http://dx.doi.org/10.7840/kics.2015.40.1.209

# 레이더 위치에 따른 탄도미사일의 RCS 특성

박 태 용◆, 임 재 성°

# RCS of Ballistic Missile Based on Radar Position

Tae-yong Park◆, Jae-sung Lim°

요 약

탄도미사일은 속도가 빠르고 발사지점에서 목표지점까지 비행시간이 짧아 탐지/추적 및 요격에 많은 제한이 있다. 탄도미사일의 요격 성공률을 높이기 위해서는 발사 이후 조기에 발견하여 비행 항적을 오랫동안 추적하는 것이 중요하다. 레이더로 표적을 탐지할 때 중요한 파라미터는 표적의 Radar Cross Section(RCS) 인데, 탄도미사일이 비행하는 궤적 동안 관측 방향에 따라 RCS 값이 크게 변화한다. 본 논문에서는 북한 동해안에서 우리나라로 탄도미사일이 발사되었을 경우를 가정하여 육상 특정 지점에서와 동해상 특정 해역에 전개한 함정에서 각각 미사일을 관측하였을 때 미사일의 RCS 특성을 비교 분석 하였다.

**Key Words :** Radar Cross Section(RCS), KAMD, Ballistic Missile

ABSTRACT

It is difficult to detect, track and intercept ballistic missile because of its high speed and short flight time from launching to target area. In order to increase the success rate of a ballistic missile interceptor, it is important to track the flight trajectory for a long time after the detection in the early launch. Radar Cross Section(RCS) of the target is important when the target to be detected by the radar, and the difference between the RCS value greatly changes depending on the viewing direction during the flight missile trajectory. In this paper, it is assumed that a ballistic missile is launched at east coast of North Korea, observe that missile by a land based radar and sea deployed radar. And it is analyzed and compared that RCS difference of ballistic missile.

## Ⅰ. 서 론

탄도미사일은 현대전에서 가장 위협이 되는 장거리 무기체계 중 하나이다. 미사일을 빨리 탐지(Early detection)하여 조기 경보(Pre-warning) 함으로써 미사일 요격 확률을 높일 수 있기 때문에 많은 국가에서 이에 관한 분야를 연구하고 있다[1].

북한은 1970년대에 탄도미사일 개발을 시작하였으며, 현재는 탄도미사일을 자체 생산할 수 있는 능력을 갖추고 있다. 1993년에 사거리 1,000km인 노동미사일을 시험 발사하였으며, 이후 16년이 지난 2009년 4월에는 사거리가 6배 증가된 개량형 탄도미사일 대포동 2호(우주발사체)를 시험 발사하였다[2]. 또한 북한은 2012년 12월에 은하3호 로켓을 발사하여 발사체를

※ 이 논문은 2013년도 정부(미래창조과학부)의 재원으로 한국연구재단의 지원을 받아 수행된 연구임(No. 2013R1A2A1A01016423)
◆ First Author : Ajou University Department of NCW, Howon University Department of Defense & Science Technology, sirpak75@gmail.com, 정회원
° Corresponding Author : Ajou University Department of NCW, jaslim@ajou.ac.kr, 종신회원
논문번호 : KICS2014-08-324, Received August 27 2014; Revised November 13 2014; Accepted Decbember 31, 2014

위성궤도에 진입시키는 것을 성공함으로써 사거리 10,000km 이상의 대륙간 탄도미사일(ICBM: Intercontinental Ballistic Missile)을 개발할 수 있는 능력을 보유하였음을 대내외에 과시했다.

종심이 좁은 한반도에서는 북한 어느 지역에서 탄도미사일을 발사하더라도 사거리 300km의 탄도미사일은 수도권 및 중부 지역까지, 사거리 500km의 탄도미사일은 제주도를 제외한 한반도 대부분이 사정거리에 들어 갈 만큼 북한 탄도미사일은 우리의 안보에 심각한 위협이 되고 있다. 이에 대한 대책으로 우리 군은 작전통제소(Air Missile Defense-Cell)와 조기경보레이더, 패트리어트 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[2]. 이 중 탄도미사일을 감시하는 수단의 핵심은 육상에 설치 된 그린파인 레이더와 해군의 세종대왕함급 이지스함에 탑재된 AN/SPY-1D 레이더이다.

레이더를 이용하여 탄도미사일을 탐지하기 위해 탄도미사일의 비행특성 분야, 레이더 신호처리 분야를 중심으로 많은 연구가 이루어지고 있으며, 본 연구와 밀접한 관계가 있는 탄도미사일의 Radar Cross Section(RCS) 특성에 관련된 연구는 탄도미사일 자체의 전방위 RCS 특성을 주로 다루고 있다[1,3]. 레이더로 표적을 탐지함에 있어서 표적의 RCS는 매우 중요한 요소이며, 동일한 표적이라도 관측하는 각도에 따라 그 값이 크게 변한다. 예를 들면 선박이나 함정은 정면 보다 측면에서 관측할 때 RCS가 크게 나타나며, 이는 탄도미사일의 경우에도 마찬가지이다. RCS가 크면 탐지거리가 증가하므로 탄도미사일의 RCS가 크게 관측되는 곳을 미리 예측하여 레이더를 배치하면 탄도미사일을 탐지하고 추적하는데 도움이 될 수 있다.

본 연구의 목적은 한반도 환경에서 레이더를 이용하여 탄도미사일을 탐지할 때 레이더의 위치에 따라 관측되는 RCS 값을 계산하고, 향후 탄도미사일 방어를 위한 효율적인 레이더 배치 방안의 연구에 활용함에 있다. 이를 위해 본 논문에서는 탄도미사일 특성 및 탄도미사일 방어 체계에 대해 조사하였고, 이를 바탕으로 탄도미사일 및 비행 특성을 모델링하여 레이더 위치에 따라 관측되는 RCS를 물리광학(PO : Physical Optics) 기법을 이용하여 계산하였다. 그 결과 레이더 위치에 따라 관측되는 탄도미사일의 RCS 값이 크게 차이가 남을 알 수 있었다.

본 논문의 구성과 내용은 다음과 같다. 2장에서는 탄도미사일의 일반적인 특성, 미사일 방어체계 및 RCS 등 배경 이론에 대해 기술하고, 3장에서는 한반도에서 실질적인 위협이 되고 있는 북한의 SCUD-B/C 탄도미사일의 RCS 특성을 계산하고, 사거리 300km와 500km일 때 미사일 탄도의 지상 경로에 배치된 레이더로 관측할 경우와 탄도의 지상 경로에서 벗어난 곳에 배치된 레이더에서 관측되는 RCS 값을 계산하여 비교하였다. 마지막으로 4장에서는 본 연구 내용에 대해 종합하고 결론을 맺는다.

## Ⅱ. 배경 이론

탄도미사일(BM: Ballistic Missile)이란 발사된 후 로켓의 추진력으로 가속되어 대기권 내·외에서 포물선 형태의 탄도(彈道)를 그리며 비행하는 미사일을 말한다[2]. 최초의 탄도미사일은 제2차 세계대전 중 독일의 베르너 폰 브라운에 의해 개발된 V2 미사일인데, 종전 이후 냉전시대를 거치면서 미국과 구소련을 중심으로 무거운 탄두를 멀리까지 보내기 위한 경쟁이 치열하였다. 그 결과 제2차 세계대전 당시에는 탄도미사일의 사거리가 320km 남짓이었으나, 냉전시대에는 5,000km ~ 13,000km에 이르는 대륙간 탄도미사일이 등장하였고, 이를 방어하기 위한 탄도미사일 방어체계 개발 또한 경쟁적으로 이루어지고 있다.

### 2.1 탄도미사일의 특성

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[3,4]. 그러나 탄도미사일 방어 목적에 따라 중간단계를 연소 종료 이후 정점까지의 상승 단계(ascent phase)와 정점에 도달 이후 하강하는 중간 단계로 세분화하기도 한다[3]. 탄도미사일은 발사 시점부터 로켓에 탑재된 액체 또는 고체 연료가 연소되면서 추력을 얻으며, 연료의 연소가 종료(burn-out)되거나 연소가 중지(cut-off)되는 시점까지를 부스트 단계라고 한다. 부스트 단계에서 탄도미사일은 수직상승(vertical ascending)을 하다가 특정 고도에서 설정된 각도로 선회하는 프로그램 선회(programmed turn)를 함으로써 목적지 방향으로 탄도를 형성하게 된다. 추진체가 완전히 연소되기 까지 액체연료 ICBM의 경우 4-5분이, 고체연료 ICBM의 경우 3분 이내가 소요된다[3]. 일반적으로 부스트 단계에서의 탄도각(ballistic angle)은 식 (1)과 같이 구할 수 있다[1].

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

여기서, $\theta$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.

연소가 중단되면 발사체는 관성에 의해 비행을 하게 되는데, 이 구간을 중간 단계라 한다. 이 때 다단계 추진체일 경우 탄두와 추진체가 분리되어 탄두만 비행하게 되며 비행체의 탄도는 연소 종료 시점의 에너지와 탄도각에 의해 결정된다. 장거리 탄도미사일에서 중간 단계가 가장 긴 부분을 차지하고(ICBM의 경우 약 20분 가량), 일반적으로 대기권 밖에서 비행하며, 대 탄도탄 미사일(ABM : Anti-Ballistic Missile)을 이용하여 요격하기에 가장 선호되는 구간이다[4]. 탄도미사일 관점에서는 중간 단계에서 탐지 또는 요격 당하는 것을 피하기 위해 탄두가 여러 개로 분리되거나 탄두와 비슷한 형태의 기만체(decoy)를 방출하기도 한다.

종말 단계는 탄도미사일의 비행체가 대기권으로 재진입하여 목표지점을 향해 비행 하는 단계이다. 진입 조건 중 중요한 변수는 진입 속도와 진입 시 탄도각이다[5]. 대기 중을 낙하하는 탄두는 공기저항에 의해 속도가 급격히 감소하고, 나선형 운동이 발생하기도 한다.

한에서 운용 중인 대표적인 탄도미사일의 제원은 표 1과 같다[2].

표 1. 탄도미사일 제원
Table 1. Specification of Ballistic Missile

| Category | | SCUD-B | SCUD-C | NODONG |
|---|---|---|---|---|
| Diameter(m) | | 0.88 | 0.88 | 1.3 |
| Max. Range(km) | | 300 | 500 | 1,000 |
| Mass (kg) | Payload | 985 | 700 | 1,000 |
| | Structure | 1,385 | 1,500 | 3,800 |
| | Fuel | 4,000 | 5,000 | 16,000 |
| | Total | 6,370 | 7,200 | 20,800 |

### 2.2 탄도미사일 방어 체계

레이더로 탄도미사일을 추적하는 문제는 레이더와 탄도미사일이 개발 된 제2차 세계대전 이후부터 줄곧 연구되었다[6]. 전후 냉전시대에 미국에서는 구소련의 미사일 기술에 대응하기 위해 탄도미사일 방어체계를 연구하기 시작하였는데, 최초의 연구는 1953년 링컨 연구소에서 시작한 AICBM(Anti- Intercontinental Ballistic Missile) 프로그램이었다. 본 프로그램의 목표는 적의 공격을 조기에 경보하기 위해 적 ICBM을 탐지하고 추적하는 방법을 연구하는 것이었다. 같은 목적으로 1956년에 조기경보 레이더의 원형이 되는 레이더 개발 계획이 수립되었는데, 1957년에 구소련이 ICBM의 시험발사에 성공하였다는 것을 공식 발표하고, 최초의 인공위성인 스푸트니크 1호를 성공적으로 발사함에 따라 탄도미사일 방어체계 연구에 속도를 내게 되었다[7]. 미국의 탄도미사일 방어체계는 주로 본토에서 멀리 떨어진 곳에서 발사되는 ICBM을 대상으로 탄도미사일 방어를 수행하는 개념으로, 정찰위성, UAV, 세계 각지에 설치된 레이더 등 센서 등으로부터 수집된 표적 정보를 융합하여 탄도미사일의 비행 단계별 적절한 무기체계를 이용하여 탄도미사일을 요격한다. 미국에서 운용 중인 주요 BMD(Ballistic Missile Defense) 프로그램은 다음과 같다[8].

- Ground-Based Midcourse Defense(GBMD) : 육상에 설치된 요격 체계로 중/장거리 탄도미사일을 중간 단계(midcourse)에서 요격.
- Aegis Ballistic Missile Defense(Aegis BMD) : 이지스함에 BMD 능력을 탑재한 것으로 중/단거리 탄도미사일을 해상에서 요격. 2014년 6월까지 34회의 시험 중 28회 성공.
- Terminal High Altitude Area Defense(THAAD) : 중/단거리 탄도미사일을 종말 단계(terminal phase) 대기권 부근에서 요격. 2013년 4월에 북한의 탄도미사일에 대응하기 위해 괌 기지에 배치.
- Patriot Advanced Capability-3(PAC-3) : 종말 단계 (terminal phase) 중 THAAD 보다 낮은 고도에서 요격. 한국, 아프가니스탄, 터키 등 다수의 국가에 배치.

우리나라를 겨냥한 북한의 탄도미사일은 사거리 300km-1,000km의 단거리 탄도미사일이므로 비행시간이 5분-9분 이내로 짧아[5] 한국형 미사일방어(KAMD) 체계는 PAC-3, M-SAM, L-SAM 등 종말단계 방어로 추진되고 있다.

과거의 전쟁은 플랫폼 중심의 전쟁이었으나 현대에는 센서 체계, 지휘통제 체계, 타격 체계 등 전장 환경

의 모든 요소들이 연계되어 네트워크 정보화를 실현함으로써 적보다 더 나은 상황 인식을 통한 정보 우위를 기반으로 전쟁을 수행하는 네트워크중심전(NCW: Network Centric Warfare)으로 빠르게 변화하고 있다[9]. NCW는 여러 전투요소들을 네트워크로 연결하여 전장 상황을 공유하고 통합적이고 효율적인 전투력을 창출하고자 하는 것으로[10], 주요 네트워크 수단으로 전술데이터링크(Tactical Data Link)를 사용한다[11]. 비행시간이 짧아 충분한 대응시간의 확보가 어려운 탄도미사일 방어체계의 특성 상 센서-지휘통제 센터-타격 체계가 유/무선 및 위성통신체계 등 실시간 네트워크 환경으로 유기적으로 연동되어 효과를 극대화하고 있다. 예를 들어 해상기반의 Aegis BMD는 자함에 탑재하고 있는 AN/SPY-1D 레이더 표적 정보는 물론 지상 레이더에서 전송한 표적 정보, 위성에서 전송한 표적 정보 등을 실시간으로 융합함으로써 표적의 탐지 및 추적 범위를 넓히고, 요격 성공률을 향상시킨다.

### 2.3 레이더 방정식

레이더는 전자파를 송신하여 표적에 맞고 되돌아오는 신호를 분석하여 표적의 거리를 측정하는 장비이다. 레이더 탐지거리를 결정하는 파라미터에는 송신출력, 송/수신 안테나 성능, 수신감도, 표적의 RCS(Radar Cross Section) 등이 있다.

송신안테나와 수신안테나가 동일한 모노스태틱(monostatic) 펄스레이더에서 PRF(Pulse Repetition Frequency)에 의한 탐지거리의 모호성(unambiguity)이 발생하지 않는다고 가정하였을 때 레이더의 최대 탐지거리는 식 (2), 레이더 방정식으로 구할 수 있다.

$$R_{\max} = \sqrt[4]{\frac{P_T G_T^2 \lambda^2 \sigma_t}{(4\pi)^3 S_{\min}}} \quad (2)$$

여기서, $R_{\max}$는 레이더의 최대 탐지거리, $P_T$는 송신출력, $G_T$는 송신안테나 이득, $\lambda$는 전자파의 파장, $\sigma_t$는 표적의 RCS, $S_{\min}$은 레이더의 수신감도이다. 식 (2)에 의해 분자 부분인 표적의 RCS가 클수록 레이더에 의해 멀리서 탐지된다는 것을 알 수 있다.

### 2.4 RCS 개념

RCS는 입사되는 전자파의 크기와 표적에서 산란되는 전자파의 비로서, 레이더 관점에서 바라보는 표적의 물리적 크기이다. RCS 크기를 결정하는 요소로는 표적의 전기적인 특성, 물리적 크기, 기하학적 형상, 레이더 주파수, 관측 각 등이다. RCS는 표적의 표면에 입사된 전자파가 입사되면 유기되는 유도전류에 의해 생성되기 때문에 동일한 크기의 물체라면 전기가 잘 흐를수록 RCS가 크고, 동일한 전기적 특성이라면 물리적인 크기가 클수록 RCS가 크다. 또한 물체 표면의 법선 방향으로 RCS가 가장 크게 발생하므로 평면, 안으로 굽은 면, 바깥으로 굽은 면 등 기하학적 형상에 따라 전체 RCS가 차이가 나고, 레이더의 주파수가 높을수록 RCS가 크다. RCS는 동일한 표적이라도 관측하는 각도에 따라 그 크기가 크게 변화하는데 1m×1m 크기의 완전도체 평면을 10GHz의 레이더로 관측하였을 때 관측 각도에 따른 RCS의 크기는 표 2와 같다. 이때 RCS 계산은 물리광학(PO : Physical Optics) 기법으로 하였고, 평판의 정면 방향이 0° 이다.

RCS가 클수록 레이더에 의해 멀리서 탐지된다. 식 (2)에서 RCS 이외의 파라미터가 동일할 때 RCS가 16배가 되면 레이더에 의해 탐지되는 거리는 2배 길어진다. 따라서 동일한 표적이라도 RCS가 크게 발생하는 위치를 선정하여 레이더를 전개하면 보다 원거리에서 표적을 탐지할 수 있다.

표 2. 관측 각에 따른 평판의 RCS 값
Table 2. Plate's RCS Value Changing according Observing Angle

| Observed Angle | RCS Value | |
|---|---|---|
| | ㎡ | dBsm |
| 0° | 13,963.68 | 41.45 |
| 5° | 13.09 | 11.17 |
| 10° | 9.66 | 9.85 |
| 15° | 2.28 | 3.58 |
| 20° | 0.82 | -0.86 |
| 25° | 0.40 | -4.00 |

## Ⅲ. 레이더 위치에 따른 탄도미사일의 RCS 특성

### 3.1 탄도미사일 및 비행특성 모델링

레이더 위치에 따른 탄도미사일의 탐지 특성을 비교하기 위해 사거리 300km와 500km인 SCUD-B/C를 기준으로 그림 1과 같이 간략화 하여 모델링 하였다.

탄도미사일의 비행 특성은 기존 연구[2]에서 비행궤적을 고도($y$)와 비행거리($x$)간의 관계로 정리한 결과인 식 (3)을 적용하였다. 이때 A와 B의 값은 식(4)를 이용하여 구할 수 있으며, 탄도미사일별 계수 A, B를 구하기 위한 파라미터는 표 3과 같다. 식 (4)에서 $S$는 탄도미사일의 최대사거리이다.

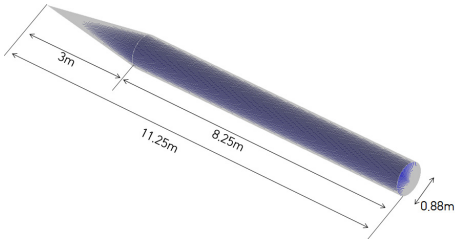


그림 1. 탄도 미사일 모델
Fig. 1. Ballistic Missile Model

표 3. 계수 A, B를 구하기 위한 파라미터
Table 3. Parameters for Coefficient A and B

| Category | | $\alpha$ | $\beta$ | $\gamma$ | $\delta$ |
|---|---|---|---|---|---|
| SCUD-B | A | -0.0974 | -0.0262 | -0.0215 | -0.006 |
| | B | 2.75 | -0.0323 | 2.27 | -0.00246 |
| SCUD-C | A | -0.0955 | -0.0208 | -0.0177 | -0.00435 |
| | B | 2.457 | -0.023 | 2.48 | -0.00174 |

$$y = Ax^2 + Bx + \epsilon \tag{3}$$

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

식 (3)에 의한 SCUD-B와 SCUD-C 미사일의 최대 사거리별 비행 궤적은 그림 2와 같다.

탄도미사일의 탄도각과 자세각이 같다고 가정하면 비행 궤적의 접선의 기울기가 미사일의 탄도각이 되므로 식 (3)을 미분함으로써 비행 구간 동안 탄도각의 변화를 구할 수 있다.

$$y' = 2Ax + B \tag{5}$$

식 (3)은 탄도 궤적을 간략화 하여 유도한 회귀식으로서, 궤적이 포물선 형태로 간략화 되어 나타나므로 부스트 단계의 탄도각을 보다 현실적으로 적용하기 위해 식 (1)을 적용하였다. 즉 탄도미사일 비행 특성에서 부스트 단계 동안 탄도미사일의 탄도각은 식 (1)을 반영하고, 이후의 탄도각은 식 (5)를 적용하였다.

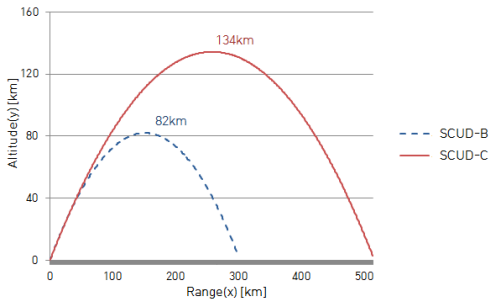


그림 2. 탄도미사일의 비행 궤적
Fig. 2. Trajectory of Ballistic Missile

탄도미사일의 부스트 단계 비행 특성을 계산하기 위한 입력 파라미터는 기존의 연구 결과[5]를 활용하여 SCUD-B와 SCUD-C의 연소 종료 시 고도는 각각 31.12km, 43.19km, 자세각은 각각 44.33도, 43.88도를 적용하였다. 또한 추진체의 소모율은 연소 시간 동안 일정한 것으로 가정하였다. 이를 통한 탄도미사일 비행 궤적 동안 미사일 탄도각의 변화는 그림 3과 같다.

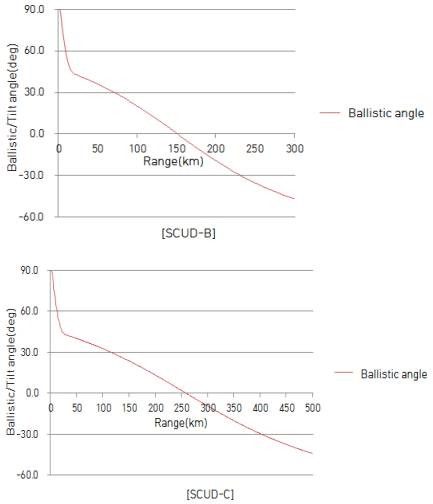


그림 3. 탄도미사일의 탄도각
Fig. 3. Ballistic angle of BM

### 3.2 관측지점에 따른 미사일 관측각

탄도미사일의 발사 지점은 대전으로부터 북쪽으로 각각 300km, 500km 떨어진 곳으로 가정하고, 레이더-A는 대전에, 레이더-B는 대전 북쪽 200km 지점에서 동쪽으로 200km 떨어진 해상에 있는 것으로 설정하였다. 본 논문에서는 지구를 완전한 평면의 형태로 가정하였다.

탄도미사일을 레이더-A에서 관측할 때 미사일의 고각($\omega$)은 레이더에서 미사일을 올려다보는 각도로 정의하며, 이는 최대 사거리($R_{BM}$), 지상 이동거리($x$), 미사일 고도($y$)의 관계식으로 구할 수 있다.

$$\omega = \tan^{-1}\left(\frac{y}{R_{BM} - x}\right) \tag{6}$$

탄도미사일의 자세각은 미사일의 진행방향 축이 지면과 이루는 각도인데, 탄도각과 자세각이 같다고 가

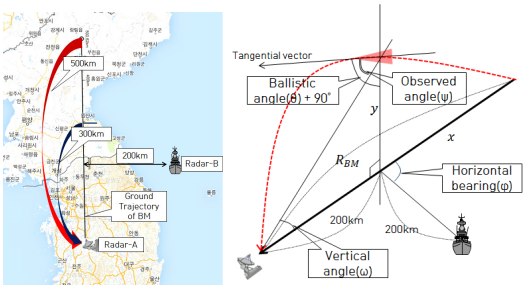


그림 4. 탄도미사일 발사 및 탐지 모델
Fig. 4. Ballistic Missile Launching & Surveillance Model

정하면 고각($\omega$)과 탄도미사일의 탄도각($\theta$)을 이용하여 미사일 관측각($\psi$)을 구할 수 있다.

$$\psi = \omega + \theta \tag{7}$$

레이더-B에서 탄도미사일을 관측할 경우 육상 탄도 경로에 대한 고각과 관측각은 식 (6) 및 식 (7)과 동일하나, 지상 탄도 구간에서 벗어난 거리에 의한 수평방위각($\varphi$)이 고려되어야 한다. 수평방위각은 최대 사거리($R_{BM}$)와 지상 이동거리($x$)의 관계식으로 구할 수 있다.

$$\begin{cases} \varphi = \tan^{-1}\left(\dfrac{200}{R_{BM}-200-x}\right)[\mathrm{deg}], \\ \qquad\qquad x \le (R_{BM}-200) \\ \varphi = \tan^{-1}\left(\dfrac{x-(R_{BM}-200)}{200}\right)+90[\mathrm{deg}], \\ \qquad\qquad x > (R_{BM}-200) \end{cases} \tag{8}$$

### 3.3 탄도미사일의 비행 구간 RCS 특성

물리광학(PO) 기법을 이용하여 계산한 탄도미사일 모델의 관측 방위에 따른 RCS 패턴은 그림 5와 같다. 이때 레이더 주파수는 3GHz를 적용하였다.

탄도미사일 정면, 측면, 후면 방향의 RCS 값은 각각 -18.8dBsm, 32.8dBsm, 26.7dBsm으로, 고깔 형태의 정면보다 표면적이 넓은 양 측면과 후면의 RCS가 크다는 것을 알 수 있다. 또한 탄두가 있는 앞쪽 측면보다 뒤쪽 측면의 RCS가 전반적으로 크다. 82도 및 262도에서 RCS가 19.1dBsm으로 크게 나타나는데, 이는 탄두의 기울어진 면에 대한 법선 방향에 의한 현상이다.

사거리 300km, 500km의 탄도미사일을 레이더-A

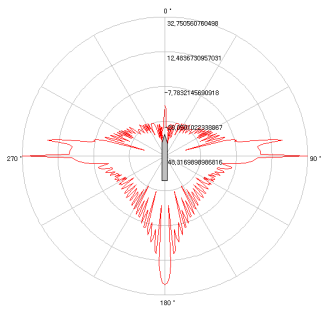


그림 5. 탄도미사일의 RCS 패턴
Fig. 5. RCS pattern of Ballistic Missile

에서 관측했을 때와 레이더-B에서 관측했을 때 각각의 탄도미사일 비행 구간 RCS 값의 변화는 그림 6과 같다. 위치에 따른 RCS값 계산은 탄도미사일의 지상 이동거리 2km 간격으로 하였다.

사거리 300km, 500km인 탄도미사일을 레이더-A 및 레이더-B에서 관측하였을 때 각각의 RCS 평균값은 표 4와 같다.

관측 지점에 따라 RCS 값이 크게 차이나는 이유는 그림 7과 같이 탄도 진행 방향과 동일한 방향에서 관측할 경우에는 RCS 값이 상대적으로 적은 탄도미사일의 정면 쪽을 주로 관측하게 되지만, 탄도 진행 방향에서 벗어난 지점에서 관측할 경우에는 수평방위각

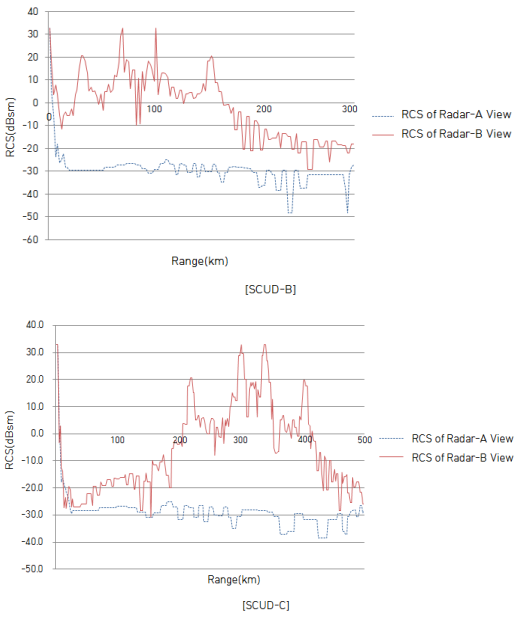


그림 6. 탄도미사일 비행 구간 RCS 값
Fig. 6. RCS Value during BM Trajectory

표 4. 관측 위치에 따른 탄도미사일 RCS 값 비교
Table 4. Comparison of ballistic missile's RCS based on observing point

| Category | | Mean Value of RCS during flight | | Difference | Detection Range |
|---|---|---|---|---|---|
| | | Radar-A | Radar-B | | |
| Range | 300km | -29.4dBsm (0.001123㎡) | -2.08dBsm (0.619717㎡) | 541.4 times (B>A) | 4.82 times (B>A) |
| | 500km | -28.77dBsm (0.001327㎡) | -5.57dBsm (0.277604㎡) | 209.1 times (B>A) | 3.8 times (B>A) |

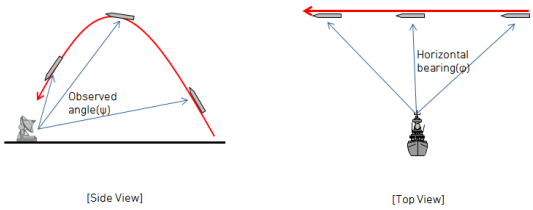


그림 7. 관측 위치에 따른 탄도미사일의 관측각 변화
Fig. 7. Observed angle change based on observing point

의 영향으로 RCS 값이 상대적으로 큰 측면 쪽이 오랫동안 보이기 때문이다.

식(7), 식(8)을 이용하여 탄도미사일의 관측각 및 수평방위각을 구하면 사거리 300km 탄도미사일의 경우 레이더-A에서 6도에서 90도, 레이더-B에서는 63도에서 135도 이고, 사거리 500km 탄도미사일의 경우 레이더-A에서는 12도에서 90도, 레이더-B에서는 34도에서 135도 이다. 이를 탄도미사일의 RCS 패턴 위에 나타내면 그림 8과 같으며, 레이더-B에서 관측한 경우가 레이더-A에서 관측한 경우보다 RCS 값이 큰 부분을 관측하는 비중이 높다는 것을 알 수 있다.

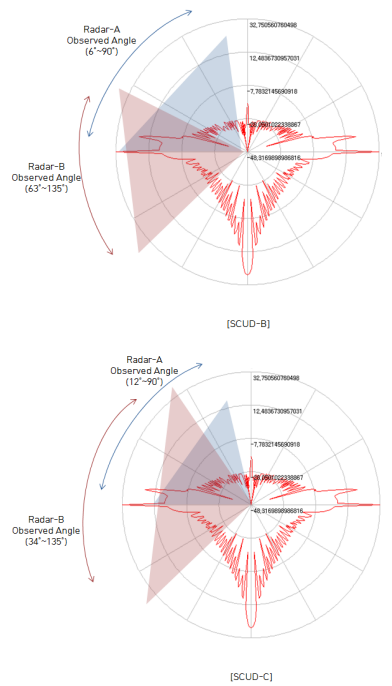


그림 8. 관측 위치에 따른 탄도미사일의 관측각
Fig. 8. Observed angle based on observing point

## Ⅳ. 결 론

본 논문에서는 탄도미사일의 궤적을 이용하여 레이더 위치에 따른 탄도미사일의 관측각을 역으로 계산하였고, PO 기법을 이용하여 탄도미사일의 RCS를 계산하였으며, 실험 결과 레이더 위치에 따라 관측되는 탄도미사일의 RCS 값이 크게 차이나는 것을 확인할 수 있었다. 레이더 방정식에 의하면 RCS가 100배 차이 나면 탐지거리는 약 3.16배, RCS가 20배 차이나면 탐지거리는 약 2.1배가 차이나는 만큼 표적의 RCS는 레이더 탐지거리 및 탐지확률을 결정함에 있어서 매우 중요한 요소이다. 따라서 탄도미사일을 조기에 탐지하고 지속적으로 추적하기 위해서는 미사일의 RCS가 크게 나타나는 위치에 레이더를 배치하는 것이 유리하다. 본 연구 내용을 응용 발전시켜 북한 탄도미사일의 정확한 비행특성과 RCS 특성, 레이더의 성능 등을 반영한다면 탄도미사일의 탐지 확률을 높이기 위한 레이더 위치를 산출하는데 도움이 될 수 있을 것이다.

## References

[1] P. Peng, C. Tong, J. Sun, D. Li, and W. Tong, "Dynamic RCS feature of ballistic missile for detection and classification in the boost phase," in *Proc. Cross Strait Quad-Regional Radio Sci. and Wirel. Technol. Conf. (CSQRWC)*, pp. 427-430, Chengdu, China, Jul. 2013.

[2] H. S. Kim, K. T. Kim, and G. Jeon, "A requirement assessment algorithm for

antiballistic missile considering ballistic missile's flight characteristics," *J. Korea Inst. Military Sci. Technol.*, vol. 14, no. 6, pp. 1009-1017, Dec. 2011.

[3] K. H. Lee, Y. S. Kwon, and J. W. Kim, "A study on the analysis of the RCS characteristics for aegis BMD," in *Proc. The 7th Conf. National Defense Technol.*, pp. 92-102, Seoul, Republic of Korea, Jul. 2011.

[4] L. Liu, Z. Wang, and W. Hu, "Precession period extraction of ballistic missile based on radar measurement," in *Proc. 2006 CIE Int. Conf. Radar(CIE ICR '06)*, pp. 1-4, Shanghai, China, Oct. 2006.

[5] Y. S. Kwon and B. S. Choi, "Analysis of the trajectory characteristics of ballistic missiles," *J. Military Operation Res. Soc. Korea*, vol. 32, no. 1, pp. 176-187, Jun. 2006.

[6] M. Sankowski, T. Rutkowski, and P. Uruski, "Evaluation of multi-radar detection of ballistic missile," in *Proc. IEEE Int. Radar Symp. (IRS 2006)*, pp. 1-4, Krakow, Poland, May 2006.

[7] P. A. Ingwersen and W. Z. Lemnios, "Radars for ballistic missile defense research," *Lincoln Lab. J.*, pp. 245-266, vol. 12, no. 2, 2000.

[8] J. Masters, *Your Pocket Guide to How U.S. M issile Defense Works(2014)*, Retrieved Aug. 1 9, 2014, from http://www. defenseone.com/tec hnology/2014/08/your-pocket-guide-how-us-mi ssile-defense-works/91742/.

[9] T. G. Kim, D. S. Kim, and C. Sung, "Joint analysis of combat power and communication system via interoperation of war game simulator with communication network simulator," *J. KICS*, vol. 37C, no. 10, pp. 993-1003, Oct. 2012.

[10] H. Beak, J. Lim, J. Koo, J. Jin, P. Chun, and I. Oh, "Reliable dynamic TDMA scheme with new packing method for image transmission over link-16," *J. KICS*, vol. 37C, no. 11, pp. 1045-1053, Nov. 2012.

[11] Y. Lee, S. Kim, and M. Lim, "Methology of interoperating link-K track number in multi TDLs," *J. KICS*, vol. 38C, no. 12, pp. 1186-1195, Dec. 2013.

**박 태 용** (Tae-yong Park)

1997년 2월 : 해군사관학교 전자공학과 학사
2005년 2월 : 포항공대 정보통신학과 석사
2006년 1월~2008년 7월 : 해군사관학교 교수부 전자공학교관
2013년 3월~현재 : 호원대학교 국방기술학부 조교수
2013년 9월~현재 : 아주대학교 NCW학과 박사과정
<관심분야> 해군무기체계, 지휘통신체계, 레이더

**임 재 성** (Jae-sung Lim)

1983년 2월 : 아주대학교 전자공학과 학사
1985년 2월 : KAIST 영상통신 석사
1994년 8월 : KAIST 디지털통신 박사
1998년 3월~현재 : 아주대학교 소프트웨어융합학과 정교수
2006년 8월~현재 : 아주대학교 국방전술네트워크 연구센터장
<관심분야> 이동통신, 무선네트워크, 국방전술통신