

# 탄도미사일 탐지 확률 향상을 위한 레이더 배치에 관한 연구

박태용

호원대학교

Study on radar deployment for improving the ballistic missile detection probability

Tae-yong Park

Howon University

E-mail : sirpak75@gmail.com

## 요 약

레이더를 이용하여 표적을 탐지함에 있어 표적의 Radar Cross Section(RCS)은 매우 중요한 요소이다. 동일한 표적이라도 레이더를 바라보는 방향에 따라 RCS 값이 크게 차이 나며, 레이더로 표적을 탐지하는 확률을 높이기 위해 RCS가 크게 나타나는 곳에 레이더를 배치하는 것이 유리하다. 북한의 탄도미사일은 우리의 안보에 큰 위협이 되고 있으며, 탄도미사일 방어를 위해 레이더를 이용하여 미사일을 조기에 탐지하여 추적하여야한다. 본 논문에서는 탄도미사일의 RCS 특성과 북한 탄도미사일의 탄도를 분석하여 탄도미사일의 탐지확률을 높이기 위한 레이더 배치 방안을 제시하였다.

## ABSTRACT

Radar Cross Section(RCS) is very important factor to detect target by radar. Even if the same target, RCS value is significantly different according to the direction facing the radar. Therefore, it is advantageous to place the radar, where RCS is larger to increase the probability of detecting a target with a radar. North Korean ballistic missiles are major threat to our security, ballistic missiles should be detected early and traced for ballistic missile defense. In this paper, it is analyzed that ballistic missile's RCS characteristics and trajectory and proposed a way of radar deployment to improve the detection probability of ballistic missile.

## 키워드

탄도미사일, 탄도미사일 방어체계, Ballistic missile, BMD, RCS

## I. 서 론

레이더는 전파를 이용하여 표적을 탐지 및 추적하는 체계이다. 레이더 성능을 대표하는 최대 탐지거리를 결정하는 요소는 레이더의 출력, 안테나 이득, 수신감도 등 레이더 자체의 성능은 물론 표적의 RCS 또한 중요한 파라미터이다. RCS의 크기는 기하학적 형상에 따라 변하므로 동일한 표적이라도 관측 방향에 따라 다르게 나타난다. 북한은 1970년대부터 탄도미사일을 개발하기 시작하여 사거리 300km의 스킵-B, 사거리 500km의 스킵-C는 물론 한반도 전역은 물론 일본까지도 위협하는 사거리 1,000km의 노동미사일을 보유하고 있고, 2012년 12월에는 은하3호 로켓을

성공적으로 발사함으로써 사거리 10,000km이상의 대륙간 탄도미사일(ICBM, Intercontinental Ballistic Missile)을 개발할 수 있는 기술력을 가졌음을 증명하였다.

북한의 탄도미사일은 우리나라의 안보에 심각한 위협이 되고 있으며, 우리나라는 세종대왕함급 이지스 구축함에 탑재된 AN/SPY-1D 레이더, 피스아이 조기경보기에 탑재된 조기경보레이더, 슈퍼그린파인 레이더 등을 이용하여 탄도미사일을 탐지 및 추적하고, 공군과 주한미군이 보유중인 PAC-2 및 PAC-3 등 요격미사일을 이용하여 방어하는 체계가 구축되어 있다. 또한 우리 군은 작전 통제소(Air Missile Defense-Cell)와 조기경보레이더, 패트리엇 요격미사일 등을 핵심체계로 하는 한국형 미사일방어(KAMD : Korea Air Missile

Defense) 체계를 구축하고 있으며, 작전통제소와 공군의 패트리어트 방공포대 및 해군의 세종대왕함 등이 연동되어 미사일을 감시, 탐지 및 요격하게 된다[1].

KAMD 등 탄도미사일 요격체계에서 레이더는 표적을 탐지하고 추적하는 핵심 체계이다. 레이더로 표적을 탐지할 때 RCS(Radar Cross Section)의 크기에 의해 탐지거리와 탐지확률이 변할 수 있으며, 동일한 표적이라도 레이더를 바라보는 방향에 따라 RCS 값이 크게 차이난다. 따라서 탄도미사일 방어를 위해 미사일의 RCS가 크게 나타나는 곳에 레이더를 배치하는 것이 유리하다.

본 논문에서는 사거리 300km인 SCUD-B 탄도미사일의 RCS 특성과 미사일 탄도를 분석하여 탄도미사일의 탐지확률을 높이기 위한 레이더 배치 방안을 제시하였다.

## II. 관측지점에 따른 탄도미사일의 RCS 특성

북한이 보유한 SCUD-B 탄도미사일은 사거리 300km의 1단 추진체 로켓으로, RCS 계산을 위해 그림 1과 같이 간략화하여 모델링 하였다.

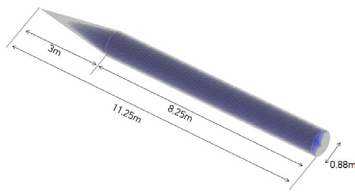


그림 1. SCUD-B 탄도미사일 모델

그림 1의 모델을 PO(Physical Optics, 물리광학) 기법으로 3GHz의 주파수로 RCS를 계산한 결과 RCS 패턴은 그림 2와 같으며, 정면 -18.8dBsm, 양 측면 32.8dBsm, 후면 26.7dBsm으로 양 측면이 가장 크게 나타나고, 또한 탄두부분의 빔면을 정면으로 바라보는 방향인 82도와 262도 방향이 19.1dBsm 으로 RCS가 비교적 크게 나타났다.

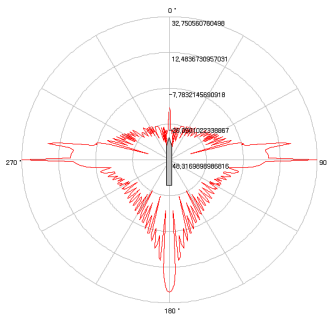


그림 2. SCUD-B 탄도미사일의 RCS 패턴

탄도미사일의 비행 단계는 부스트 단계(boosting phase), 중간 단계(midcourse phase), 재진입 단계(reentry phase) 또는 부스트 단계, 중간 단계, 종말 단계(terminal phase) 등 3단계로 구분된다 [2],[3]. 탄도미사일이 각 단계를 거쳐 탄도를 형성하는 궤적에 의해 탄도각(ballistic angle)이 변화하게 되는데, 부스트 단계에서의 탄도각은 식(1)과 같이 구할 수 있다[4].

$$\begin{cases} \theta = 90^\circ & 1 \geq \mu \geq 0.95 \\ \theta = 4\left(\frac{\pi}{2} - \theta_k\right)(\mu - 0.45)^2 + \theta_k & 0.95 \geq \mu \geq 0.45 \\ \theta = \theta_k & 0.45 \geq \mu \end{cases} \quad (1)$$

여기서, 여기서,  $\theta$ 는 발사지점에서 탄착지점으로의 지상 벡터 성분과 미사일 진행방향의 벡터 성분이 이루는 각도인 탄도각(ballistic angle),  $\mu$ 는 최초 총 추진체 대비 잔여 추진체의 질량 비율(mass ratio),  $\theta_k$ 는 부스트단계에서 최종적으로 형성되는 탄도각(critical ballistic angle)이다.

탄도미사일의 비행궤적은 기존 연구결과[1]의 회귀식인 식(2)로 간략화 할 수 있고, 이를 미분한 식(3)을 통해 각 지점에서의 기울기, 즉 탄도각을 구할 수 있다.

$$y = Ax^2 + Bx + c \quad (2)$$

$$y' = 2Ax + B \quad (3)$$

$$A \text{ or } B = \alpha \times \exp(\beta \times S) + \gamma \times \exp(\delta \times S) \quad (4)$$

여기서  $S$ 는 탄도미사일의 최대사거리이고,  $\alpha, \beta, \gamma, \delta$ 는 표 1과 같다.

표 1. A, B를 구하기 위한 파라미터

구분	$\alpha$	$\beta$	$\gamma$	$\delta$
A	-0.0974	-0.0262	-0.0215	-0.006
B	2.75	-0.0323	2.27	-0.00246

본 논문에서 탄도미사일 비행 구간 동안의 탄도각을 부스트 단계에서는 식(1)을 적용하고, 이후 단계에서는 식(3)을 적용하였다. 부스트 단계에 적용되는 파라미터는 기존 연구결과[5]를 적용하여 연소 종료 시 고도는 31.12km, 자세각은 44.33도를 적용하였고, 추진체는 일정한 속도로 연소되는 것으로 가정하였다. 식(2)에 따라 최대사거리 300km의 탄도미사일은 최고 고도 82km인 궤적을 그리며 비행하며, 탄도미사일의 자세각 변화는 그림 3과 같다.

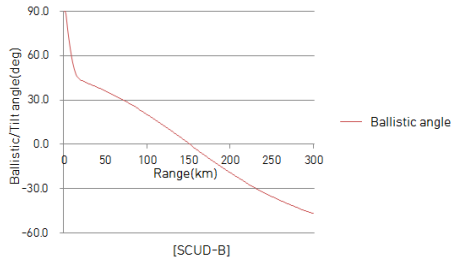


그림 3. SCUD-B 탄도미사일의 탄도각 변화

그림 4와 같이 탄도미사일의 탄착지점(‘가’ 지점)과 발사지점에서 100km 지난 지점에서 직각으로 200km 떨어진 지점(‘나’ 지점) 등 두 지점에서 탄도미사일을 관측하였을 때 탄도미사일의 RCS 값의 차이를 비교하였다. 이 때 지구의 곡률은 고려하지 않았다.

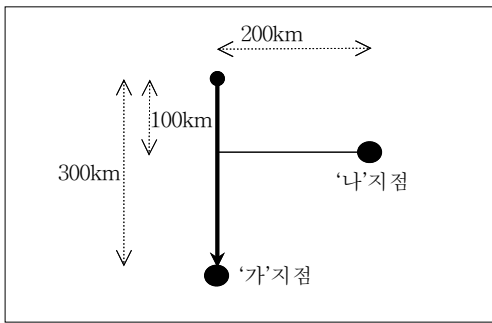


그림 4. 탄도미사일 탐지 지점

각 관측지점에서 탄도미사일이 보이는 방향 및 자세각이 다르므로 그림 5와 같이 각 지점에서의 탄도미사일 RCS의 값이 크게 차이났으며, ‘나’ 지점에서 관측할 경우 ‘가’ 지점에서 보다 미사일의 RCS가 평균 102.6배 크게 관측되었다.

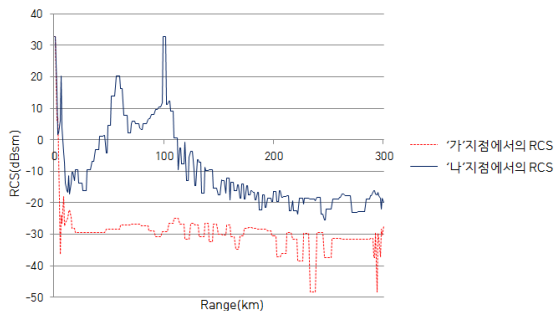


그림 5. 관측지점에 따른 RCS 차이

### III. 결 론

탄도미사일은 현대전에서 가장 위협적인 무기체계 중 하나로서, 특히 북한의 핵 실험과 장거리 탄도미사일 개발 및 발사 움직임은 우리나라의 안보에 심각한 위협이 되고 있다. 이에 대응하기 위해 우리 군은 KAMD를 구축하고 있으며, 탄도미사일을 탐지/추적 및 요격하는 Kill Chain에서 레이더를 이용한 탐지 및 추적은 매우 중요한 요소이다.

동일한 탄도 궤적을 이루며 비행하는 미사일이라도 레이더가 배치된 위치에 따라 RCS 값이 크게 차이 나며, 원뿔 형태의 탄두와 원기둥 형상의 추진체로 구성된 탄도미사일의 형상에 의해 비행 방향의 정면에서 관측하는 것 보다 측면에서 관측하는 것이 RCS 값이 월등히 크므로 탐지 및 추적에 유리하다. 따라서 탄도미사일 위협에 대응하기 위해 탄도미사일의 RCS, 비행 특성, 탄도미사일의 발사지점 및 목표지점, 레이더 성능 등을 종합적으로 고려하여 최적의 위치에 레이더를 배치하여야 한다.

### 참고문헌

- [1] 김홍섭, 김기태, 전건욱, “탄도 미사일의 비행 특성을 고려한 요격미사일 소요 알고리즘,” 한국군사과학기술학회지, 제14권 제6호, pp. 1009-1017, 2011.12.
- [2] Liu Li-hua, Wang Zhuang, Hu Wei-dong, “Precession period extraction of ballistic missile based on radar measurement,” 2006 CIE International Conference on Radar(CIE ICR ' 06), pp.1-4, Shanghai, China, Oct. 2006.
- [3] 이경행, 권용수, 김지원, “이지스 BMD를 위한 탄도미사일 RCS 특성분석에 관한 연구,” 제7회 제어로봇시스템학회 국방기술 학술대회(상), pp.92-102, 2011.7
- [4] Peng Peng, Tong Chuang-ming, Sun Jiajia, Li Dan, Wang Tong, “Dynamic RCS feature of ballistic missile for detection and classification in the boost phase,” Cross Strait Quad-Regional Radio Science and Wireless Technology Conference(CSQRWS), pp.427-430, Chengdu, China, Jul. 2013.
- [5] 권용수, 최봉석, “탄도미사일의 비행궤적 특성 해석,” 한국국방경영분석학회지 제32권 제1호, pp.176-187, 2006.6.