

Fourier 역변환을 이용한 전파흡수체의 특성측정법에 관한 연구

김 동 일* · 백 명 숙**

A Study on Measurement Technique for the Characteristics of Electromagnetic Wave Absorber Using Fourier Inverse Transformation

Kim Dong - Il, Paek Myung - Sook

요 약

전자산업의 급속한 발달로 전자파 이용분야 및 사용주파수가 확장됨에 따라 전자과장해대책이 요망되고 있으며, 그 수단으로서 전파흡수체가 이용되고 있다. 이와 같은 전파흡수체의 전파흡수능 측정 방법은 기본적으로 다양한 마이크로파 측정법이 이용될 수 있지만, 지금까지 제안된 HP의 2-Port법이나 Wiltron 1-Port법은 샘플의 형상이나, Fitting상태 및 Setting상태의 불량에 따른 측정오차가 커서 실용성이 떨어진다.

따라서 본 논문에서는 종단단락된 20.05mm ϕ 동축관 샘플홀더 및 Type-N connector로 부터 20.05mm ϕ 동축관으로의 변환 Adaptor를 제작하여, 만들어진 3가지 종류의 소결 Ferrite를 Sample로 하여 1-Port법에 의해 재료정수 및 전파흡수능을 측정하는 방법을 제안하고, 실측에 의한 실험치와 계산치가 잘 일치함을 보임으로써 제안된 측정법의 타당성을 입증하였다. 또한 전파흡수체 설계시 재료선택문제나 흡수체의 흡수능을 예측하는데 유효한 수단으로 이용되는 페라이트 투자율의 주파수분산식을 최적화시켜 실측치와 이론치를 비교·검토하였다. 본 논문에서 제안한 One-Port법은 전파흡수체 설계와 특성평가에 유효하게 사용될 것이다.

Abstract

The demand of the frequency allocation and the usable electro magnetic wave is increas-

* 한국해양대학교 전파공학과

** 한국해양대학교 전자통신공학과

ed, according to the rapid development of the electric industry. The protection against the electromagnetic wave interference is absolutely required.

As a method for measuring the absorbing characteristics of microwave absorber, a basic microwave measuring method can be used. Since, however, the wavelength of microwave is very short, the problems caused by errors due to the methods of measurement still remain unsolved clearly.

This study, therefore, aims to measure the reflection loss and the material constants of the fabricated three sorts of ferrite samples precisely and easily by using 20.05mm ϕ coaxial tube sample holder with the end-short-type and converting adaptor of 20.05mm ϕ coaxial tube from a Type-N connector to 20.05mm ϕ coaxial tube. In conclusion, the author has established an algorithm material constants by one port method and proved that the experimental results are agreed well with the calculated ones. On the basis of the above conclusion, the author confirmed the validity of the proposed measuring method.

After the ferrite constants have been determined by the least square method using the measuring data, the measured values and theoretical ones of the frequency dispersion characteristics for ferrite samples are compared. As a conclusion, the proposed measuring and determining the ferrite constants can be used very effectively to design a microwave absorber and evaluate its characteristics.

1. 서 론

오늘날 우리는 급속도로 발전하고 있는 전기통신 기술에 의해 많은 혜택을 누리고 있으며, 앞으로 그 혜택은 더욱 광범위하고 보편화되게 될 것이다. 그러나 정보화 사회가 촉진되는 과정에서 컴퓨터 등 정보기기가 기하급수적으로 증가함에 따라 전기, 전자기기와의 상호 불요전자파에 의한 전자과장해 등이 심각해져서 전파이용에 대한 법규적인 제약뿐만 아니라 초고주파공업 분야의 연구 및 실험에도 기술적인 제약이 따르게 되었다.

그러므로 이러한 제약을 따르게 하는 불요전자파를 억제하는 일이 중요한 문제로 제시되고 있으며, 이러한 문제점의 해결방법으로는 일반적으로 (1) 접지(Grounding), (2) 차폐(Shielding), (3) 흡수(Absorbing)의 방법이 사용될 수 있으나, (1) 및 (2)의 방법은 내부의 발전기 등에 간섭을 일으킬 뿐만 아니라 차단벽 등에 틈이 있는 경우에는 그 효과가 현저히 저하되기 때문에 최근 (3)의 방법이 가장 주목을 받고 있으며, 따라서 전파흡수체의 연구개발이 활발히 진행되고 있다.¹⁾

이러한 전파흡수체 연구를 역사적으로 정리해보면 다음과 같이 구분할 수 있다.

제1세대 : 주로 전시중에 행해진 것으로 레이다 전파를 흡수하는 것을 목적으로 했다.

제2세대 : 주로 안테나를 중심으로 하는 전파소자의 특성을 측정하는 전파암실을 만들기위해 필요한 흡수체의 개발을 목적으로 했다.

제3세대 : 이것은 현재로, 전자기기에서 누설되는 전파를 제어할 수 있는 제품의 능력 또는 내성을 측정하기 위한 전파암실용 흡수체의 개발을 목적으로 하고 있다.

제1세대의 흐름은, 현재에도 TV전파의 불요반사파 흡수로서 계속되고 있다. 제2세대의 특징은 주파수가 마이크로파대에 있지만, 제3세대의 현재는 하한주파수가 30MHz로 낮은 주파수대에 있는 것이 특징이다. 다시말해서, CISPR의 Publ. 22에 의해 30MHz에서 1000MHz의 주파수 범위에서 전자기기의 누설 전파 제어가 정해지고 있고, 이것을 측정하는 전파암실을 구축하기 위해서는, 이 주파수 범위에 있어서 충분한 반사감쇠량을 가지는 흡수체를 개발할 필요가 있다.

따라서, 금후 30MHz 이상의 전주파수를 커버하는 두께가 얇은 흡수체의 개발연구가 필요하고 이것이 제4세대라고 불리울 수 있다.

전파흡수체는 음에 대한 흡음재, 빛에 대한 흑색에 상당하는 것으로, 도래한 전파를 흡수해서 열로 변환해, 반사파를 발생시키지 않는 것이다.

그러나 이러한 전파흡수체를 이용하는 방법에도 몇가지 문제점이 남아 있는데, 첫째는 방해전파를 발생하는 전자기기 주변의 모든 구조물에 전파흡수체를 부착한다는 것은 기술적, 경제적으로 많은 제한이 있으므로, 전파장해원으로 작용하는 주된 반사목표물을 찾아내는 것이고, 둘째는 넓은 주파수 범위에서 우수한 전파흡수특성을 가지는 전파흡수체의 개발이 수반되어야 한다는 것이다^{2),3)}. 지금까지 개발된 대부분의 전파흡수체는 특정 주파수 범위에서만 그 성능을 발휘할 수 있는 것이 일반적이었으며, 넓은 주파수 범위에서 흡수특성이 우수한 전파흡수체는 그 두께가 너무 두꺼워서 실용성에 문제가 있었다.⁴⁾⁻¹³⁾ 따라서 이러한 문제점을 해결하기 위한 연구가 선진국 뿐만 아니라 우리나라에서도 활발히 추진되고 있다.

과거 수입에만 의존해 왔던 전자레인지 누설전파 방지용 전파흡수체가 국내에서 개발되어 그 특성의 우수성과 저렴한 제조원가로 인해 미국 및 일본을 비롯한 여러 선진국으로 수출하고 있으며, 레이다 허상을 방지하는 전파흡수체도 개발되어 관측용 레이다에 부분적으로 이용되고 있다. 이와 같이 전파흡수체의 용도가 다양해져서 특정 주파수대 및 광대역 주파수대에서 그 성능이 우수한 전파흡수체의 개발이 요구되고 있으며, 간편하고 신뢰성이 높은 전파흡수능 측정기법 및 재료정수 측정기법의 개발도 요구되고 있는 실정이다. 그러나 지금까지 제안된 HP의 2-Port법이나 Wiltron의 1-Port법은 모두 7mmφ의 Air-line이나 Gig을 사용하여 재료정수를 측정하기 때문에 샘플의 형상이나, Fitting상태 및 Setting상태의 불량에 따른 측정오차가 커서 실용성이 떨어진다.

따라서 본 논문에서는, 실험적으로 다섯종류의 샘플(Ferrite 소결체)을 제작하여 동축관법을 실용화하기 위한 Type-N Coaxial Line으로부터 대형Coaxial Tube로 변환시키는 Adaptor 및 같은 내외경을 가지는 동축관 샘플홀더를 설계·제작하고, 전파흡수능 및 재료정수를 실측한 후, 그 결과를 검토한다.

또한, 전파흡수체 설계시 재료선택 문제나 흡수체의 흡수능을 예측하는데 유효한 수단으로 이용되는 페라이트의 투자율 주파수 분산특성을 최적화하여 구해진 초투자율 k와 완화주파수 f_2 에 의해 계산되어진 이론치와 One Port Method에 의해 측정된 재료정수중 투자율과의 결과를 비교·검토한다.

II. 전파흡수능 및 재료정수 측정기법

II. 1 전파흡수능 측정기법

II. 1.1 측정원리

(1) 입력임피던스 또는 반사계수 측정법

반사계수(Γ)와 입력임피던스(Z_{in})의 관계는 식(2-1)과 같다.

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_o}{Z_{in} + Z_o} \quad (2-1)$$

따라서, 반사감쇠량은 a 는

$$a = -20 \log |S_{11}| \quad [dB] \quad (2-2)$$

으로 구해진다.

(2) 정재파비 측정법

전파흡수체의 전방에서 전파를 입사시키고, 공간 또는 도파관내에 형성된 정재파비를 ρ 라 하면 반사감쇠량 a 는 식(2-3) 또는 식(2-4)에 의하여 구해진다.

즉, 다음의 Fig. 2-1에서와 같이 공간에 놓인 전파흡수체의 전방에서 전파를 입사시키고, 전방의 공간에 형성된 정재파를 적절한 안테나로 측정하면,

$$a = 20 \log \frac{\rho + 1}{\rho - 1} \quad [dB] \quad (2-3)$$

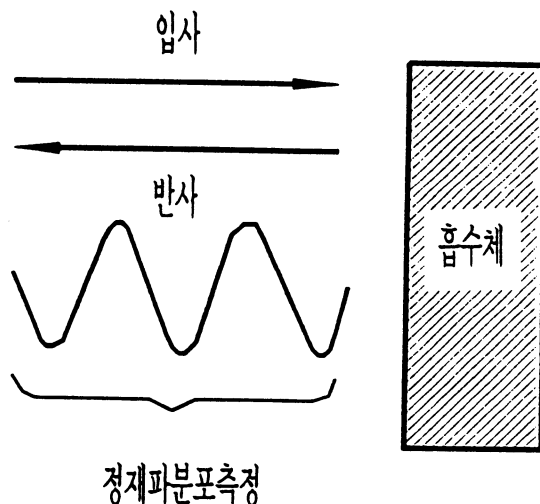


Fig. 2-1 Standing Wave Ratio Method.

으로 반사감쇠량이 구해진다.

한편, 도파관을 이용한 정재파측정기의 후단에 전파흡수체 및 단락판을 장착시킨 후 도파관 관내의 정재파비 ρ 를 측정하면 감쇠량 a 는 식(2-4)에 의하여 구해진다.

$$a = 20 \log \frac{1}{\Gamma} = a = 20 \log \frac{\rho + 1}{\rho - 1} \quad [dB] \quad (2-4)$$

$$\text{단, } \rho = \frac{E_M}{E_m} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$|\Gamma| = \frac{E_r}{E_i} \quad |\Gamma| \quad (\text{반사계수})$$

E_M, E_m : 각각 정재파의 극대 극소점의 전계의

세기[V/m]

E_i, E_r : 각각 입사 · 반사파의 전기장의 세기[V/m]

(3) 반사전력 측정법

지향성을 가지는 송수신 안테나를 Fig. 2-2와 같이 적당한 각도로 배치하고 P1 및 P2를 측정하면, 반사감쇠량 α 는 다음 식으로 구해진다

$$\alpha = 10 \log \frac{P_1}{P_2} \text{ [dB]} \quad (2-5)$$

단, P_1 : 흡수체가 없이 금속판만 있는 경우의 수신기 수신전력

P_2 : 흡수체를 장착한 경우의 수신기 수신전력

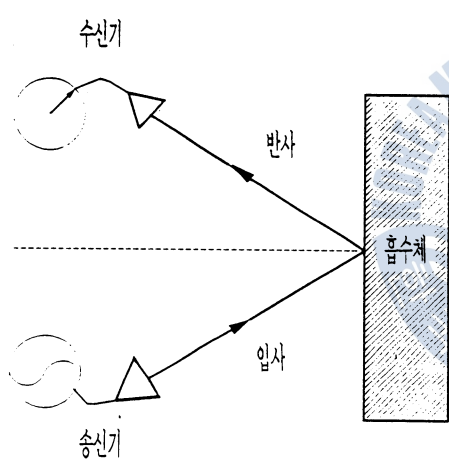


Fig. 2-2 Reflected Power Method.

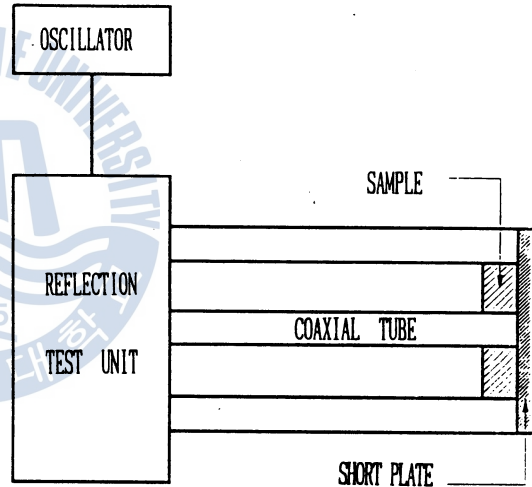


Fig. 2-3 Measuring Apparatus of Microwave Absorbing Characteristics.

II. 1. 2 측정기법

전파흡수체의 배면단락식의 전파흡수능측정 및 설계를 위한 입력임피던스는 Fig. 2-3에 나타난 측정장치를 사용하였으며, 이 측정을 위하여 마이크로파 전송선로의 동축선 이론¹⁵⁾에 바탕을 두었다. 따라서, 샘플을 제작한 후 Fig. 2-3의 Coaxial Tube Sample Holder의 배면 Short Plate에 샘플이 밀착되도록 삽입하여 반사감쇠량(반사계수) 또는 입력임피던스를 측정하면, 전파흡수능의 평가가 가능하다.

II. 2 반사법(One Port Method)에 의한 재료정수 측정법

II. 2.1 측정원리

재료정수의 측정원리는 크게 다음의 4가지로 분류할 수 있다. 즉,

(1) 정재파법(또는 반사법)

Coaxial Tube 또는 도파관의 내부에 샘플을 삽입하고, 샘플로부터의 반사에 의한 정재파 또는 입력임

피턴스를 측정하여, 그 결과로부터 재료정수를 구한다. 이 방법은 비교적 넓은 범위의 유전율 ϵ , 손실계수 $\tan\delta$ 를 가지는 재료의 측정에 이용된다.

(2) 공진법

공동공진기의 내부에 샘플을 삽입하여, 공진조건의 변화 및 Q의 저하 정도로부터 재료정수를 산출하는 방법으로, 주로 손실이 적은 재료의 측정에 이용된다.

(3) 섭동법

Ferrite와 같은 특수한 재료에 대해서는 공동공진기중에 놓인 작은 샘플에 의한 공진조건의 변화로부터 섭동법으로 계산하여 재료정수를 구하는 방법이다.

(4) 투과반사법(Two Port Method)

전송로의 중간에 샘플을 삽입하고, S_{11} 및 S_{21} 을 측정하여 이를 이용하여 재료정수를 구하는 방법이다.¹⁶⁾⁻¹⁹⁾

II. 2. 2 측정방법

재료정수 측정방법으로는 ① 회로망분석기로부터 입력임피턴스를 측정하는 방법과 ② 각 샘플홀더 및 샘플삽입시에 반사계수를 측정하는 방법이 있는데, 본 논문에서는 ②의 방법을 이용하였다.

Fig.2-4에서 $S_{11}(e)$ 를 측정하면

$$S_{11}(e) = -1 \cdot \exp(-2\gamma_0 l_0) \tag{2-6}$$

$$\gamma_0 l_0 = \text{Log}(-S_{11}(e)) \tag{2-7}$$

를 구할 수 있다. 또한 Fig. 2-5에서 Reference Plane에서의 반사계수는

$$S_{11}(l) = S_{11}'(l) \cdot \exp(-2\gamma_0 l_0)$$

로 측정되고, 샘플전면에서의 반사계수는

$$S_{11}'(l) = S_{11}(l) \cdot \exp(2\gamma_0 l_0) \tag{2-8}$$

로 된다. 식(2-8)로부터

$$\bar{Z}' = \frac{1 + S_{11}'(l)}{1 - S_{11}'(l)} \tag{2-9}$$

로 된다.

Fig. 2-6의 경우, Reference Plane에서의 반사계수는

$$S_{11}(2l) = S_{11}'(2l) \cdot \exp(-2\gamma_0 l_0)$$

로 측정되고, 샘플전면에서의 반사계수는

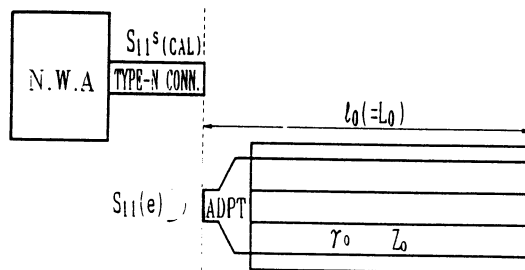


Fig. 2-4 Sample Holder connected Network Analyzer.

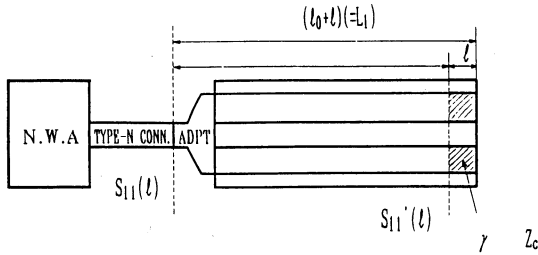


Fig. 2-5 Sample Holder(L_1) filled with Sample (l).

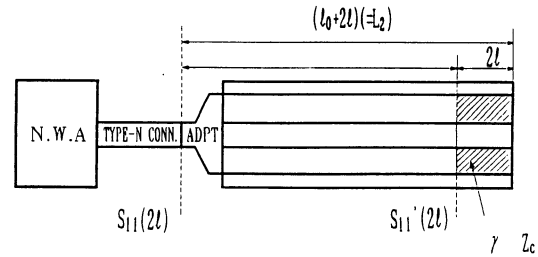


Fig. 2-6 Sample Holder(L_2) filled with Sample ($2l$).

$$S_{11}'(2l) = S_{11}(2l) \cdot \exp(2\gamma_0 l_0) \quad (2-10)$$

이 된다. 식(2-10)으로부터

$$\bar{Z}'(2l) = \frac{1 + S_{11}'(2l)}{1 - S_{11}'(2l)} \quad (2-11)$$

이 된다. 한편

$$\bar{Z}'(l) = \bar{Z}_c \tanh(\gamma l)$$

$$\bar{Z}'(2l) = \bar{Z}_c \tanh(2\gamma l)$$

이고

$$\tanh(2\gamma l) = \frac{2 \tanh(\gamma l)}{1 + \tanh^2(\gamma l)}$$

이므로

$$\bar{Z}'(2l) = \frac{2\bar{Z}'(l)}{1 + \tanh^2(\gamma l)}$$

$$\tanh(\gamma l) = \sqrt{\frac{2\bar{Z}'(l) - \bar{Z}'(2l)}{\bar{Z}'(2l)}}$$

이 되어

$$\gamma = \frac{1}{l} \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2\bar{Z}'(l) - \bar{Z}'(2l)}{\bar{Z}'(2l)}} \quad (2-12)$$

$$\bar{Z}_c = \bar{Z}'(l) \sqrt{\frac{\bar{Z}'(2l)}{2\bar{Z}'(l) - \bar{Z}'(2l)}} \quad (2-13)$$



이 된다.

따라서, 복수유전율(ϵ_r) 및 복소투자율(μ_r)은 다음식에 의해서 구할 수 있다.

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

$$\mu_r = -j \frac{\lambda}{2\pi} \cdot \overline{Z_c} \cdot Y \quad (2-15)$$

II. 3 페라이트 투자율의 주파수 분산특징

페라이트 응용소자의 특성과 그 특성한계를 알기 위해서, 페라이트의 투자율 분산을 아는 것이 필요하다. 자성의 이론적 연구결과에서 투자율 μ (비투자율을 $\mu r' - j\mu r''$)로 표시)는 스핀운동에 의한 μ_1 과 자벽운동에 의한 μ_2 의 합으로 표현된다는 것을 알고 있고, 또한 μ_1, μ_2 의 주파수분산도 정식화되고 있지만, μ 중의 몇 %가 μ_1 로, 몇 %가 μ_2 인가는 전혀 알고 있지 않다. 따라서 합계의 μ 자신에 대해서는 논리적으로는, 그 주파수분산의 검토도 할 수 없는 상태에 있다.

지금까지 행해져 왔던 연구는 (1) 상술한 μ_2 , 즉 자벽운동에 의한 기여를 무시할 수 있는 높은 주파수대에 있어서의 $\mu(=\mu_1)$ 을 이론적으로 구하는 연구와, (2) 측정에서 얻어진 μ 분산의 data을 가능한 한 잘 표현할 수 있는 수식을 만들어 내는 연구로 대별할 수 있다.²⁰⁾

전과흡수체를 설명하기 위해서는 $\mu r = \mu r' - j\mu r''$ 관계에 있어서 실수부 $\mu r'$ 은 물론 허수부 $\mu r''$ 도 흡수체의 특성을 결정하기 때문에 $\mu r'$ 뿐만 아니라 $\mu r''$ 도 생각해야 한다.

전과흡수체를 취급하기 위해 사용되는 페라이트의 비투자율을 자벽의 이동에 의한 공명의 항과 자화의 회전에 의한 완화의 항으로 분리하여 식으로 나타내면 식(2-16)과 같다.

$$\mu_r = 1 + \chi_1 + \chi_2 \quad (2-16)$$

$$\chi_1 = \frac{k_1 f_1^2}{f_1^2 - f^2 + j Y f} \quad (2-17)$$

$$\chi_2 = \frac{k_2 f_2}{f_2 + j f} \quad (2-18)$$

여기서

k_1 : 비초자화율(χ_1 항 관련)

k_2 : 비초자화율(χ_2 항 관련)

f_1 : 공명주파수

f_2 : 완화주파수

Y : 감쇠정수

한편, 통상의 전과흡수체에 사용하는 페라이트의 경우에는 $f_m > 3f$ 로 되어, 이주파수대에서는 공명의 항은 무시할 수 있으므로 페라이트의 비투자율을 완화의 항만으로 표시할 수 있다.¹²⁾

$$\mu_r = 1 + \frac{k_2 f_2}{f_2 + jf} \quad (2-19)$$

따라서 복수투자율을 식(2-19)에 의해 구할 수 있다.

II.4 샘플제작

Table 2-1은 본 연구에서 동축관 샘플홀더에 삽입하여 전파흡수특성 평가에 사용한 샘플을 보여 준다.

Table 2 - 1 Microwave Absorber Sample.

Sample 종류	Ferrite종류	길이(mm)	내경(mm)	외경(mm)	소성조건	
					온도(℃)	시간
S3-1	Mg-Mn-Zn계	3.5	8.80	19.40	1250	2
S3-2l		7.0	8.80	19.40	1250	2
S4-1	Mn-Zn계	4.0	8.80	19.40	1250	2
S4-2l		8.0	8.80	19.40	1250	2
S5-1	Mn-Zn계 (페 core분쇄물)	4.0	8.80	19.40	1250	2
S5-2l		8.0	8.80	19.40	1250	2

III. 측정결과 및 검토

III.1 20.05mm ϕ Coaxial Tube에 의한 반사감쇠량의 측정결과

III.1.1 Frequency Domain에서의 반사감쇠량의 측정결과

제II장에서 제작한 샘플의 전파흡수특성을 평가하기 위하여 50 Ω 계 Type-N connector-to 20.05mm ϕ Coaxial Tube로의 변환 Adaptor와 같은 내·외경의 종단단락형 Coaxial Tube Sample Holder를 이용하여 0.04GHz-6GHz의 주파수대역에 걸쳐 반사감쇠량을 측정하였다.

Fig.3-1(a), (b)는 Sample S3-1, S3-2l에 대한 Frequency Domain에서의 반사감쇠량의 측정결과를 나타낸 것이다.

III.1.2 Time(Distance) Domain에서의 반사감쇠량의 측정결과

Fig.3-2(a), (b) Sample S3-1, S3-2l에 대한 Frequency Domain 및 Time Domain에서의 반사량을 측정된 결과를 나타낸 것이다.

CH.1은 각각의 전파흡수체 샘플을 샘플홀더안의 종단단락면에 고정시키고 주파수영역에서 반사감쇠량을 측정된 것이다. CH.3은 게이트를 걸지 않은 Display상태에서의 거리상의 반사량을, CH.2는 적절한 Span의 게이트를 건 상태에서의 반사량을 각각 나타낸다. 그리고 CH.4는 게이트를 걸어서 푸리에역변환하여 Time Domain에서의 측정치를 주파수영역으로 변환시킨 것이다.

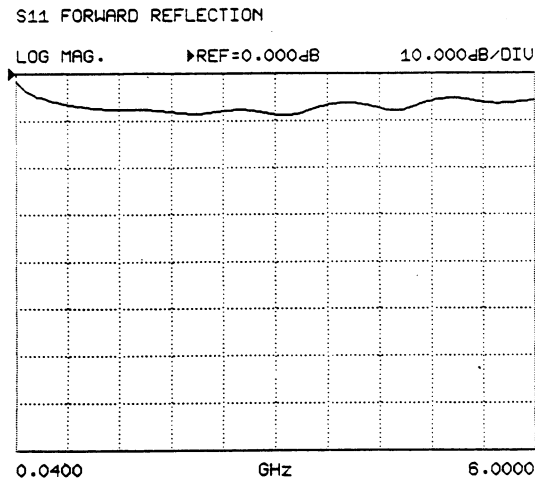


Fig. 3-1(a) Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample(S3-1) measured by 20mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder.

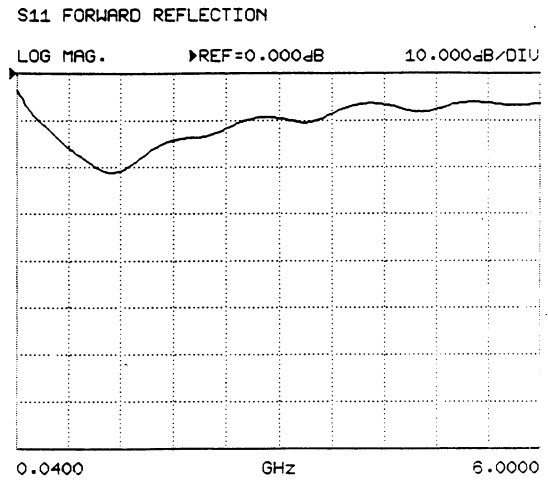


Fig. 3-1(b) Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample(S3-2) measured by 20mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder.

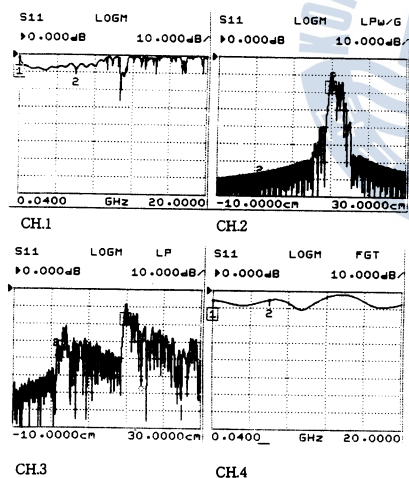


Fig. 3-2(a) Frequency and Time Domain Characteristics of Microwave Absorber Sample(S3-1) in the 20mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder.

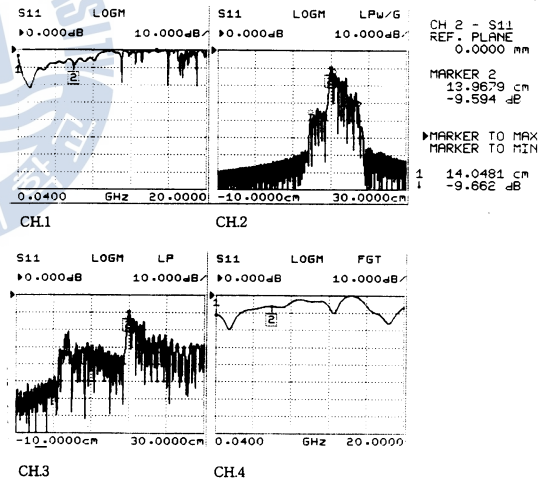


Fig. 3-2(b) Frequency and Time Domain Characteristics of Microwave Absorber Sample(S3-2) in the 20mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder.

Fig. 3-2에서 보는 바와 같이, CH.2를 푸리에역변환시켜 주파수영역으로 가져간 CH.4의 주파수특성과 CH.1의 주파수특성을 비교해 볼 때, 동축관의 차단주파수(약 6GHz)이내의 범위 즉, Marker 2까지의 주파수대에서는 서로 잘 일치함을 알 수 있다.

따라서, 본 절에서 제시한 Time Domain에서의 반사감쇠량 측정방법은 유효하게 이용될 수 있을 것으로 기대된다.

III. 2 재료정수 측정결과

II. 2절에서 설명한 One Port Method에 의한 재료정수측정 알고리즘에 따라 각 샘플의 재료정수를 측정하였다. Fig. 3-3(a), (b)는 샘플 S3에 대한 복소유전율 및 복소투자율의 측정결과를 나타낸다.

Fig. 3-4은 최소자승법을 이용한 최적화프로그램에서 얻어진 초투자율 k 와 완화주파수 f_2 을 이용해 계산한 투자율의 주파수 분산식의 이론치와 One-Port Method에 의해 구해진 실측치와를 비교한 것이다.

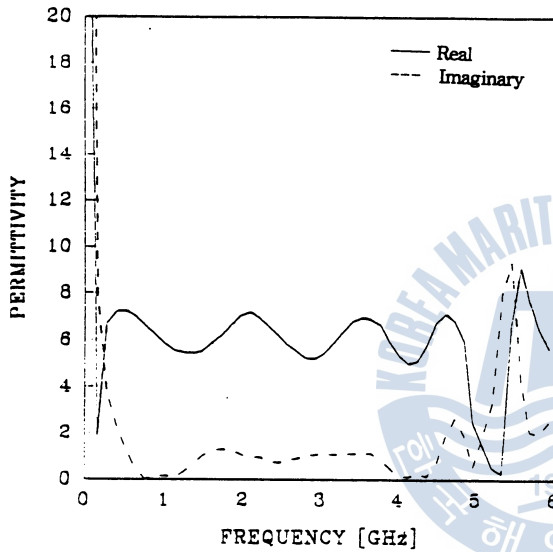


Fig. 3-3(a) Complex Permittivity of Sample (S3).

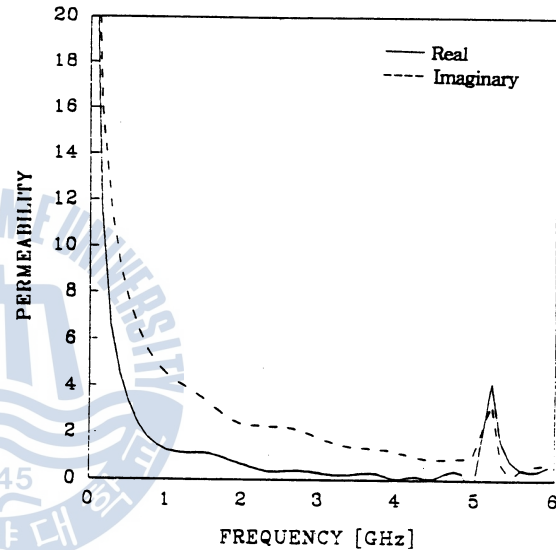


Fig. 3-3(b) Complex Permeability of Sample (S3).

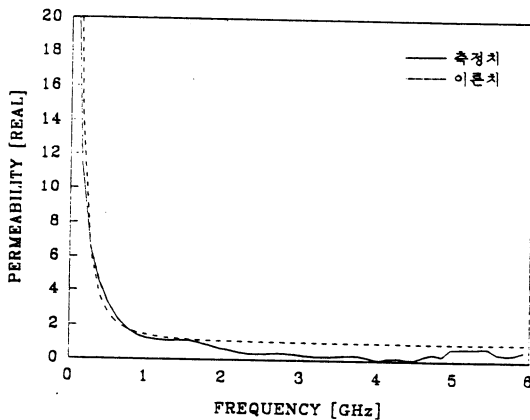


Fig. 3-4(a) Real part of Complex Permeability of Sample(S3).

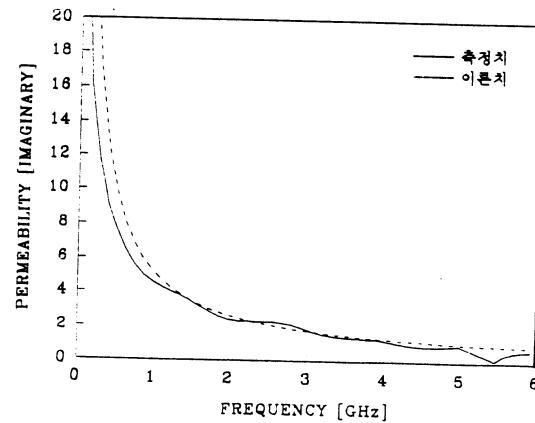


Fig. 3-4(b) Imaginary of Complex Permeability of Sample(S3).

III. 3 재료정수로부터 환산한 반사감쇠량의 비교 · 검토

제 II 장에서 기술한 One Port Method에 의한 실측을 위하여, 전송선로로서 20.05mm \emptyset Coaxial Tube Sample Holder를 사용하여 전파흡수체의 재료정수를 측정하고, 이를 환산하여 전파흡수능을 구한 결과에 대해 검토한다.

전파흡수능(반사감쇠량) a 는 다음식(3-1)에 의해 계산하였다.

$$a(\text{dB}) = 20 \log |S_{11}| = 20 \log \left| \frac{\bar{Z} - 1}{\bar{Z} + 1} \right| \quad (3-1)$$

$$\text{단, } \bar{Z} = \frac{\mu_r}{\epsilon_r} \tanh(j \omega \sqrt{\mu_r \epsilon_r} l)$$

Fig. 3-5(a), (b)는 샘플 3-1, 3-2에 대하여 측정된 재료정수(ϵ_r, μ_r)로부터 환산한 전파흡수능의 주파수특성을 나타낸다. Fig. 3-5의 재료정수로부터 환산한 전파흡수능과 III.1절에서 측정된 전파흡수능은 서로 잘 일치하는 것으로 평가할 수 있다.

따라서 III.1절과 비교하여 검토한 결과로부터 One Port Method에 의한 재료정수 측정법의 측정정도는 상당히 높다고 할 수 있다.

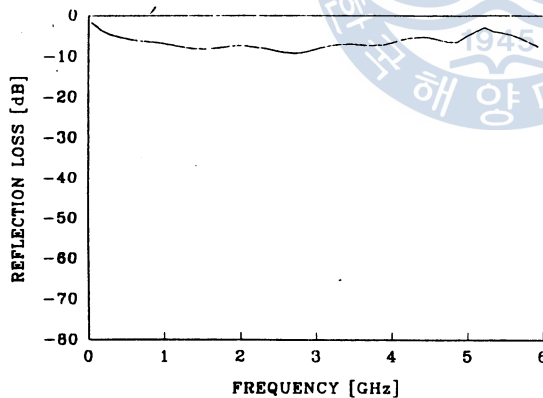


Fig. 3-5(a) Frequency Characteristics of Sample(S3-1) calculated from the Measured Material Constants which are shown in Fig. 3-3.

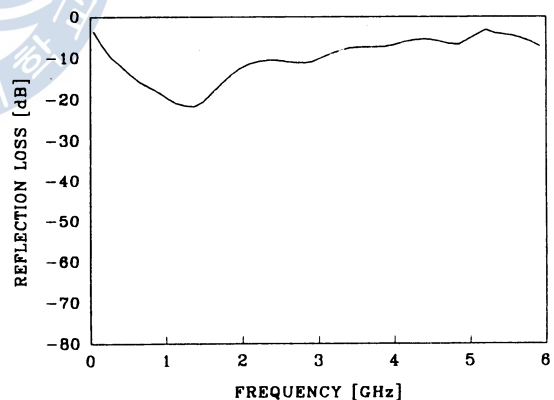


Fig. 3-5(b) Frequency Characteristics of Sample(S3-2) calculated from the Measured Material Constants which are shown in Fig. 3-3.

IV. 결 론

현재까지 제안되어 있는 전파흡수체의 재료정수 측정법으로서 투과반사법 및 One Port Method는 모두 7mm \emptyset Air Line이나 7mm \emptyset 지그를 사용하였기 때문에 샘플의 형상 및 Fitting 상태에 따른 측정오

차가 큰 문제점이었다.

따라서, 본 연구에서는 이와같은 문제점을 해결하기 위하여 20.05mm \emptyset Coaxial Tube Sample Holder를 이용한 One Port Method를 제안하여, 비교적 샘플의 형상 및 Fitting 상태에 따른 측정오차를 저감시킬수 있었다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 종합하면 다음과 같다.

(1) 20.05mm \emptyset Coaxial Tube Sample Holder를 이용한 One Port Method에 의한 전파흡수능 측정기법을 제시하고, 재료정수 측정기법 및 측정법의 알고리즘을 제안하였으며,

(2) One Port Method의 알고리즘에 따라 재료정수를 측정하여 전파흡수능으로 환산한 값과 실측한 전파흡수능의 측정치가 서로 잘 일치함을 확인함으로써 본 연구의 타당성을 입증하였다.

(3) 특히, 본 논문에서 제안한 Fourier 역변환에 의한 전파흡수능 측정방법은 부정합(mismatch)의 영향을 제거할 수 있어서, 대단히 측정정도가 높을 것으로 기대되며, 실측에 의하여 그 응용가능성을 확인하였다.

참고문헌

- 1) 中島將光, マイクロ波工學, (株)森北出版, 1979. 1.
- 2) 김동일, 정세모 외, "카아본-페라이트 전파흡수체의 특성", 대한전자공학회 논문지, 제26권 제11호, pp. 92-97, 1989. 11
- 3) 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
- 4) Y. Natio, 電波吸收體, Ohm社, 1987
- 5) 森田孝, 吉田則信, 深井一郎, "ヒステリシスおよび緩和特性考慮*したフェライト電波吸收體*空間回路網法による解析", 日本電子通信學會誌 B-11 Vol. J73-B-11, No. 9, pp. 464-471, 1990. 9
- 6) 電子機器의 電子波遮蔽對策: 電子技術, Vol. 31, no.12, 1989, pp. 17-96
- 7) 노이즈對策用 部品·材料: 電子技術, Vol.31, no.2, 1989, pp. 2-62
- 8) J.L.N. Violette, et al., Electromagnetic Compatibility Handbook, Van Nostrand Reinhold Company Inc., New York, 1987
- 9) D.R.J. White, A Handbook Series on Electromagnetic Interference and Compatibility, Volume 1: Electrical Noise and EMI Specifications, Don White Consultant, Inc., Maryland, Second Edition, 1980
- 10) 森本重武, "環境電子工學に關する用語", 日本電子通信學會誌 技術研究報告, CTS 75, 36 June 1975
- 11) 日本電子通信學會編, マンチナ工學 ハンドバック, オーム社, 1980
- 12) EMI/EMC 기술자료, 표준연구소
- 13) 內藤 外, "フェライト吸收壁の電波吸收特性", 日本電子通信學會誌, 69/1 Vol.52-B, No.1, pp. 26-30, 1969
- 14) EMI/EMC 現況과 展望, 電子工學會誌, Vol.16, no.5, pp. 419-427 1989
- 15) 拔山, 淺見, "電子遮蔽の理論と實際", コロナ社, 1955
- 16) Microwave Material Measurements Seminar 자료, The Johns Hopkin University, Oct. 1990.
- 17) 김동일, "전파흡수능 측정기법 연구", 국방과학연구소 기술보고서, 1991. 3
- 18) '92 EMI·EMC 노이즈對策技術シンポジウム資料, (株)日本能率協會, 1992

- 19) 内藤喜之, マイクロ波ミリ波工學, コロナ社, 1986.[16] 金能秀 외, “전자과장해(EMI/EMC)”, 산업기술정보원, pp. 3-10, 1991
- 20) 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, pp. 113-120, 1973. 2
- 21) 清水康敬 外, 電磁波の吸収と遮蔽, 日經技術圖書, pp. 97-204, 1989. 1

