

고각변경 레이더의 탐지거리 연구

임중수, 정철구, 채규수, 박영철
 천안대학교 정보통신학부 / RDRC 센터
 e-mail: jslim@cheonan.ac.kr

A Study of Detection Range for the Radar of Elevation Angle Changed

Joong-Soo Lim, Chul-Gu Jung, Gyoo-Soo Chae, Young-Chul Park
 Dept. of IT / RDRC Center, Cheonan University

요 약

본 논문에서는 고각이 변경되는 레이더의 탐지거리에 대해서 연구하였다. 일반적으로 레이더의 탐지거리는 지구의 곡률에 의한 지형적 영향과 전파의 감쇄로 인한 전력밀도에 의해서 결정되는 요소가 있다. 레이더의 탐지거리의 앞의 두 가지가 모두 만족되어야하며, 레이더의 고각이 변경되면 지형에 의한 탐지거리가 변경되므로 전체적인 탐지 거리에 변화가 생긴다. 본 논문에서는 레이더의 고각의 변경에 따른 탐지거리 변경을 중점적으로 기술하였다.

1. 서론

고주파 기술의 발달로 1980년대 이후 레이더 기술이 매우 발달하였다. 레이더에서 가장 중요한 요소는 근원거리에 있는 표적을 정확하게 탐지하고, 식별하는 것이다. 특히 한국과 같이 산악이 많은 지형에서는 레이더의 탐지거리는 각종 지형, 지물에 의해서 많이 결정된다. 일반적으로 레이더의 탐지거리는 지구의 곡률에 의한 지형적 영향과 전파의 감쇄로 인한 전력밀도에 의해서 결정되는 요소가 있으며, 레이더의 고각이 변경되면 지형에 의한 탐지거리가 변경되므로 전체적인 탐지 거리에 변화가 생긴다. 본 논문에서는 공간에서의 전파 감쇄, 레이더의 고각의 변경에 따른 탐지거리 변경을 중점적으로 기술한다.

2. 전파 세기에 의한 레이더 탐지거리 분석

레이더 신호가 공간에서 방사될 때, 레이더 신호는 레이더 송신기의 출력, 송신 안테나, 이득, 공간을 통과하면서 발생하는 전파 손실의 영향을 받으며

탐지하고자 하는 표적이 있는 곳까지 전달 된다. 이때 표적 또는 표적의 수신단에서 수신되는 신호의 세기 P_R (또는 S)는 식 (1)과 같다.

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

여기에서 P_t 는 레이더 송신기 출력, G_t 는 송신 안테나 이득, A_e 는 수신 안테나의 개구면적, R 은 탐지거리이다. 또 수신 안테나 이득은 식(2)와 같으므로 식(1)은 식(3)과 같이 변경할 수 있다.

$$G_e = \frac{4\pi A_e}{\lambda^2} \quad (2)$$

$$S = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi R)^2} = P_t G_t G_r \left[\frac{c^2}{(4\pi f R)^2} \right] \quad (3)$$

여기서, 파장 λ 는 고주파 신호의 파장, c 는 전

파의 속도이다.

식 (3)에서 λ, c 와 R 의 단위를 일치시키고 이 식을 dB로 표현하면 다음과 같다

$$10\log P_R = 10\log P_t + 10\log G_t + 10\log G_r - 20\log fR + 20\log(c/4\pi)$$

(4)

단순화하면

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

편도 자유공간손실 α_1 은 식 (5) 와 같다.

$$\alpha_1 = 20\log(f_1 R) + K_1 \quad (dB)$$

(5) 여기에서, $K_1 = 20\log(4\pi/c)$ 이며, 단위는 m/sec, m, Hz이다. 만약 단위를 변경할 경우에는 표1과 같이 K_1 값이 바뀐다.

표1. 사용 단위에 대한 K_1 값 변환 표

| 거리 (단위) | K_1 값 (dB) | |
|------------|--------------|-------------|
| | f_1 (MHz) | f_1 (GHz) |
| NM | 37.8 | 97.8 |
| km | 32.45 | 92.45 |
| m | -27.55 | 32.45 |
| yd | -28.33 | 31.67 |
| ft | -37.87 | 22.13 |

수신안테나는 단지 유효개구면적(effective capture area : A_e)에 의해서 송신전력의 일부분을 수신하므로, 안테나 입력단에서 수신전력은 전력밀도와 수신안테나의 유효개구면적(A_e)의 곱이 된다. 그림1에서 보는 바와 같이 수신안테나 크기가 주어지면 송신기로부터의 거리에 관계없이 수신면적은 일정하다.

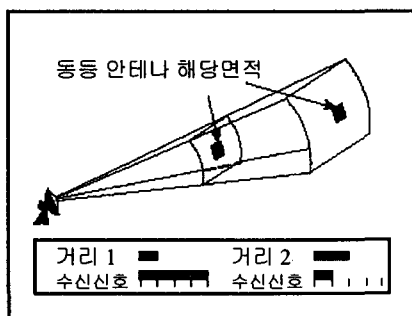


그림1. 거리 대 전력밀도

송/수신기와 안테나간의 에너지 전달을 최대화하기 위해서는 안테나 크기는 또한 주파수와 연관성이 있다. 100NM 거리에서 7.5GHz 고주파 신호에 대한 단방향 자유공간손실 α_1 를 계산하면 다음과 같다.

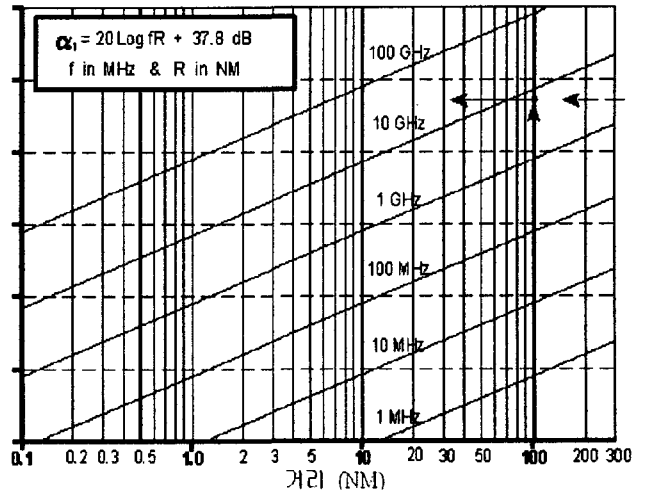


그림 2. 레이더 단 방향 자유공간 손실

3. 지구곡면에 의한 가시거리 분석

레이더 신호의 전파는 반사파와 직접파로 구분되며, 직접파는 대지면에 접촉함이 없이 송신 안테나로부터 수신 안테나에 직접 도달하는 전파를 말한다. 이 직접파는 평면대지상에서 빛과 같이 기하학적 가시거리에 의하여 공중의 모든 점에 직선적으로 도달할 수 있으나, 둥가 지구 반지름을 고려한 전파의 가시거리와 구면 대지의 경우에는 수평선은 한계가 있으므로 송·수신 안테나를 높이면 높일수록 전파의 가시거리는 멀어지게 된다.

3-1 광학 가시거리

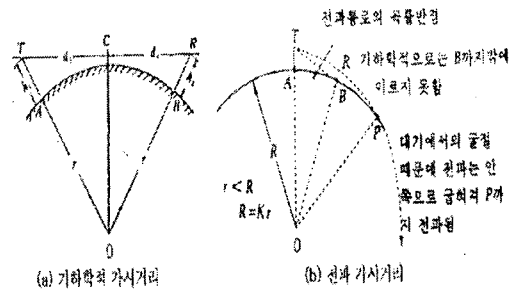


그림3. 기하학적 가시거리와 전파 가시거리

그림3 과 같이 지구 반지름을 r , 송·수신 안테나의 높이를 h_1, h_2 라 하고, 수평선으로 부터 송신 및 수신 안테나까지의 직선거리를 d_1, d_2 라 하면 기하학적(광학적) 가지거리 d 는 $d = d_1 + d_2$ 이 된다. 또한

$$d_1 = \sqrt{(h_1 + r)^2 - r^2} \quad (6)$$

$$d_2 = \sqrt{(h_2 + r)^2 - r^2} \quad (7)$$

이고, r 는 h_1 과 h_2 에 비해 충분히 크므로 다음과 같은 근사식을 얻는다.

$$d_1 \approx \sqrt{2h_1r}, \quad d_2 \approx \sqrt{2h_2r} \quad (8)$$

단, r : 지구의 실제 반지름 6370[Km]

식(6),(7)에서 기하학적 가지거리 d 를 구하면 식(9)와 같이 된다.

$$d \approx \sqrt{2r}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) \approx 3.57(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})[\text{Km}] \quad (9)$$

단, h_1 : 송신 안테나 높이[m],

h_2 : 수신 안테나 높이[m]

3-2 전파 가지거리

지상의 전파통로는 대기중에서 굴절 때문에 곡선을 이루고 있으므로, 실제로 직접파의 전파통로이 가능한 거리는 기하학적 가지거리보다 더 멀리까지 전파된다.

그림3 (b)에서 등가지구반지름 R 과 지구의 실제 반지름 r (6370[Km])의 비를 지구 등가반지름계수 K 라 하며 다음과 같이 나타낸다.

$$K = \frac{R}{r}$$

한반도 환경에서의 등가지구반지름계수 K 값은 4/3가 표준치이므로, 이 때 지구의 반경이 실제보다 약 4/3배 더 커진 등가지구로 대치한다면 전파통로를 거의 직선적으로 볼 수 있으므로 전파통로를 구할 수 있다. 따라서 식(9)의 r 대신 R 를 대입하면 전파의 가지거리 d' 는 다음과 같이 구해진다.

$$d' = \sqrt{2R}(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2}) = 4.11(\sqrt{h_1} + \sqrt{h_2})[\text{Km}] \quad (10)$$

단, h_1 : 송신 안테나 높이[m],

h_2 : 수신 안테나 높이[m]

따라서 표준대기에서 전파 가지거리는 기하학적 가지거리보다 $\sqrt{4/3}$ 배로 크기 때문에 전파는 더 멀리 전파된다.

4. 고각이 변할 경우 전파가지선

그림 4에서 송신 고각이 θ 만큼 변할 경우 광학적 가지선은 Δh 에 의해서 d_2 가 증가된다.

$$\tan \theta = \frac{\Delta h}{\sqrt{d_1^2 + h^2}} \quad (11)$$

$$\Delta h = \sqrt{d_1^2 + h^2} \cdot \tan \theta \quad (12)$$

$$d_2 = \frac{d_1}{h} \sqrt{d_1^2 + h^2} \cdot \tan \theta \approx \frac{d_1^2}{h} \tan \theta \quad (13)$$

고각이 변할 때 식(13) 이용하여 전파 가지선을 구하면 식(14)와 같다.

$$d_2 \approx \frac{d_1^2}{h} \tan \theta \times \frac{4}{3} \quad (14)$$

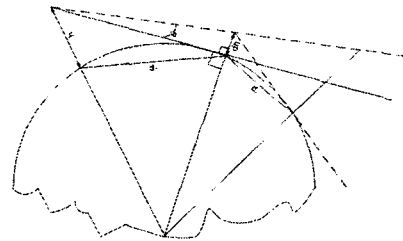


그림 4. 고각변경 레이더 전파가지선

5. 결론

레이더의 탐지거리는 지구모형 및 지형에 의해 결정되는 요소와 송신파의 반사 신호 전계세기에 의해 결정되는 두 가지 요소를 만족해야 한다. 레이더의 송신 고각이 변경될 경우는 전파의 굴절 특성 등에 따라 전파가지 거리가 변경되므로 변경된 전파가지거리를 구하고, 변경된 거리에 따른 반사파의 세기를 구하여 거리의 최소값을 구하면 된다.

참고문헌

[1] Byron Edge "Radar: Principles, Technology, Applications"

Prentice hall PTR, 1993.

[2] D. C. Schleher, " Introduction to Electronic Warfare,"
Artech House, 1986.

[3] B. R. Mahafza " Radar Systems Analysis and Design Using
MATLAB" CHAPMAN & HALL/CRC Prentice, 2000.