

카아본-페라이트 전파흡수체의 특성

(Characteristics of Carbon-Ferrite Microwave Absorbers)

金 東 一*, 鄭 世 謨*, 朴 寧 愚**, 内藤喜之***

(Dong Il Kim, Se Mo Chung, Young Woo Park, and Yoshiyuki Naito)

要 約

X-band 레이다용 카아본-페라이트 전파흡수체를 실험적으로 설계하고 시험제작하여 특성을 평가한 결과, -20dB의 반사량을 허용한도로 하는 경우 7.3~8.2%의 대역폭이 얻어지며, 정합두께가 1.4~1.6mm로 획기적으로 박층형인 전파흡수체의 제작이 가능함을 보이고 있다.

나아가서, 전자레인지용 카아본-페라이트 전파흡수체의 재료정수를 측정하여 전파 감쇠량을 개방·단락법 및 섭동법으로 구한 결과를 비교·검토하고 있다.

Abstract

Carbon-ferrite microwave absorbers were designed experimentally and fabricated trialy, as a result of which the relative frequency bandwith of 7.3 to 8.2% were obtained under the tolerance limits of the reflection coefficients lower than -20 dB, and the matching thickness becomes 1.4 to 1.6mm, which is significantly thinner than that of the conventional ones.

Furthermore, attenuation has been founded by measuring the material constants of the microwave absorbers for microwave oven and the results are compared and discussed.

*正會員, 韓國海洋大學 電子通信工學科
(Dept. of Elec. and Comm. Eng., Korea Maritime Univ.)

**正會員, 韓國科學技術研究院 素材化工研究室
(Materials Chemical Processing Lab., KIST)

***正會員, 東京工業大學 電子物理工學科
(Dept. of Elec. and Physical Eng., Tokyo Institute of Tech.)

接受日字: 1989年 7月 10日

(※ 본 연구는 1988년도 산학협동재단과 CONY 전자수식회사의 Matching Fund System에 의한 학술연구비 지원에 의하여 이루어졌음.)

전자파환경(electromagnetic wave environments)이 점차 폭주함에 따라 목적하지 않는 전자파에 의하여 방해에 부딪히고 또 반대로 스스로가 불필요한 전자파를 방사하여 방해를 하고 있는 경우가 많으며, 이와같은 불필요한 전자파를 억제하는 일이 중요한 과제로 되고 있다. 이에 따라 전파흡수체의 용도도 다양해져서, 계측용 전파암실을 비롯하여 TV의 고스트(ghost)방지대책, 레이다의 위상(false echo)방지대책, 나아가서 전자레인지(microwave oven)나 각종 OA 기기로부터 누설되는 전자파를 억제하는 목적등의 전파 흡수체의 개발이 행해져 오고 있다.

EMC 관련하여 불요전자파를 내지않거나 또는 반사하지 않도록 하는 재료는 주로 양도체의 금속 또는 저저항체, 손실재료이다. 손실재료에는 손실기구로

서, 1) 도전손실 σ , 2) 자성손실 μ'' , 3) 유전손실 ϵ'' 중의 어느 것이나 사용되고 있다. 지금까지는 저자등을 중심으로 이들의 각각의 성질에 관해서 주로 연구되어 왔다(1)~(6). 손실 재료의 사용법은 다음과 같이 분류할 수 있다. 즉, 가) 전파가 1회 밖에 손실재료에 부딪히지 않는 경우: 그 대표적인 예는 TV신호의 반사방지에 사용되는 전파흡수체가 있다. 나) 어떤 정해진 통로(전송로)를 통과하는 전자파에 손실을 부여하는 경우: 그 대표적인 예로는 동축 cable의 주위에 붙인 손실재나 전자레인지로 부터의 전파누설방지용 손실재가 있다. 다) 전파가 몇번이고 손실재료에 부딪히며 그때마다 전파에 손실을 부여하는 경우: 그 대표적인 예는 전자레인지 안에 넣은 식품(손실재)이다.

위의 손실재료의 사용법중, 가)의 대표적인 구조로는 금속판 위에 ferrite판을 접착한 것으로서 VHF대와 같이 비교적 낮은 주파수대에서는 얇고 광대역인 특성을 가지므로 이미 TV의 고스트대책 등에 실용화 되어 있다. 이에 관한 연구는 약 20년 전부터 활발히 행해져 오늘날에 이르고 있다.

그러나, 최근 정보화사회의 발전 및 전파유효이용에 의한 고주파화 경향에 따라 고품질, 고성능인 기기가 요구되고 있어 노이즈(noise)의 문제가 중요하게 되었다. 보다 깨끗한 전자파 환경의 요구로부터 국제적으로도 방사전자파에 대한 규제가 행해져, 전자기기의 노이즈 대책은 커다란 과제로 되어 있다. 특히, 레이다 고스트 방지대책 및 레이다 전파흡수체의 개발은 두께 1.0~1.5mm 정도의 박층도료형의 것으로 이루어질 것이 강하게 요망되고 있다.

따라서, 본 연구의 제 II 장에서는 전파흡수체가 무반사체로 되기 위한 정합주파수 및 두께를 실험적으로 결정하여 X-밴드용 전파흡수체를 설계한다.

한편, 전자레인지용 전파흡수체의 성능은 감쇠량 α 로 평가하지만 감쇠량 α 를 직접 측정하는 방법이 없으므로 재료정수(복소유전율 및 복소투자율)를 측정하여 이를 구한다. 그러나 이경우 각 측정방법에 따른 오차가 문제로 되고 있다. 따라서 본 연구의 제 III 장에서는 2.45GHz를 사용하는 전자레인지용 전파흡수체의 감쇠량을 구하기 위한 복소유전율 및 복소투자율을 측정하고 이를 이용하여 구한 감쇠량을 함께 제시하고 비교·검토한다.

II. X-Band용 카아본-페라이트 전파흡수체의 설계 및 특성

1. 카아본-페라이트 전파흡수체의 설계 및 제작 입사한 전파를 흡수해서 반사파의 발생을 막는 전

파흡수체로서, 페라이트와 같은 자성재료는 뛰어난 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다. 예를들면, 1cm 또는 그 이하의 두께의 소결 페라이트를 사용하므로써 VHF대의 넓은 주파수 대역에 걸쳐 전파를 흡수하여 TV고스트 방지대책으로 이용되고 있다. 또, X-band용 레이다(9.4GHz)의 위상방지대책에도 페라이트 분말을 고무에 혼합한 고무페라이트가 사용되고 있다.⁷⁾

한편, 카아본-고무에 의한 전파흡수체는 정합두께(matching thickness)가 두꺼워서 고무페라이트가 우수하다.^{8),9)}

이 결과가 발표된 것은 이미 20년에 이르고 있지만, 더욱 두께를 얇게한 전파흡수체에 관한 연구보고가 없었다. 이것은 정합두께가 페라이트의 자기특성과 밀접한 관계에 있어, 그 자기특성을 바꾸는 것이 곤란하기 때문인 것으로 예상된다. 그후 1986년 저자 등에 의하여 고무페라이트에 카아본을 첨가함으로써 전파흡수체의 박층화가 이루어졌다.¹⁰⁾

EMC 관련으로 불요전파를 내지 않거나 또는 반사하지 않도록 하는 재료는 주로 양도체의 금속 또는 저저항체, 손실재료 등이 있다.

손실재료의 손실기구는 다음 식(1) 및 (2)를 비교하면 쉽게 알 수 있다.

즉, 분포정수회로(전송선로)의 기본식과 평면파의 미분방정식은 각각

$$\begin{cases} \frac{dV}{dz} = -(R+j\omega L) I \\ \frac{dI}{dz} = -(G+j\omega C) V \end{cases} \quad (1)$$

$$\begin{cases} \frac{dE_x}{dz} = -j\omega\mu H_y \\ \frac{dH_y}{dz} = -j\omega\epsilon E_x \end{cases} \quad (2)$$

단, 복소투자율 $\mu = \mu' - j\mu''$
 복소유전율 $\epsilon = \epsilon' - j\epsilon''$

따라서, 분포정수회로의 손실을 나타내는 저항 R 및 컨덕턴스 G는 각각 $\omega\mu''$ 및 $\omega\epsilon''$ 에 대응하며, 도전율 σ 를 고려하면 ϵ'' 은 $\epsilon'' + \sigma/\omega$ 로 대치된다. 결국, 손실재에는 (1) σ 를 이용하는 도전손실재, (2) μ'' 을 이용하는 자성손실재 및 (3) ϵ'' 을 이용하는 유전손실재가 있으며, 그 대표적인 것으로 (1) 카아본고무, (2) 페라이트의 소결체 또는 고무페라이트 및 (3) BaTiO₃가 있다. 나아가서 도전손실과 자성손실을 동시에 이용한 것이 카아본-페라이트 전파 흡수체이며, 바인

더에 페라이트 및 카아분을 혼합한 전파흡수체가 바로 이것이다.

두께 d의 전파흡수체를 판상으로 하여 그림1과 같이 놓은 경우, 평면파의 수직입사에 대한 파동임피던스 Z는 진공중의 평면파 파동임피던스로 규격화하여 식(3)과 같이 주어진다.

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d) \quad (3)$$

여기서, λ 는 입사한 평면파의 진공중의 파장이며, 비유전율 $\epsilon_r = \epsilon/\epsilon_0$, 비투자율 $\mu_r = \mu/\mu_0$ 이다.

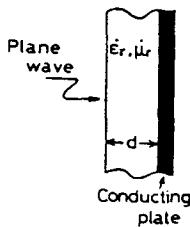


그림 1. 單層電波吸收壁
Fig. 1. Single-layered electromagnetic wave absorber.

완전한 전파흡수체로 되기 위한 조건은 식 (3)의 임피던스 Z가 1이 되면 된다.

즉, 정합조건

$$Z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \tanh(j \frac{2\pi}{\lambda} \sqrt{\epsilon_r \mu_r} d) = 1 \quad (4)$$

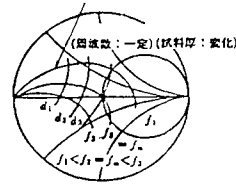
에서 주파수 f와 두께 d를 패러미터로해서 Z의 제적을 Smith chart 상에 그려, Z=1을 통하는 경우의 f_m, d_m 을 결정하면 전파 흡수체의 설계가 가능해진다.

주파수를 f_1 또는 f_3 에 고정하고, d를 $d_1 < d_2 < d_3$ 로 증가시켜 가면, 제적은 정합점을 좌 또는 우로 보면서 호를 그리게 된다. (그림2(a)). 따라서, 정합주파수는 f_1 과 f_3 의 사이에 존재한다. 이것이 소위 제 1정합이다.^{2,14)}

주파수를 $f_4 < f_5 < f_6$ 로 더욱 높혀 d를 변화시키면, 제적은 그림 2 (b)의 파선과 같이 되돌아 간다. 따라서, f_4 와 f_5 사이에서 제 2정합이 취해진다.³⁾

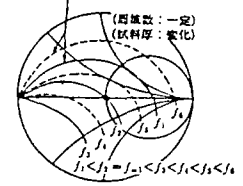
이와같은 임피던스제적에 의한 전파흡수체의 설계 방법은 임피던스의 측정이 용이하고, 투자율의 분산 특성을 모르더라도 정합점을 찾을 수 있어서 실험적으로는 뛰어난 방법이지만, 문자 그대로 cut-and-try

impedance 제적



(a)

impedance 제적



(b)

그림 2. 규격화 임피던스의 제적

Fig. 2. Loci of nominalized impedance.

의 수법이므로 이론적인 고찰에는 적합하지 못하다.

또는, 본 연구에서와 같이 재질을 바꾸지 않을 뿐만 아니라 설계중심 주파수가 9.4GHz로 고정되어 있는 경우에는 Network Analyzer의 "log magnitude" mode에 놓고 두께만을 바꾸어서 정합주파수를 찾으려 한다.

2. 카아본-페라이트 전파흡수체의 제작 및 특성평가

앞에 설명한 전파흡수체의 설계법에 따라 X-band 레이더의 중심주파수인 9.4GHz 근방에서 설계한 전파흡수체의 정합주파수 및 정합두께는 표 1과 같다.

표 1. 설계한 전파흡수체의 정합주파수 및 두께

Table 1. Matching Frequency and Thickness of Designed Microwave Absorbers.

Sample	Mixing Ratio (B : F : C)	Matching Freq.	Matching Thickness (d)
E-7.5	1 : 0.40 : 0.40	9.40 (GHz)	1.43 (mm)
E-7.5	1 : 0.55 : 0.55	9.35	1.57 mm
E-8	1 : 0.90 : 0.90	9.25	1.56 mm

표 1에서 B : F : C는 보지재 : 페라이트 : 카아본의 중량비를 나타낸다. 여기서 설계한 전파흡수체는 페라이트와 카아본을 동일중량비로 하여 엑상보지재(에폭시수지)에 혼합한 것으로서¹¹⁾ 종래의 X-band용 전파흡수체의 정합두께 2.4mm(日本の TDK사 제품의 경우)에 비하면 현저하게 박층화됨을 알 수 있다.

그림 3은 반사전력법¹¹⁾에 의한 측정에 사용한 혼안테나 및 설계·제작한 전파흡수체의 사진이며, 뒤편에 세워져 있는것은 일본의 DAIWA 고무(주) 제품인 광대역형 전파흡수체로서 불요반사파를 억제하게

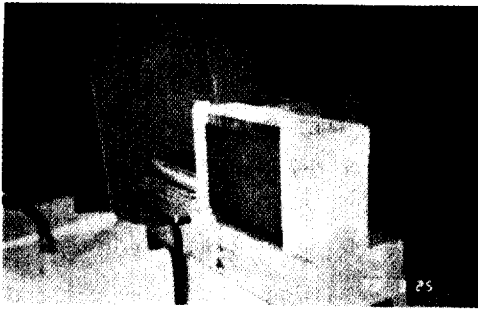


그림 3. 측정용 혼 안테나 및 전파흡수체
Fig. 3. Measuring Horn Antenna and Microwave Absorber.

위한 것이다. 입사각 및 반사각은 모두 15°로 하였다. 입사각 θ 에 대한 반사계수 $S(\theta)$ 는 수직입사시에 $S(0) = 0$ 에 대하여 식(5)의 관계에 있다.¹¹⁾

$$|S(\theta)| = \tan^2 \frac{\theta}{2} \quad (5)$$

따라서, $\theta = 15^\circ$ 에서 $S = 0.0173$ 또는 $|S| = -35.22$ dB 정도이므로 수직입사한 경우의 특성과 동일한 것으로 간주하여도 무방하다.

그림 4는 도료형으로 제작한 X-band레이다용 카아본-페라이트 전파흡수체의 측정된 주파수 특성으로서, 두께가 종래의 것에 비하여 현저하게 얇음에도 불구하고 반사량 20dB level의 중심주파수를 기준으로 한 대역폭은 E-7, E-7.5 및 E-8 경우 각각 7.35%, 7.80% 및 8.20% 정도로서 페라이트와 카아본의 량이 증가함에 따라 넓어짐을 알 수 있다.

III. 전자레인지용 카아본-페라이트 전파흡수체의 특성

전자레인지용 전파흡수체의 흡수능(또는 감쇠량) 평가에 있어서 감쇠량 α 를 직접 측정할 수 있는 방법은 없으므로 전파흡수체 자체의 복소투자율 및 복소 유전율을 측정하여 이것으로부터 α 를 구하는 것이 대단히 중요하다. 본 논문에서는 개방·단락법(Open-Short Method) 및 섭동법(Perturbation Method)에 의한 측정원리를 기술하고, 그 측정결과를 나타낸다.

1. 측정원리

1) 개방·단락법¹¹⁾

그림 5와 같은 측정장치를 이용하여, 종단단락한 동축관에 두께 l (mm)의 시료를 삽입한다. 재료가 삽

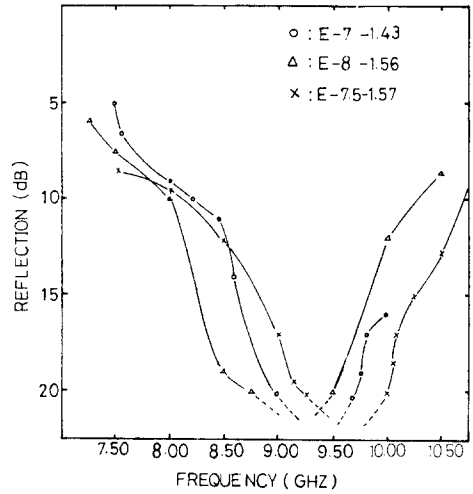


그림 4. X-band용 전파흡수체의 주파수 특성
Fig. 4. Frequency characteristics of Microwave Absorbers for X-band.

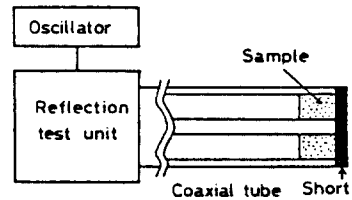


그림 5. 측정장치
Fig. 5. Measurement apparatus.

입된 부분의 특성임피던스 및 전파정수는 각각

$$Z_c = \sqrt{\frac{\mu}{\epsilon}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (6)$$

$$\gamma = j\omega\sqrt{\epsilon\mu}$$

이며, 재료가 삽입되지 않은 선로의 특성 임피던스 Z_0 는

$$Z_0 = \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon_0}} \ln\left(\frac{b}{a}\right) \quad (7)$$

이므로, 규격화 특성임피던스 z_c , 전파정수 γ 는 각각 다음과 같다.

$$z_c = \frac{Z_c}{Z_0} = \sqrt{\frac{\mu/\mu_0}{\epsilon/\epsilon_0}} = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} \quad (8)$$

$$\gamma = j\omega\sqrt{\epsilon_0\mu_0}\sqrt{\epsilon_r\mu_r} = j\frac{2\pi}{\lambda}\sqrt{\epsilon_r\mu_r}$$

위의 그림에서 중단 단락 및 중단개방의 경우 각각의 규격화 입력 임피던스를 각각 z_s, z_0 라 하면,

$$\begin{aligned} z_s &= z_c \tanh \gamma\ell \\ z_0 &= z_c \coth \gamma\ell \end{aligned} \quad (9)$$

이고, 양변을 곱해서

$$z_c = \sqrt{z_s \cdot z_0} \quad (10)$$

양변을 나눠서

$$\tanh(\gamma\ell) = \sqrt{\frac{z_s}{z_0}}; \text{ 또는 } \gamma = \frac{1}{\ell} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{z_s}{z_0}} \quad (11)$$

식 (8)의 관계를 이용하면 ϵ_r, μ_r 이 다음과 같이 구해진다.

$$\epsilon_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \frac{\gamma}{z_c} \quad (12)$$

$$\mu_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} z_c \gamma$$

$$\begin{aligned} \text{단, } \epsilon_r &= \epsilon_r' - j \epsilon_r'' \\ \mu_r &= \mu_r' - j \mu_r'' \end{aligned}$$

2) 섭동법

공통공진기내에 cavity중의 전자계의 변화에 비하여 충분히 작은 시료를 삽입하고, 시료삽입에 의한 공진주파수의 변화를 δf , 시료가 없는 경우의 전자계 및 Q치를 각각 E_1, H_1 및 Q_1 , 체적을 V 라 하자. 시료중의 전자계를 E_2, H_2 , 시료의 체적을 V_s , 시료 삽입시의 공통의 Q치를 Q_2 라 하면,

$$\frac{\delta f}{f_0} = \frac{-(\epsilon_2' - \epsilon_1) \int V_s E_1 E_2 dv - (\mu_2' - \mu_1) \int V_s H_1 H_2 dv}{\int V (\epsilon_1 E_1^2 + \mu_1 H_1^2) dv} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} \delta\left(\frac{1}{2Q}\right) &= \frac{1}{2Q_2} - \frac{1}{2Q_1} \\ &= \frac{\epsilon_2' \tan \delta_{\epsilon} \int V_s E_1 E_2 dv + \mu_2' \tan \delta_{\mu} \int V_s H_1 H_2 dv}{\int V (\epsilon_1 E_1^2 + \mu_1 H_1^2) dv} \end{aligned} \quad (14)$$

여기서, ϵ_1 및 μ_1 은 각각 진공중 또는 공기중의 유전율 및 투자율이며, ϵ_2' 및 μ_2' 은 각각 시료의 유전율 및 투자율의 실수부이다.

지금, 시료를 小球로 해서 전계 E_1 만 있고 $H_1=0$ 인 위치, 또는 $H_1 \neq 0, E_1=0$ 인 위치에 두면, 球内の 전계 E_2 또는 자계 H_2 는

$$E_2 = 3\epsilon_1 E_1 / (2\epsilon_1 + \epsilon_2) \quad (15)$$

또는

$$H_2 = 3\mu_1 H_1 / (2\mu_1 + \mu_2) \quad (16)$$

가 된다. 각각의 경우 H_1 또는 E_1 이 0 이므로 (13), (14) 식을 이용하여, 측정된 $\delta f/f_0$ 및 $\delta(1/2Q)$ 로부터 $\epsilon_2'/\epsilon_1, \tan \delta_{\epsilon}$, 또는 $\mu_2'/\mu_1, \tan \delta_{\mu}$ 를 독립적으로 구할 수 있다.

2. 측정결과

실제의 샘플을 제작하여 복소유전율 및 투자율을 개방·단락법 및 섭동법에 의하여 측정한 결과를 표 2에 나타낸다. 각 샘플의 차이는 페라이트, 카아본 및 바인더(CPE)의 혼합비에 따른 것이며, 본 샘플은 전자레인지용 전파흡수체로 사용될 수 있으므로, 전자레인지의 사용주파수인 2450 MHz에서 측정하였다.

위의 측정에 있어서 α 는

$$\alpha = -20 \log \{ e^{-\alpha_P \ell} \} \text{ [dB/cm]} \quad (17)$$

$$\text{단, } \alpha_P = R_e \{ \gamma \}$$

$$\gamma = \sqrt{\epsilon_r \mu_r} / C$$

$$\ell = 10 \text{ mm}$$

C = 진공중의 전파의 속도

에 의하여 계산된 감쇠량으로서, 흡수체내에서 전파가 1cm 진행하는데 있어서의 감쇠량을 의미한다.

표 2의 측정결과에 따르면, 개방·단락법과 섭동법에 있어서 감쇠량 α 및 투자율이 비교적 잘 일치하고 있으나, 유전율은 비교적 큰 차이를 보이고 있음을 알 수 있다. 이것은 섭동법이 고유전율의 측정에는 적합하지 못한 것으로 알려져 있는 바와 같이, 실제의 측정에 있어서도 샘플의 크기에 따라 큰 오차가 포함됨이 확인되었다. 따라서, 본 측정에 있어서는 개방·단락법이 보다 정확한 측정치를 부여할 것으로 간주된다.

IV. 결 론

X-band용 카아본-페라이트 전파흡수체를 9.4GHz에서 카아본 및 페라이트와 예폭시수지의 중량비에 따라 설계하고, 3종류의 전파흡수체를 실제로 제작하여 반사전력법에 의하여 실측한 결과 실측치는 설계치와 잘 일치함을 확인하였으며, -20dB반사량을 허용한계로 하는 경우에 대역폭은 7.35~8.20%가 얻어졌다. 또한, 도료형으로 전파흡수체를 제작한 경

표 2. 전자레인지용 전파흡수체의 재료정수 측정결과

Table 2. Measured material constants of microwave absorbers for microwave oven.

조성	open-short method					perturbation method				
	ϵ_r'	ϵ_r''	μ_r'	μ_r''	a (dB/cm)	ϵ_r'	ϵ_r''	μ_r'	μ_r''	a (dB/cm)
F:C:B										
2: 1: 1	20.03	5.36	0.99	0.84	11.79	37.87	8.28	1.20	0.72	12.06
2.5: 1: 1	12.41	2.83	1.12	1.50	11.88	24.09	4.46	1.10	0.94	11.46
4:0.6: 1	21.88	5.06	1.82	1.81	16.39	22.74	3.53	1.60	1.80	15.08

우의 두께가 1.4~1.6mm의 것이 얻어져서 종래의 약 2.5mm에 비하면 획기적으로 박층화 할 수 있음을 밝혔다.

나아가서, 전파흡수체의 재료정수 측정법을 기술하고, 전자레인지용 전파흡수체를 실제 제작하여 2.45 GHz에서의 재료정수를 측정하였으며, 개방·단락법과 섭동법의 비교·검토를 행하였다.

參 考 文 獻

[1] 金東一, 笠島善憲, 守屋邦彦, 内藤喜之, “VHF帯における 纖維抵抗膜の特性”, 日本電子通信學會總會全國大會 論文誌, p.744, 1986年.
 [2] 内藤, 他: “フェライト吸收壁の電波吸收特性”, 日本電子通信學會 論文誌 B, 52~B, 1, 26~30 (1969-1).
 [3] 内藤, 他: “フェライト吸收体の整合周波數について”, 日本電子通信學會 論文誌 B, 52~B, 7, 398~404 (1969-7).

[4] 内藤, 藤原: “フェライト電波吸收壁の厚さについて”, 日本電子通信學會 論文誌 B, 53-B, 9, 537~545 (1970-9).
 [5] 内藤: “スピネル形フェライトの透磁率の周波數分散について”, 日本電子通信學會 論文誌 C, 56-C, 2, 113~120 (1973-2).
 [6] 内藤・末武: “多段形電波吸收壁の一構成法”, 日本電子通信學會誌, 48, 12, 2152~2160 (1965-12).
 [7] 清水康敬, “電波吸收體”, 日本電子通信學會誌, Vol. 68, No. 5, pp. 546~548 (1985.5)
 [8] 内藤 外, “ムフュライト吸收壁の電波吸收特性”, 日本電子通信學會 論文誌 B, Vol. 52-B, No. 4, pp. 242~247 (1969.4).
 [9] 清水 外, “ゴムカーボンシートによる レーダ電波障害對策用吸收體”, 日本電子通信學會論文誌, Vol. J68-B, No. 8, pp. 928~934, (1958-8).
 [10] 内藤 外, “電波吸收體ゴムフェライトへのカーボン添加效果”, 日本電子通信學會 論文誌, Vol. J69-C, No3, pp. 257~261, (1986-3).
 [11] 内藤喜之, 電波吸收體, オーム社 (1987-4).

謝 辭

本 研究를 수행함에 있어서 實驗的인 도움을 주신 日本 DAIWA 고무주식회사 電波技術部長 井上浩氏 께 심심한 감사를 드린다.

著 者 紹 介



金 東 一 (正會員)

1952年 2月 26日生. 1975年 2月 한국해양대학 항해학과 졸업. 1977年 2月 동 대학원 전파공학 전공 (공학석사). 1984年 일본 동경공업대학 대학원 전기전자공학과 (공학박사). 1975年 3월~1978年 3월 한국해양대학 조교. 1978年 4월~1984年 9월 동 대학 전임강사. 1984年 10월~1988年 9월 동 대학 조교수. 1988年 10월~현재 동 대학 전자통신학과 부교수. 주관심분야는 마이크로파 및 밀리미터파 회로의 설계, 광집적회로의 설계, 고성능 전파흡수체의 개발분야 등임.



鄭 世 謨 (正會員)

1936年 9月 4日生. 1959年 2월 한국해양대학 항해학과 졸업 (학사). 1967年 2월 연세대학교 전자공학과 졸업 (공학사) 1971年 2월 연세대학교 대학원 전자공학전공 (공학석사). 1976年 9월 일본 동경공업대학 대학원 전자물리공학전공 (공학박사). 1963年 한국해양대학 조교. 1964年 한국해양대학 전임강사. 1982年~현재 한국해양대학 교수. 주 관심분야는 마이크로파 및 안테나 설계, 전파흡수체의 개발 및 전파향법의 성능향상 분야등임.

內藤喜之

1936年 11月 22日生. 1959年 3월 동경공업대학 전기전자공학과 졸업 (B.S.). 1961年 3월 동경공업대학 대학원 전기전자공학 전공 (M.E.). 1964年 3월 동경공업대학 대학원 전기전자공학 전공 (D. Eng.). 1965年 9월~1966年 10월 Post-Doctoral Fellow at the Polytechnic Institute of Brooklyn, U. S. A. 1964年 4월~1971年 3월 동경공업대학 전자물리공학과 조수 (Research Assistant). 1971年 4월~1980年 3월 동경공업대학 전자물리공학과 조교수. 1980年 4월~현재 동경공업대학 전자물리공학과 교수. 주관심분야는 고성능 전파흡수체의 개발, 광집적회로 및 마이크로파 회로의 설계 분야임.

朴 寧 愚 (正會員)

1939年 3월 23日生. 1958年~1964年 전남대학교 공과대학 화학공학과 공학사 취득. 1975年~1977年 Monash University 화학공학과 공학석사 취득. 1979年 1981年 한양대학교 대학원 화학공학과 공학박사 취득. 1979年 호남비료공업주식회사 교대기사 1968年~현재 한국과학기술원 책임연구원임.