

디코이 안테나를 이용한 ARM 방어 기술의 효과도 분석

임중수^{1*}, 채규수¹, 김민년¹
¹백석대학교 정보통신학부

An analysis of the effectiveness for an anti-ARM technique using decoy antennas

Joong-Soo Lim^{1*}, Gyoo-Soo Chae¹ and Min-Nyun Kim¹

¹Division of Information Communication Eng., Baekseok University/RDRC KAIST

요약 본 논문은 ARM(Anti Radiation Missile)으로부터 레이더를 보호하기 위한 전파회피기술의 효과도 분석에 관한 것이다. 전파회피를 위해 널리 사용되는 디코이(Decoy) 안테나의 효과적인 배치와 ARM 수신기에 수신되는 전파의 특성을 분석하였다. 그리고 디코이 안테나의 배치 효과를 알아보기 위해 ARM 수신기에 도달하는 디코이 안테나 신호의 위상과 진폭을 분석하였고 이를 계산하는 Matlab 프로그램을 개발하였다. 다수 디코이 안테나를 사용하는 경우 ARM의 공격효과를 다양하게 분석하였으며 본 연구결과는 ARM 방어를 위한 효과적인 디코이 배치에 유용하게 활용 될 것이다.

Abstract This paper describes an analysis of the effectiveness for an anti-ARM technique to protect a radar system. We investigate the optimum deployment of decoy antennas which are widely using for anti-ARM and the electromagnetic field at the ARM receiver. To verify the effect of decoy antennas, we analyze the field intensity and phase at the receiver and develop a numerical simulation program using Matlab. We conduct an analysis of ARM attack in case of using multiple decoy antennas and these results can be used to decide the optimum positions of the decoys for anti-ARM.

Key Words : Decoy antenna, ARM, Anti-ARM, Radar protection, DTM, Direction finding

1. 서론

현재 전장에서 사용되는 다양한 무기체계에서 전자파를 이용하는 장비들이 지속적으로 증가하고 있다. 이러한 환경에서 전자파의 효과적인 활용은 장비의 효율을 극대화 할 수 있다. 적군의 비행체 위치를 파악하기 위해 레이더가 일반적으로 사용되고 있다. 레이더는 다양한 주파수의 전자파 신호를 방출하여 비행체 위치를 추적하기 때문에 적의 공격 목표가 되기도 한다. 전파회피기술은 최적의 레이더 운용 사이트를 선정하고 다른 발생신호 장치를 추가하여 레이더에 발생하는 전파를 효율적으로 관리함으로써 레이더 운용 상황을 적에게 최소로 노출시켜 ARM 등의 공격을 피하면서 원하는 정보를 충분히 획득할 수 있도록 하는 기술을 말한다. 특히, 현대전에서는

적의 대공방어망을 억제하기위한 정밀 유도무기, 대방사 미사일에 의한 공격이 급격히 증대되고, 전파방해 전용 무인기가 등장하면서 레이더를 보호하기 위한 레이더 전파회피기술에 대한 연구가 매우 활발하게 진행되고 있다 [1-5]. 대방사미사일은 레이더가 레이더 기지에서 운용되는 동안에 레이더가 방사한 전파를 ARM의 수신기가 수신하여 전파가 도래하는 방향을 탐지한 후에 전파가 도래되는 방향에 레이더가 있다고 가정하고 레이더 사이트를 공격하는 미사일이다.

다양한 전파회피 기술들[6-8]이 소개되었지만 디코이 안테나의 배치에 대한 이론적인 모델은 구체적으로 제시 되지 않고 있다. 일반적인 안테나 기술이 적용된 디코이 안테나를 이용한 레이더의 ARM 방어 기술에 대한 연구가 진행되었다[9-10]. 다수의 디코이 안테나에서 방사되

*교신저자 : 임중수(jslim@bu.ac.kr)

접수일 09년 12월 21일

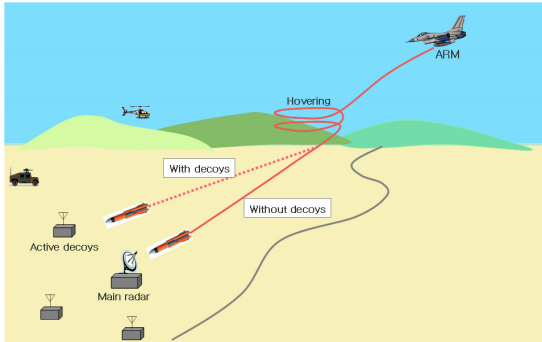
수정일 10년 02월 16일

게재확정일 10년 02월 24일

는 전파가 ARM 수신기에 도착할 때 각각의 디코이 안테나 사이의 경로 차이로 인해 생기는 위상차이를 이용해서 레이더 사이트의 위치를 파악하게 된다. 본 논문에서는 디코이 안테나를 사용한 전파회피 기술에 대한 이론적인 분석과 다중경로 전파이론과 DTM(Digital Terrain Map)이 적용된 시뮬레이션 프로그램이 개발되었다. 전파회피가 보다 효과적으로 이루어 지기위해 ARM 수신기의 방탐 정확도에 따른 디코이 안테나의 최적 배치 간격을 제시하고 ARM이 공격하는 궤적에 따라 타격위치를 계산하였다.

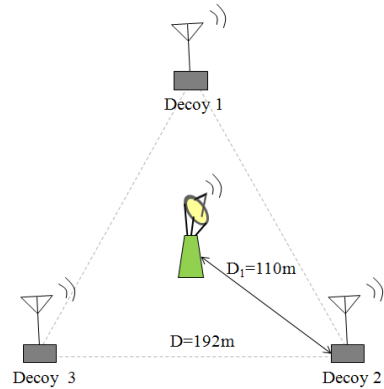
2. 디코이 안테나 효과도 분석

그림 1은 ARM 방어를 위한 디코이 안테나를 이용한 레이더 사이트 운용 개념도이다. 디코이 안테나를 사용하는 전파회피기술은 감시 레이더와 디코이 안테나의 신호크기만을 조정하여 운용하는 방법과 신호크기와 위상을 함께 조정하여 운용하는 방법이 있다. 감시 레이더의 주엽(Main-lobe)이 ARM 추적기와 조우하는 시간은 감시 레이더의 회전 또는 스캔 속도에 비례하므로 ARM은 대부분의 경우 감시 레이더의 주엽과 조우하지 않고 부엽(Side-lobe)과 조우하게 된다.



[그림 1] 레이더와 디코이 안테나 운용 개념도

디코이 안테나의 출력을 감시 레이더의 부엽 출력 보다 크게 할 경우 ARM은 디코이 안테나를 추적할 확률이 높다. ARM은 30~100km 거리에서 발사되지만 표적추적을 개시하는 거리는 감시레이다로부터 15~20km 정도 떨어진 곳에서부터 시작한다.



[그림 2] 디코이 안테나 배치 방법

그림 2는 ARM 회피를 위한 디코이 안테나 배치 방법이 나타나 있다. 디코이 안테나는 ARM이 공격하는 방향에 상관없이 레이더를 보호하기 위해 3개 혹은 4개를 사용할 수 있다[10]. 본 논문에서는 그림 1과 같이 디코이 안테나를 3개 사용하는 경우에 대해 ARM의 공격에 얼마나 효과적으로 대응 할 수 있는지 분석 하고자 한다. 디코이 안테나를 3개 사용하는 경우는 ARM이 공격하는 방향으로 향하는 2개의 디코이 안테나가 각각 120°를 담당하게 된다. 이러한 구조의 배치가 가장 효율적인 방어 방법이라는 연구결과가 제시되었다[10]. ARM 수신기에 도달하는 디코이 신호의 합성 신호의 위상과 진폭을 분석하기 위해 공간상 떨어져 있는 2개의 부정합 디코이 안테나가 추적 ARM의 빔 폭 내에 위치하는 경우를 그림 3에서 보여주고 있다.

$$E_{11}(R_{11}) = \frac{A_{11} \exp(j2\pi R_{11}/\lambda)}{R_{11}} \quad (1)$$

$$E_{12}(R_{12}) = \frac{A_{12} \exp(j2\pi R_{12}/\lambda)}{R_{12}} \quad (2)$$

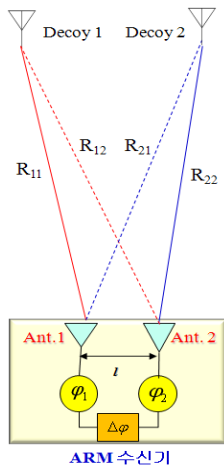
$$E_{21}(R_{21}) = \frac{A_{21} \exp(j2\pi R_{21}/\lambda)}{R_{21}} \quad (3)$$

$$E_{22}(R_{22}) = \frac{A_{22} \exp(j2\pi R_{22}/\lambda)}{R_{22}} \quad (4)$$

$$\phi_1 = \arg(E_{11} + E_{21}) \quad (5)$$

$$\phi_2 = \arg(E_{12} + E_{22}) \quad (6)$$

$$\Delta\phi = \phi_1 - \phi_2 \quad (7)$$



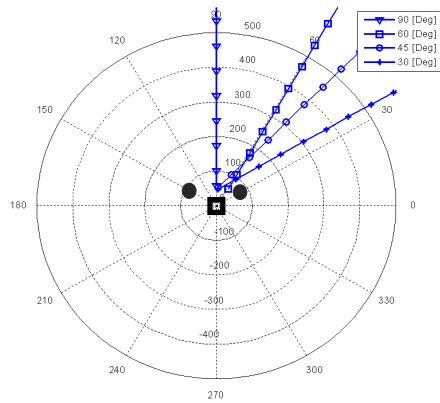
[그림 3] 디코이 안테나 배치와 ARM 수신기

식 (1)-(4)는 디코이 안테나로부터 ARM 수신기의 안테나로 수신되는 신호를 표시하고 있다[8-9]. 여기서 A_{11} , A_{12} , A_{21} , A_{22} 는 그림 3에서 4개의 경로를 따라 수신 안테나에 수신된 디코이 안테나의 신호 세기를 표시한다. 그리고 식 (5), (6)은 수신기에 도달한 신호의 위상을 표시하며 그 차이가 식 (7)에 나타나 있다. ARM은 이 위상차이($\Delta\phi$)가 0이 되는 방향을 찾아서 공격하게 된다. 본 논문에서는 이 위상차이가 0인 경로를 따라 ARM이 비행하는 경로를 Matlab 프로그램으로 구현 하였다[10]. 시뮬레이션에 사용된 주파수는 9GHz이다. 일반적으로 ARM이 어느 정도 멀리(20km 이상) 떨어져 있으면 레이더와 디코이 안테나가 동시에 작동 한다. ARM이 레이더 사이트에 근접함에 따라 디코이 안테나만 운용 한다고 가정할 때, 디코이 안테나의 배치방법을 제안 하고 수신기에서 수신되는 전파에 대한 시뮬레이션이 수행 되었다. 디코이 안테나가 ARM수신기의 방향탐지 빔폭 내에서 최적의 배치 방법을 제안하고 있다. 표 1에서는 방향탐지 정확도에 따른 디코이 안테나의 최대 이격거리가 나타나 있다. ARM 수신기의 방향탐지 정확도에 따라 디코이의 배치 간격이 결정되어야 한다. 디코이 안테나가 ARM 수신기의 방향탐지 정확도를 벗어나면 다른 목표물로 인식하여 디코이 안테나의 효과가 없어지기 때문이다.

[표 1] ARM 수신기의 방탐정확도에 따른 디코이 안테나 배치 거리(m)

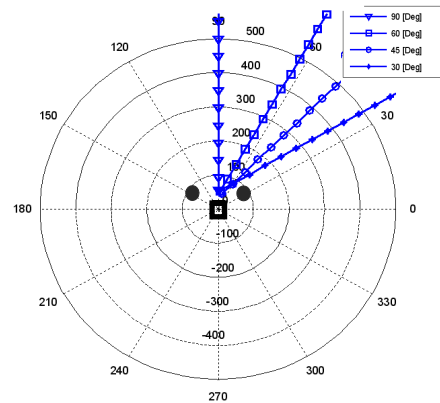
| 이격거리 | 방탐정확도 | |
|------|---------------|---------------|
| | $\pm 1^\circ$ | $\pm 2^\circ$ |
| D | 193.55 | 383.38 |
| D1 | 111.74 | 221.35 |

그림 4, 5, 6에서는 수신기에 노이즈가 없다고 가정하고 elevation과 azimuth에 대한 ARM의 추적 상황이 나타나 있다. 레이더가 좌표계의 중심에 위치하고 디코이 안테나가 azimuth 방향의 30° , 150° 방향에 그림 2에 제시된 배치거리에 위치하고 있고 ARM이 30° - 90° 방향으로 공격하는 경우에 대한 결과이다. 대개 elevation과 azimuth 각도가 낮은 경우에 ARM이 레이더에 더 가까이 떨어지는 것을 볼 수 있다. 이것은 디코이 안테나 빔이 어느 정도의 각도 이하에서는 수신기에서 신호 분석 시 오차가 생기는 것을 의미한다.

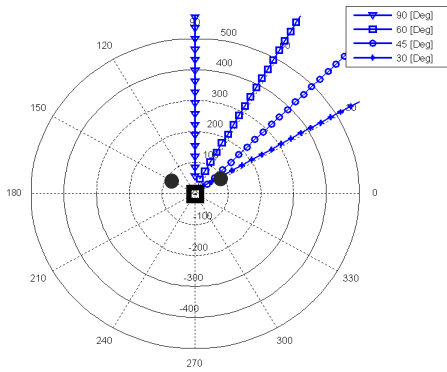


● : 디코이 안테나, □ : 레이더

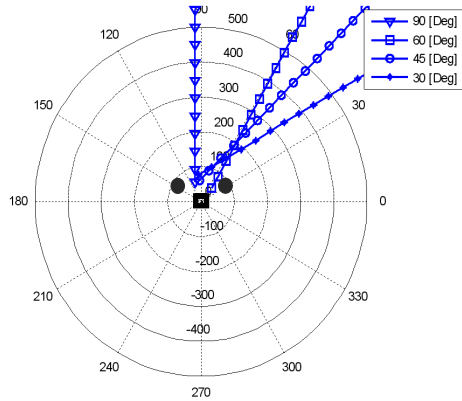
[그림 4] ARM의 추적 상황 (Elevation = 45° , Noise = 0%)



[그림 5] ARM의 추적 상황 (Elevation = 60° , Noise = 0%)



[그림 6] ARM의 추적 상황
(Elevation = 70°, Noise = 0%)

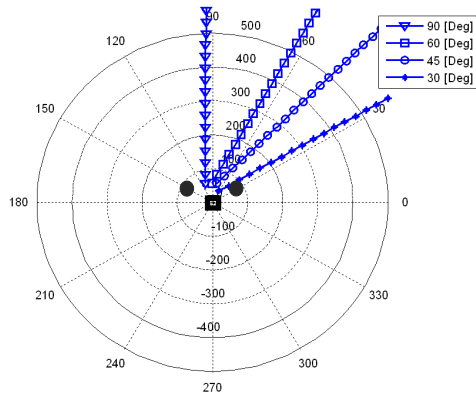


[그림 8] ARM의 추적 상황
(Elevation = 60°, Noise = 0.5%)

[표 2] ARM 타격지점으로부터 레이더 사이 거리(m)
(방탐오차 = ±1°, 노이즈= 0%)

| 고각 \ 방위각 | 45° | 60° | 70° |
|----------|-------|-------|-------|
| 30° | 48.70 | 54.77 | 38.81 |
| 45° | 52.50 | 45.84 | 49.10 |
| 60° | 58.17 | 54.19 | 49.51 |
| 90° | 55.87 | 55.87 | 55.87 |

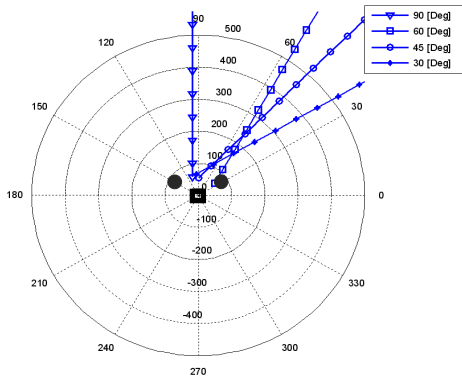
그림 7, 8, 9에서는 수신기에 노이즈(수신된 전계 크기의 0.5%)가 있다고 가정하고 elevation과 azimuth에 대한 ARM의 타격 경로가 나타나 있다. 표 3의 결과를 보면 ARM이 수신기 노이즈가 없는 경우보다 레이더로부터 더 멀리 떨어진 위치에 타격 되는 것을 볼 수 있다. 물론 오차로 인해 노이즈가 없는 경우보다 더 가까운 곳에 타격 할 가능성도 있지만 시뮬레이션 결과는 전반적으로 노이즈가 없는 경우에 더 가까운 곳을 타격하는 것으로 나타났다.



[그림 9] ARM의 추적 상황
(Elevation = 70°, Noise = 0.5%)

[표 3] ARM 타격지점으로부터 레이더 사이 거리(m)
(방탐오차 = ±1°, 노이즈= 0.5%)

| 고각 \ 방위각 | 45° | 60° | 70° |
|----------|-------|-------|-------|
| 30° | 67.48 | 79.00 | 38.38 |
| 45° | 54.60 | 61.19 | 58.48 |
| 60° | 62.67 | 50.30 | 57.25 |
| 90° | 58.79 | 58.89 | 56.69 |

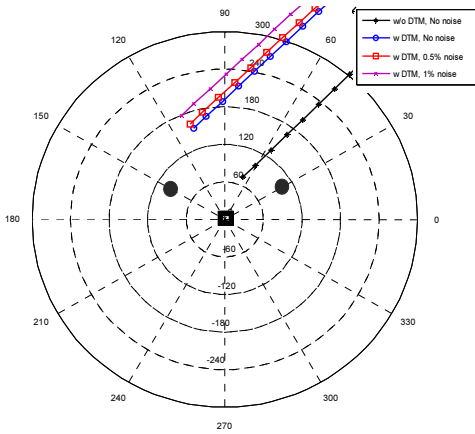


[그림 7] ARM의 추적 상황
(Elevation = 45°, Noise = 0.5%)

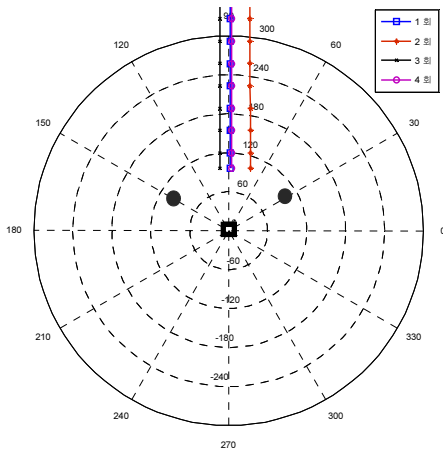
지금까지의 시뮬레이션에서는 지면의 경사를 고려하지 않고 평면 상태의 반사를 고려하였다. 식 (8)에서는 전계 계산에 사용된 수직 반사계수가 나타나있고 일반 대지에서 $\epsilon = 2.8 + i0.32$ 을 사용하였고 사용 주파수는 9GHz이다.

그림 10에서는 DTM을 사용하여 ARM궤적을 구한 결과가 나타나있다. 지면의 고도를 고려하지 않았을 때 두 디코이 안테나의 가운데로 향하던 ARM이 지면의 고도 때문에 생기는 오차로 인해 다른 방향으로 약간 벗어나는 것을 볼 수 있다. 그리고 그림 11에서는 ARM수신기의 방탐오차로 인한 시물레이션 횟수에 따른 ARM의 경로 오차를 보여주고 있다.

$$\Gamma_v = \frac{\epsilon \sin\theta_i - \sqrt{\epsilon - (\cos\theta_i)^2}}{\epsilon \sin\theta_i + \sqrt{\epsilon - (\cos\theta_i)^2}} \quad (8)$$



[그림 10] DTM을 고려한 경우 수신기 방탐오차에 따른 ARM경로 오차 분석



[그림 11] 수신기 방탐오차에 따른 ARM경로 오차 시물레이션(4회)

3. 결론

본 논문에서는 디코이 안테나를 사용하여 레이더를 보호하기 위한 레이더 전파회피 기술에 대하여 기술하였다. ARM 수신기의 방탐정확도에 따른 다수 디코이의 효과적인 배치 방법과 배치 거리에 따른 ARM의 요격효과를 Matlab 프로그램을 사용하여 시물레이션 하였다. 그리고 ARM의 타격 경로에 따른 추적오차를 다중경로 전파경로 모델을 사용하여 계산하였고 실제 지면의 반사를 고려하기 위해 DTM을 이용한 모델을 사용하여 오차를 비교하였다. 본 연구에서 제시된 결과는 디코이 안테나를 사용한 레이더 전파회피 방법을 개선하는데 사용될 수 있고 향후 체계적인 레이더 방어기술에 대한 연구에 기반 기술로 활용될 것이다.

참고문헌

- [1] M. Emadi, A. Jafargholi, M. H. S. Moghadam and F. Marvasti, "New anti-ARM technique by using random phase and amplitude active decoys," *Progress In Electromagnetics Research*, PIER 87, pp. 297 - 311, 2008.
- [2] J. A. Roungas, "Anti-radar missile(ARM) counter-measure method," US Pat. No. 6,414,622, July, 2002.
- [3] Wang Fan, He RuiLong and Sha Xiang, "Anti -ARM technique: distributed general- purpose decoy series (DGPD)," 2001 CIE International Conference on Radar, Page(s): 306-309, Oct. 2001.
- [4] Li Neng-Jing, "Radar ECCMs new area: anti -stealth and anti-ARM," *IEEE Trans. on Aerospace and Electronic Systems*, Vol. 31, Issue 3, Page(s):1120-1127, July 1995.
- [5] D. V. Manoogian et al., "Transmitter peak power efficient Pseudo-blink ARM decoy system," US Pat. No. 4,33,333, Feb., 1984.
- [6] G. D. Curtis Schleher, *A Electronic Warfare in the Information Age*, Artech House, Boston, 1999.
- [7] Filippo Neri, *Introduction to Electronic Defense Systems*, Artech House, Boston, 1991.
- [8] Leroy B. Van Brunt, *Applied ECM, Volume 3*, EW Engineering, Inc. VA, 1995.
- [9] C. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons Inc, 1997.
- [10] 채규수, 임중수, 김민년, "디코이 안테나를 이용한 레이더의 ARM 방어 기술," *한국산학기술학회 논문지*, 10

권, 10호, pp. 2646-2650, Oct., 2009.

임 중 수(Joong-Soo Lim)

[정회원]



- 1987년 8월 : 충남대학교 전자공학
학과 (공학석사)
- 1994년 3월 : Auburn University
(공학박사)
- 1980년 8월 ~ 2003년 12월 : 국
방과학연구소
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학
교 정보통신학부 교수

<관심분야>

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

채 규 수(Gyoo-Soo Chae)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 경북대학교 전자공
학과 (공학석사)
- 2000년 12월 : Virginia Tech
(공학박사)
- 2001년 1월 ~ 2003년 2월 :
Amphenol Mobile (RF manager)
- 2003년 3월 ~ 현재 : 백석대학
교 정보통신학부 교수

<관심분야>

안테나 설계, 초고주파 이론

김 민 년(Min-Nyun Kim)

[종신회원]



- 1995년 2월 : 홍익대학교 대학
원 전자공학과 (공학석사)
- 1995년 : 대우전자 전략기술연구
소
- 2003년 6월 : 홍익대학교 대학원
전자공학과(공학박사)
- 2002년 3월 : 백석대학교 정보통
신학부 전임강사

<관심분야>

초고주파, 레이더, 전파산란, 광파