

# S-밴드 레이다에서의 電磁波 現象에 關한 研究

張宰成\*, 高興眞\*\*, 康富植\*\*\*

## A Study on the Phenomena of Electromagnetic Waves in a S-Band Radar

Jae-Seong Jang\*, Heung-Jin Ko\*\*, Boo-Sig Kang\*\*\*

### Summary

It is necessary to clarify radio duct properties and clutter in order to estimate propagation characteristics for radar system. Clutter generates by radar echos make difficult the detection of wanted target. Clutter echos limit the sensitivity of a radar receiver, and determining the range performance. For these circumstance, the optimum radar waveform and receiver must be designed by the other way which is considered only the receiver noise effect.

In this paper, analysis radio duct properties, occurrence probabilities, land and sea clutter in a S-Band radar were investigated. The ground clutter-to-noise ratios, the target signal-to-noise ratios and the signal-to-noise-plus-clutter ratios are calculated by the parameters of a S-band radar.

### 序 論

레이다 전파전파에 영향을 주는 요인은 대기의 기온 역전현상 때문에 생기는 덕트(duct)와 불필요한 레이다 에코(echo)로써 발생하는 클러터(clutter) 현상이 있다. Sasaki와 Akiyama(1982)는 대기의 굴절률 분포와 형태와 기상자료를 이용하여 덕트가 발생할 확률을 제시 하였다. 그리고 Karasawa와 Shiokawa(1984)는 L밴드 주파수 대역에서 발생하는 해면 클러터 현상을 연구 하였으며, 최근에도 덕트와

클러터에 대한 연구는 계속 진행되고 있다. 그러나 항공관제 레이다에 사용되는 S밴드 주파수 대역의 덕트와 클러터 현상에 대한 연구는 극히 미약하다. 특히 기상변화가 심한 도서지역에 대한 연구는 거의 전무한 실정이다.

본 연구에서는 Sasaki와 Akiyama(1982)와 Karasawa와 Shiokawa(1984)의 연구를 토대로 항공관제 레이다 주파수인 S밴드 대역에서 발생하는 덕트현상과 클러터 현상을 해석하고 기상변화에 따른 전파전파특성을 연구한다. 또한 Skillman(1987)이 제안한 방법에 S-밴드 레이다의 파라미터를 적용하여

\* 공과대학 통신공학과(Dept. of Communication Engineering, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

\*\* 한국공항공단

\*\*\* 대학원 통신공학과(석사과정)

지면 및 해면 클러터대 잡음비(C/N), 신호대 클러터 잡음비[S/(C+N)]를 계산한다.

## 덕트 및 클러터에 의한 전파특성

레이다 전파는 대기에 의한 덕트와 지구표면 및 해면에 의한 클러터 현상에 크게 영향을 받는다. 레이더에서 송출된 전파는 자유공간에서는 직진하지만 대기중을 전파하는 전자파는 굴절, 반사 및 산란되어 레이더의 탐지거리를 증가시키거나 목표물 탐지를 불가능하게 만든다. 이러한 현상이 발생하는 주된 원인은 대기의 기온역전현상인 라디오덕트(radio duct) 현상 때문이다. 또한 클러터는 불필요한 레이더 에코의 집성체로 레이더 PPI 스크린상의 목표물을 오탐할 확률을 증가시킨다. 항공레이더에서의 클러터 신호는 지면, 인공구조물에 의한 지면 클러터(ground clutter)와 해면에서 반사되는 해면 클러터(sea clutter)로 구분한다. 또한 구름, 강수등과 같이 기상현상의 변화로 반사되는 신호도 클러터로 간주될 수 있다.

### 1. 라디오 덕트

라디오 덕트 발생조건은 대기의 상층부가 하층부보다 고온 저습 할때 나타난다. Fig. 1은 기온역전 현상으로 나타나는 S형 덕트를 나타낸 그림이다. 덕트의 형태는 덕트의 세기  $\Delta M$ , 역전층의 굴절율  $\alpha_d$ , 역전층이 두께  $\Delta H$  그리고 덕트의 높이 H로 표현한다.

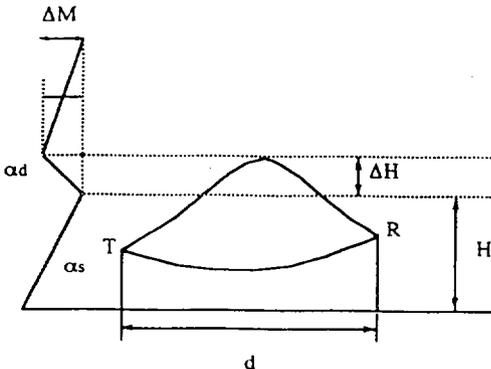


Fig. 1. Explanation of radio duct.

여기서 T는 송신기 R은 수신기의 위치,  $\alpha_s$ 는 대기 표면층의 굴절율 그리고 d는 송수신기간의 거리이다. 덕트의 세기  $\Delta M$ 과 역전층의 굴절율  $\alpha_d$ 는 서로 밀접한 상관관계를 갖고 있으며 라디오 덕트가 발생할 확률에 커다란 영향을 미친다. 따라서 라디오 덕트의 발생확률 누적분포함수는 굴절율 구배의 정규 지수분포함수로 다음과 같이 된다.

$$F(\beta) = \frac{1}{2} \exp\{4(\beta - \beta_m)/3\sigma\}, -\infty < \beta \leq \beta_s$$

$$= \frac{1}{2} \operatorname{erfc}\{-(\beta - \beta_m)/\sqrt{2}\sigma\}, \beta_s < \beta < +\infty \quad (1)$$

여기서  $\beta_m = \Delta \bar{N}$ ,  $\beta_s = \beta_m - 1.48\sigma$ ,  $\sigma = \sigma_{\Delta N} / \sqrt{\Delta H}$ ,  $\Delta \bar{N}$ 는 지표로부터 1km내의 굴절율구배  $\Delta N$ 의 월 평균 기대값,  $\sigma_{\Delta N}$ 은  $\Delta N$ 에 대한 표준편차 그리고  $\Delta H$ 는 역전층의 두께이다.

역전층의 굴절율  $\alpha_d$ 는 0 MU/km 보다 적고 굴절율 구배  $\beta$ 는 -157NU/km이므로 식 (1)의 누적 분포 확률함수는 다음과 같은 지수함수가 된다.

$$P_{\alpha_d} = \frac{1}{2} \exp\left\{-\frac{4\bar{\alpha} \sqrt{\Delta H}}{3\sigma_{\Delta N}}\right\} \quad (2)$$

여기서  $\bar{\alpha} = \Delta \bar{N} + 157\text{MU/km}$ 이고  $\Delta \bar{N}$ 과  $\sigma_{\Delta N}$ 값은 라디오존데 데이터와 고층기상관측소의 데이터를 이용하여 계산한다.

따라서 역전층의 두께를 알고 있으면 덕트의 발생 확률은  $\Delta N$ 통계로 부터 간단히 예측할 수 있다.

또한 여름철 7-9월 사이에는 낮은 대기층인 표면층에서 덕트가 많이 발생되어 항공레이더에 막대한 지장을 초래하고 있다. 표면층에서의 덕트발생확률은 표면층과 낮은 대기의 굴절율 구배의  $\alpha_s$ 통계자료로부터 다음과 같이 정의된다.

$$P_{\alpha_s} = \frac{1}{2} \exp\left\{-\frac{(\bar{\alpha}_s - 28) \sqrt{H}}{0.566\sigma_{\Delta N} + 2.67}\right\} \quad (3)$$

여기서  $\bar{\alpha}_s = \bar{\alpha} - 28$ ,  $\sigma_s = \frac{1}{\sqrt{H}} (0.755\sigma_{\Delta N} + 3.56)$  이고  $\alpha_s$ 는 표면층의 굴절율 구배,  $\bar{\alpha}_s$ 는 표면층 굴절율 구배  $\alpha_s$ 의 기대값,  $\sigma_s$ 는 표면층에서의 굴절율 구배의 표준편차, H는 표면층의 두께이다.

### 2. 지면 및 해면 클러터 특성

지상에 설치된 레이더는 언덕, 산등과 같은 지형으로 부터 강한 에코신호를 수신한다. 지표면의 반사는 보통 항공기와 같은 원하는 목표물의 반사보다 크게 나타난다. 그러므로 지면 클러터(ground clutter)는 레이더의 탐지 능력을 떨어뜨리는 원인이 된다.

1967년 Peak가 제안한 지표면에 대한 클러터 단면적은 수평복각  $\theta$ 와 안테나 빔에 의해 포착될 수 있는 단위면적당 레이더 단면적(radar cross section)인  $\sigma^0$  함수로 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$S = \frac{\sigma^0}{\sin\theta} = 4\pi k^2 \sin^2\theta T_v W \quad (4)$$

여기서  $k$ 는 전파상수,  $T_v$ 는 수직, 수평편파에 대한 표면의 전기적 특성을 나타내는 반사계수,  $W$ 는 표면에 대한 모델함수로서 다음과 같다.

$$T_v = \left[ \frac{(\epsilon-1)(\epsilon(1+\cos^2\theta)-\cos^2\theta)}{[\epsilon \sin\theta + \sqrt{(\epsilon-\cos^2\theta)}]} \right]^2$$

$$T_h = \left[ \frac{\epsilon-1}{(\sin\theta + \sqrt{(\epsilon-\cos^2\theta)})} \right]^2$$

$$W = \frac{2\bar{m}_s}{\pi} \int_0^\infty \rho(r) J_0(2kr \cos\theta) r dr$$

여기서  $\bar{m}_s$ 는 지표면의 굴곡의 높이에 대한 자승 평균이고  $\rho(r)$ 은 표면에 대한 자기상관 함수,  $r$ 은 측정위치까지의 거리,  $J_0(x)$ 는 0차 베셀(Bessel) 함수이다.

또한 해면클러터는 파고의 기울기, 수평복각  $\theta$ 에 크게 영향을 받는다. 따라서 해면 클러터에 대한 클러터 단면적은 다음식으로 주어진다.

$$\sigma = \mu \cot^2 \delta_0 e^{-\cot^2\theta / \tan^2\delta_0} \quad (5)$$

여기서  $\tan \delta_0$ 는 파고의 평균기울기,  $\theta$ 는 안테나 빔 방향과 지면이 만나는 수평복각이고  $\mu$ 는 UHF대역에서 약 0.1값을 갖는 상수이다.

### 3. 표면 클러터 대 잡음

지면 및 해면 클러터를 표면 클러터라 하며 Fig. 2는 표면 클러터를 계산하기 위해 기하학적으로 나타낸 그림이다. 4/3 등가지구반경이 사용 되었고, 평균 클러터 역산란(backscatter) 계수  $\sigma^0$ 는 grazing 각

$\alpha$ 에 따라 변화 한다고 가정하였다. 또한 클러터 계수는 확률 방법에서 공간적, 일시적으로 변화하고 클러터의 형태에 따라 좌우된다. (Skillman, 1987)

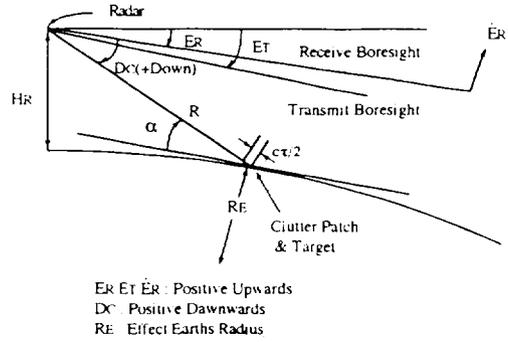


Fig. 2. Surface clutter geometry, 4/3rds earth radius model.

클러터 패치(patch)로부터 역산란되는 평균 클러터 대 잡음비는 range gate  $R$ 과 수평 빔폭(azimuth beamwidth)의 지구 표면을 교차 시킴으로써 정의된다.

$$C/N(R) = \frac{P_T P_c \lambda^2 G_T G_p \theta_{AZ} (cr/2) \sigma^0 K_{bo}}{(4\pi)^3 L_c k T_s B_R R^3 \cos\alpha} \quad (6)$$

여기서  $P_T$ 는 송신 전력,  $P_c$ 는 펄스 압축율,  $\lambda$ 는 파장,  $G_T$ 는 송신 안테나 이득,  $G_R$ 는 수신 안테나 이득,  $G_p$ 는 Doppler 또는 MTI processing gain,  $\theta_{AZ}$ 는 수평 반전력 빔폭,  $c$ 는 광속도,  $\tau$ 는 압축된 펄스폭,  $\sigma^0$ 는 평균 클러터 반사계수,  $T_s$ 는 시스템 잡음온도( $^{\circ}K$ ),  $L_c$ 는 클러터 손실( $\geq 1$ ),  $B_R$ 는 수신기 대역폭(Hz),  $k$ 는 Boltzmann 상수( $1.38054 \times 10^{-23} W/Hz/{}^{\circ}K$ ),  $\alpha$ 는 grazing angle,  $K_{bo}$ 는 송수신 빔 overlap factor를 나타낸다. 식(6)을 간략히 하기 위해 공통인수를 상수  $K_1$ 으로 모으면 다음과 같다.

$$K_1 = \frac{P_T P_c \hat{G}_T \hat{G}_R \lambda^2}{T_s L_c B_R} \quad (7)$$

여기서  $\hat{\phantom{x}}$ 는  $G_T, G_R$ 에 대한 최대이득을 나타낸다. 대부분의 레이더는 monostatic radar로 하나의 안테나를 송수신 공용으로 사용한다. 그러나 bistatic 레이더는 CW 레이더로 송수신 안테나가 분리된 형

태이다. 안테나가 수평 분리된 경우의 빔 crossover range Rc는  $\theta_{AZ}$ 와 안테나 중심 사이의 거리  $\Delta x$ 로부터 계산된다.

$$R_c = \frac{\Delta x}{\theta_{AZ}} \quad (8)$$

클러터 return은 Rc보다 작은 거리에서 0으로 가정하였고 Rc보다 큰 거리에서는 수평에서 fractional beam overlap에 비례한다. overlap factor  $K_{bo}$ 는

$$K_{bo} = 1 - \frac{R_c}{R} \quad (9)$$

이며, 클러터대 잡음비(C/N)를 계산하기 위해 사용된 식은 식(6)에  $K_1$ 을 대입함으로써 구하여진다.

$$(C/N)_{dB} = 61.77 + (\sigma^0)_{dB} + 101 \log_{10}(K_1 K_{bo} \Delta G_T \Delta G_R \theta_{AZ} \tau / [R^3 \cos(\alpha)]) \quad (10)$$

$(\sigma^0 : [m^2], \theta_{AZ} : \text{degrees}, \tau : \mu s, R : \text{nmi})$

여기서  $\Delta G_T$ ,  $\Delta G_R$ 는 최대이득에 대한 송수신 이득이다.

주 빔은 Gaussian beam 모양으로 근사화 되었으며  $(\Delta G)_{dB}$ 는 다음과 같다.

$$(\Delta G)_{dB} = -12(\Delta\theta/\theta_{EL})^2 \quad (11)$$

여기서  $\Delta\theta$ 는 빔의 최대로부터 클러터까지의 가시 거리의 수직분리이고,  $\theta_{EL}$ 은 반전력 수직 빔폭이다. 주 빔 외부의 빔 모양은 침두이득에 대하여 일정한 sidelobe level  $G_{SL}$ 을 갖으며 송수신 빔은 수직으로 무관하게 위치 시킬 수 있다.

송신 빔은 수직각  $E_T$ 에서 고정된 반면 수신 빔은 송신되는 동안 수직각  $E_{RO}$ 에 위치해 있다. 클러터가 정확한 거리상에 있다면, 수신 빔은 수신시간동안  $E_R$ 울로 수직으로 스캔된다.

수신 빔 elevation  $E_R$ 은 거리 R의 함수로서 scanning하는 경우에  $E_R$ 은 다음과 같다.

$$E_R = E_{RO} + 2R E_R/c \quad (12)$$

펄스 반복 주파수(PRF)가 충분히 높다면 하나의 수신 range gate에 들어가는 클러터는 모든 클러터

패치로부터 range gate 거리까지의 클러터의 합이 된다. 이러한 조건은 레이더 수평거리  $R_{HOR}$ 을 사용하여 시험되었고 4/3 등가지구반경  $R_E$  (4588nmi), 레이더 고도  $H_R$ 을 사용하여 계산된다.

$$R_{HOR} = \sqrt{H_R(2R_E + H_R)} \quad (13)$$

수평의 depression angle (positive down)  $D_{HOR}$ 은

$$D_{HOR} = \cos^{-1}\left\{\frac{R_E}{R_E + H_R}\right\} \quad (14)$$

이며, 거리를 펄스 사이의 간격으로 환산하면 다음과 같다.

$$\Delta R = c/(2PRF) \quad (15)$$

여기서  $\Delta R < R_{HOR}$ 이면 지면 클러터는 모호한 영역에 있게 된다. 이 경우에 모호한 영역  $R_{amb}$  ( $< \Delta R$ )의 range gate에 대한 표연 클러터는 모든 모호한 영역 셀(cell)로부터  $R_{amb}$ 까지 수신된 전력의 합이다.

$$C/N_{TOT}(R_{amb}) = \sum C/N(R_{amb} + i\Delta R) \quad (16)$$

여기서 합은  $45^\circ$ 보다 작은 depression angle과 지면이 교차하는 첫번째 셀(cell)에서 시작하고  $R_{HOR}$ 보다 작은 거리의 마지막 cell에서 끝난다.

#### 4. 클러터에서의 목표물 탐지와 신호대 잡음비

거리 R에서  $\sigma$ 인 레이더 단면적을 갖는 목표물에 대한 신호대 잡음비는 다음과 같이 구할 수 있다.

$$S/N(\sigma, R) = \frac{P_T P_C \lambda^2 G_T G_R G_P \sigma}{(4\pi)^3 L_T k T_s B_R R^4} \quad (17)$$

목표물이 지표면 상에 있다면 안테나 이득은 클러터와 목표물에 대해서 동일하다. 신호대 잡음비를 dB로 표현하면 다음과 같다.

$$(S/N)_{dB} = 24.92 + 10 \log_{10}(K_{IT} \Delta G_T \Delta G_R \sigma / R^4) \quad (18)$$

여기서  $K_{IT}$ 는  $K_1 L_C / L_T$ 이다. 따라서 신호대 잡음

클러터비는 다음식으로 구하여 진다.

$$(S/(N+C))_{dB} = (S/N)_{dB} - 10 \log_{10}(1 + (C/N)) \quad (19)$$

지면 클러터대 잡음비 C/N의 비교적 큰 값은 비동기(noncoherent) 검파의 관심이 되는 표면 목표물의 탐지는 제외한다. 도플러(Doppler) 필터링을 사용하는 동기(coherent) 검파는 고정된 클러터에 대한 처리 이득보다 방사형의 이동 목표물에 대한 처리 이득을 더 공급함으로써 클러터로부터 목표물을 분리할 수 있도록 한다. 해면 클러터는 일반적으로 지면 클러터보다 낮기 때문에 비동기 검파로 목표물 탐지가 가능하다. 특정한 레이더 성능이 목표물 신호대 잡음비 T/N으로 얻어진다면 이 성능에 대한 최소 목표물 단면적  $\sigma$ 는

$$\sigma_{min}(R) = T/N \frac{1 + [C/N(R)]}{S/N(I, R)} \quad (20)$$

이 된다.

### 結果 및 考察

라디오 덕트의 발생은 대기의 상층부가 하층부보다 고온 또는 저습할때 주로 나타난다. Fig. 3은 식(1)을 이용하여  $\beta$ 값에 따른 덕트 발생 누적 확률 분포 함수를 그린 그림이다. 계산에 사용된  $\sigma \Delta N$ 는 2.5,  $\sigma \Delta H$ 는 50m이고 대기의 평균 굴절율 값은 수정 굴절율을 이용하였다.

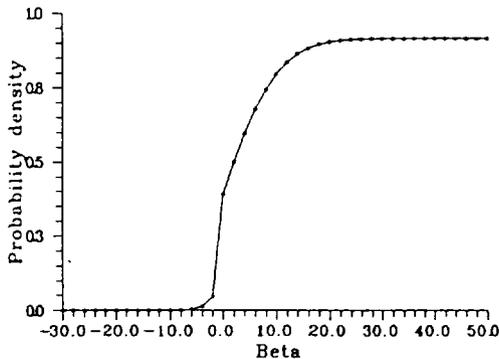


Fig. 3. Cumulative probability distribution.

그림에서  $\beta$ 가  $\beta_p$  보다 작을 경우 덕트가 발생할 누적 분포 함수값은 5%미만이므로 식(1)을 식(2)로 근

사화시켜 계산할 수 있다. 또한 이때 대기층에서 S형 덕트가 발생할 확률은 19.25%로 계산되었고, 표면층 덕트가 발생할 확률은 77.7%로 나타났다. 이 확률은 7월 중에 제주에서 측정된 기상자료(대기압 p: 269mbar, 절대온도 T: 256°K, 습도 83%)를 사용하여 수정 굴절율을 계산한후 식(2), (3)을 이용하여 계산한 결과이다.

Fig. 4는 지면 클러터 특성을 나타낸 그림이다.

Fig. 4(a)는 S밴드 레이더 주파수 2.88GHz에서 지면의 특성이 숲 그리고 잡초일때의 레이더 단면적이고, Fig. 4(b)는 도시지역에서의 레이더 단면적이다. grazing angle에 따라 나타나는 레이더 단면적은 숲, 잡초 지역보다 도시지역에서 훨씬 크게 나타남을 알 수 있다. Fig. 5는 파고의 기울기  $\delta$ 를 30°로 고정시켰을 때 해면 클러터에 대한 클러터 단면적을 나타낸 그림이다. grazing angle이 증가함에 따라 해면 클러터는 크게 나타난다.

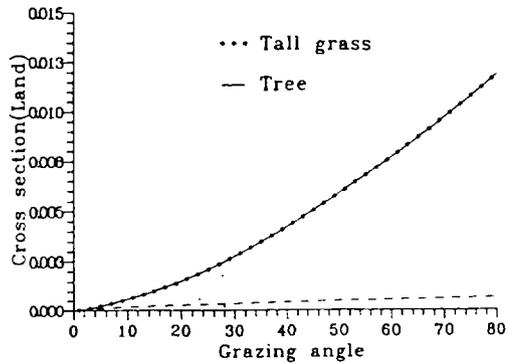


Fig. 4(a) Land clutter R. C. S.

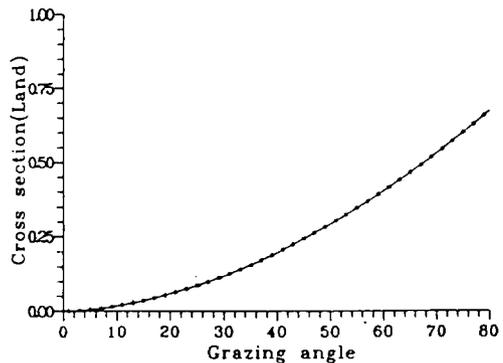


Fig. 4(b) Land clutter R. C. S.

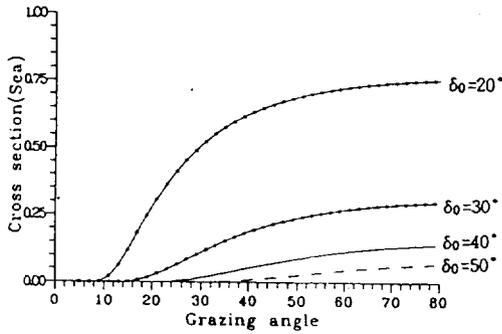


Fig. 5. Sea clutter R. C. S.

Table 1. S-Band radar parameters and data.

PARAMETER	DATA
$P_t$ (W)	1,200,000
$P_c$	1
$G_T$ (dB)	33.5
$G_R$ (dB)	33.5
$T_s$ ( $^{\circ}$ K)	300
$\lambda$ (cm)	10.416
$L_c$ (dB)	0.1
$B_R$ (Hz)	4,000,000
$G_p$ (dB)	0
$\theta_{AZ}$ (deg)	1.45
$\sigma^{\circ}$ (dB)	-20
$H_R$ (ft)	142.5
$\tau$ ( $\mu$ s)	1.03
$k$ (W/Hz/K)	$1.38054 \times 10^{-23}$

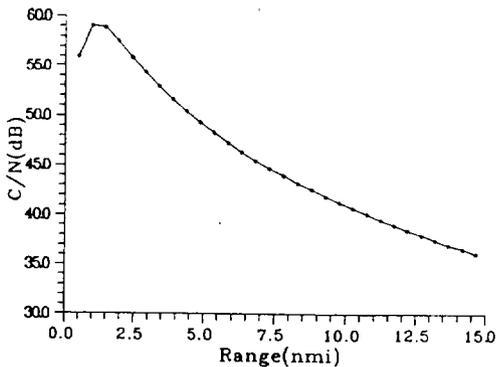


Fig. 6. CNR of surface clutter.

지면 및 해면의 표면 클러터(Surface Clutter)에 대한 클러터 대 잡음비 CNR의 계산은 식(6)과(10)에 의해 계산된 결과로서 Fig. 6에 나타내었다. 탐지거리가 증가함에 따라 클러터대 잡음비가 감소함을 알 수 있다.

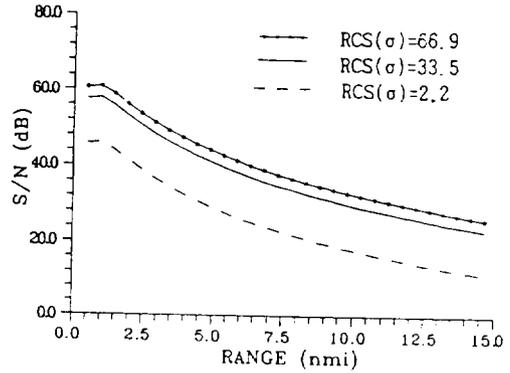


Fig. 7. SNR of radar cross section ( $\sigma$ ).

Fig. 7은 레이더 단면적  $\sigma$ 가 66.9, 33.5, 2.2( $\pi$ )일 때의 거리 R에서 목표물에 대한 신호 대 잡음비 SNR의 계산 결과이다. 레이더 단면적  $\sigma$ 가 작아지고 탐지거리가 멀어짐에 따라 SNR은 감소함을 알 수 있다.

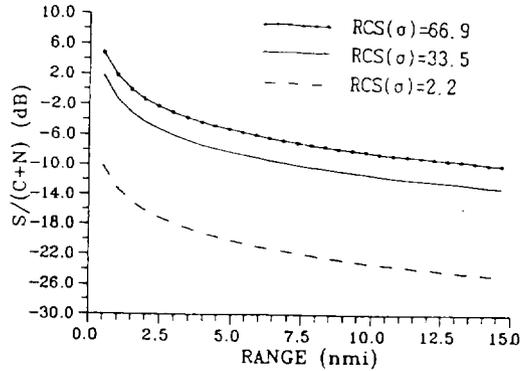


Fig. 8. SNCR of radar cross section ( $\sigma$ ).

Fig. 8은 식(17)과(19)에 의해 계산된 결과로서 신호 대 잡음 클러터 비  $[S/(N+C)]$ 를 나타낸다. 여기서 계산된 조건은 레이더 단면적  $\sigma$ 가 Fig. 7과 동일한 상태로써 클러터가 더해진 경우이다. Fig. 7과 Fig. 8을 비교하면 클러터 신호가 더해짐으로서 신호 대 잡음비가 감소함을 알 수 있다.

## 摘 要

본 연구에서는 Sasaki와 Akiyama(1982), Karasawa와 Shiokawa(1984)의 연구를 토대로 항공 관제 레이더 주파수인 S밴드 대역에서 발생하는 덕트 현상과 클러터 현상을 해석하고, 해석된 결과를 이용하여 라디오 덕트 발생 확률을 계산 하였다. 덕트 발생 확률 계산에 사용된 기상 자료는 7월 중에 제주 고산 레이더에서 측정된 자료를 이용하였으며 이때 계산된 덕트 발생 예상 확률은 대기층 S형 덕트 19.05%, 표면층 덕트 77.7%로 나타났다. 이 결과를

보면 7월중 덕트 현상이 자주 발생한다고 예측할 수 있다. 또한 지면 클러터 특성은 숲지역보다 도심지역에서 크게 나타나고, 해면 클러터 특성은 파고와 grazing angle이 증가함에 따라 크게 나타남을 입증할 수 있다. 또한 Skillman(1987)이 제안한 방법을 이용하여 S-밴드 레이더 주파수에서의 표면 클러터에 대한 클러터대 잡음비, 신호대 잡음비, 신호대 잡음 클러터비를 계산하였다. 레이더 단면적  $\sigma$ 가 작아지고 탐지거리가 멀어질수록 신호대잡음비가 작아짐을 알 수 있었다. 이러한 S/N값들을 이용하여 dynamic range 수신기, sensitivity time control(STC)을 설계하는데 필요하고 어떤 특정한 조건의 환경에서 탐지거리 성능을 예측할 수 있다.

## 參 考 文 獻

- Sasaki, O. and T. Akiyama., 1982. Studies on radio duct occurrence and properties, *IEEE trans. Antennas propagations*, AP-30 (5); 5.
- Krasawa, Y. and T. Shiokawa, 1984. Characteristics of L-Band multipath fading due to sea surface reflection *IEEE trans. Antennas Propagations*, AP-32, (6)
- Skillman W. A., 1987. Sigclut, Artech House Boston London.
- Skolnik, Merrill I., 1980. Introduction to Radar System, McGraw-Hill, Inc. Chapter 13, 479-497.
- Skolnik, Merrill I., Radar Handbook, Naval Research Lab, Chapter 26, 9-10.
- Reilly, J.P., 1990. Clutter Rejection Limitations from Ambiguous Range Clutter, *IEEE International Radar Conference*, 195-200.