

論文

섬유강화 복합재료를 이용한 반원통형 전자파 흡수구조의 설계 및 제작

장흥규*, 신재환*, 김천곤**, 신상훈***, 김진봉****

Design and Fabrication of Semi-cylindrical Radar Absorbing Structure using Fiber-reinforced Composites

Hong-Kyu Jang*, Jae-Hwan Shin*, Chun-Gon Kim**, Sang-Hun Shin***, and Jin-Bong Kim****

ABSTRACT

The stealth technology can increase the survivability of aircrafts or warships and enhance the capability of mission completion in hostile territory. The purpose of this paper is to present the low observable structure with curved surfaces made by fiber-reinforced composites and to show the possibility of developing omnidirectional stealth platforms for military applications. In this study, we developed a radar absorbing structures(RAS) based on a circuit analog absorber to reduce the radar cross section(RCS) of an object with curved surfaces. Firstly, the RAS with a periodic square patterned conducting polymer layer was designed and simulated using a commercial 3-D electromagnetic field analysis program. Secondly, the designed semi-cylindrical structure with low RCS was fabricated using fiber-reinforced composites and conducting polymer. To make the periodic pattern layer, acts as resistive sheet, the intrinsic conducting polymer paste containing PEDOT with a polyurethane binder was used. Finally, the radar cross section was measured to evaluate the radar absorbing performances of the fabricated RAS by the compact range facility in POSTECH.

초 록

스텔스 기술은 적진에서 항공기나 함정의 생존 가능성을 향상시키고 임무 수행 능력을 향상시킬 수 있다. 본 논문의 목적은 섬유강화 복합재료를 이용하여 하중지지 가능한 곡면부 형상을 갖는 저피탐지 구조를 제안하고 군사적 활용을 위한 전방위 스텔스 플랫폼의 개발 가능성을 보여주는 것이다. 본 연구에서는 곡면을 갖는 물체의 레이더 반사면적을 줄이기 위해서 기존의 circuit analog 흡수체에 기반을 둔 전자파 흡수구조를 개발하였다. 먼저 상용 3차원 전자기장 해석 프로그램을 이용하여 사각 주기격자 패턴의 전도성 고분자 층을 갖는 전자파 흡수구조를 설계하고 성능을 해석하였다. 다음으로 섬유강화 복합재료와 전도성 고분자 재료를 이용하여 설계된 반원통형 전자파 흡수구조를 제작하였다. 저항성 시트로 작용하는 주기격자 패턴층을 제작하기 위해서 PEDOT를 기반으로 하여 폴리우레탄을 바인더로 갖는 전도성 고분자 페이스트를 사용하였다. 마지막으로 제작된 RAS의 전자파 흡수 성능을 평가하기 위해 POSTECH의 compact range 장비를 이용하여 레이더 반사면적을 측정하였다.

Key Words : 섬유강화 복합재료(fiber-reinforced composites), 전자파 흡수구조(radar absorbing structures), 전도성 고분자(conducting polymer), Circuit analog 흡수체(circuit analog absorber), 레이더 반사면적(radar cross section)

* KAIST 기계항공시스템학부 항공우주공학전공 대학원

**+ KAIST 기계항공시스템학부 항공우주공학전공, 교신저자(E-mail:cgkim@kaist.ac.kr)

*** 국방과학연구소 1기술3부1그룹

**** 한국기계연구원 부설 재료연구소 복합재료연구그룹

1. 서론

스텔스 기술(stealth technology)은 적의 지상, 해상 및 항공기 탐재무기로부터 아군의 항공기나 함정 등의 무기체계가 탐지될 수 있는 확률을 낮추기 위한 종합적 기술이다. 특히 그 중에서도 적의 레이더가 발생시키는 전자기파(electromagnetic wave, EM)를 흡수 또는 산란시켜 포착되지 않도록 하는 기술은 오늘날 저피탐지 기술(low observable technology) 중 가장 핵심이라 할 수 있다. 이러한 저피탐지 특성은 군사용 항공기나 함정 등의 생존 가능성과 임무 수행 능력을 향상시킬 뿐만 아니라 전쟁의 승패를 좌우하는 주요 성능으로 평가되고 있다.

오늘날 대부분의 군사용 항공기의 경우 적의 탐색 레이더에 의한 탐지를 피하기 위해 전파교란(jamming)이나 스텔스 형상 설계(stealth shape design), 전자기파 흡수재료(radar absorbing materials, RAM) 등의 적용을 통해서 레이더 반사면적(radar cross section, RCS)을 효과적으로 감소시키고 있다. 여기서 레이더 반사면적(σ)이란 간단히 레이더가 쏘아 보낸 전자기파가 대상물에 반사되어 돌아온 레이더 신호 크기의 비로 정의되며 다음과 같이 나타내어진다[1].

$$\sigma = \lim_{r \rightarrow \infty} 4\pi r^2 \frac{|E^{scat}|^2}{|E^{inc}|^2} \quad (1)$$

이 식에서 r 은 레이더로부터 목표물까지의 거리이고 E^{inc} 은 레이더에서 목표물로 입사되는 전자기파의 세기이며, E^{scat} 은 목표물로부터 거리 r 만큼 떨어진 곳에서 측정된 산란된 전자기파의 세기를 의미한다.

오늘날 F-15나 F-22 같은 4, 5 세대급전투기의 경우 전자기파가 입사되는 전면 방향에 대해 $1 \sim 0.001 \text{ m}^2$ 의 유효 반사면적(σ_{m2})을 갖는다. 특히 물체가 갖는 RCS가 작을수록 적의 레이더에 의한 탐지 확률이 낮으며, 일반적으로 스텔스 전투기를 판별하는 기준으로 0.01 m^2 크기의 유효 반사면적이 사용되고 있다. 하지만 탐지 레이더의 입사 방향이 항공기의 정면이 아닌 측면이나 배면 등으로 달라지거나, 또는 모노스테틱 레이더가 아닌 바이스테틱 레이더가 사용될 경우 항공기의 동체와 날개의 곡면 부분이나 상반각을 이룬 부분은 전자기파의 큰 반사체로 역할하고 RCS 및 피탐지 확률 증가의 원인으로 작용한다[2]. 여기서 모노스테틱 레이더(monostatic radar)란 일반적으로 사용되는 군사용 레이더로 송신부와 수신부가 함께 있는 시스템이며, 바이스테틱 레이더(bistatic radar)는 송신부와 수신부가 거리를 두고 분리되어 있는 시스템을 말한다.

본 연구에서는 이러한 문제를 해결하기 위해 섬유강화 복합재료와 전도성 고분자 재료를 이용하여 하중 지지가 가능

한 곡면을 갖는 반원통형의 레이더 흡수구조(radar absorbing structures, RAS)를 설계 제작하고, 레이더 반사면적의 측정을 통해서 제작된 RAS의 전자파 흡수 성능을 평가하였다.

2. 반원통형 RAS의 설계

2.1 Circuit analog 흡수체

기존의 전자파 흡수 연구에서는 대부분 유전, 자성 손실 재료와 같은 나노필러(nano filler)를 활용하여 전자파 흡수 구조를 개발해왔다. 그러나 이와 같은 나노입자 손실재료를 사용하게 될 경우, 첨가량과 분산도에 따른 전자기적 물성을 제어하기 어렵고 손실재료로 인한 무게 증가와 기계적 물성 저하를 가져올 수 있다는 단점이 있다. 본 연구에서는 이러한 문제점을 보완하고, 다양한 적용성과 효율성을 고려하여 전도성 고분자 재료로 구성된 저항성의 circuit analog 층을 갖는 전자파 흡수구조를 연구하였다.

본 논문에서는 곡면부를 갖는 반원통형 구조의 전자파 흡수 특성을 구현하기 위해서 circuit analog 흡수체(CA absorber)의 원리를 적용하였다. CA 흡수체는 간단히 Fig. 1에서 보듯이 유전층으로 분리된 저항성 시트와 전반사층으로 구성되며, Salisbury screen과 Jaumann absorber 같은 공진형 흡수체의 흡수대역과 흡수성능을 향상시킬 수 있다[3]. 특히 전자파 흡수 특성의 경우 손실재료로 제작된 저항성 시트에 의해서 구현되며, 사각형과 원형, 십자형 등 다양한 패턴 형상이 주기적 배열로써 적용 가능하다. 이러한 주기적 패턴이 배열된 저항성 시트의 경우 입사되는 전자기파에 대해서 다양한 전자기적 특성을 보이며, 저항(resistance, R)과 인덕턴스(inductance, L), 커패시턴스(capacitance, C)로 구성된 등가회로로 표현될 수 있다[4].

특히 연구에서 사용된 circuit analog 흡수체의 경우 임피던스(impedance, Z)는 아래 식(2)에서처럼 R 과 L , C 의 함수로, 각 변수들의 조합에 따라 다양한 임피던스 구현 및 전자파 흡수 특성의 조절이 가능하다[5].

$$Z = R + j\omega L + \frac{1}{j\omega C} \quad (2)$$

여기서 저항(R)은 사용된 손실재료의 전기전도도와 코팅 두께로 조절되며, 인덕턴스(L)와 커패시턴스(C)의 경우는 주기적 패턴의 형상과 배열, 간격 등에 따라 조절될 수 있다. 따라서 이러한 흡수체의 조건에 맞는 다양한 전기전도도 및 패턴 형상의 조절이 가능하고 코팅 및 인쇄가 용이한 전도성 고분자 재료는 CA 흡수체의 저항성 시트 손실재료로 매우 적합하다고 할 수 있다[6].

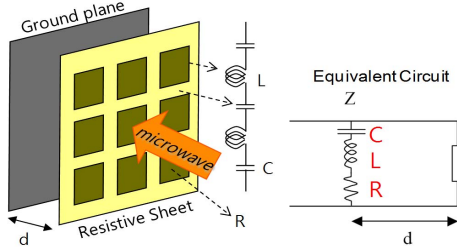


Fig. 1 Circuit analog absorber and equivalent circuit.

2.2 주기격자 패턴층의 설계 및 해석

본 연구에서는 곡면부를 갖는 반원통형의 전자파 흡수구조를 설계하기 위해서 사각 패턴이 주기적으로 배열된 손실 circuit analog 층을 갖는 단순한 평판형의 RAS를 설계하였다. 또한 해석을 통해서 설계된 주기격자 패턴 층의 전자파 흡수 성능을 평가하고, 추후 반원통형의 흡수구조에 적용하기 위한 주기격자 패턴을 설계 하였다.

먼저 흡수체를 효율적으로 설계하기 위해서 패턴의 형상을 정사각형으로 한정하고, 설계 목표 주파수를 X-band(8.2 ~ 12.4 GHz)의 10 GHz로 설정하였다. 또한 상용 3-D 전자기장 해석 프로그램(CST-MWS)의 파라미터 sweep 기능을 이용하여 목표 주파수에서 최적의 전자파 흡수 성능을 갖는 설계 변수들의 조합을 도출 하였다. 설계 변수로는 흡수체의 두께와 패턴의 크기, 간격 그리고 전도성고분자 재료의 물성 등 이다.

아래 Fig. 2에서 설계된 평판형 RAS의 사각 주기격자 패턴의 단위격자 크기는 4 mm x 4 mm이고, 격자 사이 간격이 2 mm로 설계 되었다. 또한 전반사층을 제외한 흡수체의 두께는 2.7 mm로, glass fiber/epoxy가 사용되었다. 특히 전반사층으로 사용된 carbon fiber/epoxy의 경우 두께가 0.5 mm로, 식(3)에 의해 계산된 skin-depth(δ) 약 20 μ m보다 훨씬 크기 때문에 전자파 흡수구조의 반사층으로 사용되기 충분함을 확인 할 수 있다[7]. 기타 자세한 RAS의 설계 형상 및 설계 값들은 아래 Fig. 2와 Table 1을 참고한다.

$$\delta = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} (m) \quad (3)$$

참고로 식에서 사용된 목표 주파수(f)는 10 GHz이고 투자율(μ)은 $4\pi \times 10^{-7}$ H/m, 전기전도도(σ)는 약 60000 S/m 이다.

본 논문에서는 설계된 평판형 RAS의 전자파 흡수 성능을 평가하기 위해서 반사손실(reflection loss, RL)과 레이더 반사면적 해석을 수행하였다. 아래 Fig. 3의 해석 결과에 따르면 설계된 RAS는 목표 주파수인 10 GHz에서 반사손실이 -30 dB로 입사하는 전자기파의 99.9%를 흡수하며, 반사손실이 -10 dB인 90% 흡수대역은 5.0 GHz(8.3 ~ 13.3 GHz)로 전체 X-band를 포함하는 성능을 갖는다.

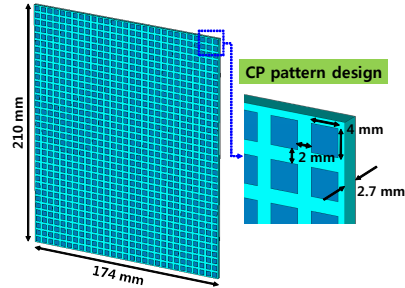


Fig. 2 Detailed design of flat plate RAS.

Table 1 Design parameters and properties

Parameters & Properties	
Glass fiber/Epoxy	$\epsilon' = 4.3 / \epsilon'' = 0.03$
Carbon fiber/Epoxy	$\sigma = 60000$ S/m
Substrate Thickness	2.7 mm
Ground Thickness	0.5 mm
Conducting Polymer	$\sigma = 1300$ S/m
CP Thickness	8 μ m

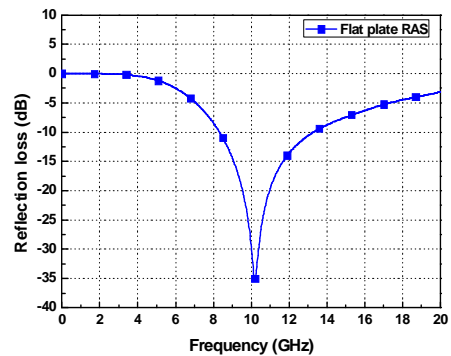


Fig. 3 RL simulation result of flat plate RAS.

아래 Fig. 4의 레이더 반사면적 해석 결과에 따르면, 설계된 평판형 RAS는 같은 크기를 갖는 비흡수체인 graphite epoxy(plain weave carbon/epoxy composite)와 비교해서 목표 주파수인 10 GHz에서 12.1 dBsm에서 -7.2 dBsm으로 RCS가 대략 98.8 % 감소되는 효과를 보였다. 또한 Table 2를 보면 전체 X-band에서 RCS가 최소 8 GHz에서 86.2 % 감소하고, 최대 10 GHz에서 98.8 % 감소되는 결과를 보인다.

특히 레이더 반사면적은 아래 식(4)에 의해 유효 반사면적(σ_{m2})으로 변환 될 수 있으며, 이때 기준 값인 σ_{ref} 는 1 m²를 갖는다[1].

$$\sigma_{dBsm} = 10 \cdot \log_{10} \left(\frac{\sigma_{m2}}{\sigma_{ref}} \right) \quad (4)$$

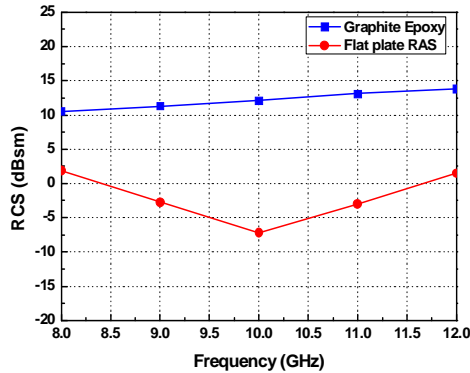


Fig. 4 RCS simulation result of flat plate RAS.

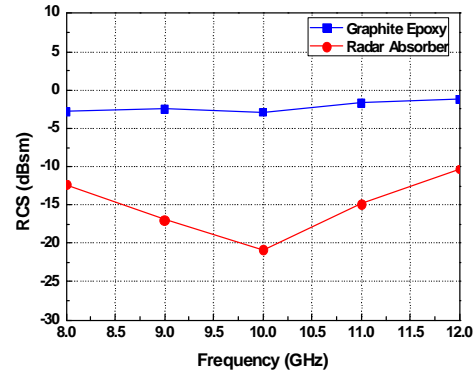


Fig. 6 RCS simulation result of semi-cylindrical RAS.

Table 2 Simulation result of RCS in X-band

Frequency	Graphite Epoxy	Flat plate RAS	Absorption
8 GHz	10.5 dBsm (11.22 m ²)	1.9 dBsm (1.55 m ²)	86.2 %
9 GHz	11.3 dBsm (13.49 m ²)	-2.7 dBsm (0.54 m ²)	96.0 %
10 GHz	12.1 dBsm (16.22 m ²)	-7.2 dBsm (0.19 m ²)	98.8 %
11 GHz	13.1 dBsm (20.42 m ²)	-3.0 dBsm (0.50 m ²)	97.5 %
12 GHz	13.8 dBsm (23.99 m ²)	1.5 dBsm (1.41 m ²)	94.1 %

2.3 반원통형 RAS의 설계 및 해석

저피탐지 특성을 갖는 반원통형의 전자파 흡수구조를 설계하기 위해서 2.2절의 해석을 통해 전자파 흡수 성능이 검증된 사각 주기격자 패턴을 반원통형 구조에 적용하고, 상용 3-D 전자기장 해석 프로그램(CST-MWS)을 이용하여 흡수 성능을 평가하였다. 설계된 반원통형 RAS의 크기는 높이 210 mm에 지름이 170 mm이며, 흡수체의 두께는 전반사층을 제외한 2.7 mm로 설계 되었다. 또한 단위 주기격자의 크기는 4 mm x 4 mm이고 격자 사이 간격이 2 mm로, 기타 자세한 RAS의 설계 형상 및 설계 값들은 Fig. 5와 Table 3을 참고한다.

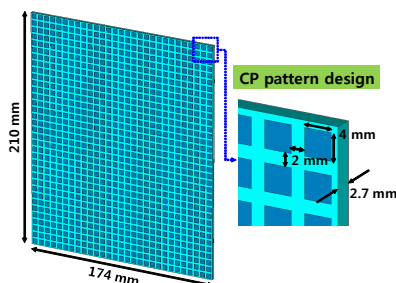


Fig. 5 Detailed design of semi-cylindrical RAS.

설계된 반원통형 RAS의 전자파 흡수 성능을 평가하기 위해 레이더 반사면적 해석을 수행하였다. 위 Fig. 6의 해석 결과에 따르면 설계된 RAS는 목표 주파수인 10 GHz에서 같은 크기와 형상을 갖는 비흡수체와 비교해 설계 목표 주파수인 10 GHz에서 -2.9 dBsm에서 -20.8 dBsm으로 RCS가 대략 98.4 % 감소되는 효과를 보였다. 또한 Table 3을 보면 전체 X-band에서 RCS가 최소 12 GHz에서 87.7 % 감소하고, 최대 10 GHz에서 98.4 % 감소되는 결과를 보인다.

결론적으로 해석 결과에 따르면 설계된 사각 주기격자 패턴 층을 갖는 반원통형의 전자파 흡수구조는 목표 주파수에서 입사하는 레이더 신호를 효과적으로 흡수하여, 구조물의 레이더 반사면적을 감소시킴을 확인 할 수 있다.

Table 3 Simulation result of RCS in X-band

Frequency	Graphite Epoxy	Radar Absorber	Absorption
8 GHz	-2.8 dBsm (0.52 m ²)	-12.4 dBsm (0.06 m ²)	89.0 %
9 GHz	-2.4 dBsm (0.58 m ²)	-17.0 dBsm (0.02 m ²)	96.5 %
12 GHz	-1.2 dBsm (0.76 m ²)	-10.3 dBsm (0.09 m ²)	87.7 %

3. 반원통형 RAS의 제작

3.1 복합재료 반원통 구조의 제작

본 논문에서는 반원통형의 구조물을 제작하기 위해 우수한 기계적, 전자기적 물성을 갖는 섬유강화 복합재료를 이용하였다. 섬유강화 복합재료를 이용하여 설계된 구조물을 정확히 제작하기 위해서는 복합재료의 compaction 현상에 대한 사전 실험 및 자료가 요구된다. Compaction 현상은 복합재 프리프레그(prepreg)를 적층하여 고온고압의 조건에서 성형할

경우, 적층수가 선형적으로 증가할 때 구조물의 두께는 비선형적으로 증가하는 현상을 말한다. 즉 정확한 구조물의 제작을 위해서는 먼저 실험을 통해 복합재 프리프레그의 장당두께(thickness per ply, TPP)를 계산하고 역으로 설계된 두께를 제작하기 위해 필요한 프리프레그 장수를 산출하게 된다.

본 연구에서는 전자파 흡수구조의 유전층(substrate)으로 유리섬유 강화 복합재료를 사용하고 전반사층으로 탄소섬유 강화 복합재료를 사용하였다. 사용된 제품은 (주)SK 케미칼에서 제작된 GEP118과 WSN3K 제품으로 TPP를 얻기 위한 사전 실험의 결과는 아래 Fig. 7을 참고한다. 실험에 따르면 유리섬유/에폭시 복합재인 GEP118의 경우 적층수의 증가에 따라 TPP가 0.129 mm로 수렴하며, 탄소섬유/에폭시 복합재인 WSN3K의 경우 TPP가 0.195 mm로 수렴한다. 아래 Fig. 7의 값들을 바탕으로 앞의 2.3절에서 설계된 구조물을 제작하기 위해서 필요한 각 프리프레그의 장수를 역으로 산출하면, 두께 2.7 mm인 유전층을 만들기 위해서 21장의 GEP118이 필요하고, 두께 0.5 mm인 전반사층을 만들기 위해선 2장의 WSN3K가 필요함을 알 수 있다.

다음으로 오토클레이브를 이용한 성형 공정을 통해서 설계된 반원통형의 복합재 구조물을 제작하였다. 아래 Fig. 8은 제작 공정으로 알루미늄 몰드에 유리섬유/에폭시복합재료와 탄소섬유/에폭시 복합재료를 순서대로 적층하고 진공백 작업 후 고온고압의 경화 조건에 따라 성형 작업을 수행하였다. 본 연구에서 최종적으로 제작된 복합재 구조물의 두께는 거의 3.2 mm이며, 유전층의 두께는 2.71 mm로 설계와 0.01 mm의 오차가 있고 전반사층의 두께는 0.48 mm로 설계와 0.02 mm의 제작 오차가 발생하였다.

3.2 전도성 고분자 주기격자 패턴의 제작

본 논문에서는 주기격자 패턴 층을 제작하기 위해서 전도성 고분자 재료를 사용 하였다. 전도성 고분자는 합성 방식에 따라 전도도의 조절이 가능하고 코팅 및 인쇄가 용이하여 새로운 전자파 흡수 재료로 다양한 연구가 수행 되고 있으며, CA 흡수체의 저항성 시트 손실재료로 매우 적합하다[8].

3.1절에서 제작된 복합재 반원통형 구조의 표면에 설계된 사각 주기격자 패턴을 적용하기 위해서 전도성 고분자 재료를 이용하여 아래 Fig. 9와 같은 인쇄 공정을 통해 저항성 시트를 제작하였다. 본 논문에서 사용된 전도성 고분자 페이스트(paste)는 Lee[8]의 연구에서 제작된 것으로 PEDOT(poly-(ethylenedioxy)thiophene)를 기반으로 하여 폴리우레탄(polyurethane)을 바인더로 갖는 열경화성의 재료로 전도도가 1300 S/m이며, 130℃에서 30분의 경화 조건을 갖는다.

패턴 인쇄 공정의 경우 미리 제작된 PVC 패턴 마스크를

유전층의 윗면에 부착하고, 전도성 고분자 페이스트를 스퀴즈(squeeze)한 후 경화시키는 과정을 반복하여 원하는 두께와 표면저항을 갖는 주기격자 패턴 층을 완성한다. Fig. 10은 일련의 과정을 통해서 제작된 반원통형의 전자파 흡수구조의 모습을 보여준다.

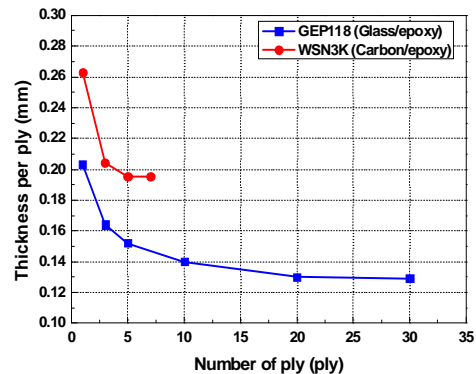


Fig. 7 Experimental result of thickness per ply.

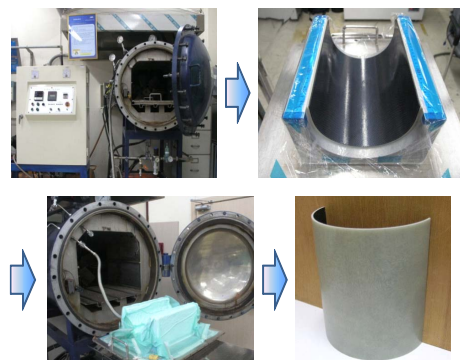


Fig. 8 Manufacturing process of composites structure.

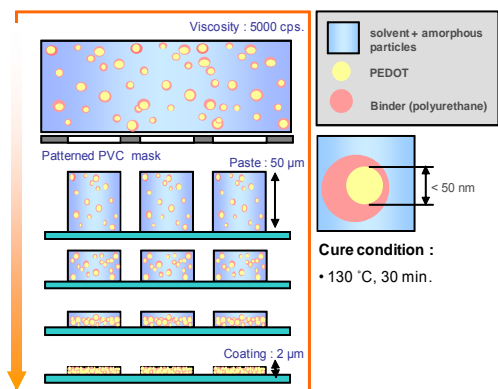


Fig. 9 Printing process of periodic pattern layer.

4. 측정 결과 및 고찰

4.1 레이더 반사면적의 측정

피탐지 구조물의 레이더 반사면적을 측정하기 위해서 POSTECH의 무반향챔버(anechoic chamber)에 있는 Compact range 장비를 활용 하였다. Compact range 장비는 feed 안테나와 reflector 안테나를 이용하여 짧은 거리에서 균일한 평면파(plane wave)를 생성하는 것으로, 생성된 전자기파를 목표물에 주사하여 반사되어 나온 신호를 다시 feed 안테나로 수신하고 이를 이용하여 RCS를 계산하게 된다. 이 측정 장비의 quiet zone 영역 내에서의 측정감도는 -50 dBsm 이하이며, 목표물 지지대의 방위각 정밀도는 0.03°, X-band 주파수의 정밀도는 0.4 %이다[9]. 아래 Fig. 11은 compact range 시스템의 장비 구성도와 실제 측정 모습을 보여준다.

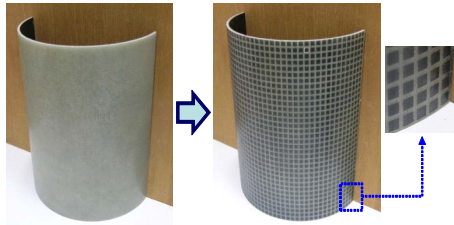


Fig. 10 Configuration of semi-cylindrical RAS.

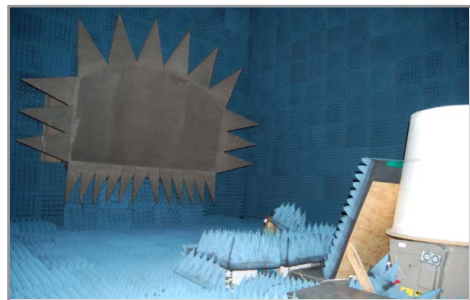
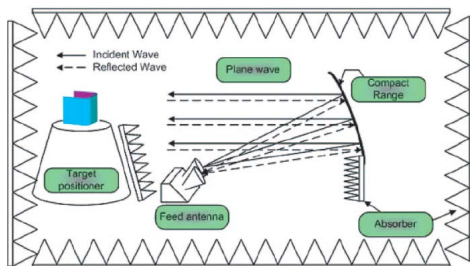


Fig. 11 Compact range facility of POSTECH.

4.2 반원통형 RAS의 전자파 흡수능 평가

본 논문에서 제작된 반원통형 전자파 흡수구조의 레이더 반사면적을 측정하기 위해서, 먼저 수치적 이론값을 알고 있는 금속 구를 이용하여 측정 장비의 보정을 수행하였다. 또한 금속 평판 시료의 RCS를 측정하여 측정값과 이론값의 비교를 통해서 POSTECH 측정 장비의 타당성을 검증하였다.

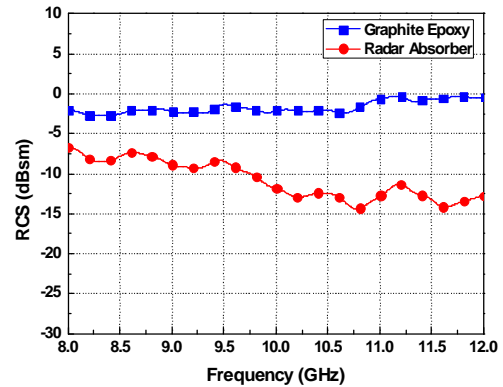


Fig. 12 RCS measurement of semi-cylindrical RAS.

Table 4 Measurement result of RCS in X-band

Frequency	Graphite Epoxy	Radar Absorber	Absorption
8 GHz	-2.1 dBsm (0.62 m ²)	-6.7 dBsm (0.21 m ²)	65.3 %
9 GHz	-2.3 dBsm (0.59 m ²)	-8.9 dBsm (0.13 m ²)	78.1 %
10 GHz	-2.2 dBsm (0.60 m ²)	-11.8 dBsm (0.07 m ²)	89.0 %
11 GHz	-0.6 dBsm (0.87 m ²)	-12.9 dBsm (0.05 m ²)	94.1 %
12 GHz	-0.4 dBsm (0.91 m ²)	-12.8 dBsm (0.05 m ²)	94.2 %

반원통형 RAS의 전자파흡수 성능을 평가하기 위해서 같은 크기와 형상을 갖는 비흡수체와 측정된 RCS값을 비교하였다. Fig. 12는 compact range 장비를 이용하여 X-band에서 측정된 RCS값으로, 설계 목표 주파수인 10 GHz에서 RCS값이 -2.2 dBsm에서 -11.8 dBsm로 대략 89.0 % 감소되는 효과를 보였다. 또한 Table 4를 보면 전체 X-band에서 RCS가 최소 8 GHz에서 65.3 % 감소하고, 최대 12 GHz에서 94.2 % 감소되는 결과를 보인다.

결과적으로 2.3절의 RCS 해석값과 4.2절의 측정값을 비교해보면 최대 전자파흡수 효율은 각각 98.4 %와 94.2 %로 대략 4 %정도의 오차가 발생함을 확인 할 수 있다. 또한 해석의 경우 10 GHz 에서 최소 RCS값을 갖지만 제작된 RAS의 경우 11 GHz 부근에서 최소값을 갖는 것을 알 수 있다. 이러한 오차가 발생하게 된 원인을 크게 두 가지로,

먼저 첫 번째 원인은 해석과 다르게 제작과정에서 발생할 수 있는 RAS의 두께나 패턴 등의 제작 정확도와 재료의 유전율과 같은 전자기적 물성 차로 인한 해석 모델링의 오차이다. 다음으로 두 번째 원인은 RCS 측정과정에서 발생하는 장비의 노후화와 목표물의 크기와 형상에 따른 측정 장비의 정밀도에 따른 오차이다.

5 결 론

본 연구에서는 하중 지지가 가능한 곡면을 갖는 반원통형의 레이더 흡수구조를 개발하기 위해서, 사각 주기격자 패턴 층을 갖는 RAS를 설계하고 RCS 해석을 수행하였다. 또한 섬유강화 복합재료와 전도성 고분자 재료를 이용하여 반원통형 RAS를 제작하고 전자파 흡수 성능을 평가하였다. 전체적으로 예측값과 실험결과 사이에 약간의 차이는 있지만 목표 주파수인 10 GHz에서 입사하는 레이더 신호를 효과적으로 흡수하여, 구조물의 레이더 반사면적을 대략 90 % 감소시킬 수 있음을 확인 하였다. 또한 X-band 전체에서 반원통형 구조물의 RCS가 65 ~ 94 % 감소되는 것을 확인 하였다. 마지막 이상의 연구결과를 바탕으로 전면뿐만 아니라 측면과 배면 등의 전 방위에서 저피탐지 특성을 갖는 항공기나 유도무기와 같은 군사 무기체계의 개발 가능성을 확인하였다.

후 기

본 연구는 방위사업청과 국방과학연구소 (계약번호 UD070041AD) 및 지식경제부 신·재생에너지기술개발사업의 지원으로 수행되었으며, 이에 대해 깊이 감사를 드립니다.

참고문헌

- 1) E. F. Knott, J. F. Shaeffer, M. T. Tuley, Radar Cross Section, 2nd ed., SciTECH, Raleigh, 2004, pp. 64-68.
- 2) F. Neri, Introduction to Electronic Defense Systems, 2nd ed., SciTECH, Raleigh, 2006, pp. 554-558.
- 3) K. J. Vinoy, R. M. Jha, Radar absorbing Materials: From Theory to Design and Characterization, 1st ed., Kluwer Academic Publishers, Norwell, 1996, pp. 116-120.
- 4) B. A. Munk, Frequency Selective Surfaces: Theory and Design, 1st ed., John Wiley & Sons, New York, 2000, pp. 319-322.
- 5) P. Saville, Review of Radar absorbing Materials, Defense R&D Canada Atlantic, Dartmouth, 2005, pp. 19-22.
- 6) P. T. C. Wong, B. Chamber, A. P. Anderson, P. V. Wright, "Large Area Conducting Polymer Composites and Their

Use in Microwave Absorbing Material," *Electronics Letters*, Vol. 28, No. 17, 1992, pp. 1651-1653.

- 7) D. K. Cheng, Fundamentals of Engineering Electromagnetics, Addison Wesley, NewYork, 1993, pp. 291-293.
- 8) W. J. Lee, J. W. Lee, C. G. Kim, "Characteristics of an Electromagnetic Wave Absorbing Composite Structure with a Conducting Polymer Electromagnetic Bandgap (EBG) in the X-band," *Composites Science and Technology*, Vol. 68, No. 12, 2008, pp. 2485-2489.
- 9) 정우균, 안성훈, 안병철, 박성배, 원명식, "하이브리드 복합재를 이용한 레이더 흡수 쉘의 제작 및 레이더 단면적 평가," *한국복합재료학지*, 제19권 제1호, 2006, pp. 29-35.