

센더스트를 이용한 적층형 전파흡수체의 개발

류재민* · 김동일** · 제승훈***

*, **, *** 한국해양대학교 전파공학과

Development of Multi-layer Electromagnetic wave Absorbers Using Sendust

Jae-Min Ryu* · Dong-Li Kim** · Seung-Hun Che***

*, **, *** Dept. of Radio Science & Eng. Korea Maritime Univ., Busan 606-791, Korea

요 약 : 본 논문에서는 두 종류의 재료에 대한 실험이 진행되었다. 첫째, 센더스트를 이용한 적층형 전파흡수체를 연구하였다. 그 결과, 적층형 센더스트 전파흡수체는 S-Band에서 10dB 대역폭이 확장되었다. 둘째, 적층형 센더스트 전파흡수체에 수산화알루미늄의 혼합 효과를 연구하였다. 그 결과, 수산화알루미늄을 혼합한 적층형 센더스트 전파흡수체는 수산화알루미늄을 혼합하지 않은 적층형 센더스트 전파흡수체와 비교해서 S-Band에서 10dB 대역폭이 확장하였다.

핵심용어 : 적층형, 전파흡수능

Abstract : In this paper, we made an experiment on materials of two kinds. First, we made a study of Multi-layer EM wave absorbers using Sendust. In result, The bandwidth of the Multi-layer Sendust EM wave absorbers over 10 dB is extended in S-Band. Second, we investigated the mixing effects of Al(OH)₃ on Multi-layer Sendust EM wave Absorbers. In result, the Multi-layer Sendust EM wave absorbers mixed with Al(OH)₃ showed a extended bandwidth over 10 dB compared with non-mixed Multi-layer Sendust EM wave absorbers in S-Band.

Key words : EM wave absorbers, Multi-layer

1. 서 론

현대과학의 눈부신 발전은 전기·전자기기의 고주파화, 소형화, 디지털화, 컴팩트화를 이끌었으며 이로 인해 인류는 매우 편리한 생활을 영위하고 있다. 그러나 이와 같은 현대과학의 고도성장과 함께 이들 첨단화된 전자기기에서 방사되는 전자파가 전자기기 상호간 또는 인체에 악영향을 준다는 연구결과가 발표되면서 이를 해결하고자 하는 노력이 많은 연구자들에 의해 이루어지고 있다.

그리고 전자파 장해문제를 해결하기 위해서는 외부에서 들어오는 불필요한 전자파를 흡수하여 열로 변환하는 전파흡수체의 개발이 매우 효과적이다. 이러한 전파흡수체는 주파수의존 특성이 매우 커서 사용하고자 하는 주파수 대역에서 자기적, 전기적, 그리고 유전손실이 큰 재료를 이용하거나 이들을 혼합 하여 최대의 손실특성을 나타내는 재료를 만드는 기술 개발이 필요하다.

이와 같은 연구개발은 전기적 손실이나 유전적 손실에 비해 자성손실이 크기 때문에 주로 자성재료를 기초로 하여 이루어지고 있다.(Choi et al., 2003; kim et al., 2001; kim et al., 2002; Naito, 1987)

본 연구에서는 S-Band 레이더용 전파흡수체 개발을 목표로 센더스트의 재료정수인 복소비유전율($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)과 복소비투자율($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$) 값을 MATLAB으로 계산하였다. 그리고 성분비를 달리해서 제작한 센더스트 전파흡수체를 적층하여 S-Band에서 10dB 대역폭 확장을 꾀하였고, 센더스트와 수산화알루미늄을 각각 성분비를 달리하여 혼합한 후 전파흡수체를 적층하여 S-Band에서 10dB 대역폭을 증가시키는 방법을 연구하였다.

2. 적층형 전파흡수체의 제작 및 측정

2.1 전파흡수체의 해석이론

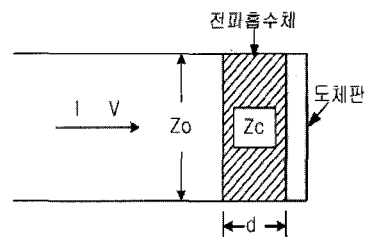


Fig. 1 Distributed line with a electromagnetic wave absorber

* 대표저자 : 류재민(정회원), victory674@hanmail.net, 051)410-4932
** 중신회원, dikim@mail.hhu.ac.kr, 051)410-4314
*** 051)410-4932

Fig. 1은 전파흡수체가 설치된 분포정수선로이고 그림과 같이 분포정수선로상의 한 끝에 흡수체를 설치한 경우, 흡수체 표면을 바라다본 입력 임피던스는 식 (1)과 같이 된다.

$$Z_{in} = Z_C \frac{Z_L + Z_C \tanh \gamma d}{Z_C + Z_L \tanh \gamma d} \quad (1)$$

그리고 부하를 완전 도체판으로 생각하면 부하임피던스 $Z_L = 0$ 이므로

$$Z_{in} = Z_C \tanh \gamma d \quad (2)$$

가 된다. 여기서 Z_C 는 전파흡수체 내부의 특성 임피던스이다. 그리고 γ 는 전파정수이며, 감쇠 정수 α , 위상정수 β 로 놓으면 $\gamma = \alpha + j\beta$ 이다. 식 (2)를 Z_0 와의 비율로 Z_{in} 을 정규화하면

$$\hat{z}_{in} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(jw \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d) \quad (3)$$

로 된다. 여기서 각주파수 $w = 2\pi f$ 이고, ϵ_r 는 복소유전율, μ_r 는 복소투자율이다. 그리고 입사한 전자파의 완전 흡수조건은 $\hat{z}_{in} = 1$ 이 되고, 반사계수와 감쇠량은 다음과 같다.

$$\Gamma = S_{11} = \frac{\hat{z}_{in} - 1}{\hat{z}_{in} + 1} \quad (4)$$

$$\alpha = -20 \log |S_{11}| \text{ [dB]} \quad (5)$$

2.2 적층형 전파흡수체의 제작 및 측정

본 논문에서 제안하는 전파흡수체는 센터스트와 지지재인 CPE(Chlorinated Poly-ethylene)를 각각 80 : 20wt%, 75 : 25wt%, 70 : 30wt%로 혼합 후 Open roller의 표면온도를 70°C로 조절하여 Sheet형 전파흡수체를 제작하였다. 이렇게 제작된 전파흡수체를 성분비를 달리해서 적층하여 전파흡수능을 측정하는 뒤 S-Band에서 10dB 대역폭을 증가시키기 위해서 센터스트와 수산화알루미늄을 64 : 16wt%, 60 : 15wt%, 56 : 14wt%로 각각 혼합한 후 앞의 중량비 순서대로 지지재인 CPE와 80 : 20wt%, 75 : 25wt%, 70 : 30wt%로 각각 혼합하여 Open roller의 표면온도가 70°C일 때 Sheet형 전파흡수체를 제작하여 적층 후 전파흡수능을 측정하였다.

Fig. 2에는 이와 같은 시편의 제작 공정을 나타내었으며, 이렇게 제작한 Sheet형 전파흡수체의 전파흡수능을 측정하기 위해 펀치를 이용하여 내경 3.05mm, 외경 6.95mm, 두께 3mm에서 4mm의 형상을 갖게 하였다. Fig. 3과 Fig. 4는 반사계수 측정을 위해 사용한 Network analyzer와 Sample holder를 나타낸 것이다. 그리고 Fig. 5는 제작된 Sheet형 전파흡수체의 실제 사진을 나타낸 것이다.(최, 2006; Verma et al., 2002)

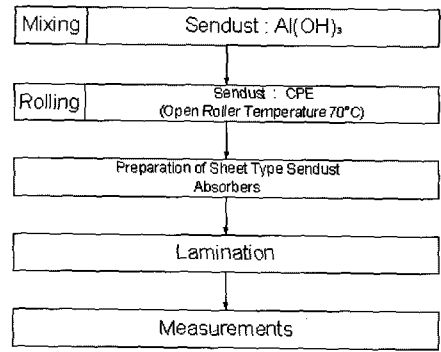


Fig. 2 Manufacturing Process of Multi-layer EM wave absorbers using Sendust.

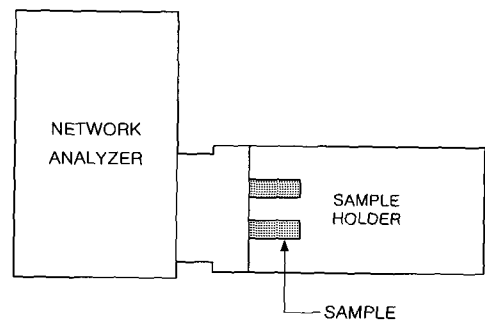


Fig. 3 Reflection coefficient measurement system

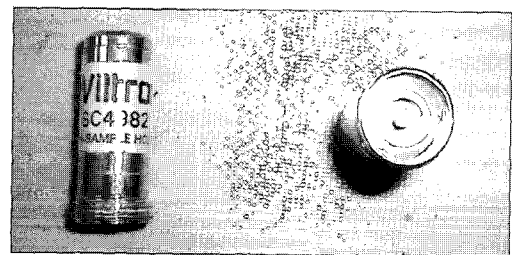
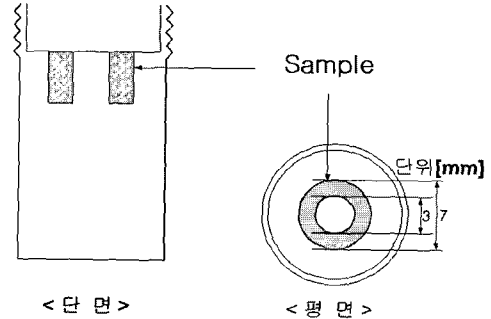


Fig. 4 Sample holder

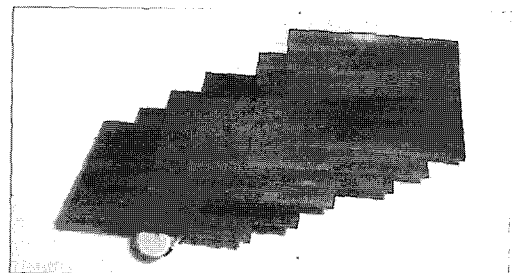
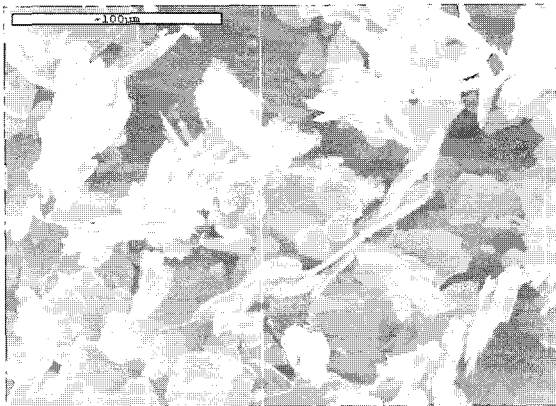


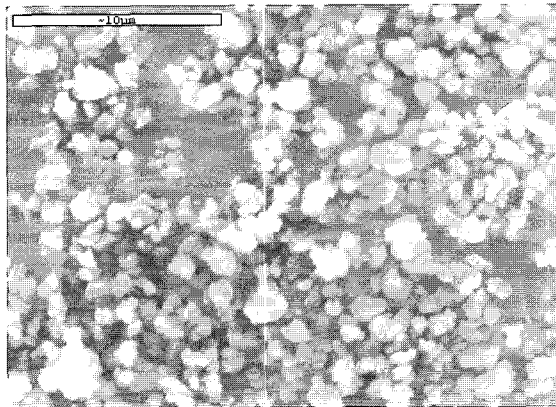
Fig. 5 EM wave absorbers

3. 결과 및 고찰

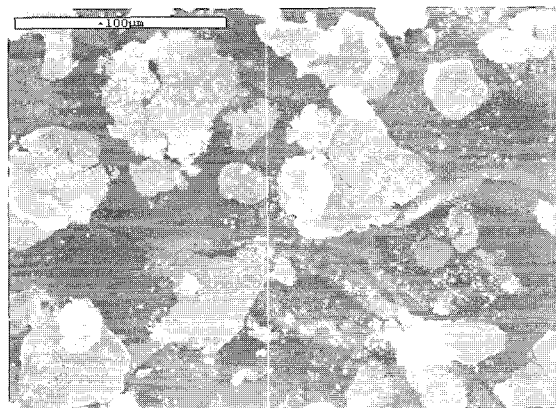
3.1 적층형 전파흡수체의 특성



(a) Sendust powder



(b) Al(OH)₃ powder



(c) Sendust and Al(OH)₃ mixed powder

Fig. 6 Microstructure of Sendust and Al(OH)₃

Fig. 6의 (a)는 센더스트 파우더의 표면을 주사전자현미경(Scanning Electron Microscopy)으로 500배 확대한 사진이고 (b)는 수산화알루미늄 파우더의 표면을 주사전자현미경으로 5000배 확대한 사진이다. 그리고 (c)는 센더스트와 수산화알루미늄을 혼합한 파우더의 표면을 주사전자현미경으로 500배 확대한 사진인데 센더스트와 수산화알루미늄이 잘 혼합된 것을 알 수 있다. 입자의 크기는 센더스트의 경우 직경으로 긴지름

74 μ m, 짧은 지름 29 μ m이고, 수산화 수산화알루미늄의 경우 구에 가까운 형태인데 직경 1.4 μ m이다. 사진에서와 같이 상대적으로 입자가 큰 센더스트와 입자가 작고 전기적 비저항이 큰 수산화알루미늄을 혼합하여 전파흡수 대역폭의 증가를 모색하였다.

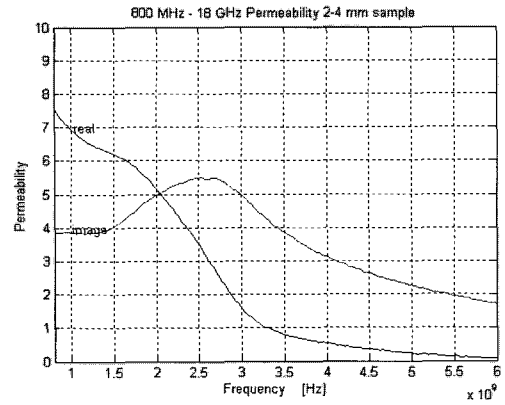


Fig. 7 Relative Permeability of Sendust

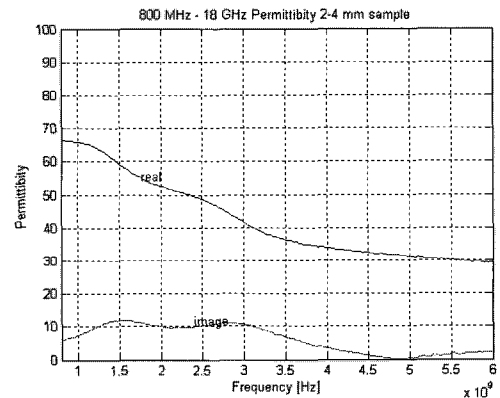


Fig. 8 Relative Permittivity of Sendust

센더스트의 재료정수인 Fig. 7의 복소비투자율과 Fig. 8의 복소비유전율을 MATLAB으로 계산하였다. 그리고 센더스트는 초투자율이 3000인 자성손실재료이기 때문에 투자율의 허수부가 실수부보다 큰 영역에서 효과적인 흡수능을 나타낸다. 즉, 자성 손실재료를 이용한 전파 흡수체의 흡수능은 자기 손실 $\tan\delta = (\mu''/\mu')$ 과 매우 밀접한 관계가 있으며 $\tan\delta > 1$ 일 때 우수한 흡수능을 나타낸다(최 외, 2006; 최 외, 2005). 본 연구에서는 S-Band인 2GHz에서 4GHz까지를 만족하는 전파 흡수체 개발을 목표로 하였는데 복소비투자율인 Fig. 7의 경우 2GHz에서부터 허수부가 실수부보다 커지기 때문에 재료정수 측정 결과와 연구 목표가 잘 일치하는 것을 알 수 있다. 그리고 재료정수 계산 방법은 다음과 같다.

식 (1)을 정규화 하면

$$Z_{in} = \frac{Z_L + \tanh\gamma d}{1 + Z_L \tanh\gamma d} \quad (6)$$

이다. 그리고 Fig. 1에서 전파흡수체의 두께 d의 종단을 단락한 경우 $Z_L = 0$ 이므로

$$Z_S = Z_C \tanh \gamma d \quad (7)$$

의 종단 단락 임피던스로 주어지고, Fig. 1에서 전파흡수체의 두께 d의 종단에서 $\lambda/4$ 만큼 떨어진 곳을 단락한 경우 $Z_L = \infty$, $\gamma = j\beta = j\frac{2\pi}{\lambda}$, $d = \lambda/4$ 이므로 시료 종단에서 본 임피던스는

$$Z_O = Z_C \coth \gamma d \quad (8)$$

로 개방상태가 된다.

단락임피던스와 개방임피던스 식 (7)과 (8) 두 식을 곱하면 특성임피던스는

$$Z_C = \sqrt{Z_S \cdot Z_O} \quad (9)$$

식 (7)과 (8) 두 식을 나누면

$$\tanh \gamma d = \sqrt{\frac{Z_S}{Z_O}} \quad (10)$$

$$\gamma = \frac{1}{d} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{Z_S}{Z_O}} \quad (11)$$

이 된다.

여기서 선로 정규화임피던스와 전파정수는

$$Z_C = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (12)$$

$$\gamma = j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} \quad (13)$$

두 식으로부터 비유전율과 비투자율은

$$\epsilon_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \frac{\gamma}{z_c} \quad (14)$$

$$\mu_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot z_c \cdot \gamma \quad (15)$$

가 되어 복소유전율 ϵ_r 과 복소투자율 μ_r 을 구할 수 있다(박, 2006).

Fig. 9는 센더스트를 이용한 4mm의 단층형 전파흡수체 A, B와 성분비를 달리하여 제작한 센더스트 전파흡수체를 적층한 두께 4mm의 적층형 전파흡수체 C의 전파흡수능을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보인바와 같이 센더스트만을 이용해

제작한 단층형 전파흡수체에 비해 센더스트를 적층한 전파흡수체의 전파흡수능이 S-Band에서 10dB 이상을 만족하는 주파수가 확장되었음을 보이고 있다. 따라서 단층형 센더스트 전파흡수체보다 적층형 센더스트 전파흡수체의 전파흡수 대역폭과 전파흡수능이 증가함을 확인하였다. Fig. 10의 전파흡수체 A, B, C 각각의 전파흡수능은 Fig. 9에 나타내었고, Fig. 10 C에서 적층 순서는 그림의 아랫면을 도체판으로 향하게 하여 적층하였다. 그리고 Fig. 10의 1, 2, 3, 4 각각의 조성비는 Table 1에 나타내었으며 단층형 전파흡수체 A, B와 적층형 전파흡수체 C의 10dB 대역폭을 Table 2에 각각 나타내었다.

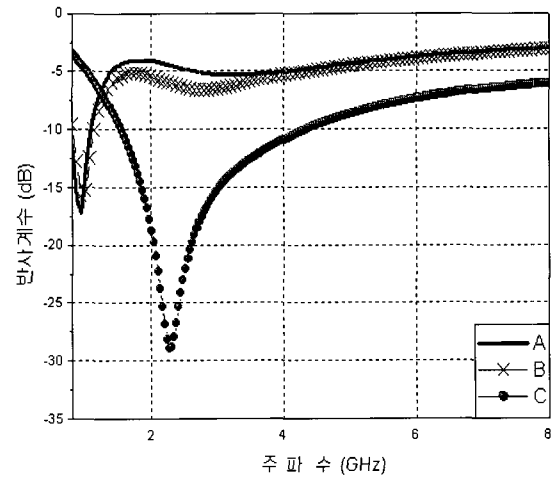


Fig. 9 EM wave absorption

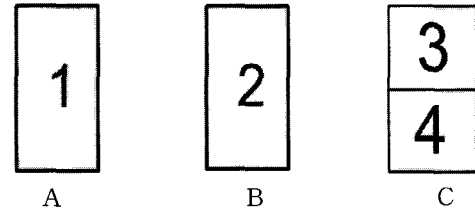


Fig. 10 Single layer and Multi-layer EM wave absorbers

Table 1 Composition ratio of EM wave absorber

	Sendust	CPE	두께[mm]
1	75	25	4
2	70	30	4
3	75	25	2
4	70	30	2

Table 2 10dB Bandwidth

	10dB 대역폭[GHz]	두께[mm]
A	0.8~1(0.2)	4
B	0.8~1(0.2)	4
C	1.5~4.1(2.6)	4

3.2 Al(OH)₃을 혼합한 적층형 전파흡수체의 특성

Fig. 11은 센터스트에 수산화알루미늄을 혼합하지 않고 제작한 두께 3mm의 전파흡수체 A, B와 센터스트에 수산화알루미늄을 혼합하여 제작한 두께 3mm의 전파흡수체 C, D의 전파흡수능을 각각 나타낸 것이다. 그림에서 보인 바와 같이 센터스트만을 이용해 적층형 전파흡수체에 비해 센터스트에 수산화알루미늄을 혼합하여 적층형 전파흡수체의 S-Band에서 10dB 대역폭이 향상됨을 보이고 있다. Fig. 12의 전파흡수체 A, B, C, D 각각의 전파흡수능은 Fig. 11에 나타내었고, 적층 순서는 그림의 아랫면을 도체판으로 향하게 하여 적층하였다. 그리고 Fig. 12의 1, 2, 3, 4, 5, 6 각각의 조성비는 Table 3에 나타내었으며 적층형 전파흡수체 A, B, C, D의 10dB 대역폭을 Table 4에 나타내었다.

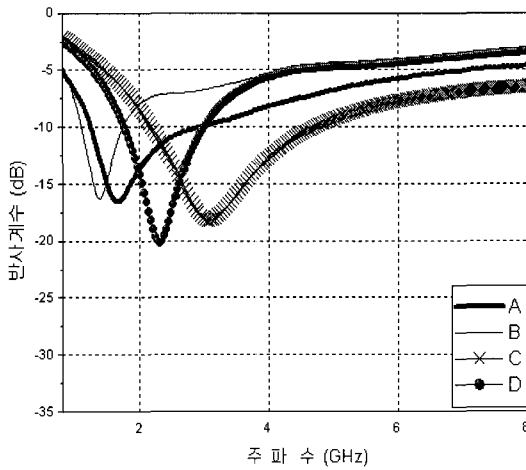


Fig. 11 EM wave absorbtion

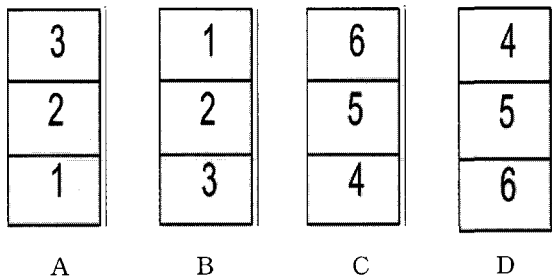


Fig. 12 Order of Lamination

Table 3 Composition ratio of EM wave absorber

	Sendust	Al(OH) ₃	CPE	두께[mm]
1	80	0	20	1
2	75	0	25	1
3	70	0	30	1
4	64	16	20	1
5	60	15	25	1
6	56	14	30	1

Table 4 10dB Bandwidth

	10dB 대역폭[GHz]	두께[mm]
A	1.1~2.9(1.8)	3
B	1~1.9(0.9)	3
C	2.1~4.3(2.2)	3
D	1.9~3(1.2)	3

3.3 전파흡수체의 전파흡수능 측정 결과 및 분석

먼저 흡수체의 두께가 4mm일 때 단층형 센터스트 전파흡수체는 0.8GHz에서 1GHz까지 0.2GHz만 10dB 대역폭을 만족하였지만 적층형 센터스트 전파흡수체의 경우 S-Band를 포함하는 1.5GHz에서 4.1GHz까지 2.6GHz가 10dB 대역폭을 만족하였다. 단층형 센터스트 전파흡수체보다 적층형 센터스트 전파흡수체의 대역폭이 확장되는 이유는 다음과 같다. 흡수체 표면 가까운 층에서는 그 재료정수가 공기에 가까운 재료로서 공기의 전파특성 임피던스로 정합되었고, 도체판과 가까운 층에서는 전파를 흡수하기 때문이라고 예측된다. 그리고 흡수체의 두께가 3mm일 때 수산화알루미늄을 혼합하지 않은 적층형 센터스트 전파흡수체는 10dB 대역폭을 1.1GHz에서 2.9GHz까지 1.8GHz와 1GHz에서 1.9GHz까지 0.9GHz를 각각 만족하였고, 수산화알루미늄을 혼합한 적층형 센터스트 전파흡수체의 경우는 10dB 대역폭을 2.1GHz에서 4.3GHz까지 2.2GHz와 1.9GHz에서 3GHz까지 1.2GHz를 각각 만족하였다. 수산화알루미늄을 혼합하지 않은 적층형 센터스트 전파흡수체보다 수산화알루미늄을 혼합한 적층형 전파흡수체의 대역폭이 향상되는 이유는 다음과 같다. 입자가 작고 전기적 비저항이 큰 소량의 수산화알루미늄이 센터스트와 혼합되어 전파 산란 효과를 일으키기 때문이라고 예측된다.

4. 결 론

본 연구에서는 S-Band에서 10dB 대역폭 향상을 위하여 적층에 의한 방법과 센터스트에 수산화알루미늄 혼합을 이용하여 전파흡수체를 제작하고 이들의 전파흡수특성을 조사하였고, 목표로 하였던 S-Band 레이더용 전파흡수체를 개발하였다.

참 고 문 헌

[1] 박우근(2006), “카본을 이용한 X-Band용 적층형 광대역 전파흡수체의 개발에 관한 연구”, Dept. of Radio Science & Engineering Graduate School, Korea Maritime Univ.
 [2] 최동한(2006), “옷을 지지재로 이용한 다층형 전파흡수체에 관한 연구”, Dept. of Radio Science & Engineering Graduate School, Korea Maritime Univ.
 [3] 최윤석, 정재현, 김동일(2006), “휴대전화 단말기 전파 흡

- 수체의 개발에 관한 연구”, 한국전자파학회논문지, 제 17권(제 5호), pp. 423-429.
- [4] 최정현, 김동일, 송재만, 정재현(2005), “Sendust를 이용한 휴대전화용 전파흡수체의 개발, 한국전자파 학회논문지, 제 16권(제 8호), pp.842-847.
- [5] Choi, D. H., Kim, D. I. and Song, J. M.(2003), “Dependence of Electromagnetic Wave Absorption Properties on Binders”, Journal of The Korean Physical, vol. 42, no. 6, pp. 799-802.
- [6] Kim, D. I., Bae, J. Y., Son, J. Y., Won, Y. S. and Song, J. M. (2001), “A Study on Fabrication and Evaluation of Ferrite Wave Absorber”, Journal of The Korean Electromagnetic Engineering Society, vol. 1 no. 1. pp. 95-99.
- [7] Kim, D. I., Son, J. Y., Won, Y. S., Ku, D. W., Kim, K. M., Song, J. M. and Bae, B. D.(2002), “A Study on Broadband Design of EM Wave Absorber for Anechoic Chamber”, Journal of The Korean Electromagnetic Engineering Society, vd. 2, no. 1, pp. 16-21.
- [8] Naito, H.(1987), “Electromagnetic Wave Absorbers”, New Ohm, Tokyo.
- [9] Verma, A., Mendiratta, R. G., Goel, T. C. and Dube, D. C. (2002), “Microwave Studies on Strontium Ferrite Based Absorbers”, Journal of Electroceramics, vol. 8, pp. 203-208.
-
- 원고접수일 : 2006년 6월 13일
원고채택일 : 2006년 10월 12일