

대함 미사일 레이더에 대한 해면 클러터 RCS 분석

Analysis of Sea Clutter Radar Cross-Section for Anti-Ship Missile Radar

백 지 웅 · 안 도 진 · 이 준 호

Ji Woong Paik · Do-Jin An · Joon-Ho Lee

요 약

군함을 격침시키기 위한 대함 미사일은 해면 클러터에 큰 영향을 받는다. 해수온도와 파고, 풍향, 풍속 등의 변수에 따라 변화하는 데이터가 필요하며, 이를 통한 정확한 해면 클러터 정보를 알 수 있다. 이 논문에서는 비행 기법에 따른 고도별 대함 미사일에 탑재된 레이더에서 군함에 대한 해면 클러터 RCS를 구하고, 레이더 방정식을 이용하여 해면 클러터 RCS가 대함 미사일 레이더 안테나에 수신되는 신호에 미치는 영향을 분석해 본다.

Abstract

Anti-ship missiles used for destroying warships are significantly influenced by sea clutter. Accurate sea clutter information can be obtained from data that vary with variables, such as sea temperature, wave height, wind direction, and wind speed. In this study, we obtained the sea clutter radar cross-section (RCS) for a ship using a radar mounted on a high-level anti-ship missile for various flight techniques. The radar equation was used to analyze the effect of the surface clutter RCS on the signal received by the anti-ship missile radar antenna.

Key words: Sea Clutter, Backscatter Coefficient, Radar Cross Section(RCS), Radar Equation, Signal to Interference Ratio(SIR)

I. 서 론

클러터는 레이더 조작자(operator)에게 원하지 않는 정보이며, 타겟을 탐지, 추적하는데 필요한 유용한 신호의 관찰을 방해하는 대상(object)으로부터 반환된 무선 주파수(RF) 에코를 나타낸다.

이러한 대상(object)에는 지면, 해면, 강수량(비, 눈 또는 우박), 동물(특히 새), 대기 난류 및 이온 대기권 반사와 같은 자연 현상이 포함된다. 또한 클러터는 건물과 같은 인공물과 채프와 같은 의도적인 레이더를 향한 재밍기법으로도 발생한다.

이 논문에서는 해면 클러터(sea clutter)에 초점을 맞추

어 대함 미사일에 탑재된 레이더가 목표물인 함정으로부터 수신하는 표적 반사 신호와 해수면 반사 신호로부터 각각의 RCS를 계산한다. 또한 표적 RCS와 해면 클러터 RCS에 의한 각각의 신호 전력을 레이더 방정식을 이용하여 구한다. 궁극적으로 레이더 탐색기(seeker)의 설계 조건과 해면의 상태에 따른 대함 미사일 레이더의 탐지능력을 예측해 본다.

II. 대함 미사일 레이더에 수신되는 해면 클러터 RCS

2-1 대함 미사일

대함 미사일은 탐색기(seeker)에 탑재된 레이더를 통해

「이 연구는 광주과학기술원 전자전특화연구센터를 통한 방위사업청과 국방과학연구소 연구비 지원으로 연구되었음.」

세종대학교 정보통신공학과(Department of Information & Communication Engineering, Sejong University)

· Manuscript received January 28, 2020 ; Revised May 3, 2020 ; Accepted November 5, 2020. (ID No. 20200128-007)

· Corresponding Author: Joon-Ho Lee (e-mail: joonhlee@sejong.ac.kr)

해상 표적의 거리와 각도 정보를 획득한다. 대함 미사일은 미리 설정된 해수면 위 낮은 고도를 일정하게 유지하며, sea-skimming 기동하는 순항 미사일(cruise missile)과 상공으로 높이 비행하여 자유 낙하하는 탄도 미사일(ballistic missile)로 나눌 수 있다^[1].

2-2 해면 클러터 RCS 정의

대함 미사일 레이더에서 해수면을 향해 빔을 방사할 때, 반사되는 해면 클러터 RCS σ_c 는 후방 산란 계수(backscatter coefficient) σ^0 와 비춰지는 면적(footprint) A_c 로 정의된다^[2].

$$\sigma_c = \sigma^0 A_c \quad (1)$$

그림 1에서 R 은 탐지거리, θ_{3dB} 은 방위(方位) 빔 폭, c 는 전파속도를 나타내며, 펄스 폭 τ 와 지표각 ψ_g 에 의해 나뉘진 면적을 클러터 면적 A_c 라고 하며, 식 (2)와 같다.

$$A_c \approx R\theta_{3dB} \frac{c\tau}{2} \sec(\psi_g) \quad (2)$$

후방 산란 계수(backscatter coefficient) σ^0 는 해수면의 단위 면적 당 레이더 반사 단면적을 의미하며, 해수면의 상태, 송신 주파수, 편파의 종류 등 다양한 조건에 영향을 받는다. 다양한 측정 결과로부터 반사계수 모델이 만들어졌다.

2-3 지표각에 따른 후방 산란 계수 σ^0 모델

Sea-skimming 기동하는 순항 미사일(cruise missile) 레

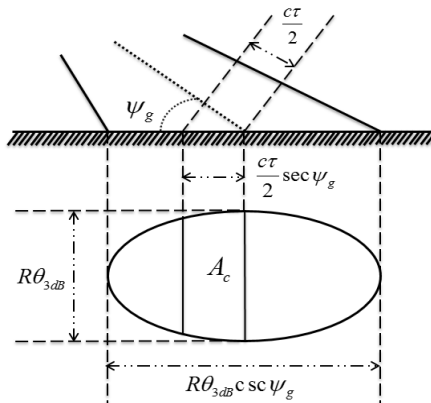


그림 1. 해면 클러터 면적 정의
Fig. 1. Sea clutter area definition.

이상의 경우, 낮은 고도 비행에 따른 낮은 지표각의 클러터를 측정한다(그림 2). 낮은 지표각에서의 해면 클러터 모델링은 Naval Research Laboratory(NRL) model이며, 식 (3)을 따른다^[3].

$$\sigma_{HV}^0 = c_1 + c_2 \log_{10} \sin \alpha + \frac{(27.5 + c_3 \alpha) \log_{10} f}{(1 + 0.95 \alpha)} + c_4 (1 + SS)^{\frac{1}{2 + 0.085 \alpha + 0.033 SS}} + c_5 \alpha^2 \quad (3)$$

α 는 지표각, f 는 송신 주파수, SS 는 해면 상태(sea state), $c_1 \sim c_9$ 는 수평 또는 수직 편파에 따른 편파 상수이다(표 1)(표 2).

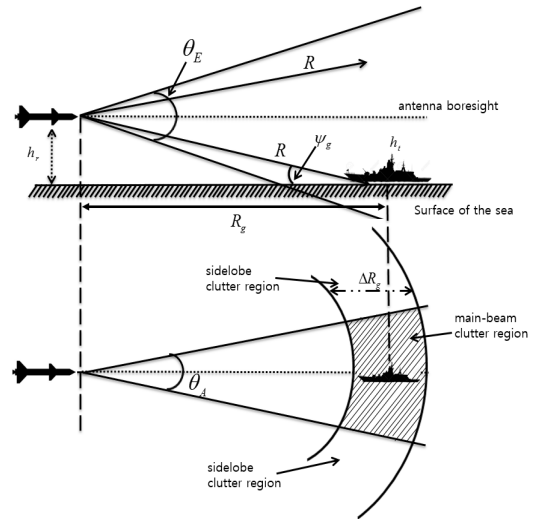


그림 2. 순항 미사일 레이더 클러터의 기하학적 구조 (측면 시점과 평면 시점)

Fig. 2. Geometry for cruise missile radar clutter (side view and top view).

표 1. 수평 및 수직 편파 상수

Table 1. Constants for horizontal and vertical polarizations.

Polarization		
Constant	Horizontal	Vertical
C_1	-73.00	-50.79
C_2	20.78	25.93
C_3	7.351	0.7093
C_4	25.65	21.58
C_5	0.00540	0.00211

표 2. 풍속에 따른 해상 상태

Table 2. Sea states for different wind speeds.

Sea state	Wind speed kt	Wave height, ft
1 (smooth)	<7	1
2 (slight)	7-12	1-3
3 (moderate)	12-16	3-5
4 (rough)	16-19	5-8
5 (very rough)	19-23	8-12
6 (high)	23-30	12-20
7 (very high)	30-45	20-40

상공으로 포물선 운동하는 탄도 미사일 레이더의 경우는 높은 고도로 비행함에 따라 높은 지표각(30° 이상)의 클러터를 측정하게 된다(그림 3). 높은 지표각에서의 해면 클러터 모델링은 DSTO Imaging Radar Systems Group (IRSG) model을 따르며 다음과 같다^[4].

$$\sigma^0(\theta, U)_{H,V} = b_0 + b_1\theta + b_2\log_{10}(U) \quad (4)$$

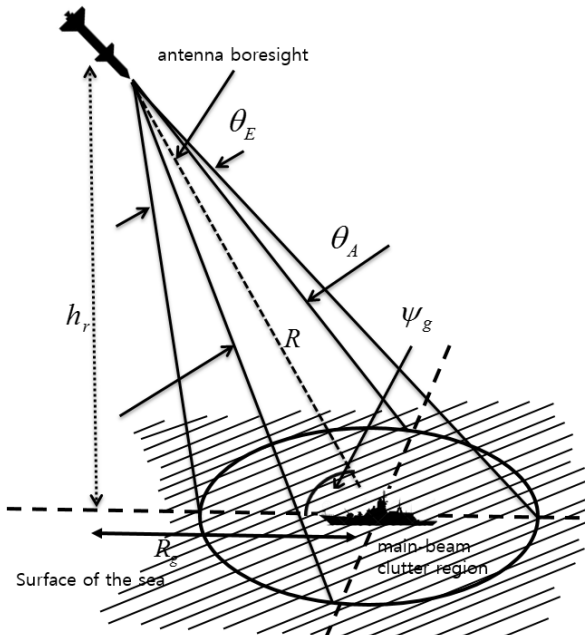


그림 3. 탄도 미사일 레이더 클러터의 기하학적 구조 (측면 시점과 평면 시점)

Fig 3. Geometry for ballistic missile radar clutter (Side view and top view).

표 3. DSTO IRSG-LIN 모델 계수

Table 3. DSTO IRSG-LIN model coefficients.

Polarization	Wind direction	b_0	b_1	b_2
Vertical	Upwind	-60.03	23.39	22.65
	Downwind	-67.80	28.58	23.92
	Crosswind	-67.09	23.12	24.71
Horizontal	Upwind	-50.18	12.41	25.15
	Downwind	-50.16	12.30	23.92
	Crosswind	-52.60	12.30	22.09

레이더의 편파, 풍향을 고려한 계수 b_0, b_1, b_2 값과 풍속 U 및 지표각 θ 값을 식 (4)에 대입하여 σ^0 를 계산할 수 있다(표 3)^[4].

2-4 레이더와 표적간 거리에 의한 해면 클러터 RCS

대함 미사일 레이더의 탐지범위 내에 표적이 존재한다고 가정할 때, 총 클러터 RCS σ 를 구할 수 있다.

$$\sigma_{TOTc} = \sigma_{MBc} + \sigma_{SLc}^{[2]} \quad (5)$$

식 (5)에서 σ_{MBc} 와 σ_{SLc} 는 각각 그림 2에서 나타내고 있는 main-beam 클러터와 side-lobe 클러터의 RCS이며, 각각의 면적은 다음과 같다(ΔR_g 는 지면에 정사영된 거리 분해능을 의미한다.).

$$A_{MBc} \approx R_g \theta_A \Delta R_g^{[2]} \quad (6)$$

$$A_{SLc} \approx \pi R_g \Delta R_g^{[2]} \quad (7)$$

식 (8)은 거리에 대한 클러터 RCS의 변동을 설명하기 위한 거리의 함수로서 총 클러터 RCS를 계산할 수 있다.

$$\sigma_{TOTc}(R) = \frac{\sigma_{MBc} + \sigma_{SLc}}{(1 + (R/R_h)^4)^{[2]}} \quad (8)$$

R_h 는 레이더 탐지 범위의 성분 중 지평선 축의 거리를 의미하며, 이 거리는 레이더의 높이(지표면에서 안테나 중심점까지의 거리)와 지구의 반지름을 이용하여 구한다^[5].

$$R_h = \sqrt{\frac{8h_r r_e}{3}}^{[2]} \quad (9)$$

식 (8)을 통해 대함 미사일 레이더에서 표적까지의 거리에 대한 총 해면 클러터 RCS를 구할 수 있다.

III. 신호 대 클러터 잡음비

설정된 최소 탐지 신호(minimum detectable signal, MDS)에 따라 레이더 거리 방정식^{[6],[7]}을 이용하여 대함 미사일 레이더 안테나에 수신되는 표적 반사 신호와 클러터 반사된 신호를 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$SNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_t}{(4\pi)^3 R^4 k T_0 BFL} \quad [2] \quad (10)$$

$$CNR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_c}{(4\pi)^3 R^4 k T_0 BFL} \quad [2] \quad (11)$$

식 (10)에서 SNR 은 신호 대 잡음비이고, 식 (11)에서 CNR 은 클러터 대 잡음비를 나타낸 식이다.

레이다가 얻고자 하는 신호는 표적 반사 신호이며, 그 이외에 신호들은 방해요소로 볼 수 있다. 만약 클러터의 통계가 가우시안 분포를 따른다고 가정하면, 클러터 반사 신호와 잡음 신호는 결합이 가능하다.

$$SCR = \frac{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_t}{P_t G^2 \lambda^2 \sigma_c} \quad (12)$$

식 (12)에서 SCR 은 신호 대 클러터 비를 나타낸 식이며, 이를 통해 신호 대 클러터 잡음비(SIR 또는 $SCNR$)를 얻을 수 있다.

$$\begin{aligned} SIR &= \frac{S}{I} = \frac{S}{N+C} = \frac{1}{\frac{N}{S} + \frac{C}{S}} \quad [2] \\ &= \frac{1}{\frac{1}{SNR} + \frac{1}{SCR}} \end{aligned} \quad (13)$$

간섭 I 는 잡음 N 과 클러터 C 로 표현 가능하다. 따라서 신호 대 간섭비인 SIR 은 식 (13)과 같이 SNR 과 SCR 로 표현이 가능하다.

식 (13)을 통해 전자전 환경에서 레이더 탐지능력을 예측해볼 수 있다.

IV. 시뮬레이션 결과

그림 4는 레이더 안테나의 중심점에서 클러터까지의 거리 R_s (slant range)에 따라 변화하는 클러터 산란계수

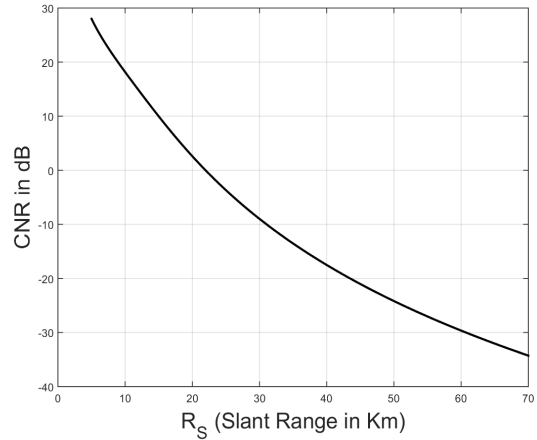


그림 4. Gaussian 빔 패턴을 사용하는 안테나와 클러터간 거리에 의한 클러터 대 잡음비

Fig. 4. CNR versus range between antenna using the Gaussian beam pattern and clutter.

σ^0 와 클러터 면적 A_c 로 계산되어, 레이더 안테나에 수신되는 클러터 반사 신호 전력과 잡음 신호 전력의 비를 나타내기 위한 그래프이다. 안테나 빔 패턴은 Gaussian이며, 표 4에 파라미터를 토대로 나타낸 sea-skimming 기동하는

표 4. 순항 미사일의 레이더 탐지환경에 대한 파라미터
Table 4. Parameters for radar detection environment of cruise missiles.

Description	Value	Units
Antenna 3 dB elevation beamwidth	3	Degrees
Antenna 3 dB azimuth beamwidth	10	Degrees
Antenna sidelobe level	-100	dB
Range (slant range)	5 to 70	Km
Missile (radar) height	10	Meters
Ship height	5	Meters
Radar peak power	10	KW
Radar operating frequency	10	GHz
Bandwidth	200	MHz
Effective noise temperature	290	Kelvins
Noise figure	6	dB
Radar losses	8	dB
Polarization (in Table 1)	Horizontal	
Sea state (in Table 2)	7	

순항미사일의 클러터 대 잡음비(CNR)의 그래프이다. 편파의 경우, 수평편파로 설정하여 상수 값을 표 1과 같이 이용하였으며, 풍속을 31(kt)로 설정하고, 파도 높이를 21(ft)로 설정하여 해상상태 변수를 7로 설정하였다.

펄스압축 SNR식을 이용하면 목표물별 최소 요구 SNR을 구할 수 있다^[8].

$$SNR = \frac{P_t \tau' G^2 \lambda^2 \sigma_t}{(4\pi)^3 R^4 k T_e F L} \quad [2] \quad (14)$$

표 4와 표 5에 파라미터에 따른 레이더의 표적물 탐지 SNR의 임계값(detection threshold)은 13 dB로 가정한다.

그림 5는 순항 미사일 레이더의 SIR이 $R_s \leq 60$ km인 지점까지, 그림 6에서는 탄도 미사일 레이더의 SIR이 $R_s \leq 160$ km인 지점까지 최소요구 SNR(=13 dB)을 만족한다. 이에 따라 각각 최대 탐지거리(maximum detection range)가 60 km, 160 km임을 알 수 있다. 편파의 경우, 수평편파로 설정하였으며, 풍속의 경우, 10.3(kt) 그리고 풍향의 경우 crosswind로 설정하였다.

순항 미사일의 경우, sea-skimming 기동으로 매우 낮은 고도로 함정을 향해 비행한다. 이에 따라 좁은 빔폭을 가

표 5. 탄도 미사일의 레이더 탐지환경에 대한 파라미터
Table 5. Parameters for radar detection environment of ballistic missiles.

Description	Value	Units
Antenna 3 dB elevation beamwidth	5	Degrees
Antenna 3 dB azimuth beamwidth	15	Degrees
Antenna sidelobe level	-100	dB
Range (slant range)	15 to 250	Km
Missile (radar) height	9,000	Meters
Ship height	5	Meters
Radar peak power	10	KW
Radar operating frequency	10	GHz
Bandwidth	200	MHz
Effective noise temperature	290	Kelvins
Noise figure	6	dB
Radar losses	8	dB
Wind speed (in Table 3)	10.3	m/s
Wind direction (in Table 3)	Crosswind	

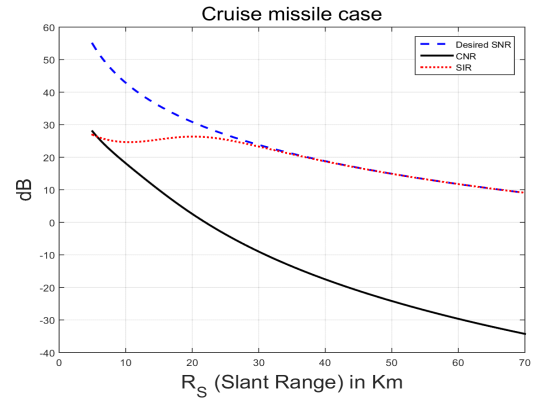


그림 5. 순항 미사일인 경우, 안테나와 클러터간 거리에 의한 신호 대 잡음비, 클러터 대 잡음비 및 신호 대 클러터 잡음비

Fig. 5. SNR, CNR and SIR versus range between antenna using the Gaussian beam pattern and clutter (cruise missile).

지며, 해면 상태(파고 등)와 편파의 따라 큰 영향을 받는다. 탄도 미사일은 순항 미사일보다 높은 고도와 긴 거리(slant range)로부터 함정을 향해 비행한다. 이에 따라 안테나의 빔폭이 비교적 크고, 풍향과 풍속에 큰 영향을 받는다. 그림 5와 그림 6은 각각 높은 파고를 갖는 해면 상태와 비행방향에 맞바람이 부는 풍향의 영향으로 큰 클

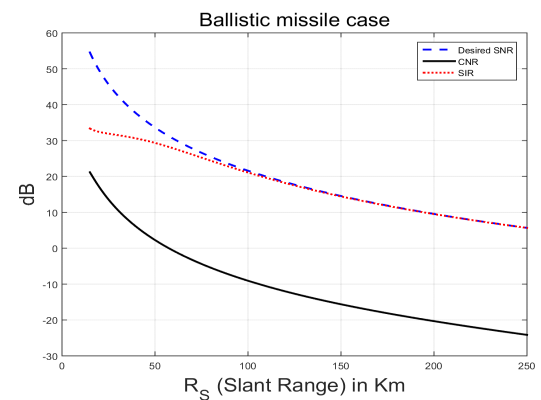


그림 6. 탄도 미사일인 경우, 안테나와 클러터간 거리에 의한 신호 대 잡음비, 클러터 대 잡음비 및 신호 대 클러터 잡음비

Fig. 6. SNR, CNR and SIR versus range between antenna using the Gaussian beam pattern and clutter (ballistic missile).

러터 RCS가 발생하는 환경에서 미사일의 종류에 따른 *SNR*, *CNR*과 *SIR*의 결과를 확인할 수 있다.

Desired *SNR*은 clutter가 배제된 경우의 순수 신호 대 잡음비를 보인다. *SIR*의 경우, clutter와 잡음을 모두 반영한 경우를 보이며, 거리가 멀어짐에 따라 clutter의 영향이 감소하게 되어 근거리인 경우는 *SNR*보다 *SIR*의 값이 낮으나, 거리가 증가함에 따라 비슷해지는 결과를 보인다.

순항 미사일의 경우, 블랭크를 제외하고 5 km부터 거리에 따른 *SIR* 및 *CNR*을 그림. 탄도 미사일의 경우, 블랭크를 제외하고, 15 km부터 거리에 따른 *SIR*과 *CNR*을 보였다. 거리에 따라 클러터로부터 받는 영향이 달라지며, 최소 slant range가 5 km일 때의 *SIR* 및 *CNR*을 그린 순항 미사일이 최소 slant range가 15 km인 탄도미사일의 경우보다 근거리일 때 *SIR*이 더 낮은 경향을 보인다.

다음으로는 앞에서 모델링한 해면 클러터 모델링을 기반으로 한 진폭비교 모노펄스 레이더^[9]의 표적 방위각 그리고 양각 추정 성능을 보인다. 순항미사일인 경우와 탄도미사일인 경우의 따른 클러터 관련 실험 파라미터는 표 4 그리고 표 5와 동일하다. 모노펄스레이더의 3 dB 빔 폭은 5°로 설정하였으며, squint angle은 7°, 신호원의 RCS는 10 dB로 설정하였다.

해면 클러터의 경우, 진폭비교 모노펄스 레이더의 특성상 main beam clutter region만 고려했으며, 그림 2의 θ_A 를 식 (15)와 같이 설정하여 모노펄스레이더가 운용하는 4개의 빔에 모두 반영될 수 있게 하였다.

$$\theta_A = 2(\theta_{\text{squint}} / \sqrt{2} + \theta_{3\text{dB}}) \quad (15)$$

미사일의 고도가 100 m, 신호원의 고도가 5 m 그리고 미사일과 신호원 사이의 거리(slant range)가 10 km일 때 진폭비교 모노펄스 레이더의 track axis를 기준으로 표현한 mainbeam clutter와 신호원의 위치는 그림 7과 같다.

Main beam clutter 구역을 18개의 동일한 크기로 구분하였으며 그 중 한 구역의 중점에 신호원이 위치하도록 설정하였다.

그림 8의 경우, 해면 클러터에 따른 진폭 비교 모노펄스 레이더의 추정 성능을 보인다. 순항 미사일의 경우를 가정하였다. 거리는 최소 5 km인 경우부터 최대 70 km인 경우까지 고려했다. RMSE 그래프를 보면 클러터를 반영

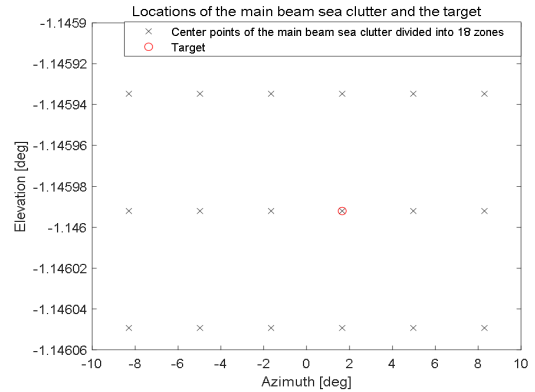


그림 7. 해상 클러터의 main beam 지역과 신호원의 위치
Fig. 7. Locations of the main beam sea clutter and the target.

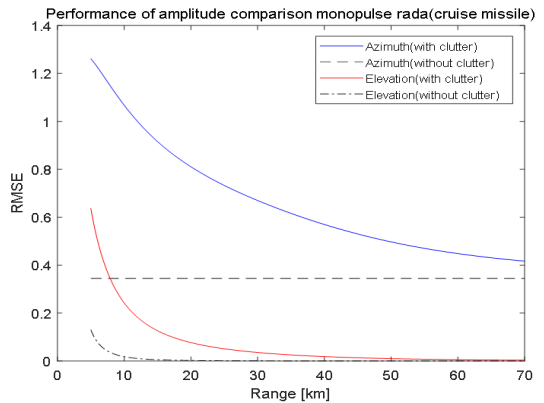


그림 8. 순항 미사일인 경우, 해면 클러터에 따른 진폭 비교 모노펄스 레이더의 방위각과 양각 추정 성능
Fig. 8. Azimuth and elevation estimation performance of amplitude comparison monopulse radar (cruise missile).

한 경우의 방위각 추정 RMSE와 양각 추정 RMSE가 근거리일 경우, 클러터를 반영하지 않은 경우보다 큰 값을 가짐을 확인할 수 있으며, 거리가 증가함에 따라 차이값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 양각 추정의 경우, 미사일의 고도가 100 m로 고정되어 있기에 거리가 가까운 경우, 지표각(grazing angle)이 증가하게 되며, 신호원의 위치가 모노펄스레이더의 track axis에서 많이 벗어나게 된다. 이로 인해 방위각에 비해 양각의 추정오차가 큰

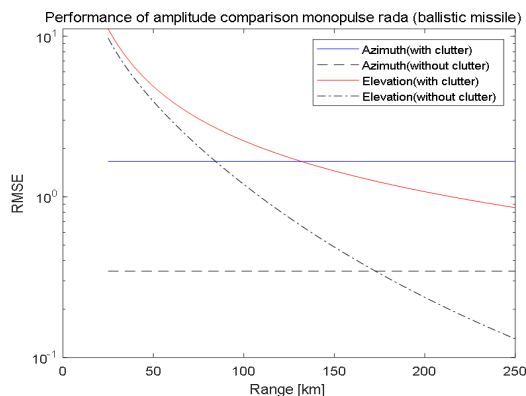


그림 9. 탄도 미사일인 경우, 해면 클러터에 따른 진폭 비교 모노펄스 레이더의 방위각과 양각 추정 성능

Fig. 9. Azimuth and elevation estimation performance of amplitude comparison monopulse rada (ballistic missile).

거리 일 때 다소 증가하는 경향을 보인다.

그림 9의 경우, 탄도 미사일인 경우에 해면 클러터에 따른 진폭 비교 모노펄스 레이더의 방위각과 양각의 추정 성능을 보인다. 탄도 미사일을 고려했기에 미사일의 고도는 5 km로 설정하였으며, 미사일과 신호원의 거리는 최소 25 km 그리고 최대 250 km로 설정하였다.

탄도 미사일의 환경에서도 클러터를 반영한 경우의 방위각 추정 RMSE와 양각 추정 RMSE가 근거리일 경우, 클러터를 반영하지 않은 경우보다 큰 값을 가짐을 그림 8을 통해 확인할 수 있으며 거리가 증가함에 따라 차이값이 감소하는 것을 확인할 수 있다. 또한 지표각(grazing angle)이 증가함에 따라 신호원의 위치가 모노펄스레이더의 track axis에서 많이 벗어나게 되어 미사일과 신호원이 서로 근접할수록 방위각에 비해 양각의 추정오차가 다소 증가하는 결과를 확인할 수 있다.

V. 결 론

본 논문에서는 전자전 환경에서 대함 미사일 레이더의 설계조건과 비행조건에 따른 클러터 신호의 세기를 모의하여 레이더의 탐지 능력을 예측하였다.

해면 클러터 신호는 안테나의 빔 패턴과 송신 주파수, 해면 상태, 해상 클러터 반사율, 미사일의 고도에 따른 지

표각 등 여러 조건에 따라 달라진다. 해상 환경에 따라 클러터 신호 세기를 직접 예측하는 것은 불가능하며, 많은 비용이 발생한다. 이를 위해 고도에 따라 발생하는 해면 클러터 반사율의 경험적 모델들을 반영하여 클러터 전력을 측정하였고, 레이더 거리 방정식을 통해 SNR과 CNR을 얻었다. 거리가 멀어질수록 CNR의 감소를 추측해 볼 수 있었고 그림 4를 통하여 결과를 확인하였다.

고도에 따라 달라지는 해면 반사율을 반영한 해면 클러터 모델링 및 레이더 설계조건에 따라 순항 미사일과 탄도 미사일 레이더의 최대 탐지 거리도 그림 5와 그림 6을 통해 알 수 있다.

또한 해당 클러터 모델링을 기반으로 하여 진폭비교 모노펄스 레이더의 추정 성능 실험을 수행하였으며, 그림 8과 9에서 도시한 RMSE 그래프를 통해 해당 결과를 확인하였다.

References

- [1] S. H. Jin, K. M. Lee, S. K. Woo, Y. J. Kim, J. B. Kwon, and H. R. Kim, et al., "Maritime target image generation and detection in a sea clutter environment at high grazing angle," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 30, no. 5, pp. 407-417, May 2019.
- [2] B. R. Mahafza, A. Z. Elsherbeni, *MATLAB Simulations for Radar Systems Design*, Boca Raton, FL, Chapman and Hall, pp. 272-279, 2003.
- [3] V. Gregers-Hansen, R. Mital, "An improved empirical model for radar sea clutter reflectivity," *IEEE Transactions on Aerospace and Electronic Systems*, vol. 48, no. 4, pp. 3512-3524, Oct. 2012.
- [4] L. Rosenberg, S. Watts, "High grazing angle sea-clutter literature review," *Electronic Warfare and Radar Division DSTO*, Edinburgh, Australia, DSTO-GD-0736, Mar. 2013.
- [5] A. W. Doerry, "Earth curvature and atmospheric refraction effects on radar signal propagation," *Sandia National Lab.*, Albuquerque, NM, SAND2012-10690, Jan. 2013.
- [6] F. Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, 2nd

ed. Boston, MA, SciTech, pp. 44-57, 2006.

[7] J. L. Eaves, E. K. Reedy, *Principles of Modern Radar*, Raleigh, NC, Scitech, pp. 5-16, 1987.

[8] Swerling, P, "Probability of detection for fluctuating targets," *IRE Transaction on Information Theory*, vol. 6,

no. 2, pp. 269-308, Apr. 1960.

[9] D. J. An, J. H. Lee, "Performance analysis of amplitude comparison monopulse direction-of-arrival estimation," *Applied Sciences*, vol. 10, no. 4, pp. 1-15, Apr. 1960.

백 지 응 [세종대학교/박사수료]

<https://orcid.org/0000-0003-3610-3258>



2015년 8월: 세종대학교 정보통신공학과 (공학사)

2017년 8월: 세종대학교 정보통신공학과 (공학석사)

2017년 8월~현재: 세종대학교 정보통신공학과 (박사수료)

[주 관심분야] 배열신호처리, 레이더신호

처리, 압축센싱

이 준 호 [세종대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-3715-3943>



1994년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학사)

1996년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학석사)

1999년 2월: 포항공과대학교 전자전기공학과 (공학박사)

2004년 3월~현재: 세종대학교 정보통신

공학과 교수

[주 관심분야] Signal Processing, (Radar Signal Processing, Array Signal Processing), Smart Antenna

안 도 진 [세종대학교/석사]

<https://orcid.org/0000-0003-4962-9179>



2017년 2월: 세종대학교 정보통신공학과 (공학사)

2019년 8월: 세종대학교 정보통신공학과 (공학석사)

[주 관심분야] 레이더 신호처리