

형상요소분석을 통한 레이더단면적의 추정

An Estimation of RCS through Configuring Element Analysis

권태준*

T. J. Kwon

신보현**

Bo-Hyun Shin

Abstract

Radar Cross Section(RCS) is a measure of how detectable an object is with a radar. A larger RCS indicates that an object is more easily detected. Informally, the RCS of an object is the cross-sectional area of a perfectly reflecting sphere that would produce the same amount of reflection strength as the object in question would.

In order to estimate RCS of aircraft weapons the external surface is modeled as a collection of simple shape elements. And the overall RCS is estimated as a vector sum of configuring elements' cross-sections which are well known given by analytic formulae. A RCS estimation code is developed for a typical shape of Air-To-Surface bombs and missiles. Size of weapons and location of fins are implemented in the code in addition to the presence of canards.

The ability to predict radar return from flying vehicles becomes a critical technology issue in the development of stealth configurations. This simplified method of RCS estimation is known to be fast and accurate enough in an optical region of high frequency incident radio wave.

Keywords : RCS(레이더단면적), Radar(레이더), Air-to-Surface Munitions(공대지무장), Configuring Element Analysis(형상요소분석), Optical Region(광학영역), High Frequency(고주파), Stealth Technology(스텔스기술)

1. 서론

레이더 단면적(RCS : Radar Cross Section)은 목표물이 레이더에 감지되는 정도를 나타내는 양으로서 단면적이 클수록 목표물이 쉽게 감지됨을 뜻한다. 목표물이 레이더 전자기 에너지를 반사할 때 레이더 원으

로 복귀되는 에너지 량이 결정되는 요인들로는 표적의 구성 물질; 표적의 절대적 크기; 표적의 조사(照射) 레이더 파장에 대한 상대적 크기; 입사각¹⁾; 반사각²⁾; 레이더 방사체의 세기; 방사체-표적-수신기 간의 거리 등이 있다. 일반적으로 RCS는 표적의 특징만을 반영한 양이므로, 이중 방사체의 세기나 거리 요인은 표적을 감지하는 면에서는 중요하나 RCS 계산시 영향을

† 2012년 5월 3일 접수~2012년 7월 20일 게재승인

* 항공우주설계통합연구센터(ADIC), 건국대학교

* 무기체계연구소, 건국대학교

책임저자 : 권태준(kwon0330@gmail.com)

1) 레이더 빔이 표적의 특정 부분에 입사하는 각으로 표적의 모양과 레이더 원의 방향에 의존

2) 반사 빔이 표적을 떠나는 각으로 입사각에 의존

미치는 요인은 아니다. 따라서 표적의 RCS는 레이더와 표적간의 방위(Orientation)에 매우 민감한 함수이며 표적의 크기, 표면 반사도(Reflectivity), 그리고 표적의 기하학적인 형태로 인한 레이더 반사의 지향도(Directivity)에 의존하는 양이다.

개념적으로 어느 목표물의 레이더 단면적이란 그 목표물과 같은 크기의 반사 에너지를 생성하는 완전 반사구(Perfectly Reflecting Sphere)의 단면적, 혹은 전송된 레이더 전력(Radar Power)을 받아서 레이더 수신기로 등방형(Isotropic)의 산란을 할 때의 효과면적으로 볼 수 있다.

비행체 레이더 단면적은 물체 주위의 전자기파(100 MHz-20GHz 주파수영역) 산란 현상의 직접적인 결과로 입사전자파 파장과 구조물의 상대적 크기에 따라 다른 접근방식이 존재한다. 산란 구조물의 크기가 입사 전자파의 파장에 비해 상대적으로 큰 경우 고주파(단파장)영역에 유효한 광학기법으로 기하광학법(GO : Geometrical Optics)과 주파수 변화를 감안한 물리광학법(PO : Physical Optics)이 있는데 광학이론을 이용하여 산란과 회절을 국소현상으로 처리할 수 있어 초도 RCS계산에 효과적이다. 그리고 상대적으로 입사파 파장보다 작은 구조물의 국소영역에는 저주파(장파장)영역에 효과적인 모멘트기법(MM : Moment Method)을 사용하는데 산란물체의 파원 전파에 관한 적분 방정식해를 이용하여 RCS를 예측하며 고주파 근사기법에 비해 정확한 예측이 가능하다. 다음으로 전자기파 현상에 관한 기본 방정식인 맥스웰 방정식(Maxwell Equation)을 직접 수치적으로 해석하여 레이더단면적을 예측하는 전산전자장(CEM : Computational Electromagnetics) 기법^[1]이 있다. CEM은 기본물리법칙에 기초한 방식이기 때문에 근사기법을 적용하기 어려운 모서리(Edge)나 틈새(Gap) 부근의 현상을 정확하게 계산할 수 있으나 기본적으로 비선형 전-자기장 방정식을 FVM 또는 FEM 등의 기법을 사용하여 표적표면의 각 격자점에 대하여 수치 적분하는 방법이므로 대단히 많은 시간의 소비와 수치적 불안정성을 내포하고 있다.

공대지임무에 쓰이는 폭탄이나 미사일과 같은 비교적 단순한 형상의 경우 부분형상 요소들의 합으로 근사시키면 간단한 계산으로 비교적 정확한 RCS의 예측이 가능하다. 본 연구에서는 그동안 많은 연구가 있어왔던 광학법이나 모멘트기법, CEM 대신 간단한 계산으로 쉽게 예측이 가능한 형상요소 분석법에 기초한 RCS예측 코드를 개발하였다.

2. 계산방법

가. 물리광학법

물리광학법은 임의의 3차원 표적에 대해 RCS를 예측할 수 있는 유용한 방법 중 하나이다. 표적의 레이더쪽 표면에 기하광학전류를 가정하고, 레이더가 조사되지 않는 영역은 전류가 흐르지 않는다는 기본가정을 한다. 이 전류를 가지고 복사 적분식을 이용하여 표적에서 떨어진 원거리 산란 전자기장을 계산한다. 물리광학법은 특히 전기적으로 큰 대상 ($L \geq 10\lambda$)에 최선의 근사치를 보여주는 방법으로서 정반사 방향(Specular Direction)의 경우 가장 정확한 예측을 보여준다.

RCS를 후방산란전기장과 입사전기장 면적밀도의 비로 정의하면 다음과 같이 수식화할 수 있다.

$$\sigma = \lim_{R \rightarrow \infty} 4\pi R^2 \frac{|\vec{E}^s|^2}{|\vec{E}^i|^2} \quad (1)$$

여기서 \vec{E}^i 는 입사 전기장(Incident Electric Field), \vec{E}^s 는 후방산란 전기장(Backscattering Electric Field)을 뜻한다. 목표대상물이 완전도체일 때 물리광학법을 적용하면^[2],

$$\vec{E}^s = \frac{2k^2 e^{jk\vec{r}}}{j\omega\epsilon 4\pi r} \int_{s'} e^{-jk\vec{r}' \cdot \vec{r}'} \{ \hat{r} \cdot (\hat{n} \times \vec{H}^i) \} - (\hat{n} \times \vec{H}^i) \} ds' \quad (2)$$

위 수식에서 \vec{k} 는 파수벡터(Wave Vector), j 는 복소수, \vec{H}^i 는 입사 자기장(Incident Magnetic Field)을 나타내며, s' 은 목표물의 표면, r' 은 면적소 ds' 에 해당하는 표면위의 점의 위치를, \hat{n} 은 그 지점에서의 단위 법선벡터를 나타낸다. 평면파(Plane Wave)를 가정하면, $\vec{E}^i = \vec{E}^0 e^{jk\vec{r} \cdot \vec{r}'}$; $\vec{H}^i = \hat{k} \times \vec{E}^i$ 이고, $\hat{r} = -\hat{k}$ 이므로,

$$\vec{E}^s = \frac{-j\epsilon e^{jk\vec{r}}}{\lambda r} \vec{E}^0 \int_{s'} e^{2jk\vec{r}' \cdot \vec{r}'} (\hat{k} \cdot \hat{n}) ds' \quad (3)$$

이제 수식 (1)과 같이 정의된 RCS 공식은 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\sigma = \frac{4\pi}{\lambda^2} |\hat{k} \cdot \vec{I}|^2 \quad (4)$$

이때

$$\vec{I} = \int_{s'} \hat{n}(\vec{r}') e^{-j2k\vec{k} \cdot \vec{r}'} ds' \quad (5)$$

결과적으로 대상 표적의 외부형상을 따라서 위 적분항을 계산하는 방법에 따라 곡면 패치법 등의 여러 수치해석 기법들이 개발되어 왔는데, 대부분의 경우 대상표적의 정확한 형상자료를 필요로 하나 표적이 균용기나 유도무기 등일 경우 자료를 구하기가 용의치 않은 문제점이 있다.

나. 형상요소분석법

목표물의 외부형상 자료를 구하기 여의치 않거나 대략적인 RCS값을 단시간에 원할 경우 대표적 기본 형

Table 1. RCS Formulae for Configuring Elements^[3]

Azimuth angle θ is measured from the surface normal (long-short dash line) of the element to the direction of wave vector \vec{k} . The angle dependency of the element's RCS formula has its maximum for head-on incident. $J_1(x)$ is a 1st kind, 1st order Bessel Function.

명칭	요소 개략도	RCS
원통		$\sigma = krL^2 \left\{ \frac{\sin(kL \sin\theta)}{kL \sin\theta} \right\}^2$
포물면		$\sigma = 4\pi k^2 r^4 \left\{ \frac{2J_1(kr \sin\theta)}{kr \sin\theta} \right\}^2$
원판		$\sigma = \pi k^2 r^4 \left\{ \frac{2J_1(2kr \sin\theta)}{2kr \sin\theta} \right\}^2 \cos^2\theta$
원뿔		$\sigma = \frac{\pi}{4k^2} \left(\frac{r}{L} \right)^4 \left\{ \frac{\sin(kL \sin\theta)}{kL \sin\theta} \right\}^2$
사각판		$\sigma = \frac{k^2}{\pi} (ab)^2 \left\{ \frac{\sin(k\sqrt{ab} \sin\theta)}{k\sqrt{ab} \sin\theta} \right\}^2$

상요소, 예를 들면 원통이나 사각판 등과 같은 형상별로 이미 알려진 레이더단면적해(식 (4~5))를 이용하여 대상 표적의 개략적 형상에 맞는 요소 성분에 대해 기하학적으로 적절히 합산해 줌으로서 RCS를 추정하는 방법이다. 본 연구에서는 단순화한 기본 형상요소의 레이더단면적공식(Table 1)을 이용하여 전체 표적의 단면적을 추정하는 방법을 취하였다.

이때 파수 k 와 파장 λ , 주파수 ν 간의 관계는, $k = \frac{2\pi}{\lambda} = \frac{2\pi\nu}{c}$ 이고 여기서 $c(= 3 \times 10^8\text{m/s})$ 는 광속이다. 표에 나와 있는 각각의 RCS공식을 보면 $RCS = [L^2]$ {방위각 종속함}로서 종괄호{ }에 묶여 있는 항은 방위각에 종속하는 무차원 양이고 그 이외의 인수들의 차원을 따져보면 길이의 제곱, 다시 말해 넓이에 해당하는 차원을 갖는 것을 알 수 있다.

다. 기본가정과 절차

모델링 가정이 Table 2에 정리되어 있다. 동체는 원통형에 십자형 날개로 단순화하였으므로 좌-우 대칭 형상이고 주시각은 동체축에 수평한 방위각으로 놓았다.

Table 2. Simplifying Assumptions for Configuring Element Analysis

분류	내용	
형상	탐색기	• 전방부: 원뿔형(폭탄) • 레이더: IR(원판)/RF(포물면) 안테나 (미사일)
	동체	원통형
	카나드/핀	• 삼각형/사다리꼴 • 십자형 배치 • 두께각 5도; 최대두께 0.5cm
좌표계	• 동체축에 대하여 대칭 • 수평방위각만 고려	
탐지주파수	X-Band: 8~12GHz, 3.75~2.5cm	

1) 대표 무장의 설정

대표 무장에 일반적으로 적용 가능한 RCS계산 코드를 개발하기 위해 몇몇 대표 무장 형상을 선택해서 형상을 일반화 하였다. 무장의 형상은 Fig. 1에서 보듯이 다음의 단순화 가정을 하였다:

- 대상 목표물은 좌-우 대칭 원통형 물체를 갖는 제반 폭탄 및 미사일로 한다.
- 탐지기 부분을 원뿔형(Ogive)으로 본다.
- 비유도폭탄의 경우 그냥 원뿔형으로 근사하고 유도무기의 경우 레이돔이라 보고 내부에 전파/적외선) 안테나를 가정한다.

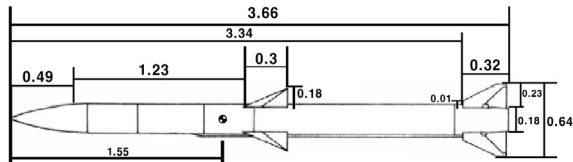
- 귀날개(Canard)와 꼬리날개(Fin)의 배치는 십자형(Cruciform)으로, 날개 단면은 끝에서 몸통쪽으로 삼각형이라 가정하고 측면형상은 직각사다리꼴 혹은 직각삼각형(팁길이가 0인 경우)으로 본다.



Fig. 1. Generic Shape of the Target Model for RCS Calculations

2) 입력자료의 예시

대표 공대지 무장중 하나인 AMRAAM의 주요제원 및 입력자료 형태가 Fig. 2에 나와 있다. 첫행의 스위치는 탐지안테나 유무를, 셋째행의 카나드스위치는 귀날개의 여부를 각각 나타내는 단락기이다.



AIM-120B/AMRAAM					
switch	주파수	주시각		개수	총길이
0(cone); 1(det)	[GHz]	최소 [도]	최대 [도]		[m]
1	10	0	180	200	3.66
탐색기					
원뿔 반경	원뿔 길이	안테나반경/원뿔반경			
[m]	[m]	[-]			
0.09	0.49	0.8			
몸체					
반경	길이	canard switch			
[m]	[m]	0: no canard			
0.09	3.17	1: canard			
귀날개 (canard)					
시위길이 (chord)	tip 길이	폭	날개 두께	날개 끝 각	앞전에서 날개 tip 까지
[m]	[m]	[m]	[m]	[도]	[m]
0.3	0	0.18	0.005	5	2.02
꼬리날개 (tail)					
시위길이 (chord)	tip 길이	폭	날개 두께	날개 끝 각	앞전에서 날개 tip 까지
[m]	[m]	[m]	[m]	[도]	[m]
0.32	0	0.23	0.005	5	3.66

Fig. 2. Dimensions and Input Data for AIM-120B

3) 전파(RF : Radio Frequency)/적외선(IR : Infra-Red)

3) AIM-120B의 RCS 계산

가) 탐지부

일반 폭탄의 경우 원뿔형으로 근사하여 공식을 사용하고, 유도무기의 경우는 레이돔으로 보고 탐지 안테나가 RF의 경우는 포물면(Parabolic)으로 IR의 경우는 원반(Circular Disk)으로 놓고 공식을 사용하였다.

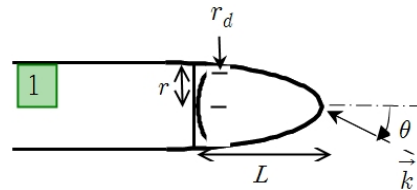


Fig. 3. Notations and Definitions of Variables at Detector (Stage 1)

안테나가 없는 경우(일반폭탄):

$$\sigma_1 = \begin{cases} \frac{\pi}{4k^2} \left(\frac{r}{L}\right)^4 & \theta = 0 \\ \frac{\pi}{4k^2} \left(\frac{r}{L}\right)^4 \left\{ \frac{\sin(kL \sin\theta)}{kL \sin\theta} \right\}^2 & \end{cases} \quad (6)$$

레이돔안에 안테나가 있는 경우(유도미사일):

$$\sigma_1 = \begin{cases} 4\pi k^2 r_d^4 / \pi k^2 r_d^4 & \theta = 0 \\ 4\pi k^2 r_d^4 \left\{ \frac{2J_1(kr_d \sin\theta)}{kr_d \sin\theta} \right\}^2 & RF(\text{포물면}) \\ \pi k^2 r_d^4 \left\{ \frac{2J_1(2kr_d \sin\theta)}{2kr_d \tan\theta} \right\}^2 & IR(\text{원반}) \end{cases} \quad (7)$$

나) 몸체

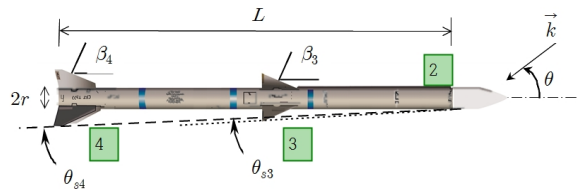


Fig. 4. Measuring Dimensions of Body(Stage 2) and Retreat/Shade Angles of Canards(Stage 3)/Fins (Stage 4)

몸체 부분은 원통형으로 근사해도 무난한데 단, 공식에 나와 있는 주시각 대신 주시각의 여각을 사용해야 하므로 다음과 같이 된다.

$$\sigma_2 = \begin{cases} krL^2 & \theta = 0 \\ krL^2 \left\{ \frac{\sin(kL \sin(\pi/2 - \theta))}{kL \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2 & 0 < \theta \leq \pi \end{cases} \quad (8)$$

다) 날개

무장의 전면에서 볼 때 귀날개나 꼬리날개 모두 좌/우측에 한 개씩 날개전단(LE : Leading Edge)이 보이고 아래/위에 삼각형 또는 사다리꼴 형태의 평판 한 쌍이 관측된다(Fig. 1 참조). 이때 날개측면(모서리)반사는 원통으로 아래/위 날개는 한 쌍을 합해서 직사각형관으로 근사시킨다. 위에서 관측시 반시계 방향으로 돌면서 보면 $\theta = 0 \sim \theta_s$ 구간에서는 우측 귀날개/꼬리날개는 모두 보이나 좌측 날개는 동체에 가려지면서 점차 날개의 LE가 선형적으로 감소하다가, $\theta = \theta_s$ 를 지나면서 오직 우측의 날개만 보이게 된다. 또한 사다리꼴형의 날개의 경우 팁 부분의 반사도 역시 원통형으로 근사시킨다. Fig. 5에서 c 는 시위길이, w 는 날개 폭, t 는 팁길이, L_t 는 무장 탐지부원뿔끝에서부터의 길이를 각각 나타낸다.

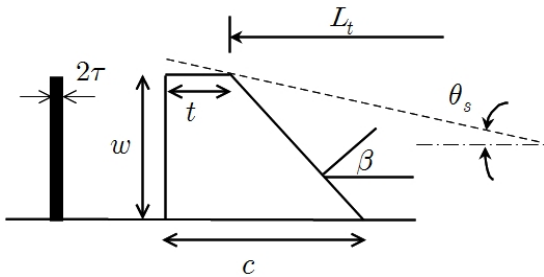


Fig. 5. Dimensions and Retreat/Shade Angles of a Fin

한편, 음영각(Shadow Angle) θ_s 와 후퇴각(Swept Angle) β 는,

$$\begin{aligned} \theta_s &= \tan^{-1} \left(\frac{w}{L_t} \right) \\ \beta &= \tan^{-1} \left(\frac{c-t}{w} \right) \end{aligned} \quad (9)$$

마찬가지로 정의해주면 후방 음영각(Backward Shadow Angle) θ_{sb} 은

$$\theta_{sb} = \tan^{-1} \left(\frac{w}{L_{tot} - L_t - t} \right) \quad (10)$$

그리고 LE는

$$LE = \sqrt{(c-t)^2 + w^2} \quad (11)$$

주시각 구역별 3단계 귀날개와 4단계 꼬리날개에 대해 통합⁴⁾ RCS공식은

① $\theta = 0^\circ \sim \theta_s$:

$$\begin{aligned} \sigma_{3:4} &= k\tau LE^2 \left\{ \frac{\sin(kLE \sin(\theta - \beta))}{kLE \sin(\theta - \beta)} \right\}^2 \\ &+ k\tau LE'^2 \left\{ \frac{\sin(kLE' \sin(\theta + \beta))}{kLE' \sin(\theta + \beta)} \right\}^2 \\ &+ k\tau t^2 \left\{ \frac{\sin(kt \sin(\pi/2 - \theta))}{kt \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (12)$$

여기서

$$LE' = LE \left(1 - \frac{\theta}{\theta_s} \right) \quad (13)$$

② $\theta = \theta_s \sim \frac{\pi}{2}$:

$$\begin{aligned} \sigma_{3:4} &= k\tau LE^2 \left\{ \frac{\sin(kLE \sin(\theta - \beta))}{kLE \sin(\theta - \beta)} \right\}^2 \\ &+ k\tau t^2 \left\{ \frac{\sin(kt \sin(\pi/2 - \theta))}{kt \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (14)$$

③ $\theta = \frac{\pi}{2} \sim \frac{\pi}{2} + \beta$:

$$\begin{aligned} \sigma_{3:4} &= k\tau LE^2 \left\{ \frac{\sin(kLE \sin(\theta - \beta))}{kLE \sin(\theta - \beta)} \right\}^2 \\ &+ k\tau t^2 \left\{ \frac{\sin(kt \sin(\pi/2 - \theta))}{kt \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2 \\ &+ k\tau w^2 \left\{ \frac{\sin(kw \sin(\pi - \theta))}{kw \sin(\pi - \theta)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (15)$$

④ $\theta = \left(\frac{\pi}{2} + \beta \right) \sim (\pi - \theta_{sb})$:

$$\begin{aligned} \sigma_{3:4} &= k\tau t^2 \left\{ \frac{\sin(kt \sin(\pi/2 - \theta))}{kt \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2 \\ &+ k\tau w^2 \left\{ \frac{\sin(kw \sin(\pi - \theta))}{kw \sin(\pi - \theta)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (16)$$

4) 카나드/핀의 RCS는 각각에 해당하는 매개변수들만 틀리고 같은 공식을 적용할 수 있다.

⑤ $\theta = (\pi - \theta_{sb}) \sim \pi :$

$$\begin{aligned} \sigma_{3;4} = & k\tau t^2 \left\{ \frac{\sin(kt \sin(\pi/2 - \theta))}{kt \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2 \\ & + k\tau w^2 \left\{ \frac{\sin(kw \sin(\pi - \theta))}{kw \sin(\pi - \theta)} \right\}^2 \\ & + k\tau w'^2 \left\{ \frac{\sin(kw' \sin(\pi - \theta))}{kw' \sin(\pi - \theta)} \right\}^2 \end{aligned} \quad (17)$$

여기서

$$w' = w \left(\frac{\theta - \theta_{sb}}{\pi - \theta_{sb}} \right) \quad (18)$$

위에서 L_{tot} 는 목표물의 전체 길이, 2τ 는 귀날개/꼬리날개의 평균 두께, 그리고 프라임부호가 붙은 물리량은 몸체에 의해 가려지는 면쪽의 날개 LE를 나타낸다.

이제 여기에 상하로 나있는 날개의 RCS 기여 부분(평판공식)을 더해주면,

$$\begin{aligned} \sigma_{3;4} = & \sigma_{3;4} + \frac{k^2}{\pi} [(c+t)w]^2 \times \\ & \left\{ \frac{\sin(k\sqrt{(c+t)w} \sin(\pi/2 - \theta))}{k\sqrt{(c+t)w} \sin(\pi/2 - \theta)} \right\}^2; \quad 0 \leq \theta \leq \pi \end{aligned} \quad (19)$$

위 수식들에서 $\sigma_{3;4}$ 는 3단계/4단계 모두 해당 날개에 해당하는 치수들만 바꾸어 주면 동일한 공식을 적용할 수 있는 통합식임을 뜻한다.

라) 목표물의 RCS

목표물의 총 RCS는 각각의 구성요소들의 기하학적 의미의 합으로 다음과 같이 정의 하였다[4].

$$\sigma(k, \theta) = \left(\sum_{i=1}^4 \sqrt{\sigma_i} \right)^2 = (\sqrt{\sigma_1} + \sqrt{\sigma_2} + \sqrt{\sigma_3} + \sqrt{\sigma_4})^2 \quad (20)$$

이때 σ_i 는 위에서 구한 각 구성요소의 RCS이고 귀날개가 없는 무장의 경우는 $\sigma_3 = 0$ 로 놓는다. 그리고 $\theta = \theta_{min}$ 부터 $\theta = \theta_{max}$ 까지의 주시각 평균값은,

5) 각 요소의 길이성분합의 제곱. 레이더단면적 최대치임.

$$\bar{\sigma}(k) = \frac{1}{\theta_{max} - \theta_{min}} \int_{\theta_{min}}^{\theta_{max}} \sigma(k, \theta) d\theta \quad (21)$$

총 RCS는 목표물의 형상이 정해지면 주시각과 파수(따라서 주파수)의 함수로 식 (20)을 통해 계산되며, 이를 주시각에 대해 적분평균해준 양을 평균 RCS로 놓는다(식 (21)).

3. 계산결과

제원이 잘 알려진 무장들의 RCS도표와 주시각 평균 RCS 값을 계산해 보면 Fig. 6에서와 같다. 항공무장의 RCS도표의 특징은 측면(주시각 90도와 270도 부근)에서 매우 큰 단면적을 보이고 주시각 30도나 330도 근방과 후방(180도)에서 작은 돌출 값을 보인다. 측면에서 보이는 돌출 값은 몸체에 의한 정반사(Specular Reflection)와 꼬리날개(와 귀날개)에 의한 정반사 때문이며 30도나 330도 근방의 작은 돌출 값은 날개의 전단(Leading Edge)에 의한 정반사효과라고 여겨진다. 귀날개를 갖고 있는 AMRAAM의 경우는 30도 근방에서 두 개의 돌출된 값을 갖는 것을 알 수 있다.

또한 유도무기의 경우(우측도표) 전방에서 보이는 매우 큰 돌출부(Lobe)는 포물면(RF)/평판(IR)으로 모형화한 탐지레이더에 의한 반사파로서 평균 레이더단면적 증가에 큰 기여를 함을 알 수 있다. ((a)와 (b) 비교시 평균 RCS 약 8배 증가)

참고로 전형적인 레이더단면적은 유도탄 RCS = 0.5 m², 전술전투기 RCS = 5~100 m², 전폭기 RCS = 10~1,000 m², 그리고 함정 RCS = 3,000~10⁶ m² 등이다[5].

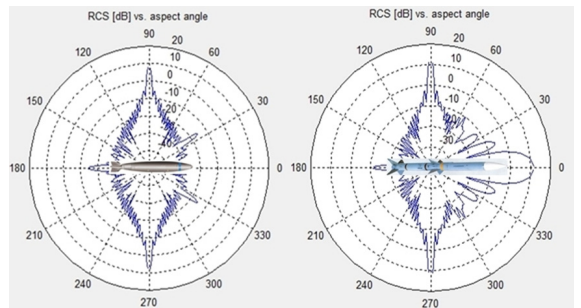


Fig. 6. RCS Polar Diagrams of Widely-Used Munitions
 (a) Mk-82 ($\langle \sigma \rangle = 0.09 \text{ m}^2$; $\langle \text{dB} \rangle = -10.3$)
 (b) AIM-120B ($\langle \sigma \rangle = 0.73 \text{ m}^2$; $\langle \text{dB} \rangle = -1.4$)

4. 결론 및 고찰

본 연구에서 사용한 형상요소 분석을 통한 표적의 레이더 단면적 예측법은 다음과 같은 가정과 제한점들을 갖는다.

- 고주파 광학 전파영역에만 적용가능하다.
- 축대칭의 원통형 몸체에 십자형 날개를 갖는 표적에 한정한다.
- 전기적 완전도체(Electrically Perfect Conductor)이다.
- 표면조도(粗度, Roughness)나 물질막(Material Layer) 효과는 제외한다.
- 1차 산란만 고려하며 2차 산란이나 지면효과(Ground Effect)등은 고려하지 않는다.
- 회절이나 표면파와 같은 국소현상은 무시한다.
- 몸체에 의해 날개가 가려지는 효과만 고려한다.
- 정면($\theta = 0$) RCS의 경우 나타나는 특이점(Singular Point)⁶⁾을 제외시키기 위해 날개(평판)의 경우 몸체 연결부위에서 날개끝 방향으로 약 5도 정도의 경사각을 가정하였다.
- 전체 레이더 단면적 계산시 최대추정치 공식(식 20)을 사용한다.

위의 여러 제한사항에도 불구하고 본 연구에서 사용한 예측법이 유용하다고 여겨지는 이유는 다음과 같다.

- 일반적으로 가장 흔한 형상을 갖는 폭탄/미사일의 경우 자세한 형상자료 없이 단시간에 RCS 예측이 가능하다.
- 단순화 형상요소별로 해석한 값을 사용하므로 오히려 수치적분보다 정확하다.

비행체로부터 반사되어오는 레이더신호를 예측하는 능력은 스텔스 형상개발에 있어서 가장 중요한 기술 중 하나이다. 본 연구에서 개발한 형상요소 분석법은 고주파 광학 레이더영역에 있어서 간단히 단시간에 개략적인 RCS를 예측하는데 유용한 방법이 될 것으로 예상된다.

그러나 형상요소 분석법의 경우 고주파 영역에만 유효하므로 저주파수 영역을 포함한 형상특성, 모서리 회절, 전자파 흡수재 효과 등을 다룰 수 있는 기본 전자기 파방정식(Full Maxwell Equation)에 기초한 삼차원 CEM 코드 개발이 향후 연구주제가 될 것으로 예상된다.

References

- [1] Myong, Rho Shin, and Cho, Tae Hwan, "Development of a Computational Electromagnetic Code for Radar Cross Section Calculations of Flying Vehicles", Journal of Korean Society for Aeronautical and Space Sciences, 33, Vol. 4, pp. 1~6, 2005
- [2] Zhao et al., "Modeling with NURBS Surfaces Used for the Calculation of RCS", Progress in Elettromagnetics Research, PIER 78, pp. 49~59, 2008.
- [3] Knot et al., "Radar Cross Section", Artech House, Inc., Norwood, MA, 1985.
- [4] Fuhs, Allen E., "Radar Cross Section Lectures", Department of Aeronautics, Naval Postgraduate School, Monterey, CA.
- [5] Lee et al., "Radar Engineering and Applications in Electronic Warfare", Daeyoung Pub., Seoul, Korea, 2006.

6) Table 1 참조

7) Fig. 2의 입력자료 중 날개 끝각