

논문 2005-42SP-6-18

레이더의 원형 스캔에 따른 ES 탐지손실 분석

(Analysis of the ES detection loss related to the circular scan of radars)

류 영 진*, 김 환 우**

(Young Jin Ryou and Whan Woo Kim)

요 약

레이더의 스캔특성에 의해 ES 시스템에 수신된 탐색 레이더 신호의 펄스세기는 펄스마다 일정하지 않다. 이러한 펄스세기의 변화는 ES 탐지손실을 유발하므로 스캔에 따른 탐지손실을 ES 탐지거리 방정식에 고려하여야 한다. 본 논문에서는 원형 스캔에 대하여 ES 탐지손실을 이론적으로 분석하고, 정량적으로 예측할 수 있는 모델을 제안하였다. 실제 레이더에 대해 탐지손실을 측정된 결과, 제안된 모델이 원형 스캔에 관계된 ES 탐지손실 모델로 적합함을 알 수 있었다.

Abstract

The pulse amplitude of a search radar signal received by an ES system is not constant pulse by pulse because of the radar's scan characteristics. The variation of the pulse amplitude causes the ES detection loss in the ES system. Therefore, the ES detection range equation should consider the ES detection loss caused by the search radar's scan characteristics. In this paper, we theoretically analyze the ES detection loss for the circular scan and propose the model to evaluate it quantitatively. The experiment results for the real search radar signals demonstrate that the proposed model is suitable for the evaluation model of the ES detection loss related to the circular scan of radars.

Keywords : Electronic warfare, Electronic warfare support, Detection loss, Modeling

I. 서 론

전자전(electronic warfare)은 전자파 신호를 탐지하는 ES(Electronic warfare Support), 필요시 방해 전자파를 방사하는 EA(Electronic Attack), EA에 대응하기 위한 EP(Electronic Protection)로 분류된다^[1]. 레이더(radar) 주파수 대역의 ES 시스템은 레이더들이 방사한 신호를 수신하고, 수신된 신호에 대해 주파수, 펄스도착 시간, 펄스폭, 펄스세기 등을 측정한다. 그리고 일정 개

수 이상의 펄스들로 구성되는 펄스열을 추출하여 활동하는 레이더들을 탐지한다^[2].

일반적으로 ES 시스템 설계에서 주요 설계변수인 수신감도를 결정하거나, 시스템 설계후 성능을 예측할 때 ES 탐지거리 방정식^[3]을 이용한다. 대상 레이더들의 유효방사출력과 ES 시스템의 운용목적에 따른 탐지거리가 결정되면, ES 탐지거리 방정식으로 요구되는 수신감도를 결정할 수 있다. 그리고 시스템 설계에서 수신감도가 결정되면 특정 레이더에 대한 탐지거리를 예측할 수 있다. 이와 같이 ES 시스템 설계 및 성능 예측에 사용되는 ES 탐지거리 방정식에는 ES 시스템에 수신되는 신호들이 레이더의 송신 안테나 빔패턴의 피크(peak)에서 송신되었다고 가정하고, 거리에 따른 공간손실과 안테나 편파(polarization) 손실만이 주로 고려된

* 정회원, 국방과학연구소
(Agency for Defense Development)

** 정회원, 충남대학교 전기정보통신공학부
(Division of Electrical and Computer Engineering,
Chungnam National University)

접수일자: 2005년4월26일, 수정완료일: 2005년9월22일

다^[3,4].

펄스를 사용하는 추적 레이더의 경우, 레이더가 ES 시스템이 탑재된 플랫폼을 추적하고 있다고 가정하면, ES 시스템에 수신되는 신호들은 레이더의 송신 안테나 빔패턴의 피크에서 송신된 것이기 때문에 수신된 펄스 세기가 펄스에 관계없이 일정하다. 그러나 탐색 레이더의 경우, 레이더가 목표물을 탐색하기 위해 공간적으로 스캔하기 때문에 ES 시스템에 수신된 펄스세기는 레이더의 송신 안테나 빔 패턴과 스캔특성에 의해 결정되어 펄스마다 다르다. 이로 인하여 펄스세기가 일정한 경우에 비해 ES 탐지손실이 발생한다. 따라서 탐색 레이더에 대해서는 레이더 시스템에서 안테나 패턴 손실^[5,6,7]을 레이더 방정식에 고려하는 것과 같이 ES 시스템에서도 수신 펄스세기의 패턴에 따른 탐지손실을 ES 탐지거리 방정식에 고려하여야 한다.

본 논문에서는 탐색 레이더의 스캔 방식중 대표적인 부채꼴 빔(fan beam)으로 원형 스캔하는 레이더에 대해 스캔에 관계된 ES 탐지손실을 분석하고 모델링하였다. 그리고 실제 운용되고 있는 부채꼴 빔을 사용하는 원형 스캔 레이더에 대해 탐지손실을 측정하여 모델링 결과와 비교 검토하였다.

II. ES 시스템 및 탐지 거리

ES 시스템은 레이더 활동을 탐지하기 위하여 그림 1과 같이 레이더 주파수 대역의 신호들을 수신 안테나를

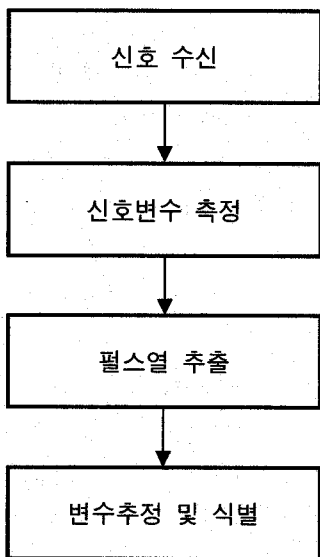


그림 1. ES 시스템 기능 블록도
Fig. 1. Functional block diagram of the ES system.

이용하여 수신한다.

수신된 매 펄스신호마다 레이더의 사용 주파수, 펄스 도착시간, 펄스폭, 펄스세기 등의 펄스변수를 측정한다. 다수의 레이더 신호가 혼재되어 있는 N 개 신호에 대해 측정된 변수들의 유사성과 연속성을 분석하여 펄스열들을 추출한다. 그리고 추출된 펄스열의 펄스변수들로 레이더가 사용하는 운용변수들을 추정하고, 추정된 변수들을 식별 라이브러리와 비교하여 레이더명을 식별한다^[2].

이와 같이 수동 시스템인 ES 시스템이 전자전 신호 환경에 활동하는 펄스 레이더를 탐지하기 위해서는 해당 레이더의 펄스신호가 연속해서 N_r 개 이상 수신되어야만 한다. 왜냐하면, ES 시스템은 유사성을 갖는 일정 개수 이상의 펄스들로 구성되는 펄스열을 추출하여 레이더를 탐지하기 때문이다^[8,9]. 시스템 변수인 N_r 을 너무 작게 설정하면 서로 다른 레이더 신호들의 조합으로 인하여 오탐지율이 증가하고, 너무 크게 하면 탐지확률이 저하된다. 따라서 ES 시스템에 있어서 레이더 탐지에 필요한 최소 펄스수 N_r 은 매우 중요한 시스템 변수이며, 본 논문에서 다루는 탐지손실에 관계된다.

ES 시스템에 수신되는 레이더 신호의 세기는 ES 시스템과 레이더와의 거리가 R 일 때, 공간 손실만을 고려하면 식 (1)과 같다^[3,4].

$$P_r = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} \tag{1}$$

여기서 P_t 는 레이더의 첨두전력, G_t 는 레이더 송신 안테나 이득, λ 는 레이더 신호의 파장이고, G_r 은 ES 시스템의 수신 안테나 이득이다. 이러한 관계식으로부터 수신감도 S_r 을 갖는 ES 시스템이 탐지할 수 있는 최대 탐지거리는 식 (2)와 같이 정의된다^[3,4].

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 S_r}} \tag{2}$$

식 (2)의 관계식은 ES 시스템에 수신된 신호가 레이더의 송신 안테나 빔패턴의 피크에서 송신되었다고 가정한 것으로, 방위각 및 고각에 대해 레이더의 송신 방향이 ES 플랫폼 방향과 일치했을 때 성립한다.

ES 플랫폼 방향을 기준으로 그림 2와 같이 레이더가 신호를 송신할 때, ES 시스템에 수신되는 신호세기는 식 (3)과 같이 표현할 수 있다.

$$P_r(\theta, \phi) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} g_t(\theta, \phi) = P_0 g_t(\theta, \phi) \quad (3)$$

여기서 θ 는 방위각이고 ϕ 는 고각이며 g_t 는 레이더 송신 안테나의 정규화된 이득으로 1보다 작거나 같다.

추적 레이더가 거리 R 에서 ES 플랫폼을 정상적으로 추적하고 있다고 가정하면, θ 와 ϕ 는 0이기 때문에 그림 3의 (a)와 같이 ES 시스템에 수신되는 펄스세기는 펄스에 관계없이 P_0 와 동일하다.

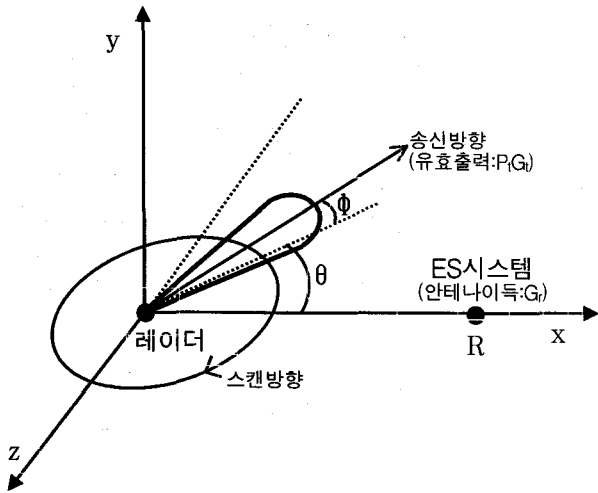


그림 2. ES 시스템에서 수신신호세기의 요소
Fig. 2. The factors of received power in the ES system.

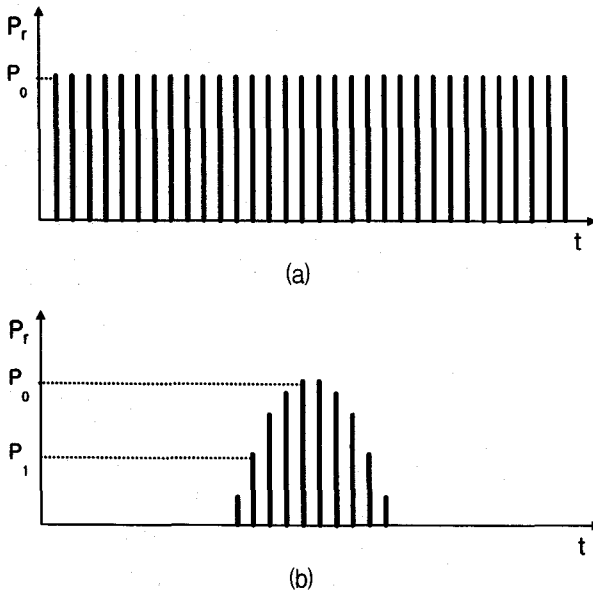


그림 3. ES 시스템에 수신된 레이더신호의 펄스세기
(a) 추적레이더 (b)원형스캔 탐색레이더
Fig. 3. Pulse Amplitude of radar signals as received by an ES system (a)tracking radar (b)search radar with circular scan.

그러나 탐색 레이더의 경우, 레이더가 목표물을 탐색하기 위하여 공간적으로 스캔하므로 레이더의 송신 방향이 시간에 따라 변화된다. 이로 인하여 수신 펄스세기는 시간에 따라 변화되며, 펄스세기의 패턴은 송신 안테나 패턴과 스캔특성에 의해 결정된다. 원형 스캔 레이더의 경우에는 레이더의 송신방향이 ES 플랫폼 방향과 일치할 때 수신 펄스세기가 P_0 와 동일하고, 나머지 펄스들의 펄스세기는 P_0 보다 작다. 따라서 그림 3의 (b)에서와 같이 레이더 탐지에 필요한 펄스수 N_r 조건을 만족하는 P_r 이 P_1 이라면, 펄스세기가 P_0 로 일정한 경우에 비해 상대적으로 탐지손실이 있고, 이에 따라 최대 탐지거리도 감소된다.

이러한 이유로 탐색 레이더에 대해서는 스캔에 따른 탐지손실을 ES 탐지거리 방정식에 고려하여야 한다.

본 논문에서는 원형 스캔을 사용하는 레이더에 대해 원형 스캔특성에 따른 ES 탐지손실을 정의하고 다음과 같이 이론적으로 분석하고 모델링하였다.

III. 원형스캔에 관계된 ES 탐지손실 분석

일반적으로 원형 스캔 레이더는 정밀한 방위각 해상도로 넓은 고각범위를 탐색하기 위하여, 방위각 빔폭은 매우 좁고, 고각 빔폭은 상대적으로 아주 넓은 부채꼴 빔을 갖는 송신 안테나를 사용한다^[10]. 송신 안테나의 고각 빔폭이 매우 넓기 때문에 식 (3)에서 방위각 성분만 고려하면, 송신방향에 따른 수신 신호세기는 식 (4)와 같다.

$$P_r(\theta) = \frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 R^2} g_t(\theta) = P_0 g_t(\theta) \quad (4)$$

레이더가 스캔주기 T_s 로 원형 스캔하면, 레이더 신호의 송신 방위각 θ 는 시간에 따라 변화되며, θ 와 시간 t 의 관계는 $\theta=(2\pi t/T_s)$ 이다. 이 관계식을 식 (4)에 적용하면, 원형 스캔 레이더 신호에 대한 수신 신호세기는 식 (5)와 같다.

$$P_r(t) = P_0 g_t(\omega_s t + \theta_0), \omega_s = \frac{2\pi}{T_s} \quad (5)$$

여기서 ω_s 는 스캔 각속도이며, θ_0 는 초기 방위각이다. 수신 신호세기는 식 (5)에서와 같이 안테나 빔 패턴에 의해 결정되고, 주기가 T_s 인 주기함수이다.

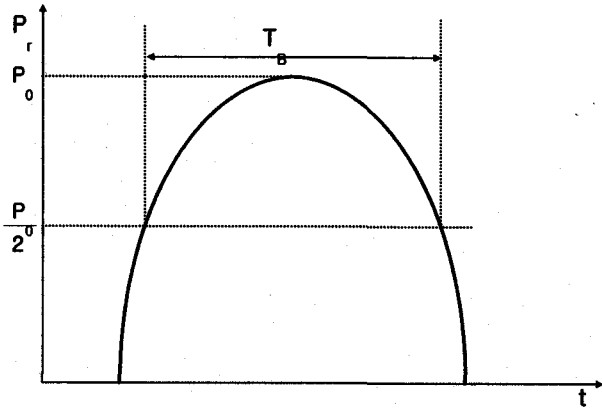


그림 4. ES 시스템에 수신된 원형 스캔 레이더의 주빔
Fig. 4. Main beam of the circular scan radar as received by an ES system.

식 (5)를 이용하여 임의의 안테나 빔패턴을 갖는 원형 스캔 레이더 신호에 대한 수신 신호세기를 주빔(main beam)만 그림으로 나타내면 그림 4와 같다.

그림 4에서 피크치 P_0 기준 반전력점 범위에 대한 시간 T_B 는 식 (6)과 같이 정의되며, 레이더 송신 안테나의 3dB 빔폭 θ_B 와 스캔주기 T_s 에 비례한다^[10].

$$T_B = \frac{\theta_B}{\omega_s} \tag{6}$$

그리고 T_B 내의 펄스수 N_B 는 식 (7)과 같이 T_B 를 레이더가 사용하는 펄스반복주기 T_p 로 나눈 값으로 정의된다.

$$N_B = \frac{\theta_B}{\omega_s T_p} \tag{7}$$

여기서 레이더 시스템에서 정의하는 안테나 패턴 손실을 먼저 살펴보면, 레이더가 신호처리 이득을 얻기 위하여 N_B 개 신호들을 적분했을 때, 적분하는 신호들의 펄스세기가 일정하지 않아 손실이 발생한다. 이러한 안테나 패턴 손실은 N_B 개 신호들에 대응되는 정규화된 안테나 이득들을 제공하여 평균한 값의 역수로 정의되며, 일반적으로 1.6dB를 레이더 방정식에 고려한다^[6,7].

ES 시스템에서는 레이더 탐지에 필요한 펄스수 N_r 이 N_B 와 동일하다면, N_B 개 신호가 수신되어야만 해당 레이더를 탐지하므로 수신 펄스세기가 일정한 경우에 비해 3dB 손실이 발생하고, 탐지거리는 식 (2)로 계산된 탐지거리에 비해 3dB에 해당하는 30%만큼 감소된다. 그리고 N_r 이 N_B 보다 크다면, 손실은 3dB보다 크다. 본 논문에서는 이러한 손실을 원형 스캔에 관계된

ES 탐지손실 L_s 로 정의한다.

ES 탐지손실 L_s 는 식 (4)에서의 $\theta=0$ 일 때 P_r 과 N_r 개 수신펄스의 최소 펄스세기와의 비로 정의된다. 최소 펄스세기는 N_r 에 해당되는 빔폭 θ_r 로부터 유도할 수 있는데, 식 (7)을 이용하면 θ_r 을 식 (8)과 같이 정의할 수 있다.

$$\theta_r = \omega_s T_p N_r \tag{8}$$

최소 펄스세기는 안테나 빔패턴의 대칭성에 따라 식 (4)에서 $\theta=(\theta_r/2)$ 일 때의 P_r 이고, 이에 따라 탐지손실 L_s 는 식 (9)와 같이 정의된다.

$$L_s = \frac{P_r(0)}{P_r(\theta_r/2)} = \frac{P_0}{P_0 g_t(\theta_r/2)} = \frac{1}{g_t(\theta_r/2)} \tag{9}$$

식 (9)로 정의된 손실 L_s 를 ES 탐지거리 방정식에 고려하면 원형 스캔 레이더에 대한 ES 탐지거리 방정식은 식 (10)과 같이 정의된다.

$$R_{\max} = \sqrt{\frac{P_t G_t G_r \lambda^2}{(4\pi)^2 S_r L_s}} \tag{10}$$

이상과 같이 정의한 원형 스캔에 따른 ES 탐지손실 L_s 는 θ_r 이 클수록 증가한다. 왜냐하면, 레이더의 송신 안테나 이득 $g_t(\theta)$ 는 θ 가 클수록 작아지기 때문이다. 레이더의 운용변수에 따른 특성을 살펴보면, 레이더의 스캔 각속도 ω_s 가 빠를수록 θ_r 이 커져서 손실은 증가하고, 송신 안테나의 3dB 빔폭 θ_B 가 작을수록 증가한다. 그리고 레이더가 사용하는 펄스반복주기 T_p 가 클수록 증가하는데, 단거리모드의 펄스반복주기가 장거리모드보다 크기 때문에 ES 탐지손실은 단거리모드에 비해 장거리모드에서 상대적으로 크다. ES 시스템의 주요변수인 N_r 에 대해서는 N_r 이 클수록 θ_r 이 커지기 때문에 손실은 증가한다.

이러한 정성적 성질을 갖는 손실 L_s 를 정량적으로 예측하기 위해서는 레이더 송신 안테나의 방위각 빔 패턴에 대한 대표적인 모델이 필요하다.

레이더 시스템에서는 안테나 패턴 손실을 계산할 때, 3dB 빔폭내에서의 패턴이 일반적인 안테나 패턴과 유사한 가우시안(gaussian) 패턴을 사용한다^[7]. ES 시스템에서는 ES 탐지손실에 관계되는 θ_r 이 θ_B 보다 클 수 있기 때문에 가우시안 패턴을 사용할 수 없다.

원형 스캔 레이더는 부채꼴 빔을 갖는 안테나를 사용

하며, 대표적인 부채꼴 빔 안테나는 파라볼라 실린더 (parabolic cylinder) 반사 안테나다^[11]. 이 안테나의 빔 패턴은 잘 알려진 코사인(cosine) 전류분포 모델의 패턴과 유사하다^[12]. 그리고 군사적 목적으로 사용되는 원형 스캔 레이더의 송신 안테나 부엽(side lobe) 레벨은 대략 -30dB 이하이다^[10].

이러한 원형 스캔 레이더가 사용하는 안테나 특성을 고려하여, 코사인 전류분포 모델에서 -31.5dB의 부엽 레벨을 갖는 차수가 2인 빔 패턴^[12]을 사용하여 손실 L_s 를 다음과 같이 모델링하였다.

$$L_s = \left[\frac{(\pi^2 - u^2)u}{\pi^2 \sin(u)} \right]^2, u = \left(\frac{4.56}{\theta_B} \right) \sin\left(\frac{\theta_r}{2}\right) \quad (11)$$

본 논문에서 다루는 θ_r 은 작은 값이기 때문에 식 (11)의 $\sin(\theta_r/2)$ 를 $\theta_r/2$ 로 근사화할 수 있으므로 식 (11)은 다음과 같이 근사화된다.

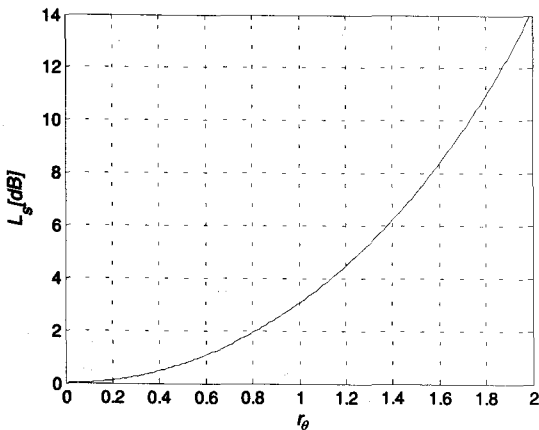


그림 5. 원형 스캔에 따른 ES 탐지손실
Fig. 5. ES detection loss related to the circular scan.

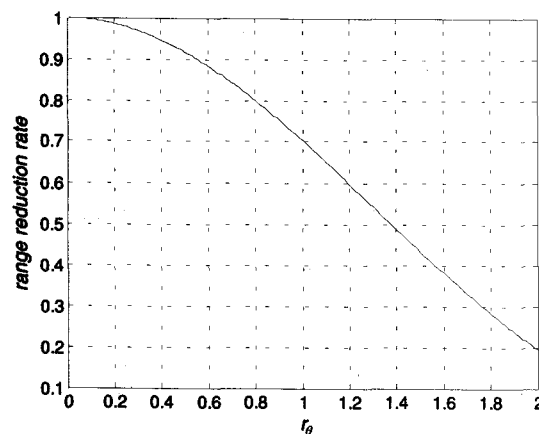


그림 6. 원형 스캔에 따른 ES 탐지거리 감소율
Fig. 6. Reduction rate of the ES detection range related to the circular scan.

$$L_s \cong \left[\frac{2.28\pi^2 r_\theta - (2.28)^3 r_\theta^3}{\pi^2 \sin(2.28r_\theta)} \right]^2, r_\theta = \frac{\theta_r}{\theta_B} \quad (12)$$

여기서 r_θ 는 레이더의 송신 안테나 3dB 빔폭에 대한 ES 시스템이 레이더 탐지에 필요한 빔폭의 비율이다.

이상과 같이 제안한 모델로 손실 L_s 와 ES 탐지거리 감소율을 시뮬레이션하여 그래프로 나타내면 그림 5, 6과 같다.

r_θ 가 1인 경우, 즉 송신 안테나의 3dB 빔폭 θ_B 와 레이더 탐지에 필요한 빔폭 θ_r 이 같으면, 그림 5에서 보는 바와 같이 손실 L_s 는 3dB이며, 이는 이론적으로 분석한 결과와 동일하다. 운용변수가 $\theta_B=1^\circ$, $T_s=2sec$, $T_p=450\mu s$ 인 레이더의 경우, ES 시스템의 레이더 탐지에 필요한 펄스수 N_r 이 10이라면, r_θ 가 0.81이므로 그림 5에서 해당되는 손실 L_s 는 약 2dB가 되고 ES 탐지거리는 그림 6에서와 같이 0.8로 감소된다. 그리고 동일 레이더가 장거리모드로 $T_p=900\mu s$ 를 사용한다면, r_θ 는 1.62로 2배가 되어 해당되는 손실 L_s 는 약 8.5dB로 증가하고 ES 탐지거리는 $T_p=450\mu s$ 에 비해 약 1/2로 감소된다. 이와 같이 제안된 모델로 원형 스캔에 따른 탐지 손실을 예측할 수 있다.

IV. 시험 및 검토

제안된 모델에 대한 검증은 위하여, 실제 레이더 신호들에 대해 ES 시스템에 수신되는 레이더 신호의 펄스세기를 측정하였다. 시험에 사용된 장비는 전방향 수신 안테나로 레이더 신호를 수신하고, 펄스세기 측정 해상도는 0.3125dB이며, 펄스도착시간 측정 해상도는 50ns이다.

시험 대상 레이더를 선정함에 있어서는 부채꼴 빔을 사용하는 원형 스캔 레이더들을 선정하였다. 시험에 사용된 레이더의 제원은 표 1과 같으며, C 레이더의 T_{p1} 은 단거리 모드, T_{p2} 는 장거리 모드에서 사용하는 펄스반복주기이다.

먼저, 각 레이더에 대해 레이더 탐지에 필요한 펄스수 N_r 을 10으로 하여, 제안된 모델로 손실 L_s 를 계산하였다. 표 1에서 보는 바와 같이 A 레이더의 경우 탐지손실이 0.32dB, B 레이더는 1.86dB로 계산되었으며, C 레이더의 경우에는 단거리 모드에서는 1.53dB, 장거리 모드에서는 6.51dB로 계산되었다.

표 1. 시험 대상 레이더의 제원 및 제안된 모델로 계산된 손실 L_s ($N_r=10$)

Table 1. Specifications of real radars and loss L_s evaluated by the proposed model($N_r=10$).

| 레이더 명 | 레이더 제원 | | | 손실 L_s [dB] |
|-------|----------------|-------------|----------------------|---------------|
| | θ_B [°] | T_s [sec] | T_p [sec] | |
| A | 1.1 | 2.5 | 1/4000 | 0.32 |
| B | 0.7 | 1.82 | 1/3600 | 1.86 |
| C | 1.4 | 1.0 | T_{p1} : 1/3600 | 1.53 |
| | | | T_{p2} : 1/1800 | 6.51 |

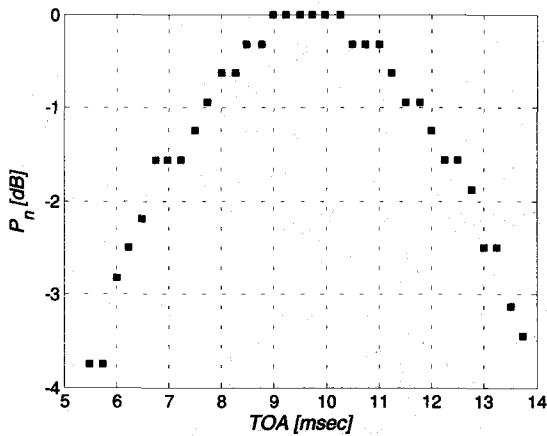


그림 7. A 레이더 신호에 대해 측정된 펄스세기
Fig. 7. Measured pulse amplitude of the A radar signal.

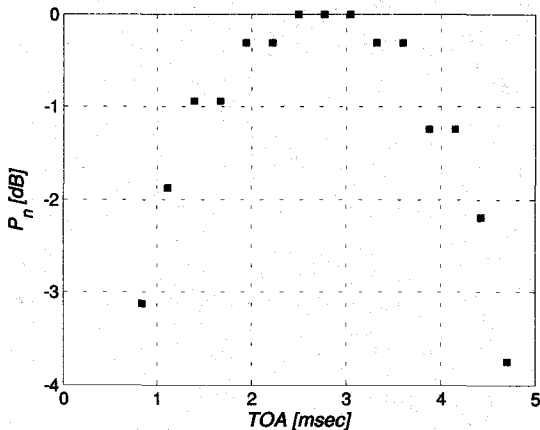
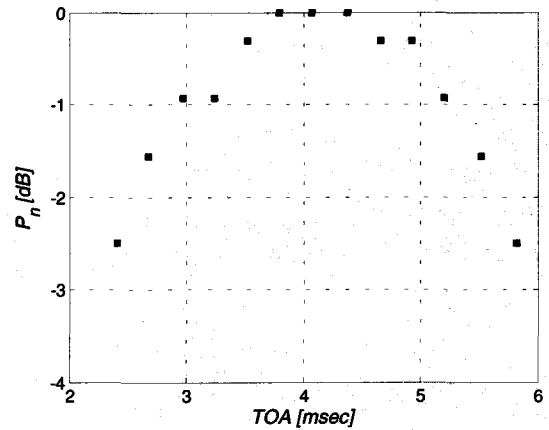
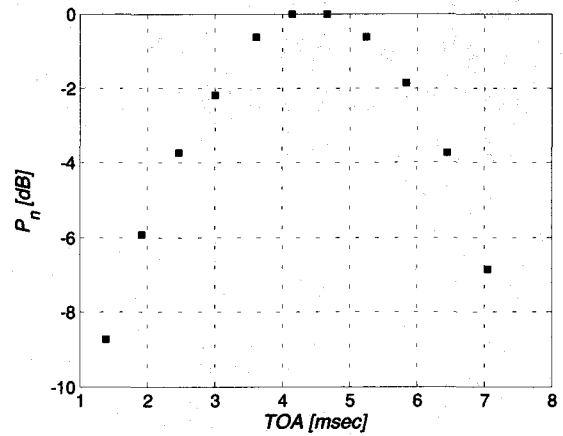


그림 8. B 레이더 신호에 대해 측정된 펄스세기
Fig. 8. Measured pulse amplitude of the B radar signal.

실제 레이더에 대한 손실 L_s 를 측정함에 있어서는, 각 레이더 신호에 대해 수신된 펄스세기를 측정하고 최대 펄스세기로 정규화한 다음, 측정된 주빔의 중앙을 기준으로



(a)



(b)

그림 9. C 레이더 신호에 대해 측정된 펄스세기
(a) T_{p1} (b) T_{p2}

Fig. 9 Measured pulse amplitude of the C radar signal
(a) T_{p1} (b) T_{p2} .

10개의 펄스들에서 최대 펄스세기와 최소 펄스세기의 비를 손실 L_s 로 하였다. 그림 7, 8, 9는 각 레이더 신호에 대해 측정된 펄스세기를 최대 펄스세기로 정규화한 것이며, x축은 펄스도착시간이다.

그림 7, 8에서 보는 바와 같이 A 레이더와 B 레이더에 대한 탐지손실 L_s 는 각각 0.31dB와 1.24dB로 측정되었다. 그리고 C 레이더의 경우, 그림 9와 같이 단거리 모드에서는 1.56dB로 측정되었고, 장거리 모드에서는 6.68dB로 측정되었다.

이와 같은 방법으로 각 레이더에 대해 10번 측정하였으며, 측정된 결과와 이들의 평균값을 표 2에 제시하였다. 표 2의 각 레이더에 대해 측정된 평균 손실과 표 1의 제안된 모델로 계산한 손실을 비교해 보면, 두 값의 차이가 크지 않으므로 제안한 모델이 부채꼴 빔으로

표 2. 실제 레이더에 대해 측정된 손실 L_s ($N_r=10$)
 Table 2. Measured loss L_s for real radars($N_r=10$).

| 시험 번호 | 측정된 손실 L_s [dB] | | | |
|----------|-------------------|-------|----------|----------|
| | 레이더 A | 레이더 B | 레이더 C | |
| | | | T_{p1} | T_{p2} |
| 1 | 0.31 | 1.24 | 1.56 | 6.88 |
| 2 | 0.63 | 1.56 | 1.56 | 6.88 |
| 3 | 0.31 | 1.56 | 1.56 | 7.19 |
| 4 | 0.31 | 1.56 | 1.56 | 6.56 |
| 5 | 0.63 | 1.24 | 1.56 | 6.88 |
| 6 | 0.31 | 1.24 | 1.88 | 7.19 |
| 7 | 0.31 | 1.88 | 1.88 | 7.19 |
| 8 | 0.31 | 1.88 | 1.88 | 6.25 |
| 9 | 0.00 | 1.56 | 1.56 | 6.25 |
| 10 | 0.31 | 1.56 | 1.88 | 7.19 |
| 평균 | 0.35 | 1.52 | 1.67 | 6.81 |

원형 스캔하는 탐색 레이더에 대해 스캔에 따른 ES 탐지손실 모델로 적합함을 알 수 있다.

따라서 본 논문에서 제안한 ES 탐지손실 모델은 전자전분야의 시스템 설계 및 시뮬레이션에 유용하게 사용될 수 있으리라 판단된다. 향후 연구과제로는 펜슬(pencil) 빔을 사용하여 2차원으로 스캔하는 탐색 레이더에 대해 스캔에 따른 ES 탐지손실에 관한 연구가 필요하리라 판단된다.

V. 결 론

ES 시스템에 수신된 탐색 레이더 신호의 펄스세기는 펄스마다 일정하지 않기 때문에 이에 따른 탐지손실을 ES 탐지거리 방정식에 고려하여야 한다. 이를 위해 본 논문에서는 원형 스캔 레이더에 대해 스캔특성에 따른 ES 탐지손실을 이론적으로 분석하고, 정량적으로 예측할 수 있는 모델을 제안하였다. 실제 레이더들에 대해 ES 탐지손실을 측정하여 제안된 모델로 계산된 손실과 비교한 결과, 제안된 모델이 원형 스캔에 따른 ES 탐지손실 모델로 적합함을 알 수 있었다.

제안된 모델은 원형 스캔뿐만 아니라 구역(sector) 스캔에도 직접 적용될 수 있고, 전자전 분야의 시스템 설계, 모델링 및 시뮬레이션, 성능평가에 유용하게 사용될 수 있을 것으로 판단된다.

참 고 문 헌

- [1] David Adamy, *EW101 : A First Course in Electronic Warfare*, Artech House, pp. 3-5, 2001.
- [2] J. A. V. Rogers, "ESM processor system for high pulse density radar environments," *IEE Proceedings*, Vol. 132, Pt. F, No. 7, pp. 621-625, Dec. 1985.
- [3] David L. Adamy, *Introduction to Electronic Warfare Modeling and Simulation*, Artech House, pp. 83-95, 2003.
- [4] Filippo Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Artech House, pp. 271-279, 1991.
- [5] B. Edde, *RADAR Principles, Technology, Applications*, Prentice Hall, pp. 147-161, 1993.
- [6] M. Skolnik, *RADAR Handbook*, 2nd edition, McGraw-Hill, pp. 2.46-2.47, 1990.
- [7] D. C. Schleher, *Introduction to Electronic Warfare*, Artech House, pp. 367-368, 1986.
- [8] H. K. Mardia, "New techniques for the deinterleaving of repetitive sequences," *IEE Proceedings*, Vol. 136, Pt. F, No. 4, pp. 149-154, August 1989.
- [9] K. Nishiguchi, M. Kobayashi, "Improved algorithm for estimating pulse repetition intervals," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 36, No. 2, pp. 407-421, April 2000.
- [10] R. G. Wiley, *Electronic Intelligence : The Analysis of Radar Signals*, Artech House, 2nd ed., pp. 84-109, 1993.
- [11] H. Jasik, *Antenna Engineering Handbook*, McGraw-Hill, pp. 25.14-25.18, 1961.
- [12] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, pp. 419-433, 1981.

저 자 소 개



류 영 진(정회원)
 1987년 경북대학교 전자공학과
 학사
 1989년 경북대학교 대학원
 전자공학과 석사
 2002년~현재 충남대학교 대학원
 전자공학과 박사과정

1989년~현재 국방과학연구소
 <주관심분야 : 전자전 신호처리>



김 환 우(정회원)-교신저자
 1977년 서울대학교 전자공학과
 학사
 1979년 한국과학기술원 전기 및
 전자공학과 석사
 1988년 6월 University of Utah
 전자공학과 공학박사

1980년 6월~현재 충남대학교 전기정보통신공학부
 교수

2005년~현재 대한전자공학회 충남지부 부지부장
 2004년~현재 IEEE 대전섹션 의장
 <주관심분야 : 디지털 신호처리, 디지털 통신>