

## 플라즈마 용사방식에 의해 형성된 탄화규소-페라이트 표면층의 마이크로파 흡수특성(I)

正會員 申 東 燦\* 正會員 孫 鉉\*\*

### Microwave Absorbing Characteristics of Silicon carbide - ferrite surface Films Produced by Plasma - spraying(I)

Dong Chan Shin\*, Hyon Son\*\* *Regular Members*

#### 요 약

비행물체에 대한 레이더의 추적 및 탐색 거리를 축소시키는 전자방어책의 일환으로 물리적, 기계적 특성이 우수한 전자파 흡수층을 제작하기 위해서 플라즈마 용사방식을 이용하였다. 이 코팅층은 종래의 M/W 흡수층 제작에 사용하던 도전재료인 탄소대신에 탄화규소를, 자성손실재료로는 Ni-Zn ferrite를, 그리고 보지재를 사용하는 대신에 이들 재료분말을 기계적으로 혼합하여 플라즈마 용사코팅으로 모재 표면에 직접 흡수층이 형성되도록 했다.

X-band(8~13 GHz) 레이더용 탄화규소-페라이트 전자파 흡수체를 실험적으로 설계하고 시험 제작하여 전기적 특성을 평가한 결과, -6dB(M/W 에너지 흡수율 75%)의 반사량을 허용한도로 했을 경우 약 7.6~8.4%의 대역폭이 얻어졌으며, 최대 흡수두께가 0.5~0.55mm로 매우 양호한 박층형 전자파 흡수체가 얻어졌다.

#### ABSTRACT

Plasma-spraying was conducted to produce the microwave absorbing surface films on the aluminum-alloy used for the fuselage to protect the aircraft against the RADAR detection. The surface films were produced by plasma-spraying the mechanically mixed composite powders of the silicon carbide and Ni-Zn ferrite.

This M/W absorbers were designed experimentally and fabricated trially, as a result of which the relative frequency bandwidth of 7.6 to 8.4% were obtained under the tolerance limits of the reflection coefficients lower than -6dB(absorption ratio 75%), and the maximum absorption thickness becomes 0.5 to 0.55mm, which is much thinner than that of the conventional ones.

#### I. 서 론

\*K. M. -3rd. A. 電子工學科

\*\*慶北大學校 電子工學科

Dept. of Electronics, Kyungpook Nat'l Univ.

論文番號: 92-58(接受1991. 12. 16)

제2차 세계대전 당시 레이더 안테나의 효율을 개선  
시켜 레이더 시스템의 탐색 및 추적 능력을 높힐 목

적으로 탄소(carbon black)를 이용한 전자파흡수체가 실용화되기 시작하였다. 그 이후 전자파의 실내 정밀계측이 실현되도록 하기 위한 전자파 무반향실 흡수벽의 기하학적 구조와 재료가 연구되어 왔다.

전자파 에너지를 열에너지로 변환하는데 사용되는 대표적인 소재가 탄소이다. 초기에는 탄소분말이 달라붙은 말털(馬毛)이 이용되어 그물막형태로 전자파 흡수체가 만들어졌지만, 나중에는 탄소분말의 보지재(保持材) 내지는 접착제로서 스티로폼(styrofoam), 우레탄(uretan) 혹은 고무(rubber)등이 사용되었다. 이어서 라디오, 텔레비전 또는 컴퓨터등 전자기기를 중에 널리 이용되고 있는 자성체, 즉 페라이트(ferrite)가 전자파에너지를 열에너지로 변환하는 효율이 크다는 사실이 알려지면서 이들을 이용한 전자파 흡수 특성에 관한 연구가 활성화 되기 시작하였다.<sup>1, 2)</sup>

전자파가 어떤 물체에 부딪혔을 때 그 물체로부터 전자파가 반사되지않고 흡수되기 위해서는 전자파 흡수물체와 공중전선의 주파수 변화에 따른 임피던스 정합이 이루어져야하며, 그 물체내에서는 전자파 에너지가 열에너지로 쉽게 변환되어야 한다. 전자파 에너지가 물체에 입사되었을 때 손실되는 요인으로는 도전율에 의한 도전손실, 유전율에 의한 유전손실 및 투자율에 의한 자성손실 등이 있다. 지금까지 알려진 대표적인 도전손실재료로는 탄소(carbon black), 유전손실재료로는 티탄산 바륨(BaTiO<sub>3</sub>), 자성손실재료로는 페라이트(ferrite:MO-Fe<sub>2</sub>O<sub>4</sub>)등이 있다.

전자파 반사억제를 위한 흡수벽은 이들 재료들을 여러종류 사용하여 여러층으로, 혹은 한 종류내지는 여러종류가 혼합된 재료를 단층으로하여 제작하는데, 사용상의 편리성, 경제성, 제작의 용이성 등을 고려할 때 가능한 한 구조가 간단하고 경량이며 흡수벽이 박관일수록 바람직하다. 1969년 1월 일본의 内藤喜之에 의한 『페라이트 흡수벽의 전파 흡수특성』이라는 연구보고가 있었고<sup>2)</sup>, 1970년 3월에 일본의 清水와 末武가 『유전성 손실에 의한 실용적 광대역 전파 흡수벽』이라는 연구논문을 발표한 이후 탄소와 더불어 범용 내지는 특수 목적용 전자파 흡수체 연구가 활성화되었다.<sup>3)</sup>

최근들어 김동일, 内藤喜之에 의해서 보지재(Binder)로 CPE(chlorinated poly-ethylene)와 예폭시 수지를 사용한 X-band(8~13 GHz)레이다용 전자파 흡수체 [반사손실~20dB에서 대역폭

400MHz, 두께:1.36mm)]를 개발하여 경제적 효율성과 박층화를 가져와 실용성을 높인 연구보고가 있었으며<sup>4)</sup>, 특히 일본의 橋本에 의해서 1990년 4월 후막도료형 전자흡수체에 관한 연구보고가 있었는데, 이 논문에서 페라이트 분말과 Ni-도금마이카를 혼합한 경우, 1.2 mm두께로 보다 박층화된 전자파흡수체(반사손실~20dB 대역폭 550 MHz)제작이 언급되고 신뢰성 시험에서도 우수한 것으로 평가되고 있다<sup>5)</sup>. 그러나 이들을 특수 목적용 전자파흡수체로 사용하기에는 흡수층 재질이 연하여 제품 표면재료로 사용할 수 있을 정도로 우수한 기계적, 물리적 및 열적 특성을 기대하기는 미흡한 실정이다.

일반적으로 비행물체에 사용되는 금속판의 두께가 사용부분에 따라서 1.2mm~2.4mm인 것을 고려했을 때 전자파 흡수층의 두께는 0.5mm이하로 설정되는 것이 바람직하다. 그리고, 모재와 거의 수명을 같이 할 수 있을 정도의 접착성, 내냉열사이클성, 내태양광성, 내습성, 내산 및 염기성, 내유성 및 내구성에 있어서 우수한 특성을 가져야 한다.

본 논문에서는 이와같은 물리적, 기계적 특성에 만족될 수 있는 새로운 접근방법으로 종전의 전자파 흡수층 제작방법과는 달리 새로운 피복기술인 플라즈마 용사코팅방법을 사용하였고, 과거에 전자파 흡수 재료로 사용해왔던 페라이트와 탄소의 경우는 밀도 차이가 너무 큰 관계로 이들을 이용한 플라즈마 용사코팅층의 형성이 어려워 탄소 대신에 탄소와 전기적 특성이 비슷하면서 밀도가 페라이트와 큰차이가 없는 도전 및 유전재료로 탄화규소를 선정했다.

## II. 전자파 흡수체의 재료 설계

### 1. 정합조건

도체판에 투자손실용 분말이 균일하게 코팅된 단층형 전자파 흡수층을 고려한다. 이 전자파흡수체에 수직으로 입사한 평면파의 파동 임피던스는 진공의 평면파 파동 임피던스로 정규화 시켜서 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수가 있다.<sup>1, 5)</sup>

$$Z_{in} = \sqrt{\dot{\mu}r / \dot{\epsilon}r} \tanh(j2\pi \cdot \sqrt{\dot{\epsilon}r / \dot{\mu}r} \cdot d / \lambda_0) \quad (1)$$

여기서 코팅층의 복소비유전율  $\dot{\epsilon}r = \epsilon r' - j\epsilon r''$ , 복소비투자율  $\dot{\mu}r = \mu r' - j\mu r''$ , 두께 d 및, 자유공간의 파장  $\lambda_0$ 이다. 그리고 식 (1)에서  $Z_{in} = 1$  일때

공중선임피던스와 전자파흡수체의 입력 임피던스간에 정합이 이루어진다. 즉  $Z_{in} = 1$ 을 만족하는 정합조건이 얻어지기 위해서는 여섯가지의

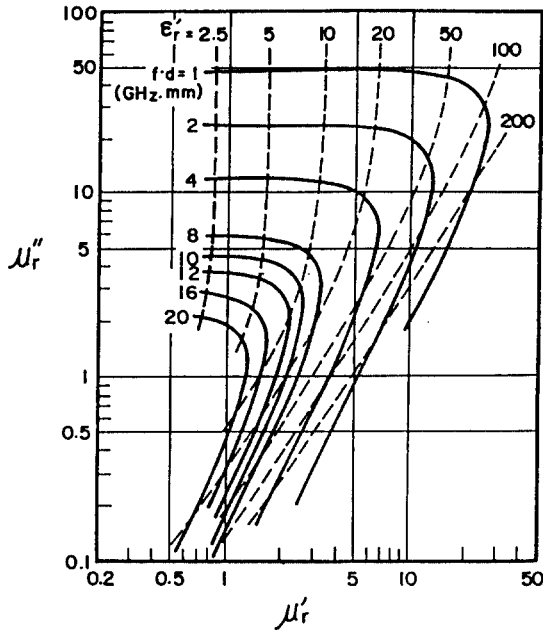


그림 1. 정합조건을 만족시키는 비투자율  $\mu'$   $\mu''$ 의 관계

Fig 1. Relation between the permeability which satisfies the matching condition.

매개변수  $\mu'$ ,  $\mu''$ ,  $\epsilon'$ ,  $\epsilon''$ , d와  $\lambda_0$ (또는 주파수 f)의 적절한 조합을 선정함으로써 가능해진다. 그러나 이들 여섯가지 변수들의 조합으로 정합조건을 구하여 이에 적절한 전자파 흡수체를 설계하는 데는 너무 복잡하기 때문에, 본 연구에서는 페라이트의 유전손실

특성 및 탄화규소의 유전손실 특성이 페라이트의 투자손실 특성보다 훨씬 적다는 사실에 착안하여  $\epsilon''$ 를 무시했다. 따라서, 주파수 f(GHz) 및 두께 d(mm)의 곱인  $f \cdot d$ (GHz·mm)값과  $\epsilon'$ 를 파라미터로 하고 식 (1)을 만족하는  $\mu'$ 와  $\mu''$ 에 관한 궤적을 그리게 되면 그림 (1)과 같이 그려진다.

## 2. 재료선정 및 설계

그림 1.에서 보는 바와 같이 박층형 전자파 흡수체를 실현하기 위해서는 유전율을 크게함과 동시에 정합조건에 맞도록하기 위해서 복소 비투자율 및 비유전율을 변화시킬 수 있어야 한다. 그렇지만, 종래부터 전자파흡수체 제작에 사용되고 있는 페라이트 분말을 도료나 탄소와 혼합했을 경우, 혼합재료의 비유전율  $\epsilon''$ 가 대부분 7이하로 되어있어서 페라이트 만으로는 큰 유전율을 얻기가 어렵다. 그래서 본 연구에서는 박층화를 위해 유전율을 크게함과 동시에 흡수체조직의 기계적 강도를 높힐 목적으로 현재 사용중에 있는 카본고무-페라이트 또는 카본프라스틱-페라이트 흡수체에서의 탄소(carbon black) 대신에 탄화규소(silicon carbide:SiC)를 선정했다.

탄화규소는 표.1에서 보여진 바와같이 비유전율이 탄소에 비해 거의 2배정도 크므로 유전율 제어범위가 탄소보다 크다고 볼 수 있다. 따라서, 흡수층 박층화를 위한 설계가 탄소보다는 용이할 것으로 기대된다. 반면에, 도전율에 있어서는 탄화규소가 탄소보다는 작기 때문에 전자파 흡수층에 입사된 전자파가 열로 전환되는 효율이 상대적으로 낮아서 탄소를 사용할 때 보다는 다소 흡수특성이 나쁘게 나타날 것으로 여겨진다. 그러나, 탄화규소는 밀도에 있어서 페라이트와 근소한 차이가 있어서 분말의 크기조정으로 플라즈마 용사시 균일 흡수층 형성이 용이하리라고 보여진다. 본 연구에서 사용된 탄화규소 분말의 평균 크기는  $34 \mu\text{m}$  (# 500), 페라이트 분말의 평균크기는 21

표 1. 마이크로파 흡수체 재료의 물리적 특성

Table 1. The Physical characteristics of materials for M/W absorbers.

properties material	permittivity (permeability) $10^6$ Hz	conductivity ( $\Omega/m$ ) 25°C	density	melting point (°C)	mean partikle size( $\mu\text{m}$ )
carbon black	5.68	$7 \times 10^4$	1.15		
silicon carbide	10.2	$1 \times 10^3$	3.217	2300	34
ferrite	(1000)	100	5.0		21

$\mu\text{m}$ (#700)이다. 따라서, 탄화규소를 페라이트와 혼합하여 플라즈마 용사코팅하였을 경우 전자파 흡수층 균일 형성이 가능하고 코팅층의 경도가 높아 표면 재료로는 우수할 것으로 기대된다. 특히, 탄화규소는 반도체이기 때문에 저항의 온도계수가 부(負)이므로 금속 발열체와는 달리 사용중 온도가 증가함에 따라 더 많은 전과전류가 흐르게 된다. 따라서, 설계상 유의해 둘 필요가 있다.

주파수가 일정한 경우의 박층화 조건은  $f \cdot d$ 값을 작게하는 것이 타당하지만, 그림 1.에서 알수 있는 것처럼  $\epsilon_r'$ 를 크게할 필요가 있다. 예를 들면,  $\mu_r' < 5$  및  $\mu_r'' < 5$ 의 범위에서  $f \cdot d = 20$ 인 경우  $\epsilon_r'$ 의 조건은 5~20정도이지만,  $f \cdot d = 4$ 인 경우는 그의 10배인 50~200의  $\epsilon_r'$ 가 필요하다. 또한 유전율  $\epsilon_r'$ 를 일정하게 해서 박층화하는 데는 그 대소에는 관계없이  $\mu_r'$ 를 크게할 필요가 있다. 한편, 이때의  $\tan \delta \mu_r'' / \mu_r'$  커지도록 설계해야 한다. 마찬가지로  $\mu_r''$ 를 일정하게 할 경우  $\mu_r'$ 가 클수록 흡수층이 박층화된다. 이때  $\epsilon_r'$ 를 약간 크게할 필요가 있다. 그리고  $\mu_r'' < 1$ 의 영역에서 박층

화하기 위해서는  $\epsilon_r' > 20$ 이 되어야 하고  $\mu_r' > 2$ 가 되어야 한다. 특히 유전율  $\epsilon_r'$ 를 크게함에 따라 박층화를 이루고자 할 경우  $\mu_r''$ 가 적어지도록 설계해야 한다.

표 2. 에 나타난 결과는 플라즈마 증착형흡수체 설계를 위한 예비자료로서 탄화규소와 페라이트 분말을 적당한 비율로 섞어 소결형 시편을 만들어 측정된 비유전율이다. 따라서, 본 연구에서는 플라즈마 용사시 용점이 페라이트 보다 더 높은 탄화규소의 흡착율이 미흡한 것으로보고 우선  $\epsilon_r' = 12$ 정도에서 설계하여 두께 및 혼합비의 변화에 따른 전자파 흡수체의 주파수 특성을 조사하기로 한다.

### III. 제작 및 실험

일본의 SHOWA DENKO 주식회사에서 제공된 탄화규소[SiC:silicon carbide(s)] 분말과 Ni-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> 페라이트(F) 분말을 표3과 같은 중량비로 기계적으로 혼합하여 플라즈마 증착형 흡수층을 만들었다.

모재(substrate)는 탐지용 레이다파 흡수가 요구되는 군용비행기의 동체재료인 Al2024합금을 선정하였으며, 용사용 모재의 형상은 동축선(air line:내경 3.5mm, 내축 직경:1.5mm)에 적합하도록 외경 3.5mm, 내경 1.5mm, 길이 1cm인 링형태로 만들었다. 용사하고자 하는 모재의 표면은 플라즈마 용사전 처리로써 공기압축 분말분사장치(grit blaster)을 이용해서 Al<sub>2</sub>O<sub>3</sub>분말을 압축분사(blasting)시켜 표면을 거칠게 했다. 자동으로 좌우, 상하 이동하는 장치(type 4HC combination transvers unit)에 탑재된 플라즈마 분사장치(9Mb dual type)와 플라즈마 방전제어장치(METCO 7MC-II)를 사용하여 실시하였는데,

표 2. 탄화규소-페라이트 소결체의 중량비(페라이트/탄화규소)에 따른 비유전율의 변화(측정 주파수:9.4Gz)

Table 2. Variation of relative permittivity by weight ratio(ferrite /silicon carbide)of sintered body (specimen)  
(measurement frequency:9.4GHz)

weight ratio permittivity	0.4	0.5	0.6	0.7	0.8
$\epsilon_r'$	9.4	10.3	11.1	11.9	12.7
$\epsilon_r''$	0.4	0.5	0.5	0.6	0.6

표 3. 플라즈마 용사용 탄화규소와 페라이트 분말의 혼합비 및 제작두께

Table 3. Composite ratio of silicon carbide-ferrite for plazma-spraying and coating thickness

design thickness (mm)	0.25	0.35	0.45	0.55	0.65	0.75
copmposite(S:F)						
NA(1 : 0.44)	0.23	0.32	0.41	0.53	0.59	/
NC(1 : 0.64)	0.22	0.34	0.40	0.52	0.58	/
NE(1 : 0.84)	0.22	0.33	0.42	0.55	0.60	/

코팅시 작업한 용사변수는 표 4.와 같다. 용사거리의 최초 100mm로 하였으나, 흡수층이 3.5mm 정도 형성된 뒤로는 더이상 성층이 어려워 용사거리를 80mm로 수정하여 작업을 계속하였다.

용사두께는 위성통신 주파수 범위인 X-band(8~13 GHz)내에서 전자파 흡수특성을 조사하기 위해서 1mm 이상까지 코팅하고자 하였으나, 표 4.와 같은 작업조건으로는 0.6mm 이상 코팅층이 형성되지 않았다.

그림 2.와 같은 동축선(air line)에 설치된 재료의 경우, 다음의 관계식이 성립된다<sup>8,9)</sup>.

$$S_{11} = \frac{(1-T^2)\Gamma}{1-T^2\Gamma^2} \quad S_{21} = \frac{(1-\Gamma^2)T}{1-T^2\Gamma^2} \quad (2)$$

여기서,  $\Gamma$ 는 반사계수이고  $T$ 는 투과계수이다.  $\Gamma$ 는 재료의 길이가 무한대일때  $Z_0, Z_s$ 사이의 반사계수로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\Gamma = \frac{Z_s - Z_0}{Z_s + Z_0} = \frac{\sqrt{\mu_r/\epsilon_r} - 1}{\sqrt{\mu_r/\epsilon_r} + 1} \quad (3)$$

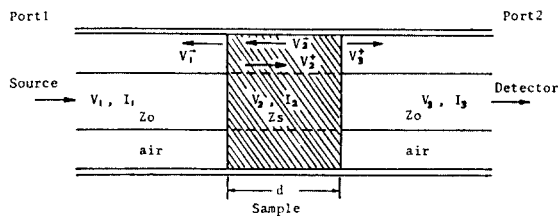


그림 2. 시편이 삽입된 동축선  
Fig 2. Air line with filled materials

그리고,  $T$ 는 유한한 길이를 가진 재료의 투과계수로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$T = \exp[-j(2\pi/\lambda_0)\sqrt{\mu_r/\epsilon_r} \cdot d] \quad (4)$$

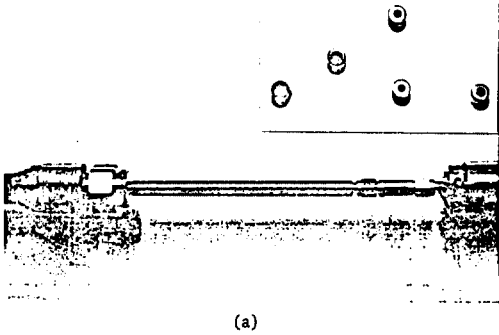
동축선법에서  $S_{11}$ 과  $S_{21}$ 을 측정후 식(2), (3), (4)를 이용하여  $\epsilon_r, \mu_r$ 을 계산한다. 그림 3에 나타난 동축형 측정장치(DIN line 3.5~10cm)와 회로망 분석장치(HP 8720B)를 이용하여 시편의 재료정수(표 5)를 측정하였고, 모재에 플라즈마 코팅층이 형성된 시

표 4. 탄화규소-페라이트 혼합분말에 대한 플라즈마 용사 변수

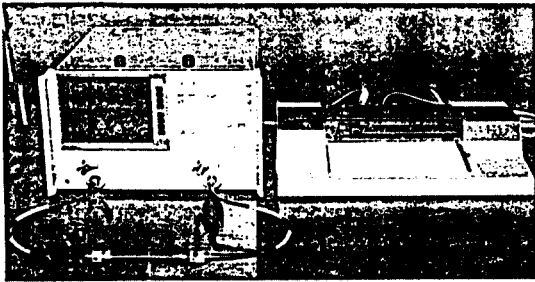
Table 4. Plasma-Spraying Parameters of carborundum-Ni-ZnFe<sub>2</sub>O<sub>4</sub> ferrite.

arc current (A)	500
arc voltage (V)	64~70
plasma gas	
argon(primary gas)	
pressure (psi)	75
flow rate (kg/hr)	80
hydrogen(secondary gas)	
pressure (psi)	50
flow rate (kg/hr)	15
powder carrier gas (Ar)	
pressure (psi)	75
flow rate (kg/hr)	37
powder feed rate (kg/h)	70
air pressure (psi)	50
spray distance (mm)	80~100

편에 대해 혼합비율별 두께 변화에 따른 반사특성이 그림 4, 5, 6에 나타냈으며, 특히 그림 6의 점선은 s-parameter법에 의해서 조사된 물질정수에 의해서 계산된 감쇄특성을 나타낸 것이다. 그리고, 혼합비가 NC이고 두께가 0.52mm인 시편에 대해 그 정합특성을 파악하기 위해서 위상특성(그림 7)과 스미스도표(그림 8)를 이용한 부하임피던스 특성을 조사하였다. 위상특성이 선형에 접근될수록 코팅층내의 혼합재료별 위치분포, 또는 입자 크기별 위치분포가 일정하게 형성되거나 기공의 위치분포가 일정하다는 것을 의미한다. 따라서 그림 7을 보면 거시적인 면에서는 비교적 양호한 것으로 보이나 미시적인 면에서는 부분적 결함이 존재함을 알 수 있다. 그리고 그림 8에서 보여진 바와 같이 mark 1.에서의 임피던스 값이 100, 92+j5.0664[Ω]으로서 임피던스 정합특성 면에서는 미흡함을 보여주고 있다.



(a)



(b)

그림 3. 전자파 흡수특성 시스템 [(a) 동축선, (b) 회로분석장치 (HP 8720B)]

Fig 3. Measurement system for M/N absorption characteristics [(a) air line, (b) network analyzer (HP 8720 B)]

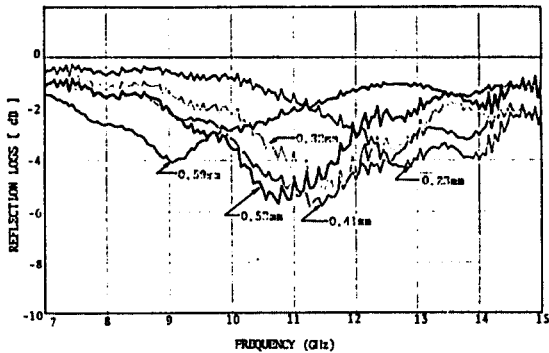


그림 4. 두께 변화에 따른 반사특성(코팅혼합물 NA)  
Fig 4. Dependence of reflection characteristics on thickness, for coating type composite content(NA).

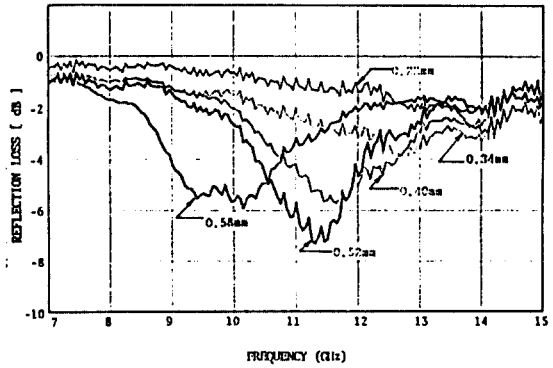


그림 5. 두께 변화에 따른 반사특성(코팅혼합물 NC)  
Fig 5. Dependence of reflection characteristics on thickness, for coating type composite content(NC)

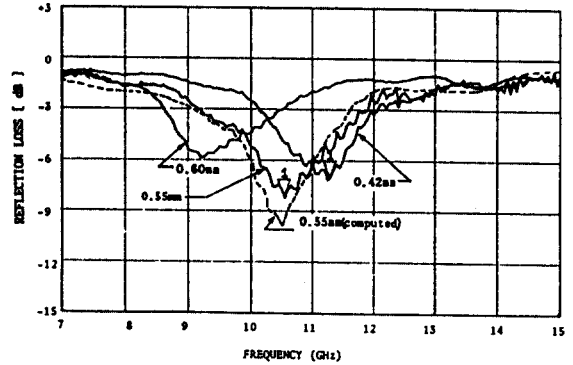


그림 6. 두께 변화에 따른 반사특성(코팅혼합물 NE)  
Fig 6. Dependence of reflection characteristics on thickness, for coating type composite content(N)

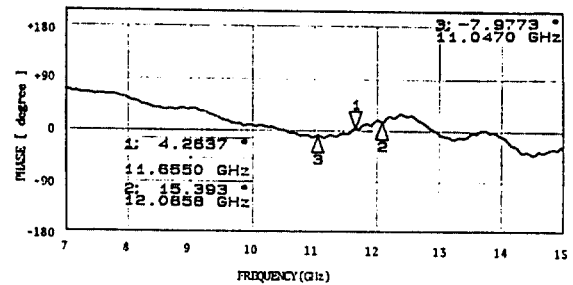


그림 7. 주파수 변화에 따른 위상특성(NC, 두께 0.52mm)  
Fig 7. Dependence of phase characteristics on frequency, for thickness 0.52mm, coating type composite content(NC)

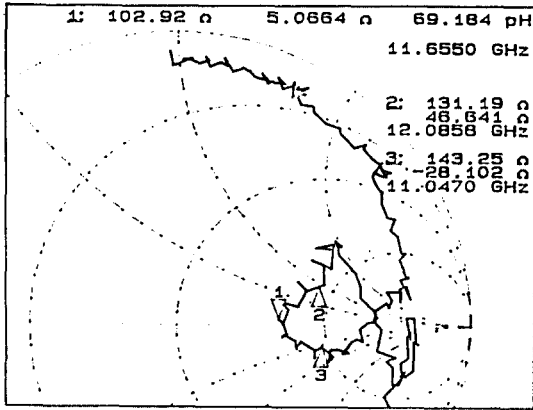


그림 8. 카보런덤-페라이트(NC, 두께 0.52mm) 전자파 흡수체의 스미스도표  
 Fig 8. Smith chart of carborundum-ferrite composite specimen(NC, thickness 0.52mm)

IV. 실험결과 및 고찰

탄화규소-페라이트 혼합분말의 용사코팅층이 공중선과 정합되어 양호한 흡수 특성을 나타내기 위해서는 그림 1. 에 제시된 이론적인 정수값과 그림 3.의 실험장치에 의해서 조사된 시험편의 재료정수 값이 일치되어야 한다. 그 결과가 표 5.에 나타난바와 같다.

표 5.에서 보여진 바와같이 페라이트의 혼합비율이 커짐에 따라 비유전율 및 비투자율 모두 높아져 감을 알 수 있다. 최초 비유전율 설계치를 10정도 예상했으나 플라즈마 증착후의 시험편에 대한 비유전율  $\epsilon'$  =7.3~7.4정도로 측정되었다. 혼합비에 있어서 NE는 NA에 비해서 페라이트의 양이 2배정도 증가했으나  $\epsilon'$  값은 0.12,  $\epsilon''$  값은 0.21,  $\mu'$ 는 0.2,  $\mu''$ 는 0.5 정도의 편차를 나타내고 있어서 플라즈마 용사전 혼합비

율에 거의 영향이 없음을 보여주고 있다.

표 6. 플라즈마 증착된 시험편의 분말 무게 조성비  
 Table 6. Powder-weight ratio of plasma-coated composite.

composite for coating(S : F)	coated composite (S : F)	% of SiC loss
NA(1 : 0.44)	1 : 1.85	90.1
NC(1 : 0.64)	1 : 1.97	81.2
NE(1 : 0.84)	1 : 2.23	73.8

표 6.에서 보여진 바와같이 탄화규소 분말과 페라이트 분말의 플라즈마 증착전 혼합비가 NE의 경우 NA에 비해서 페라이트 분말을 약 90%정도 증가시켰으나 증착후의 페라이트 분말은 20%정도의 증가에 그쳐 플라즈마 증착전 혼합비와 증착후 혼합비가 비례하지 않음을 보여주고 있으며, 더구나 탄화규소 손실율이 커서 플라즈마 증착을 위한 분말사용시 상당량의 탄화규소가 대부분 증착되지 못하고 있음을 알 수 있다.

이와 같은 현상은 두 분말에 있어서 비중이 서로 다르다는 데도 원인이 있겠지만, 특히 용점이 페라이트는 1340℃, 탄화규소는 2300℃로 서로 상당한 차이를 보이고 있는데 이런 용점이 큰 차이가 주 원인인 것으로 판단된다. 결과적으로 시험시편의 비유전율  $\epsilon'$ 가 설계치 10에 못미치는 7에 그친 반면에, 이론치에 비해서  $\mu'$ 는 30% 정도로 커지고  $\mu''$ 는 약 50% 정도로 접근하고 있음을 알 수 있다.

이제까지의 결과로 봐서 전자파 흡수층의 박층화를 위해서는 비유전율  $\epsilon'$ 가 10정도에서 비투자율의 허수값이 5이상일 수 있는 신규 페라이트의 설계를 고려하든지, 그렇지 않으면 투자율  $\mu'$  및  $\mu''$ 가 1~2정도에서 비유전율  $\epsilon'$ 가 50이상일 되도록 신규유전 재료의 설계가 요구된다. 신규 페라이트의 설계문제

표 5. 시험편의 재료 정수값  
 Table 5. Material constants of specimens

composite ratio (S : F)	thickness [mm] (center frequency : GHz)	material constants		
		$\epsilon' r$ (observed)	$\mu' r$	
			theoretical	observed
NA(1 : 0.44)	0.53(10.765)	7.30-j0.54	2.14-j7.81	2.65-j3.38
NC(1 : 0.64)	0.52(11.327)	7.34-j0.62	2.15-j7.80	2.85-j3.92
NE(1 : 0.84)	0.55(10.538)	7.42-j0.75	2.17-j7.82	2.90-j4.32

는 본 연구의 범위에서 벗어난 사항이므로 신규 유전 재료의 설계문제에 계속 관심을 갖고 연구할 만한 가치가 있다고 판단된다. 기계적 특성이 크게 변하지 않는 범위내에서 비유전율을 크게하여 정합조건을 만족시킴과 동시에 도전손실을 크게하여 전자파 흡수율을 높이는 방법으로는 니켈이나 망간분말을 탄화규소-페라이트에 첨가하거나 또는 니켈이 도금된 페라이트 분말을 사용하거나, 니켈이 도금된 탄화규소 분말의 사용이 고려될 수 있다.

탄화규소-페라이트 혼합비 NA, NC, NE에 대해 전자파흡수 특성에 관해 측정된 결과를 각각 그림 4, 5, 6에 나타냈다. 이들 그림에서 우리가 파악할 수 있는 것은 최대흡수두께가 0.5~0.55mm내에 존재한다는 것이다. 그리고 중심주파수 10.538GHz에서 반사손실 -6dB(전자파에너지 흡수율 75%)대역폭이 870MHz 정도 이어서, 특수목적용 전자파 흡수체(최대흡수두께 0.5mm 이내)흡수특성이 -10dB 전자파 에너지 흡수율 90%)대역폭을 3000MHz를 목표로 했을 때, 위 결과는 목표접근에 대한 가능성을 보여주고 있다.

## V. 결 론

본 연구에서는 종전의 전자파 흡수층제작에 사용하던 도전손실재료인 탄소(Carbon black)대신에 탄화규소(silicon carbide:SiC)를, 자성손실재료로는 Ni-Zn 페라이트를, 그리고 보지재를 사용하는 대신에 이들 재료분말을 기계적으로 혼합하여 플라즈마 용사코팅으로 모재표면에 직접 흡수층이 형성되도록 했다.

X-band(8~13GHz)레이다용 탄화규소-페라이트 전자파흡수체를 실험적으로 설계하고 시험제작하여 전기적 특성을 평가한 결과, -6dB(M/W 에너지 흡수율 75%)의 반사량을 허용한도로 했을 경우 약 7.6~8.4%의 대역폭이 얻어졌으며, 최대흡수두께가 0.5~0.55mm로 매우 양호한 박층형 전자파 흡수체가 얻어졌다. 그리고 프라즈마 증착 방식에 의해 제작된 본 전자파 흡수체는 제작기술 특성상 접착성이 크며, 사용재료가 세라믹 재료인 만큼, 내냉열싸이클성, 내습성, 내유성 및 내구성이 클 것으로 기대된다.

탄화규소 분말의 융점(2,300℃)과 페라이트 분말 융점(1,340℃)이 서로 다르기 때문에 융점이 높은 탄

화규소의 손실율이 70% 이상이어서 비유전율  $\epsilon'$  값이 설계치와 측정치 차이가 약 5정도 발생했다. 비유전율 값을 높이기 위해서는 신규 유전재료 설계에 대한 재검토가 인식되었다.

후속 연구로서는 위에서 얻어진 전자파흡수체의 접착성, 내냉열싸이클, 내습성, 내유성 및 내구성 시험이 될 것이며, 신규 유전재료설계에 의한 흡수체 제작으로 반사손실과 흡수대역폭을 기대치(반사손실 -10dB, 대역폭 3,000MHz) 이상이 되도록 할 것이다.

## 참 고 문 헌

1. 内藤喜之, “電波吸收體” 오ーム社 1987
2. 内藤喜之, 殷紀芳, 水本哲彌, “フェライト 吸收壁의 電波吸收特性”, 信學論B, Vol.52-B, No. 1, pp.26~30, Jan. 1969.
3. 清水, 末武, 誘電性 損失材料 による 實用的 廣帶域電波吸收壁”, 信學論B, Vol.53-B, No. 3, pp. 143~150. Mar. 1970.
4. 김동일, 정세모, 박영우, 内藤喜之, “X-band 레이 다용 전자파흡수체의 개발에 관한연구”, 한국항해학회지, 제14권, 제1호, PP. 9~19, Mar. 1990.
5. 橋本, 市原, 石野, 清水, “厚膜塗料 による 電波吸收體 の 實用的 檢討”, 信學論B-II, Vol. J73-B-II, No. 4, PP.214~233. April. 1990.
6. 김희재, “열 용사 코팅과 신소재 산업에의 응용”, 신금속지, PP. 2-12, July. 1980.
7. 김희재, “Wear Behavior of Plasma-Sprayed Alumina-Titania Coatings”, 대한금속학회지, 제27권, 제10호, PP. 881~887, Oct. 1989.
8. William B. Weir, “Autometic Measurement of Complex Dielectric constant and Permeability at Microwave Frequencies”, Pro. of IEEE, Vol. 62, No. 1, Jan 1974.
9. A.M. Nicolson, G.F.Ross, “Measurement of the Intrinsic Properties of Materials by Time Domain Technique”, IEEE Trans. Instrum. Meas., Vol. IM-19, PP. 377~382, Jan. 1970.





申 東 燦(Dong Chan Shin) 正會員

1948年 10月 26日生

1973年 3月 : 육군사관학교 전기공학  
학과 卒業(理學士)

1981年 2月 : 延世大學校 大學院 電  
子工學科 卒業(工學  
碩士)

1989年 2月 : 慶北大學校 大學院 電  
子工學科 博士課程修  
了

1982年 10月 : K.M.-3rd, A 電子工學科 副教授



孫 鉉(Hyon Son) 正會員

1935年 5月 27日生

1960年 9月 : 延世大學校 電氣科 卒  
業

1960年 8月 : 漢陽大學校 大學院 卒  
業

1960年 9月 ~ 1977年 4月 : 駐韓美

陸軍 戰略通信隊 勤務

1977年 4月 ~ 現在 : 慶北大學校 電子工學科 教授(工學博士)