

## 항공기용 전파흡수 구조 연구

한원재\* · 장병욱\* · 박정선\*\*

### A Study on Radar Absorbing Structure for Aircraft

Won-Jae Han\* · Byung-Wook Jang\* · Jung-Sun Park\*\*

#### ABSTRACT

The purpose of this study is to define available microwave absorbing structure for aircraft from in the X-band(8.2~12.4GHz) frequencies. The electromagnetic wave absorption or shielding techniques is an important issue not only for military purpose but also for commercial purposes. Aircraft Radar Absorbing Structure(RAS) is absorbed or scattered propagation waves from the enemy radar. There are absorbing technologies at shaping design techniques and using Radar Absorbing Materials(RAM). RAM is more important because shaping design can't include perfect radar absorbing performance. In this study, based on material properties was introduced RAM and to analyze the each characteristics. Finally, we comparison appropriate RAM for aircraft.

Key Words: RCS(radar cross section), RAM(radar absorbing material), RAS(radar absorbing structure), X-band

#### 1. 서 론

최근 항공기 설계기술 및 전자장비의 발전으로 유사시 생존성을 높일 수 있는 스텔스 기술(stealth technology)이 군용 항공기의 핵심적인 기술로 부각되고 있다. 특히 최근의 추세가 고성능 전자 장비에 기반을 둔 전자전(electric warfare)의 형태로 변해 감에 따라 스텔스 기술은 그 중요성이 더욱 강조 되고 있다. 스텔스 기술이란 레이더 탐지(radar detecting), 적외선 신호 탐지(infra-red detecting), 음향 탐지(acoustic detecting)등 적의 탐지 장비에 쉽게

발각 되지 않도록 각종 신호들을 축소 혹은 통제하는 기술을 말한다. 이 중 적의 레이더에서 발생하는 전자파를 흡수 또는 산란시켜 레이더 포착면적(radar cross section, RCS)을 감소시키는 기술은 스텔스 기술 중 가장 중요한 기술이라 할 수 있다. 항공기 구조 설계를 통한 스텔스 기술은 크게 구조물의 형상을 조절하여 입사파가 수직 반사되거나 돌아가는 것을 막는 반사파 감소 형상설계(shaping design) 기술과, 동체 및 날개에 전파흡수 재료(radar absorbing material)를 삽입하여 흡수 또는 상쇄 시키는 방법으로 분류 될 수 있다. 형상설계 에서는 항공기 외부 형상을 간략화 하고 불연속면을 줄임으로서 레이더 포착 면적을 크게 줄일 수 있다.

\* 학생회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과

\*\* 정회원, 한국항공대학교 항공우주 및 기계공학과  
연락처, E-mail: [Jungsun@kau.ac.kr](mailto:Jungsun@kau.ac.kr)

최신 항공기에서 외장무기를 동체 내부에 적재하는 것도 형상설계의 일환이다. 하지만 항공기의 외형은 비행성능의 보장을 위해 제한되는 경우가 많아 추가적인 레이더 포착면적의 감소를 위해서는 전파흡수 구조에 대한 연구가 요구된다. 또한 최근 들어 전자 및 통신기기의 수요가 확산되고 응용분야가 많아짐에 따라 전자파 간섭에 의한 오작동이나 유해 전자파 차단을 위한 차폐 재료로서 전파흡수 구조 및 재료에 대한 관심이 더욱 고조 되고 있다[1]. 따라서 본 논문에서는 전파흡수 구조에 대한 이론 및 재료 특성과 효과에 대하여 연구하였다.

## 2. 전자파 흡수 이론

### 2.1 산란 메커니즘

항공기의 주요 산란 메커니즘(scattering mechanism)은 Fig. 1과 같으며, 반사(reflection), 회절(diffraction), 크리핑파(creeping wave), 표면파(surface wave), 불연속면에서의 산란 등이 주요 산란요소이다. 회절은 물체의 모서리에서 산란되는 현상이고, 크리핑파는 굴곡 된 표면을 따라 전파(propagation)되는 파를 나타낸다. 표면파는 물체 표면을 따라 흐르다 불연속 지점이나 재료의 변경지점에서 산란을 일으키는 것을 의미한다. 이 중 정반사(specular reflection)는 레이더 포착 면적에 있어서 가장 지배적인 요소로서, 형상설계를 통해 반사 각도를 조절 하고, 전파흡수 구조를 이용하여 감소 되도록 설계된다.

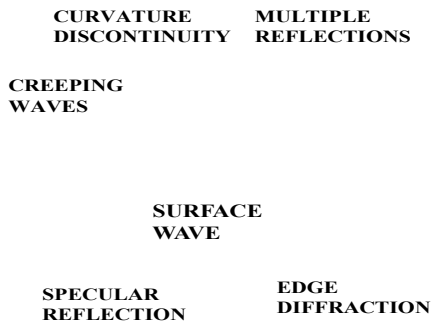


Fig. 1 Illustration scattering mechanism

### 2.2 레이더 포착 면적

레이더 포착 면적은 Fig. 2와 같이 매질에 입사되는 에너지와 단위 각도 당 반사되는 에너지의 비로 정의할 수 있다. 즉 단면적  $\sigma$ 를 가진 어떤 대상에  $P_i$ 의 강도로 전자파가 입사 되었을 때, 물체 내부로 입사되는 에너지는  $\sigma P_i$ 가 된다. 이 에너지가 등방성으로 재 방사되는 강도는 식 (1)로 나타내어진다. 이때의 레이더 포착 면적은 식 (2)와 같이 정의된다[2].

$$P_s = \frac{\sigma P_i}{4\pi r^2} \tag{1}$$

$$\sigma = 4\pi r^2 \frac{P_s}{P_i} \tag{2}$$

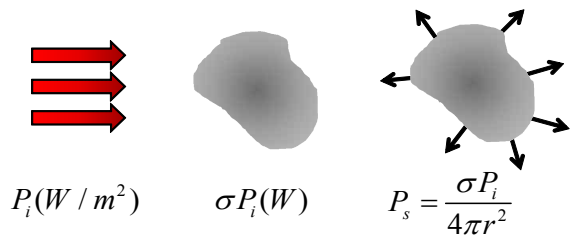


Fig. 2 Definition of radar cross section

### 2.2 전파의 반사, 투과

전자파(electromagnetic wave)는 전기장과 자기장의 상호 작용으로 전파 되는 에너지로서, 일반적으로 공기 중에 진행되는 전자파가 다른 매질을 만나게 되면 Fig. 3과 같이 일부는 반사 되고 일부는 투과된다. 전파의 투과 및 반사 특성은 물질의 전기적, 자기적 특성을 나타내는 유전율(permittivity), 투자율(permeability)에 의하여 결정된다. 유전율은 물체가 전기를 함유할 수 있는 양을 나타내며 다음 식 (3)과 같이 복소항으로 정의한다.

$$\epsilon_r = \epsilon_r' - \epsilon_r'' \tag{3}$$

$\epsilon_r$ 은 공기 중의 유전율( $\epsilon_0$ )과의 비유전율을 나타낸다. 실수 항은 함유 할 수 있는 전기력의 양

이고, 허수항은 분자들이 재배열 되며 마찰에 의해 열로 손실되는 에너지를 나타내는 유전손실항(dielectric lossy component)이다. 자기가 물체를 투과 할 수 있는 정도를 나타내는 투자율도 유전율과 마찬가지로 복소항으로 나타내어지며 다음 식 (4)로 표현된다[3].

$$\mu_r = \mu_r' - j\mu_r'' \quad (4)$$

유전율과 투자율은 전파흡수 구조체 설계의 기본적인 요소이며, 유전율과 투자율의 비인 임피던스( $Z$ )에 의하여 매질 경계에서의 반사계수( $S$ )와 투과계수( $T$ )가 정의된다. 임피던스, 반사계수, 투과계수는 각각 식 (5), 식 (6), 식 (7)과 같다.

$$Z = \frac{|E|}{|H|} = \sqrt{\frac{\epsilon_r}{\mu_r}} \quad (5)$$

$$S = \frac{Z_2 - Z_1}{Z_2 + Z_1} \quad (6)$$

$$T = \frac{2Z_2}{Z_2 + Z_1} \quad (7)$$

여기서  $Z_1$ 과  $Z_2$ 는 각각 매질 1과 매질 2의 임피던스 이다[4].

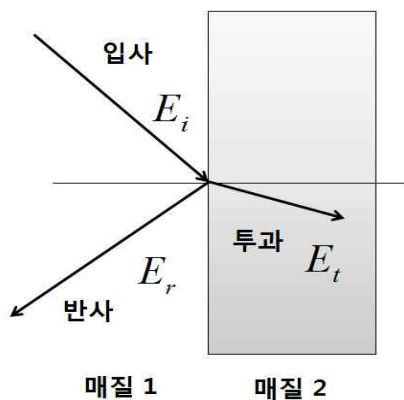


Fig. 3 Reflection and transmission

### 2.3 전파흡수 원리

자유공간의 전자기파는 거의 감쇠하지 않지만

흡수체와 같은 매질에서 전파되는 경우 매질의 전자기적 특성에 따라 감쇠하게 된다. 전파 흡수체를 이용하는 방법에는 항공기 표면에 도료나 코팅 재료를 이용하는 방법과 구조물 자체에 전파흡수 재료를 삽입하여 전자파를 흡수하는 방법이 있다. 전파흡수체의 특성은 식(8)과 같은 입력 임피던스로 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = Z_0 \frac{Z_d + Z_c \tanh \gamma d}{Z_c + Z_d \tanh \gamma d} \quad (8)$$

여기서  $\gamma$ 는 전파정수,  $Z_c$ 는 흡수체의 임피던스,  $d$ 는 흡수체의 두께이다. Fig. 4와 같은 단층형 전파흡수체의 경우 금속판에서의 임피던스  $Z_d$ 는 0이기 때문에, 입력임피던스  $Z_{in}$ 은 식 (9)로 나타낼 수 있다. 여기서  $\lambda$ 는 파장 길이 이다.

$$Z_{in} = Z_c \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left( j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \right) \quad (9)$$

흡수체 표면에서 반사계수가 0이 되기 위한 조건은 입력 임피던스와 흡수체 임피던스가 같을 경우이기 때문에, 식 (9)는 식 (10)과 같이 정리된다. 이것을 무반사 조건식이라 부른다[5].

$$1 = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh \left( j \frac{2\pi d}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \right) \quad (10)$$

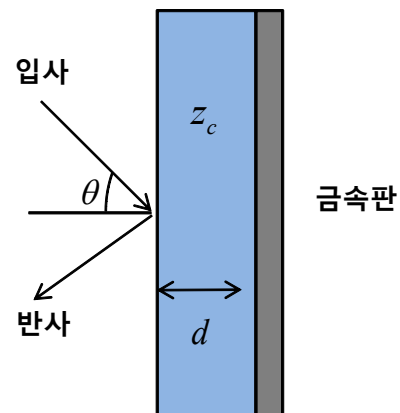


Fig. 4 Single-layered RAS

Figure 5와 같은 다층형 구조에서는 매질들 간의 다중 반사가 일어나지만, 단층형의 경우와 마찬가지로 전송선로 이론을 적용하여 내부에서의 특성 임피던스를 구하면 식 (11)과 같다.

$$Z_{in,n} = Z_n \frac{Z_d + Z_{cn} \tanh \gamma d}{Z_{cn} + Z_d \tanh \gamma d} \quad (11)$$

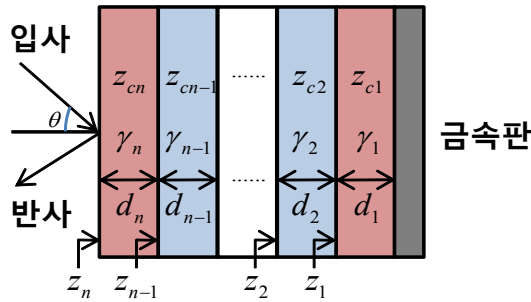


Fig. 5 Multi-layered RAS

### 3. 전파흡수 재료

전자파를 흡수하는 재료들은 각각의 특성에 따라 크게 도전체, 유전체, 자성체의 세 종류로 나누어지며, 이 재료들을 혼합한 혼합형 전파흡수 재료로 나뉘어진다. 유전손실과 도전손실은 서로 다른 것 이지만, 고주파의 경우 매질의 복소 유전율의 허수부가 유전율의 허수 항과 도전율의 항으로 나타남으로 둘을 따로 생각할 수

없다. 유전손실재료는 입사되는 전기장을 감소시켜 전파흡수를 하며 카본블랙, 탄소 단섬유, 탄소나노튜브 등을 epoxy등에 혼합하여 사용되어진다[7]. 유전손실 재료가 입사되는 전기장에 의해 손실을 일으킨다면, 자성손실재료는 입사되는 자기장에 의해 손실이 일어나게 된다. 자성손실 재료의 경우 Ni, Zn, Mn, Co 등을 이용하여 ferrite를 조성한다. 자성손실 재료는 주로 고무 등에 혼합되어 시트(sheet)형태나 코팅 재료 형태로 제조되며, MHz범위에서 전파흡수율이 높아 낮은 주파수 대역에서의 전파 흡수 및 차폐 재료로 가장 많이 쓰이는 재료이다[8,9]. 혼합형 전파흡수 재료는 유전성 및 자성을 함께 띄는 단일 손실재료와, 이종의 재료를 혼합하여 만든 이중 손실재료로 분류 할 수 있다[10, 11]. Table 1 에 각각의 특성별 대표적인 전파흡수 재료의 특성을 정리 하였다.

다층형 전파흡수 구조의 기본이 되는 단층형 전파흡수체에 대한 전파흡수 성능을 비교 분석한 결과, 단일 특성을 가진 유전성 흡수체, 자성 흡수체는 일정 주파수에서 최대 흡수값이 높았다. 혼합형 흡수체는 최대 흡수값이 단일 특성 흡수체에 비하여 낮았지만 비교적 넓은 흡수 대역폭을 보였다.

단층형 전파흡수체는 일정 주파수 대역에서만 최대 흡수 성능을 보인다는 단점이 있다. 따라서 단층형 전파흡수체들을 이용하여 다층형 전파흡수 구조를 설계 할 경우 다중의 주파수 영

Table 1 Reflection loss characteristic with single-layered microwave types in X-band

Type	Filler	Matrix	Loss peak(dB)	f(GHz)	d(mm)	10dB BW(GHz)
Dielectric	Carborn black	Epoxy	35	10	2.7	9~12
	CNF	Epoxy	35	10	2.16	9~12
	MWNT	Epoxy	68	10	2.37	9~13
Magnetic	Cabonyl iron	Polychloro prene	39	9	1.5	8.0~11
	MnZn ferrite	Rubber	44	10.2	2.91	8.0~12.5
Hybrid	Ni-N coated CNT	Epoxy	21.89	11.4	1	8.0~9.6
	NiCF and SCF	Polyester	24.41	10	2.71	8.2~12.4
	NiCF and MWCNT	Polyester	19.03	10	1.89	8.2~12.5
	Fe/Fe3C and MWCNT	-	12.5	9	2	8~10.8

역에서 최대 흡수 성능을 가지는 전파흡수 구조를 설계 할 수 있다.

#### 4. 결 론

본 연구의 목적은 전파흡수 구조체의 기본적인 원리를 설명하고, 군용 주파수인 X-band 대역에 적합한 전파흡수 구조에 대한 기초 연구를 하는데 있다. 전파흡수 구조를 완성하기 위해서는 레이더 포착 면적 감소 형상설계가 수반 되어야 하며, 전파흡수 재료의 사용이 필수적이다. 도료나 시트 형태의 전파흡수 재료는 취급이 용이하다는 장점이 있으나, 전파흡수 성능이 떨어지고 항공기의 무게를 증가시키며 유지보수의 필요성이 있다는 단점이 있다. 최근에는 복합재료에 전파흡수 성능이 뛰어난 재료를 첨가하여 기존의 문제점들을 극복하고 우수한 기계적 성질을 가지는 다층형 전파흡수 구조에 대한 연구가 진행되고 있다. 다층형 전파흡수 구조는 단층형 전파흡수체 보다 다중의 주파수 영역에서 높은 흡수 성능을 가질 수 있다는 장점이 있다. 항공기용 전파흡수체는 전파흡수 성능 외에도, 넓은 흡수 대역폭, 강도, 두께, 무게 등이 고려되어야 한다. 그렇기 때문에 이러한 변수들을 이용하여 다층형 구조에 대한 최적설계가 수행되어야 한다.

#### 5. 참 고 문 헌

- [1] 김성수, “전파흡수체의 동작원리 및 응용”, 한국자기학회지”, 제4권, 제3호, 1994, pp 285-292.
- [2] David C. Jenn, Radar and Laser Cross Section Engineering, AIAA, 2005
- [3] David Cheng, Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison-Wesley Professional, 1993,
- [4] David M. Pozar, Microwave Engineering, WILEY, 2004.
- [5] 김동일, 전파흡수체 공학, 대영사, 2006.
- [6] J. B. Kim, S. K. Lee, “Comparison study on the effect of carbon nano materials for single-layer microwave absorbers in X-band”, Composites Science and Technology, 2008, 68(14): 2909-2916.
- [7] M. S. Pinho, M. L. Gregori, “Performance of radar absorbing materials by waveguide measurements for X- and Ku-band frequencies”, European Polymer Journal 38(11), 2002, 2321-2327.
- [8] D. Y. Kim, Y. C. Chung, T. W. Kang, and H. C. Kim, “Dependence of Microwave Absorbing Property on Ferrite Volume Fraction in MnZn Ferrite-Rubber Composites”, IEEE Trans. Magnetics, 1996, 32, 555-8.
- [9] D. Zhao, X. Li, “Microwave absorbing property and complex permittivity and permeability of epoxy composites containing Ni-coated and Ag filled carbon nanotubes”, Composites Science and Technology 68(14), 2007, 2902-2908.
- [10] I. Rosa, A. Dinescu, “Effect of short carbon fibers and MWCNTs on microwave absorbing properties of polyester composites containing nickel-coated carbon fibers”, Composites Science and Technology 70(1), 2010, 102-109.
- [11] Xu, P., X. Han, “A study of the magnetic and electromagnetic properties of  $\gamma$ - $Fe_2O_3$ -multiwalled carbon nanotubes (MWCNT) and  $Fe_2Fe_3c$ -MWCNT composites”, Materials Chemistry and Physics 114(2-3), 2009, 556-560.