
RF 스텔스 효과를 위한 밀리미터 RAM 개발

최창묵* · 임봉택* · 고광섭*

Development of RAM in Millimeter Wave Range for RF Stealth

Chang-Mook Choi* · Bong-Taeck Lim* · Kwang-Soob Ko*

요 약

본 논문은 상대방으로부터 탐지를 최소화시키는 스텔스 기술을 분석하고, 대부분의 레이더 반사 단면적 감소는 형상화로부터 기인되며, 특별한 부위에는 RAM을 이용하여 최소화 시키는 것을 확인하였다. 따라서 RF 스텔스를 위한 밀리미터파 대역의 레이더 반사 단면적을 최소화시키는 측면에서 94 GHz에서 전파흡수량 17 dB로 98%를 흡수하는 RAM을 설계 및 제작하였다. 결과적으로 개발된 RAM을 플랫폼에 적용시 상대방으로부터 레이더 탐지거리를 62% 축소시키는 효과를 얻을 수 있다.

ABSTRACT

In this paper, stealth technology, which minimizes detection from the enemy, was analyzed and it was confirmed that Most RCS reduction comes from shaping and in specific parts, by applying RAM. Therefore, we designed and manufactured RAM that absorbs 98% of electromagnetic wave at 94 GHz with 17dB of radar absorption property to minimize RCS at millimeter wave range. As a result, we had 62% reduction in the detection range from the enemy by using developed RAM.

키워드

Absorption property, RAM, RCS, Stealth technology

I. 서 론

스텔스 기술이란 상대방의 탐지센서로부터 생존을 보장하기 위해 신호의 크기를 차단 또는 축소하는 기술로서 주요 위협신호 분야는 레이더, 적외선, 음향신호 등으로 이중에서도 레이더 반사 단면적(Radar Cross Section)을 최소화 하는 것이 핵심 기술로 알려져 있다 [1], [2].

레이더 반사 단면적을 최소화하는 전자파 기술은 두 가지의 방법으로 발전해 왔다. 그 중 하나는 플랫폼의 표면을 형상화 하는 것이며, 다른 하나는 전체적이나 부분적으로 표면에 RAM(Radar Absorbing Materials)을 이용하는 것이다[3].

대부분의 레이더 반사 단면적의 감소는 형상화로부터 기인되며, RAM을 필수불가결한 장소에 이용함으로써 레이더 반사 단면적을 더욱 최소화하는 역할을 수행한다.

그럼으로 본 논문에서는 레이더 단면적을 최소화하기 위한 밀리미터파 RAM을 개발하기 위하여 연구가 수행되었다.

일반적으로 전파를 흡수하기 위해 RAM에 사용되는 손실재료는 GHz 대역에서는 ferrite 같은 자성손실 재료를 이용하여 연구가 많이 수행되고 있으며, 특히 MnZn ferrite나 NiZn ferrite 같은 soft ferrites와 Sr ferrite나 Ba ferrite 같은 hard ferrites가 GHz 대역에서 자기적 손실이 증가되어 전파흡수체 재료로서 널리 이용되고 있고[4], 밀리미터파 대역에서는 카본, Permalloy, TiO2 등을 이용하여 연구되고 있다[5], [6].

따라서, 본 논문에서는 유전손실재료인 이산화티탄을 이용하여 밀리미터파에 최적화된 RAM을 설계 및 제작하였다.

II. 스텔스 기술

2.1 개요

스텔스 기술이란 상대방의 탐지센서로부터 생존을 보장받기 위해 신호의 크기를 차단 또는 축소하는 기술을 말하며, 스텔스 기술 중에서 주요 위협신호 분야는 레이더, 적외선, 음향신호 등이 있으며, 이중에서도 레이더

반사 단면적(RCS; Radar Cross Section)을 최소화 하는 것이 핵심 기술로 알려져 있다.

2.2 레이더 반사 단면적

레이더(RADAR)는 Radio Detection And Ranging의 머리글자를 모은 약어로 그 어원에서도 알 수 있는 봐와 같이 좁은 빔폭을 갖는 지향성 안테나를 통하여 전자파를 방사하여 임의의 물체에서 반사되는 반사파를 수신함으로써 송수신간의 시간차를 측정하여 표적까지의 거리를 계산할 수 있는 센서 시스템이다.

레이더 반사 단면적은 표적의 레이더 신호를 레이더 수신기 방향으로 반사시키는 표적특성의 측정기준으로써 레이더에서 표적까지의 거리(R)와 레이더 송신기로부터 방사되어 표적에 입사된 전력밀도(Pi)와 표적으로부터 반사되는 전력(Ps)의 비율인 식(1)과 같이 나타낼 수 있다.

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

레이더 반사 단면적은 1 m²의 단면적을 갖는 구면체로부터 반사된 신호크기를 기준으로 하여 상대의 반사 신호의 크기를 상대적으로 표현한 것으로 그림 1과 같이 나타낼 수 있다.

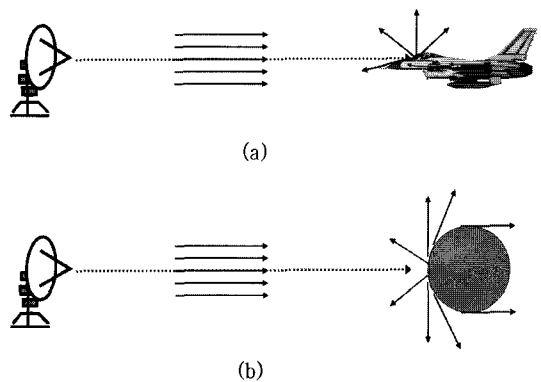


그림 1. 레이더 반사 단면적의 개념도
 (a) 플랫폼(항공기, 배 등) (b) RCS 1m²의 구면체
 Fig. 1 Concept of radar cross section
 (a) platform(aircraft, ship) (b) sphere of RCS 1m²

2.3 레이더 반사 단면적 감소기술

레이더 반사 단면적을 감소시키는 전자파 기술은 두 가지의 방법으로 플랫폼의 레이더 반사 단면적을 감소시키기 위하여 발전해 왔다. 그 중 하나는 플랫폼의 표면을 형상화 하는 것이며, 다른 하나는 전체적 또는 부분적으로 표면에 RAM (Radar Absorbing Materials)을 이용하여 붙이는 것이다.

대부분의 레이더 반사 단면적의 감소는 형상화로부터 기인되면, RAM을 필수불가결한 장소에 적용함으로써 레이더 반사 단면적을 더욱 최소화하는 역할을 수행한다.

레이더 반사 단면적을 감소시키는 중요성은 레이더의 거리 또는 전력방정식을 살펴보면 식(2)와 같은 관계가 있다.

$$R^4 = \frac{P_t G A_e \sigma}{(4\pi)^2 S_{min}} \tag{2}$$

여기서, P_t 는 레이더 송신 출력, G 는 안테나 이득, A_e 는 수신안테나 유효면적, S_{min} 은 최소탐지신호를 나타낸다.

식(2)에서 알 수 있듯이 $R^4 \propto \sigma$ 또는 $d^{1/4} \propto R$ 의 관계가 있다[7].

III. RAM 설계 이론

그림 2의 두께 d 인 RAM에서 입사파와 반사파의 반향손실(Return Loss)은 식 (3)처럼 나타낼 수 있다[8], [9].

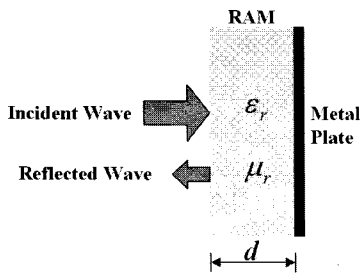


그림 2. RAM
Fig. 2 Radar absorbing material

$$RL = -20 \log_{10} \left| \frac{z-1}{z+1} \right| \text{ [dB]} \tag{3}$$

평면파의 수직입사에 대한 정규화 입력임피던스 z 는 식 (4)처럼 주어진다[10], [11].

$$z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r} \tanh \left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d \right)} \tag{4}$$

여기서, λ 는 입사한 평면파의 자유공간상의 파장이며, ϵ_r 은 복소 비유전율(ϵ/ϵ_0), μ_r 은 복소 비투자율(μ/μ_0)이다. 또한 완벽한 RAM이 되기 위해서는 $z = 1$ 이 되는 것으로 식(5)와 같다.

$$\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r} \tanh \left(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d \right)} = 1 \tag{5}$$

IV. 측정 및 결과

4.1 RAM 샘플 제작

본 논문에서는 RAM의 주재료로 유전손실재료인 TiO_2 를 사용하였으며, 바인더로서 CPE (chlorinated polyethylene)를 사용하였다.

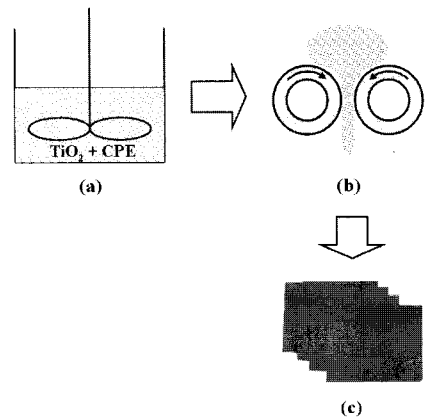


그림 3. RAM 제작과정 (a) 혼합, (b) 롤링, (c) 시트
Fig 3. Manufacturing process of RAM
(a) mixing, (b) rolling, (c) sheet

RAM 제작과정은 먼저 Mixer에서 카본과 CPE를 조성비별 혼합하고, 본 연구실에서 자체 제작한 Open Roller를 이용하여 70 °C의 일정한 온도[12]에서 두께 1 mm, 2 mm의 Sheet형 RAM 샘플을 제작하였다. 그림 3은 RAM 제작과정이다.

4.2 측정 시스템

자체 제작된 RAM 시료를 테스트 지그에 삽입한 후 그림 4와 같이 Anritsu사의 ME7808A Vector Network Analyzer에 연결하여 S-parameter를 측정하였다. 그리고 측정 데이터를 1-port method인 $l-2l$ 법[13]을 이용하여 계산된 복소비유전율 ϵ_r 을 이용하여 RAM을 설계하였다.

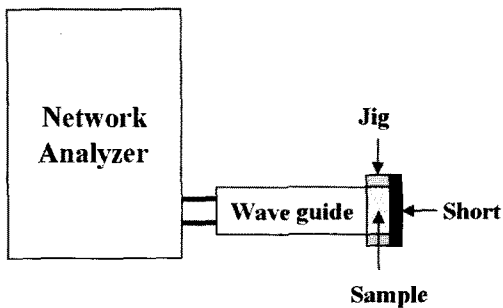


그림 4. 측정시스템
Fig. 4 Measurement system

4.3 측정결과 분석

샘플의 복소 비유전율로부터 최적의 조성비 $TiO_2 : CPE = 70 : 30$ wt.%를 선정하고 94 GHz용 RAM을 설계한 결과, 상용주파수 94 GHz에서 두께 1.45 mm로 20 dB 이상의 레이더 신호를 흡수하는 RAM을 설계하였으며, 설계결과서는 그림 5에 나타내었다.

설계결과를 토대로 RAM을 실제 제작하여 측정한 결과 그림 5와 같이 흡수능 17 dB 이상으로 측정되었다.

결과적으로 개발된 RAM을 플랫폼에 적용할 경우, 레이더 신호 흡수율은 98 %로서 식(2)에 적용해 보면 탐지거리 감소율은 그림 6과 같이 약 62 %로서 레이더 탐지거리 100 NM 기준, 38 NM로 축소되는 효과가 있다.

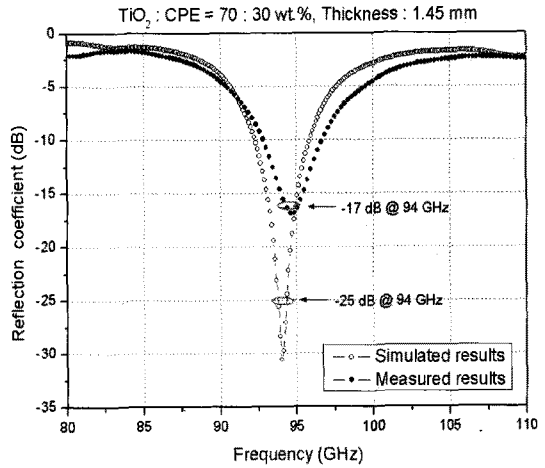


그림 5. 시뮬레이션과 실측 반사계수 비교
Fig. 5 Simulated and measured reflection coefficients

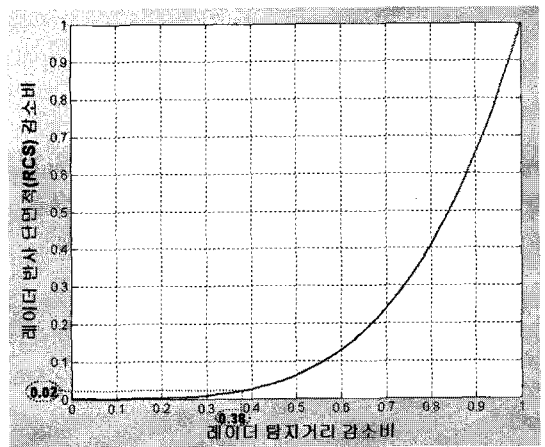


그림 6. 레이더 반사 단면적 감소에 따른 탐지거리 감소비
Fig. 6 RCS reduction versus Detection range reduction

V. 결 론

본 논문은 상대방의 탐지센서로부터 생존을 보장받기 위해 신호의 크기를 차단 또는 축소하는 스텔스 기술을 분석하고 레이더 반사 단면적을 최소화 시키는

것이 핵심 기술임을 토대로 RF 스텔스를 위한 밀리미터파 RAM을 설계하여 개발하였다.

이산화티탄을 이용한 밀리미터파 RAM은 94 GHz에서 전파흡수능 17 dB로 98%의 전자파 에너지를 흡수하며, 함정이나 항공기 같은 플랫폼에 적용시 탐지거리가 약 62% 감소하는 즉, 탐지거리 100NM 기준 38NM으로 축소되는 효과가 있다.

참고문헌

- [1] David Lynch Jr., *Introduction to RF STEALTH*, Scitech, 2004.
- [2] Eugene F. Knott et. al., *RADAR CROSS SECTION, 2nd ed.*, Scitech, 2004.
- [3] Francisco Saez de Adanna et al., "Method Based on Physical Optics for the Computation of the Radar Cross Section Including Diffraction and Double Effects of Metallic and Absorbing Bodies Modeled With Parametric Surfaces," *IEEE Trans. Aatennas Propagat.*, vol.52, no.12, pp.3295-3303, Dec. 2004.
- [4] Jae-Man Song et al., "Dependence of electromagnetic wave absorption on ferrite particle size in sheet-type absorbers," *J. Korea Phys. Soc.*, vol.42, no.5, pp.671-675, May 2003.
- [5] 김동일, 최창목, 고광섭, "ITS의 차량 충돌방지 레이더용 전파흡수체 개발," *전자공학회 논문지*, 제 43권, TC편 제9호, pp.1-5, 2006.
- [6] Dong Il Kim, Chang-Mook Choi, Rui Lie, and Dae Hee Lee, "A Study on Electromagnetic Wave Absorber for W-Band Radars Using Permalloy," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.E90-B, No.8, pp. 2138-2142, Aug. 2007.
- [7] Craig M. Payne, *Principles of Naval Weapon Systems*, Naval Institute, 2006.
- [8] T. Soh, O. Hashimoto, "A Study on Millimeter-Wave Absorber Coating for V Band and W Band," *IEICE Trans. Commun.*, Vol.J84-B, No.8, pp. 1401-1556, Aug. 2001.
- [9] David M. Pozer, *Microwave Engineering, 3rd ed.*, J. Wiley & Sons, 2005.
- [10] O. Hashimoto, *Introduction to Wave Absorber*, Morikita Shuppan, Tokyo, 1997.
- [11] 김동일, *전파흡수체 공학*, 대영사, 2006.
- [12] Sang-Hyun Moon et al., "Development of composite Ba ferrite EM wave absorbers for GHz frequency," *J. Korea Electromag. Engin. Soc.*, vol.14, no.12, pp. 1329-1334, Dec. 2003.
- [13] Y. Naito, *Electromagnetic Wave Absorbers*, New Ohm, Tokyo, 1987.

저자소개



최창목(Chang-Mook Choi)

1996년 해군사관학교 기계공학과 (공학사)
2001년 군사과학대학원
해양공학과 (공학석사)

2008년 한국해양대학교 전파공학과 (공학박사)
2003년~현재 해군사관학교 교수

※관심분야: 전파/위성항법, 전파흡수체 설계, EMI/EMC 대책



임봉택(Bong-Taeck Lim)

1981년 해군사관학교
국제관계학과 (문학사)
2001년 한국해양대학교
해양운송학과 (공학석사)

2000년 한국해양대학교 물류시스템공학과(공학박사)
2000년~현재 해군사관학교 교수

※관심분야: 항해학, 선박조종론, 물류시스템, 퍼지이론 및 시스템 평가



고광섭(Kwang-Soob Ko)

1979년 해군사관학교 (공학사)
1983년 한국해양대학교(공학석사)
2008년 미 클락슨대 전자공학과
(공학박사)

1983년~2008년 해군사관학교 교수

2008년~현재 해군대학 명예교수

2009년~현재 해군사관학교 명예교수 및 강의교수

※관심분야: 전파/위성항법, 해양통신