의 반사도 고려해야 한다. 이러한 점을 고려하여 산악지형에서 전파를 송신할 때 일어나는

직접파와 수평면 반사파, 산악 지형에 의한 수직면 반사파의 합성 전계를 전파의 편파 특성과 위상 특성을 고려하여 계산한다.

산악지형의 전계강도를 정밀하게 분석하기 위해서는 전파의 직진, 반사 회절 특성을 종합적으로 고려한 합성 전계의 특성을 구해야 한다. 과거에는 전파가 전파되는 경로에 대한 지형자료가 부족하여 전파의 반사나 회절 특성을 정확하게 계산하지 못하였다. 최근에는 산악지형에 대한 고도정보를 포함한 디지털 지도(DTM : Digital Terrain Map)를 사용하여 전파의 전달 경로에 대한 지형의 고도와 반사 및 회절영역을 정확하게 계산할 수 있어서 전파의 합성전계특성을 정확하게 계산할 수 있게 되었다.[1][2]

본 논문에서는 이러한 디지털 지도의 특성을 이용하여 산악지형의 합성전계 강도를 정확하게 구하였다. 일반적으로 전파의 반사특성은 송신 지점과 수신 지점 사이의 수평면에서의 반사만 다루었다. 그러나 산악지형에서는

본 연구는 한국과학기술원 전파탐지특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소의 연구비 지원으로 수행되었음.

<sup>1</sup>백석대학교 정보통신학부

\*교신저자: 임 중 수(jslim@bu.ac.kr)

수직형태의 절벽이나 고압선 철탑 등의 수직 형태의 인공 구조물이 있기 때문에 송신-수신 구간 부근의 수직 구조물에 대한 반사 특성도 고려하는 것이 필요하다.

## 2. DTED를 이용한 지형 복원

디지털지형고도자료(DTED)는 지형을 30m\*30m 또는 100m\*100m 셀로 분해하여 각 셀에 대한 평균 고도 정보를 가지고 있으며, 이 자료를 이용하여 송수신점과 주변의 지형을 복원하여 등고선이나 지형 기울기를 계산할 수 있다. 또한 이를 이용해서 전파 가시영역의 산출 및 수평 반사영역들, 수직 반사영역들, 회절 영역들을 찾아서 전파 특성을 계산할 수 있다. 그림 1은 30m\*30m 지형 자료를 이용하여 0-25 Km 구간의 고도를 복원한 자료이다.

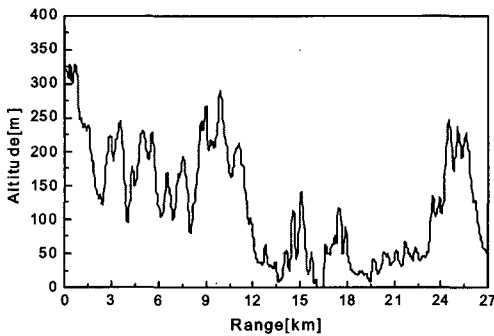


그림 1. DTED 자료를 이용하여 복원한 지형

## 3. 직접파와 수평 반사파의 전파특성

지상파의 전파전파는 지표파, 직접파, 대지반사파, 회절파 등으로 나누며, 수신점의 전계는 이들 중 한 가지 이상 전파의 합성으로 이루어진다. 따라서 정도의 차이는 있으나 지상파는 대지에 의한 영향과 각 주파수 대역별 전파특성에 의한 영향을 받는다. 지상파의 수신 전계강도에 영향을 미치는 것은 송신기 출력, 송신 안테나의 특성, 주파수 외에도 회절상태, 지형의 고도와 전기적 특성 및 대지의 기상상태 등에 의해서 영향을 받으며, 송수신 구간이 멀거나 사용 주파수가 높아지면 지표파에 의한 영향은 고려하지 않는다.

### 3.1 직접파에 의한 전계 강도

직접파는 전파가 대지면이나 주변 구조물에 접촉함이 없이 송신 안테나로부터 직접 수신 안테나에 도달하는 전파를 말한다. 이 직접파는 평면대지상에서 빛과 같이 기하학적 가시거리에 의하여 공중의 모든 점에 직선적으로 도달하는 전파이며, 지구가 구면체이므로 송·수신 안테나를 높이면 높일수록 직접파에 의한 전파전파는 상대적으로 크게 된다.

전파 송수신 장비인 통신기, 전자전, 레이더 등의 신호가 공간에서 방사되어서 일정한 거리가 떨어진 지점에서 수신될 때, 수신되는 신호는 송신기의 출력, 송신 안테나 이득, 공간을 통과하면서 발생하는 전파 손실의 영향을 받으며 교신하고자 하는 표적이 있는 수신지점까지 전달된다. 이 때 표적 또는 표적의 수신 단에서 수신되는 신호의 세기는 식(1) 과 같다.

$$P_R = \frac{P_t G_t A_e}{4\pi R^2} \quad (1)$$

여기에서 수신신호전력은  $P_R$  또는  $S$ ,  $P_t$  는 송신기 출력,  $G_t$  는 송신 안테나 이득,  $A_e$  는 수신 안테나의 개구면적,  $R$ 은 전파전달거리이다. 또 안테나 개구면적을 이득 값의 형태로 바꾸면,

$$S = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} = P_t G_t G_r \left[ \frac{c^2}{(4\pi f R)^2} \right] \quad (2)$$

여기서,  $\lambda$  는 고주파 신호의 파장,  $c$  는 전파의 속도이다. 식 (2)에서  $\lambda$ ,  $c$  와  $R$ 의 단위를 일치시키고 이 식을 dB로 표현하면 다음과 같다.

$$10\log P_R = 10\log P_t + 10\log G_t + 10\log G_r - \alpha_1 \quad (3)$$

식(3)에서 편도자유공간손실  $\alpha_1$ 은 식 (4) 와 같다.

$$\alpha_1 = 20\log(fR) + 20\log(4\pi/c) \text{ [dB]} \quad (4)$$

여기에서 사용된 단위는 m/sec, m, Hz이다.

### 3.2 수평 반사파에 의한 전계 강도

대지반사파는 한 번 대지에서 반사한 다음 수신점에 도달되는 전파를 말하며, 대지의 기울기, 발산계수, 전기

상수에 의해서 정해지나 반사지역에 따라서 이러한 값이 일정치 않아서 정확한 계산을 위해서는 반사지점 별로 반사계수와 발산계수에 영향을 미치는 대응요소 값을 찾아서 계산해야 한다.

수평편파는 대지에 반사할 때 위상이 180°반전되고 또 반사파는 직접파 보다는 긴 전파통로를 거쳐 수신점에 도달하기 때문에 그만큼 위상이 낮다. 일반적으로 대지반사파는 직접파와 함께 나타나므로 수신전계를 계산할 때 양자를 동시에 고려해야 하며 수직편파와 수평편파의 반사계수가 서로 다르므로 양자를 분리하여 해석해야 한다.

반사파의 반사계수는 지표의 유전율과 주파수의 함수이며 유전율이 2.8이고 주파수가 8 GHz인 경우의 수평편파와 수직편파에 대한 반사계수는 그림2와 같다. 또한 수평편파의 위상은 반사계수  $\Gamma_h = -1$  이므로 대지에서 반사할 때 위상이 반전되고 또 직접파와 대지반사파간의 경로 차에 의한 위상차를 갖는다.[3]

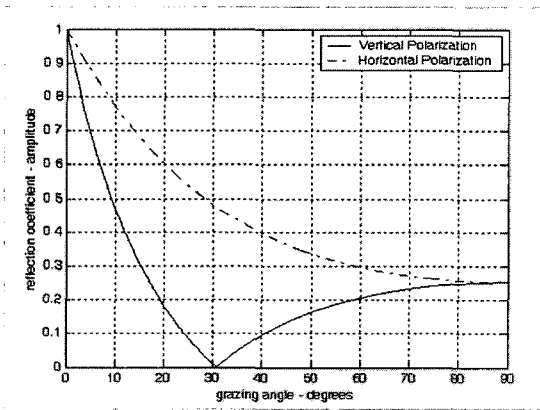


그림 2. 대지 반사 계수 (f = 8 GHz)

수평편파가 방사된 경우 원거리에서의 수신전계는 대지를 완전 도체평면으로 가정하고 송·수신 안테나의 높이를 각각  $h_1, h_2$ , 송·수신 안테나간의 거리를  $d$ 라고 하고 수신점 R에서 직접파의 전계를  $E_D$ , 대지반사파의 전계를  $E_R$ 이라 하면 다음 식으로 표현할 수 있다.

$$E_D = |E_D|e^{j\phi_1} \quad (5)$$

$$E_R = |E_R|e^{j\phi_2} \quad (6)$$

여기서, 전도체인 경우 반사계수가 -1 이므로  $|E_R| = -|E_D|$ 가 되고 합성전계는 식(7)과 같다.

$$E = E_D + E_R = E_D(e^{j\phi_1} - e^{j\phi_2}) \quad (7)$$

### 3.3 수평면 반사시 전파계수

전파 계수 F는 자유공간의 조건을 만족하지 않는 전파의 전달특성을 표현 하고자 할 때 사용된다. 이 인자는 송신 측과 수신 측의 경로를 분리해서 정의 하면 식(8)과 같고, 여기서 E는 매질내부,  $E_0$ 는 자유공간의 전계이다.

$$F = |E/E_0| \quad (8)$$

지표면 가까이에서 다중경로에 의한 반사계수의 영향이 가장 크게 나타난다. 앞에서 언급되었듯이 전파계수는 지표면에서 반사된 파의 영향으로 전파되는 파의 합성 및 상쇄 작용을 보여주는 계수이다. 그림 3에서 지표면 반사를 고려한 다중경로 전파의 전파 구조를 보여주고 있다.

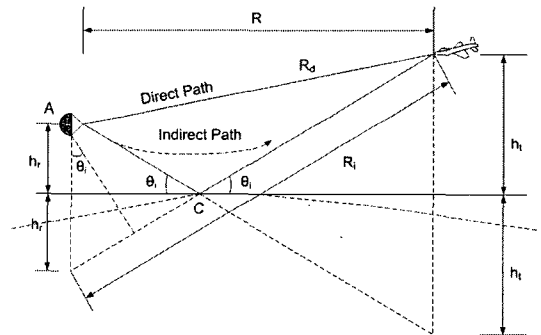


그림 3. 수평면 반사 다중경로 전파의 전파

그림 3에서 목표물에 도착하는 신호의 세기는 식 (9)와 같다.

$$F = |f(\theta_i) + f(-\theta_i)\rho D e^{-j\alpha}| \quad (9)$$

여기서  $f(\theta)$ 는 안테나의 전압 패턴,  $\theta_i$ 는 목표물의 고도,  $\theta_i$ 는 입사각,  $\rho$ 는 지표면 반사계수의 크기, D는 발산계수 그리고  $\alpha$ 는 반사파의 위상이다.

$$\alpha = \frac{2\pi\delta_0}{\lambda} + \phi \quad (10)$$

여기서  $\phi$ 는 반사파의 위상이며 지표면이 완전도체라 가정하면  $\pi$ 이고  $\delta_0$ 은 직접파와 반사파의 경로 차이이며 식 (11)과 같이 표현된다.

$$\delta_0 = R \left( \frac{\cos\theta_i}{\cos\theta_r} - 1 \right) \approx \frac{2h_r h_t}{R} \quad (11)$$

### 4. 수직 반사를 포함한 전파 특성

그림 4는 전파의 전파 경로 주변에 수직면으로 구성된 반사 단면이 있는 경우의 다중 경로 전파의 개념을 도시하였다. 수직면 반사의 경우도 전파전파의 거리에 따른 손실, 반사점에서 반사 계수 및 발산 계수에 의한 감쇠는 수평면 반사인 경우와 같게 생각할 수 있다. 그러나 수직 반사면인 경우에는 송신 안테나의 적용 빔 패턴과 편파 특성이 수평반사면인 경우와 다르게 된다. 즉, 수직면 반사인 경우는 방위각을 기준으로 한 안테나 빔 패턴을 적용해야하며, 반사면에 접근하는 전계의 방향이 수평면으로 향하는 경우와 90도 위상차를 갖게 되므로 편파에 의한 반사계수가 달라진다. 즉 수평편파 특성을 갖는 전파가 수평면에 입사할 때는 수평편파 특성을 가지나, 수직면에 입사할 때는 수직 편파 특성을 갖게 된다.[4]

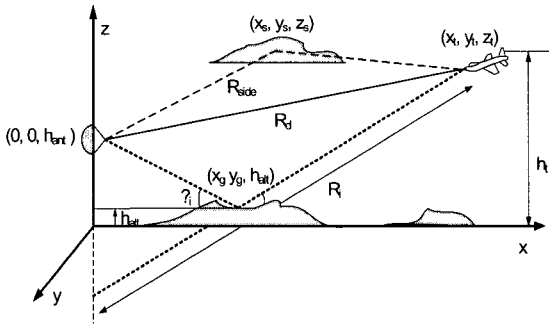


그림 4. 수직면 반사 다중경로 전파의 전파

수직 반사면(S)을 그림 5와 같이 설정하고, 반사면의 법선 벡터  $\vec{N}$ 을 구한다면, 입사벡터와 법선벡터가 이루는 각이 법선벡터와 반사벡터가 이루는 각과 같은 방향으로 전파가 반사된다. 또한 반사 벡터 상에 수신점이 있으면 수신점의 합성 전계에 수직반사면에 의한 반사전계도 포함되어야 한다.

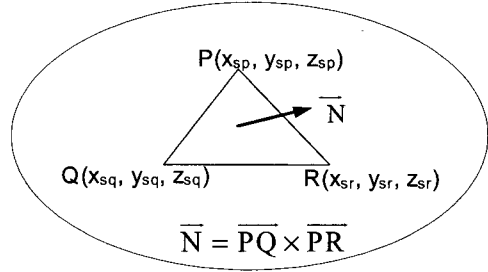


그림 5. 수직 반사면의 법선 벡터

수직편파인 경우에는 수평편파와 같은 방법으로 수신 전계를 구할 수 있다. 다만 수평편파의 경우와 다른 점은 수직편파의 반사계수가  $\Gamma_v = +1$ 이라는 것이다. 이 경우 직접파와 대지반사파의 전계를  $E_D, E_v$  하 하면 식(12), 식 (13)과 같이 되고, 반사계수가 1 인 경우 이들의 합성 계수는 식 (14)과 같으며, 직접파와 수평반사 및 수직면 반사를 고려한 경우의 합성전계는 식 (15)와 같다.[5][6]

$$E_D = |E_D| e^{j\phi_1} \quad (12)$$

$$E_V = |E_D| e^{j\phi_2} \quad (13)$$

$$E = E_D + E_V = E_D (e^{j\phi_1} + e^{j\phi_2}) \quad (14)$$

$$E = E_D + E_R + E_V = E_D (e^{j\phi_1} - e^{j\phi_2} + e^{j\phi_3}) \quad (15)$$

### 5. 결론

본 논문은 디지털 지도 자료를 이용하여 전파의 전파 특성을 분석하고, 직접파와 수평면 반사파 및 수직면반사파를 함께 고려하는 정밀한 다중경로 전파 모델을 유도하였다. 또한 유도된 전파모델을 기준으로 그림 1의 디지털 지형자료를 이용하여 송신안테나높이가 해발 350m, 수신안테나 위치가 해발 2 Km인 경우 송신안테나로부터 20-40 Km 지역의 직접파, 수평면 반사파, 수직면 반사파의 각각의 값과 이들의 합성 전계값을 구한 결과, 직접파와 수평면을 평면으로 고려한 경우의 합성신호의 전력밀도는 그림 6과 같으며, 그림 7에서는 수평면이 평면인 경우와 수평면의 고저가 있는 경우의 합성 전력과 그림4와 같은 구조에서 수직면 반사를 함께 고려한 경우의 합성 전력을 계산하였으며, 수직면 반사를 함께 고려한 경우가

가장 정확하다는 것을 알 수 있다.

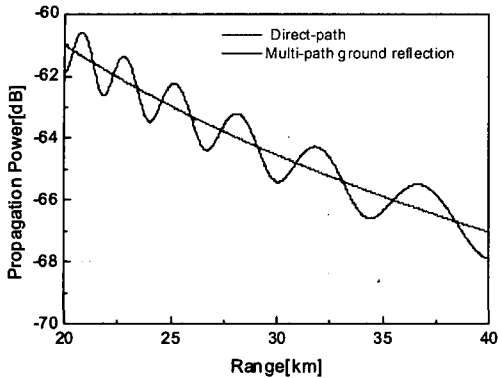


그림 6. 평면 반사를 고려한 합성 전력

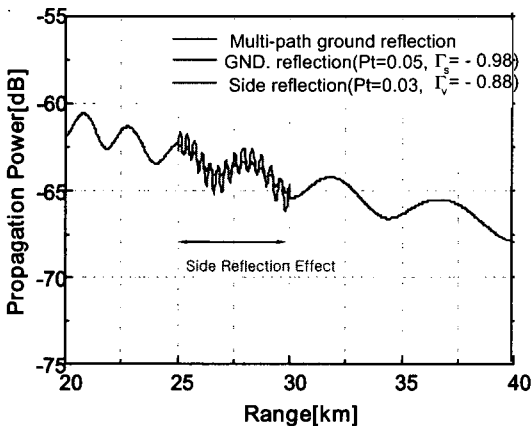


그림 7. 수직 반사도 고려한 합성 전력

### 참고문헌

- [1] David K. Barton, "Radar System Analysis and Modeling," Artech House, Norwood, MA, 2005.
- [2] Richard Curry, "Radar System Performance Modeling," Artech Huse, Boston, 2001.
- [3] B. R. Mahafza, "Radar Systems Analysis and Design Using Matlab," Chapman and Hall/CRC, NY, 2000.
- [4] Tsui, J., "Digital Techniques for Wideband Receivers," Artech House, 1996.
- [5] 채 규수 외 1, 레이더의 전자보호용 위상정합 특성 분석, 한국 산학 기술학회 논문지, 7권 1호, 2006.2.
- [6] 임 중수, RDRC 학술 심포지움, RD-43, 전파탐지 기술특화센터, KAIST/국방과학연구소, 2006.7.

### 임 중수(Joong-Soo Lim)

[정회원]



- 1978년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University, 초고주파공학 (공학박사)
- 1980년 8월 ~ 1989년 12월 : 국방과학연구소, 선임연구원

- 1994년 1월 ~ 2003년 12월 : 국방과학연구소, 전자탐지 팀장
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

전자파 이론, 광대역 주파수 소자 설계, 레이더 및 전자전 장비 설계/분석

### 채 규수(Gyoo-Soo Chae)

[정회원]



- 1993년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
- 2000년 12월 : Virginia Tech (공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 : Amphenol Mobile (RF manager)

- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

안테나 설계, 초고주파 이론

### 박영철(Young-Chul Park)



- 1991년8월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
- 1976년6월 ~ 2000년 6월: 국방과학연구소(통신실장/책임연구원)
- 2000년7월 ~ 2000년 12월: (주)SMIT 부사장
- 2001년 3월 ~ 2006년6월: 백석대학교 정보기술대학원장

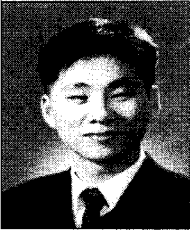
- 2006년 7월 ~ 현재: 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

데이터통신, 이동통신, 위성통신, GPS, Image Compression

김민년 (Min-Nyum Kim)

[정회원]



- 1993년 2월 : 홍익대학교 전자공학  
학과 (공학사)
- 1995년 2월 : 홍익대학교 전자공  
학과 (공학석사)
- 2002년 6월 : 홍익대학교 전자공  
학과 (공학박사)
- 1995년 3월 ~ 1998년 10월 : 대  
우전자, 영상연구소 연구원

- 2002년 3월 ~ 현재 : 백석대학교 정보통신학부 교수

<관심분야>

전자파 및 광파 산란, DFB 레이저, VHDL 설계