
타원형 Ogive 헤드에 의한 미사일 구조의 RCS 감소

심재륜*, 한대현**

RCS Reduction of Generic Missile from Elliptical Ogive Head

Jae-Ruen Shim*, Dae-Hyun Han**

요약

본 연구는 미사일 헤드와 같은 돔형의 실린더형 ogive (Cylindrical Ogive)를 타원형 ogive (Elliptical Ogive)로 대체하여 지상의 레이더로부터 미사일의 탐지확률을 줄이는 연구이다. 미사일의 RCS(Radar Cross Section)를 계산하기 위해 GTD(Geometrical Theory of Diffraction)/UTD(Uniform GTD)를 사용하였다. 향후, 형상변경에 따른 미사일 헤드의 공기역학(aerodynamics)적인 타당성 검토가 이루어져야 한다.

Abstract

An elliptical ogive head for a generic missile is proposed to reduce its detectable probability from a ground defense radar.

Numerical RCS results of a generic missile with an elliptical ogive head are evaluated using the GTD/UTD (Geometrical Theory of Diffraction/Uniform GTD). The results are compared with those of a cylindrical ogive head. In the sense of aerodynamics, the performance evaluation of an elliptical ogive head for a generic missile should be followed.

I. 서론

임의의 표적물에 Low RCS(Radar Cross Section) 기법을 적용하기 위해서는 위협영역(threat sector)을 사전에 정의하고 해당 위협영역내의 RCS를 줄

이는 형상변경(shaping)과 전파흡수체(Radar Absorbing Material)의 도포와 같은 기법을 적용한다.[1]

형상변경은 레이더로부터 입사되는 전파가 표적물에 부딪혀 원래의 레이더 방향과는 다른 방향으로 전파가 재 반사되도록 하는 기법이다. 전

* 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학부

** 동의대학교 전자공학과

파홉수체의 도포는 산란중심점(scattering center)의 국부에 전파홉수체를 도포하여 RCS를 줄이는 기법이다.

미사일과 같은 비행체의 위협영역은 지상용 레이더의 전파 입사 방향으로 정의할 수 있다. 즉, 방위각(azimuth angle)으로 ±45도, 양각(elevation angle)으로 ±20도의 위협영역을 정의할 수 있다.[2]

본 논문은 형상변경 기법을 통한 미사일 헤드의 RCS를 줄이는 연구에 관한 것으로 기존의 실린더형 ogive(Cylindrical Ogive) 헤드를 타원형 ogive(Elliptical Ogive) 헤드로 대체하면 위협영역내의 RCS를 줄일 수 있음을 보여준다.

II. 타원형 Ogive의 기하학적인 특성

그림 1은 미사일 헤드의 일부로, x축으로 a, z축으로 b의 길이를 가진다. 그림 1을 타원으로 확장하여 보면, 장축의 길이가 a+h이고, 단축의 길이가 s인 타원의 일부이다. 그림 1에서 z축을 기준하여 타원형 ogive를 회전하면 3차원의 미사일 헤드를 얻을 수 있다.

타원형 ogive의 장점은 h의 조정에 의해 두 점 (b, 0)과 (0, a)을 지나는 무수히 많은 타원이 존재한다는 것에서 유래된다. 그림 2는 z축으로 2, x축으로 1의 크기를 가지는 미사일 헤드의 단면으로 기존의 실린더형 ogive와 본 논문에서 제안하는 타원형 ogive를 비교하였다.

h에 따라 곡면 표면의 단위 법선 벡터(unit normal vector) \hat{n} 은 다음과 같이 표시된다.

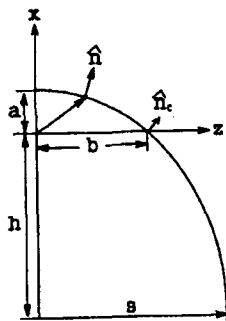


그림 1. 타원형 ogive의 구조
Fig. 1. Geometry of an Elliptical Ogive

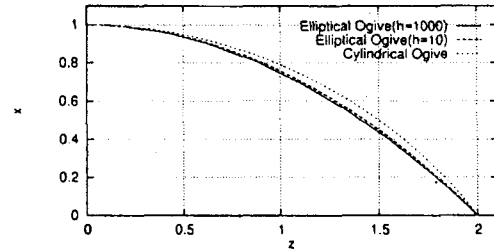


그림 2. 미사일 헤드의 모양
Fig. 2. The Shape of a Missile Head

$$\hat{n} = A [(a+h) \cos u \hat{z} + s \sin u \hat{x}] \quad \dots\dots\dots (1)$$

여기서,

$$A = \frac{1}{\sqrt{s^2 \sin^2 u + (a+h)^2 \cos^2 u}} \quad \dots\dots\dots (2)$$

$$s = \frac{b}{\sqrt{1 - \left(\frac{h}{a+h}\right)^2}} \quad \dots\dots\dots (3)$$

위의 식에서 u는 타원형 ogive를 이루는 parametric angle로 u의 변화에 의해 곡면 표면에서의 단위 법선 벡터의 각도 (θ_n^{Eli})은 다음과 같다.

$$\theta_n^{Eli} = \tan^{-1} \left[\frac{s}{a+h} \tan u \right] \quad \dots\dots\dots (4)$$

또한, 위협영역과 직접적인 관계가 있는 (b, 0)점의 단위 법선 벡터가 이루는 각도 (θ_c^{Eli})는 다음 식으로 간단히 정리된다.

$$\theta_c^{Eli} = \lim_{h \rightarrow \infty} \tan^{-1} \left[\frac{\frac{b}{a} h}{a+2h} \right] = \tan^{-1} \left(\frac{b}{2a} \right) \quad \dots\dots\dots (5)$$

실린더형 ogive인 경우 θ_n^{Cyl} 은 u이고, θ_c^{Cyl} 은 다음과 같다.

$$\theta_c^{Cyl} = \tan^{-1} \left[\frac{\frac{b}{a} - \frac{a}{b}}{2} \right] \quad \dots\dots\dots (6)$$

그림 3은 b/a의 변화에 의한 θ_c^{Eli} 와 θ_c^{Cyl} 의 변화를 보여준다. b/a의 비가 커지면 위의 식에서 의미하듯이 θ_c^{Eli} 과 θ_c^{Cyl} 은 같아지게 된다.

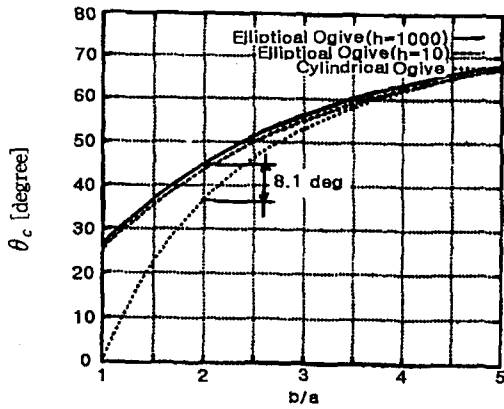


그림 3. $\frac{b}{a}$ 의 변화에 의한 θ_c^{Ell} 와 θ_c^{Cyl} 의 변화
 Fig. 3. The Change of θ_c^{Ell} and θ_c^{Cyl} due to the change of $\frac{b}{a}$

III. Radar Cross Section 계산 결과

그림 4는 타원형 ogive를 가진 단순 미사일 구조로 미사일 몸통은 길이가 d 이고 반지름이 a 인 실린더이다.

입사파의 편향이 $\hat{\theta}$ 이고 z 축과 θ_i 의 각도로 입사하는 입사파는 다음과 같다.

$$\vec{E}^i = e^{jk(x\sin\theta_i + z\cos\theta_i)} \hat{\theta} \dots\dots\dots(7)$$

본 연구에서는 미사일의 RCS를 계산하기 위해

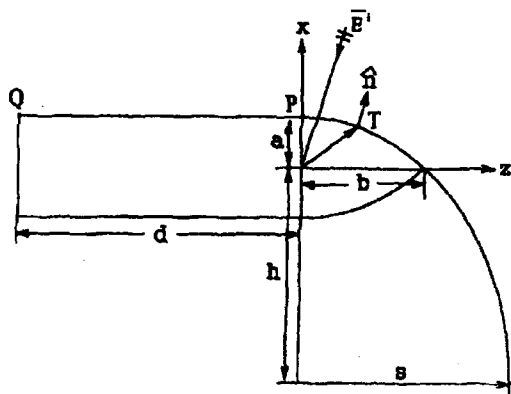


그림 4. 헤드가 타원형 ogive인 미사일
 Fig. 4. The Missile with an Elliptical Ogive Head

GTD(Geometrical Theory of Diffraction)/ UTD (Uniform GTD)를 사용한다. 이는 표적물의 구조에 따라 발생 가능한 몇 개의 산란 중심점을 찾고 이에 맞는 ray format에 의해 RCS를 예측하는 방법이다.[3-5] GTD/UTD로 미사일의 RCS를 계산하기 위해 산란 중심점을 찾아보면, 헤드부분에 ‘반사파’에 의한 산란 중심점(T점)이 발생하고, 몸통 부분에 ‘회절파’에 의한 두 개의 산란 중심점(P점, Q점)이 발생한다.

미사일의 RCS는 다음으로 계산된다.[3]

$$RCS = 10 \log_{10} \sigma \text{ [dBsm]} \dots\dots\dots(8)$$

여기서,

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|\vec{E}^T|^2}{|\vec{E}^i|^2} \dots\dots\dots(9)$$

$$\vec{E}^T = \vec{E}_T^r + \vec{E}_Q^d + \vec{E}_P^d \dots\dots\dots(10)$$

위의 식에서 \vec{E}_T^r , \vec{E}_Q^d , \vec{E}_P^d 는 식 (18), (21), (22)를 이용한다.

3.1 반사파의 계산

반사파에 대한 ray format은 다음과 같다.[5]

$$\vec{E}^r = \vec{E}^i(T) \cdot \vec{R} \sqrt{\frac{\rho_1^r \rho_2^r}{(\rho_1^r + s_r)(\rho_2^r + s_r)}} e^{-jks_r} \dots\dots\dots(11)$$

위의 식에서 $\vec{E}^i(T)$ 는 입사파가 반사점 T에 도달한 양을 나타내고, \vec{R} 는 반사점에서의 dyadic 반사계수를 나타낸다. ρ_1^r, ρ_2^r 는 반사점에서 반사파에 대한 기본곡률반지름(principal radii of curvatures)으로 반사점의 미분기하학적인 고려를 통해 계산된다. s_r 은 반사점에서 수신점까지의 거리를 나타낸다.

타원형 ogive를 갖는 헤드의 반사파를 계산하기 위해서는 우선 입사각 θ_i 에 따른 반사점을 찾아주고 그 반사점에서의 반사파에 대한 기본곡률반지름 (ρ_1^r, ρ_2^r)를 계산해 주는 작업이 뒤따라야 한다. 본 논문에서는 반사점을 찾는 최종 수식과 ρ_1^r, ρ_2^r 를 찾는 최종 결과만을 제시한다. 먼저, 반사점

$T(z_T, x_T)$ 는 다음의 관계에 의해 쉽게 계산된다.

$$z_T = (a+h) \sin u - h \quad \dots\dots\dots (12)$$

$$x_T = s \cos u \quad \dots\dots\dots (13)$$

여기서,

$$u = \tan^{-1} \left[\frac{a+h}{s} \tan \theta_i \right] \quad \dots\dots\dots (14)$$

반사점에서의 반사파에 대한 기본곡률반지름 (ρ_1^r, ρ_2^r)는 다음으로 계산할 수 있다.

$$\rho_1^r = \frac{B}{2} \frac{(a+h) \sin u - h}{\sin u} \quad \dots\dots\dots (15)$$

$$\rho_2^r = \frac{B}{2} \frac{(a+h)^2 \cos^2 u + s^2 \sin^2 u}{a+h} \quad \dots\dots\dots (16)$$

여기서,

$$B = \frac{\sqrt{s^2 \sin^2 u + (a+h)^2 \cos^2 u}}{s} \quad \dots\dots\dots (17)$$

반사점 T 에 의한 반사파의 ray format을 정리하면 다음과 같다.

$$\bar{E}_T^r = -e^{j2k(x_T \sin \theta_i + z_T \cos \theta_i)} \sqrt{\rho_1^r \rho_2^r} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{\theta} \quad \dots\dots\dots (18)$$

3.2 회절파의 계산

회절파에 대한 ray format은 다음과 같다.[5]

$$\bar{E}^d = \bar{E}^i(Q/P) \cdot \bar{D} \sqrt{\frac{\rho_d}{s_d(s_d + \rho_d)}} e^{-jks_d} \quad \dots\dots\dots (19)$$

위의 식에서 $\bar{E}^i(Q/P)$ 는 입사파가 회절현상이 일어나는 Q 점과 P 점에 도달하는 양을 나타내고 \bar{D} 는 해당 회절점의 기하학적인 측면에서 발생하는 회절계수를 dyadic으로 나타낸 것이다. ρ_d 는 해당 회절점에서 회절파에 대한 기본곡률반지름으로 회절점과 입사파의 곡률 반지름에 의해 결정되는 값이다. s_d 는 회절점에서 수신점까지의 거리이다.

그림 4의 미사일 구조에서 회절현상이 일어나는

Q 점과 P 점에서의 ρ_d 는 다음과 같다. 여기서, θ_i 는 입사파의 입사각이고 a 는 미사일 몸통의 반지름이다.

$$\rho_d(Q) = \rho_d(P) = \frac{a}{2 \sin \theta_i} \quad \dots\dots\dots (20)$$

Q 점과 P 점에 의한 회절파의 ray format을 정리하면 다음과 같다.

$$\bar{E}_Q^d = -e^{j2k(a \sin \theta_i - d \cos \theta_i)} D_h \sqrt{\frac{a}{2 \sin \theta_i}} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{\theta} \quad \dots\dots\dots (21)$$

$$\bar{E}_P^d = -e^{j2ka \sin \theta_i} D_h \sqrt{\frac{a}{2 \sin \theta_i}} \frac{e^{-jkr}}{r} \hat{\theta} \quad \dots\dots\dots (22)$$

3.3 수치 결과

그림 5는 미사일의 RCS를 계산한 결과로 주파수가 10 GHz에서 $a=1\lambda, b=2\lambda, d=10\lambda$ 인 경우이다. 실선은 미사일 헤드가 타원형 ogive인 경우이고, 가는 점선은 실린더형 ogive에 대한 결과이다. 그림에서 보듯이 타원형 ogive인 경우에는 입사각이 45° 정도에서 RCS가 급격히 증가함을 볼 수 있고 실린더형 ogive는 약 37° 근처에서 급격히 증가한다. 이는 타원형 ogive인 경우가 실린더

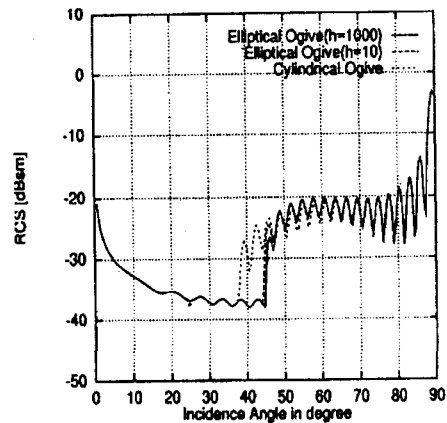


그림 5. RCS 계산 결과(주파수가 10 GHz이고, $a=1\lambda, b=2\lambda, d=10\lambda$)

Fig. 5. RCS Results of the Missile(Freq = 10 GHz, $a=1\lambda, b=2\lambda, d=10\lambda$)

형 ogive에 비해 지상의 레이더로부터 미사일이 탐지되는 위협영역이 약 8° 정도 더 작다는 것을 의미한다. 즉, 미사일이 지상의 레이더로부터 탐지될 확률이 적다는 것이다.

IV. 결 론

본 연구는 미사일 헤드의 형상(shaping)을 변경하여 위협영역(threat sectors)내의 RCS를 줄이는 연구로써, 기존의 실린더형 ogive(Cylindrical Ogive)를 타원형 ogive(Elliptical Ogive)로 대체하여 우수한 성능의 Low RCS를 얻을 수 있었다. 미사일의 RCS를 계산하기 위해 GTD(Geometrical Theory of Diffraction)/ UTD(Uniform GTD)를 사용한다. 주파수가 10 GHz에서 $a=1\lambda$, $b=2\lambda$, $d=10\lambda$ 인 미사일의 경우, 타원형 ogive인 경우가 실린더형 ogive에 비해 지상의 레이더로부터 미사일이 탐지되는 위협영역이 약 8° 정도 더 작음을 확인할 수 있었다. 향후, 형상변경에 따른 미사일 헤드의 공기역학(aerodynamics)적인 타당성 검토가 이루어져야 한다.

참고문헌

[1] A. K. Bhattacharyya and D. L. Sengupta, *Radar Cross Section Analysis and Control*, Artech House, 1991

[2] E. F. Knott, J. F. Shaeffer and M. T. Tuley, *Radar Cross Section*, Artech House, 1993

[3] P. A. Lees and M. R. Davies, "Computer Prediction of RCS for Military Targets," *IEE Proceedings*, vol. 137, Pt. F, no. 4, pp. 229-236, Aug. 1990

[4] N. N. Youssef, "Radar Cross Section of Complex Targets," *Proceedings of The IEEE*,

vol. 77, no. 5, pp. 722-734, May 1989

[5] D. A. McNamara, C. W. I. Pistorius and J. A. G. Malherbe, *Introduction to the Uniform Geometrical Theory of Diffraction*, Artech House, 1990

[6] J. D. Walton, Jr. *Radome Engineering Handbook: Design and Principles*, Marcel Dekker, 1970.



한 대 현(Dae-Hyun Han)

1986년 8월 경북대학교 전자공학(공학사)

1990년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과(공학석사)

1996년 8월 포항공과대학교 전자전기공학과(공학박사)

자전기공학과(공학박사)

1996년 8월~1999년 2월 경북대학교 전자전기공학부 국책교수

1999년 3월~현재 동의대학교 전자공학과 전임강사
주관심분야 : RF 수동 및 능동 소자 설계 및 해석



심 재 룬

1990년 2월 KAIST 전기및전자공학과 공학사

1992년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학석사

1999년 2월 포항공과대학교 전자전기공학과 공학박사

1992년 - 1995년 육군사관학교 교수부 전자공학과 전임강사

2000년 3월~현재 부산외국어대학교 전자컴퓨터공학부 전임강사

주관심분야 : 안테나 및 마이크로파 공학, RF 부품, 전파기술 등