

Time Domain법에 의한 전파흡수체의 흡수능 측정법의 비교연구

(A Comparative Study on Measuring Methods of Absorption Characteristics for Electromagnetic Wave Absorber Using Time Domain Method.

김 동 일* · 김 상 태** · 박 지 용** · 정 세 모***

(Dong-Il Kim* · Sang-Tae Kim** · Ji-Yong Park** · Se-Mo Chung***)

요 약

본 연구는 평판형, 그리드형, 특수형상 등의 페라이트 전파흡수체의 흡수능 측정시스템을 구축하는 데에 목적이 있다. 그러나 30MHz와 같이 낮은 주파수에서 흡수능을 측정하는 것은 대단히 곤란하다. 이와같은 문제를 해결하기 위하여 평행평판 스트립라인을 사용하여 정재파측정법 및 시간영역법을 제안하였으며, 실제 측정시스템을 구성하고 제안한 측정법으로 그리드형 페라이트 전자파흡수체의 특성을 측정·평가하였다.

Abstract

The goal of this research is to get a measuring system for absorption characteristics of electromagnetic wave absorbers in ferrite type which are flat, grid-type and special type, etc. It is, however, very difficult to measure the absorption characteristics in as low frequency as 30 MHz.

To solve the problem, therefore, we propose a standing wave method and a measurement method in time domain using parallel striplines, construct the measuring system, and measure the characteristics of ferrite microwave absorbers in grid type using the proposed measuring system.

I. 서 론

1-1. 연구배경

근년, OA화 및 이동체통신의 발전과 더불어 각종 전자기기로부터의 불요전파의 문제가 심각하게 부각되어가고 있다. 더욱이 각종 시스템의 다양화와 점차 높아지는 전력소모에 기인한 불요전자파잡음

의 크기 및 점유주파수 대역이 증가하고 있으며 반대로 전자기기 및 시스템에서 사용하는 소자는 저소비 전력화와 고집적화를 위해 점차적으로 그 감응레벨이 낮아지고 있다.

그에 따라서 전파흡수체의 용도는 다양해지고, 그 결과 완수해야 할 역할은 더욱 중요하게 대두되어왔다. 현재, 전자기기로부터의 누설전파의 국제적인 규제는 30MHz에서 1000MHz에 대해서 이루어지고

* 한국해양대학교, 전파공학과
 ** 한국해양대학교, 전파통신공학과 석사과정
 *** 한국해양대학교, 해사수송공학과

있다. 따라서, 하한주파수인 30MHz근방에서 전파 흡수체의 특성을 평가할 필요가 있다.[1]

그러나, 하한주파수인 30MHz 정도의 낮은 주파수에서 그 특성을 측정에 의해 평가하는 것은 종래의 방법으로는 거의 불가능하므로, 본 논문에서는 평행 스트립라인을 이용한 새로운 측정법을 제안하여 임의의 형상을 가진 페라이트 전파흡수체의 전파흡수특성을 30MHz대 부근에서부터 실험실적으로 간단히 평가할 수 있는 측정시스템을 구축하였다.

1-2. 연구목적

Ferrite계 전파흡수체에는 용도, 형상 모두 다양한 종류가 있으나, 그 가운데에서도 Tile상의 것에 주목하면, [Fig. 1]과 같이 대표적인 소결평판(燒結平板) Ferrite 및 광대역화를 시도한 격자형 Ferrite라 불리는 특수형상의 것을 들 수가 있다.

본 연구의 목적은 이미 고안되어 실용화되고 있는 [Fig. 1]에 표시한 소결평판 Ferrite(이하, Flat라 부른다) 및 격자형 Ferrite(이하, Grid라 부른다) 등의 Ferrite계 전파흡수체에 대해서, 주파수 30MHz 이상에 대해 실험실적으로 간단히 행할 수 있는 전파 흡수특성의 측정계를 구축하는데 있다.

그런데 30MHz 부근의 낮은 주파수에 대한 적절한 실험은 용이하지 않다. 예를 들면 도파관에서의 실험을 시도하려고 하면, 그 치수가 대단히 크게 되기

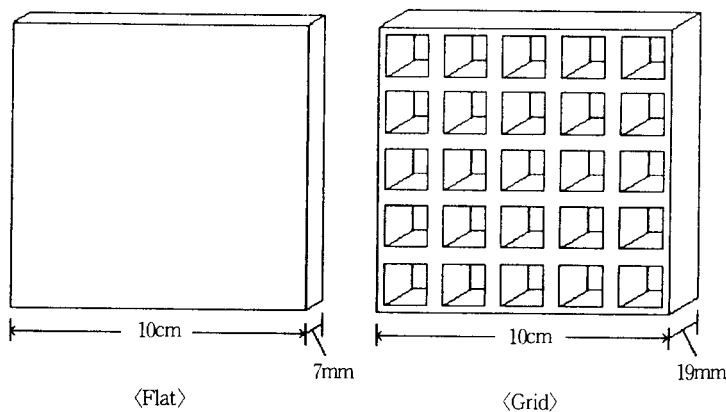
때문에 현실적이 아니고 또, 스트립선로를 이용해서 입력단에서 흡수체를 들여다본 임피던스를 측정하기 위해서는 입력단 부근에서 정확하게 정합을 취할 필요가 있으므로, 테이퍼부(部)를 정도(精度) 높게 제작하지 않으면 안되는 만큼 대단히 어려운 문제가 많다. 기타 3차원구조를 갖는 격자형의 흡수체를 평가하는데 동축관에서의 측정은 불가능하다.[2]~[7] 따라서, 본 연구에서는 평행스트립선로를 이용하여 정재파법에 의한 측정 및 Vector Network Analyzer(이하, V.N.A.라 부른다.)를 이용한 Time Domain상에서의 전파흡수능 측정법을 제안하고 그 측정시스템을 제작하여 Ferrite계 전파흡수체의 전파흡수특성을 측정하고 제안된 측정시스템의 타당성을 비교실험을 통하여 입증하였다.

II. 측정방법

2-1. 평행스트립선로를 이용한 정재파측정법 및 V.N.A Time Domain 방법

구형(矩型)도파관에 의하여 전파흡수능을 측정하는 경우를 생각해 보자. 단면의 장축이 a, 단축이 b인 구형도파관에서의 전파정수 r는 무손실전송의 경우,

$$r = \pm \{ (m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2 - \omega^2 \epsilon \mu \}^{1/2} \quad (1)$$



[Fig. 1] Samples of Electromagnetic Wave Absorbers.

이며, 이것으로부터 차단파장 λ_c 는

$$\lambda_c = \frac{2\pi}{\{(m\pi/a)^2 + (n\pi/b)^2\}^{1/2}} \quad (2)$$

로 나타낼 수 있다.

따라서, 30MHz에서 TE₁₀ 모오드에 대하여 구형 도파관의 차단파장은 $\lambda_c = 10m = 2a$ 이므로, 그것이 차단되지 않기 위해서는 $m = 1, n = 0$ 으로 하면 단면의 한 변이 $a = 5m$ 인 도파관의 실험장치가 요구되어, 현실적으로 제작이 쉽지 않다. 또, 도파관내에서는 전파가 종단에 사입사(斜入射)하기 때문에 수직입사에 대한 측정이 불가능한 것도 중대한 결점이다. 다음에 동축관에 대해서 생각해보자. 평판Ferrite에 관해서는 그것을 동축관의 사이즈에 맞추어 관통한 것을 사용하면 측정은 성립하나, 격자형Ferrite에서와 같은 3차원 구조체의 측정이 불가능하다는 것은 자명하다.

또, [Fig. 2]의 (a)와 같은 구조의 스트립선로 등에서 임피던스를 측정하는 것을 생각해보자. 측정시스템의 사이즈는 중심도체의 폭과 선로전체의 높이의 비가 적당하면 좋으므로, 단면의 크기나 형상은 적당하다고 말할 수 있으나, 입사단에서 임피던스를 본다고 하는 것은 입사단에서 반사단에 이르기까지의 방사나 반사단 이외에서의 반사가 있어서는 안되므로, 입사단으로 부터의 테이퍼부를 최저 1파장분, 예를 들면 30MHz대에서는 10m의 긴 테이퍼부를 필요로 하게 된다. 그래서 측정시스템이 거대해 지면서도 입사단에서 반사단까지 부분에서의 불필요한 반사(선로의 이음매등)를 없애는 것이 용이하지는 않다. 따라서, 임피던스를 측정한다는 발상은 현명하지 않다.[2]~[7]

따라서, 본 연구에서는 임피던스법이 아닌 정재파법에 의한 측정시스템을 제안하고 계속장비의 고급화와 다기능화로 이 평행스트립라인을 이용하여 V.N.A의 Time Domain기능을 도입한 간단한 측정법을 제시하였으며 Time Domain Method에 의해 실험실수준에서 보다 간단하게 전파흡수능을 측정할 수 있는 새로운 측정계를 구성하고 그 타당성의

비교 실험을 행한다.

즉, 평행스트립선로를 이용한 정재파법에 의한 실험에 있어서는 스트립선로를 이용한 측정시스템의 단면의 치수가 적어도 좋고 테이퍼부에 있어서는 방사나 방사가 다소 있어도 측정부분에 측정가능한 만큼의 Power가 있으면 좋으므로 테이퍼부는 적당한 길이로 해결되게 된다. 단, 측정부에서 정재파를 두 개이상 관측하기 위해서는 측정부(Uniform Strip Line)의 길이가 적어도 1파장분 필요하므로 30MHz의 측정에 관해서는 (적당한 테이퍼 + 측정부10m)의 치수가 필요하다.

한편, 제안된 Time Domain Processing은 시간영역에서의 반사신호를 FFT(Fast Fourier Transform)에 의하여 주파수영역으로 변환하여 전파흡수능을 도출하는 기법을 이용하고 있다.

2-2. 측정시스템의 제작

측정을 위하여 [Fig. 2]의 (a)와 같은 단면을 가지면서, 테이퍼부1.5m, 측정부4m의 장치를 제작하였다. 이렇게 할때 이론상으로는 80MHz이상의 주파수에 있어서 측정이 가능하다. 스트립의 폭(w)은 fringe effect가 상호작용을 하지 않을 만큼 충분히 넓은 경우이며 그 특성임피던스식

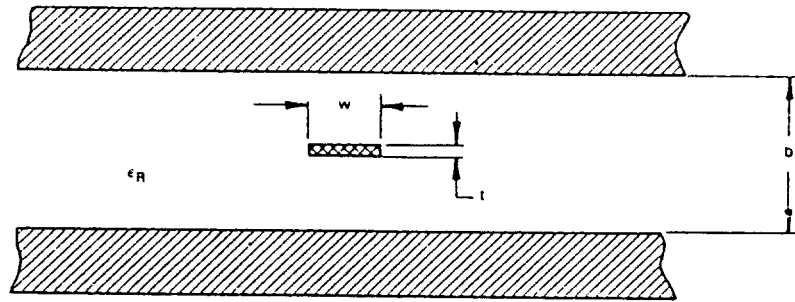
$$Z_0\sqrt{\epsilon} = \frac{94.15}{\frac{w/b}{1-t/b} + \frac{C_f}{0.0885\epsilon_R}} \quad (3)$$

$$\text{단, } C_f = \frac{0.0885\epsilon}{\pi} \left[\frac{2}{1-t/b} \ln \left(\frac{1}{1-t/b} + 1 \right) - \left(\frac{1}{1-t/b} - 1 \right) \ln \left(\frac{1}{(1-t/b)^2} - 1 \right) \right] \text{ pF/cm} \quad (4)$$

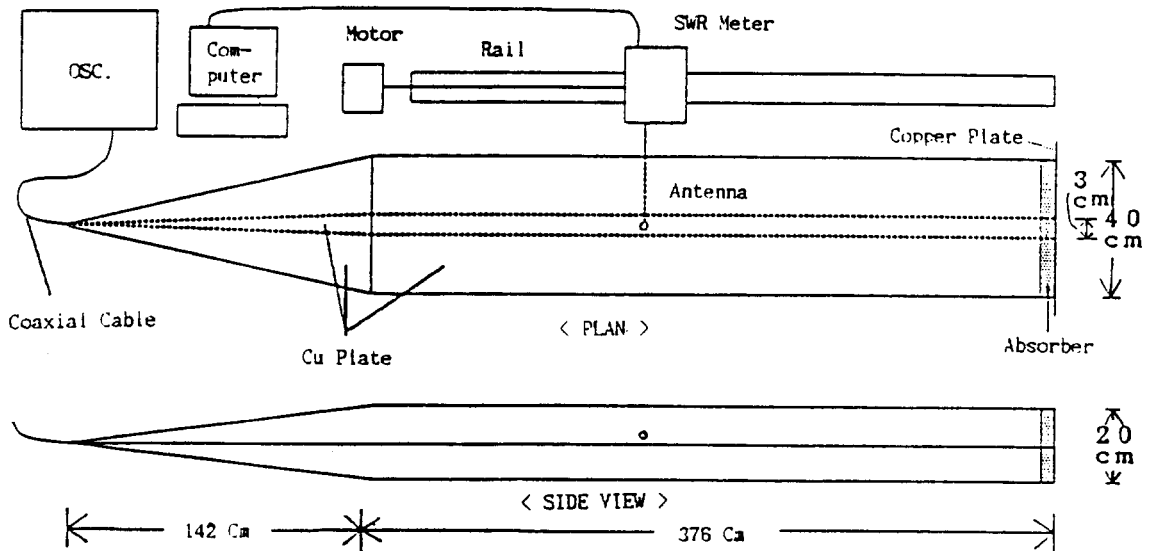
에 의하여 Uniform Strip Line의 특성임피던스가 50Ω이 되도록 하는 전산program을 작성하고, Coaxial-to-Strip Line Launcher에서 Uniform Strip Line에 이르는 선로의 Taper부의 특성임피던스가 역시 50Ω이 되도록 선로폭 및 Strip의 폭, 평판과 Strip간의 간격, strip의 두께를 결정하였다.[5]

그 결과 [Fig. 2]의 (b)와 같은 측정 시스템을 완성했다. Probe는 우선 다이오드가 부착된 변조용 안테나이고, 이 안테나가 중심도체의 위 약 1.5cm를 3.5m에 걸쳐서 이동시키면서 VSWR Meter로 관측한 전압을 A/D변환하여 컴퓨터에서 받아들이도록 했다. 또, 제작된 측정시스템에 Time Domain 기능

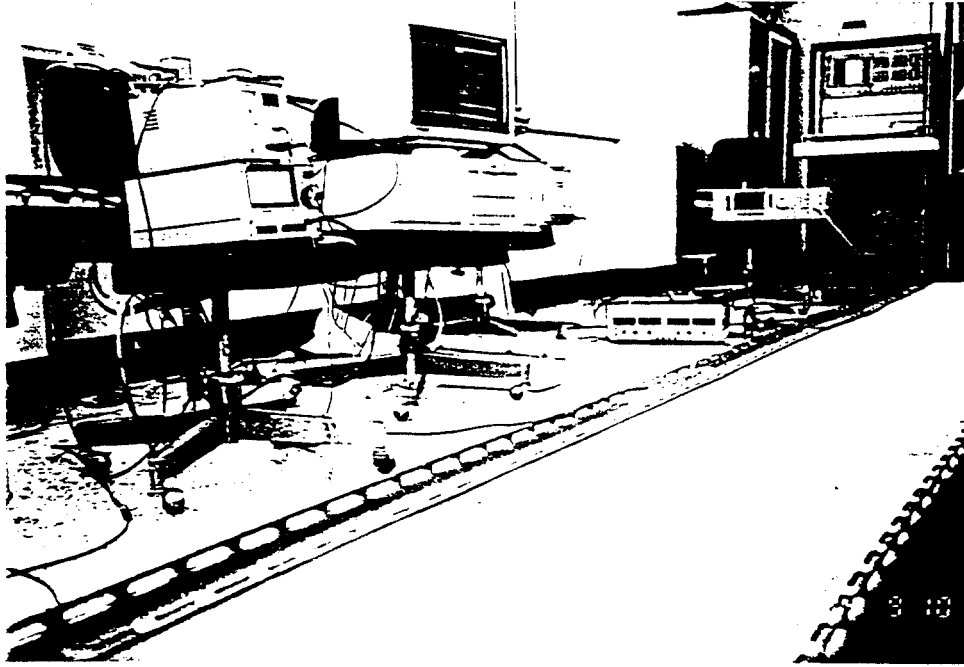
을 가진 V.N.A.(본 실험에서는 Wiltron사의 360B를 사용하였음.)를 사용하여 스트립라인의 입사단에 50 Ω N-Type connector로 연결하여 Stripline의 반사계수를 Time Domain상으로 적절하게 Gate를 걸어 측정을 행한다.



[Fig. 2] (a) Stripline Cross-Section Establishing Electrical and Mechanical Dimension.



[Fig. 2] (b) Measuring System.



[Fig. 2] (c) Fabricated Parallel Plate Stripline & Measuring Setup.

제작된 선로의 외관 및 제작된 측정시스템을 [Fig. 2]의 (c)에 표시했다.

Ⅲ. 측정결과

구성된 평형스트립라인의 입력단에 Sweep 발진기를 접속하고 1KHz변조신호 변조하여 각 측정주파수에 대해 신호를 입력하고 안테나를 스위프하여 정재파비 측정기로부터 측정된 측정치를 A/D변환하여 각각의 거리에 대한 정재파비로서 컴퓨터에 데이터로 저장된다. 우선, 반사단의 흡수체를 장착하지 않은 short의 상태로서 그 정재파분포를 조사한다. 다음에 Flat형 및 Grid형의 Ferrite전파흡수체 각각에 대해서 [Fig. 2]의 (b)의 종단에 적절하게 세트한다. 그리고 나서 흡수체장착시의 각각의 정재파분포를 측정한다. 얻어진 정재파분포(NEFI: Normalized Electric Field Intensity)의 일례(400MHz)를 [Fig. 3], [Fig. 4], [Fig. 5]에 표시하

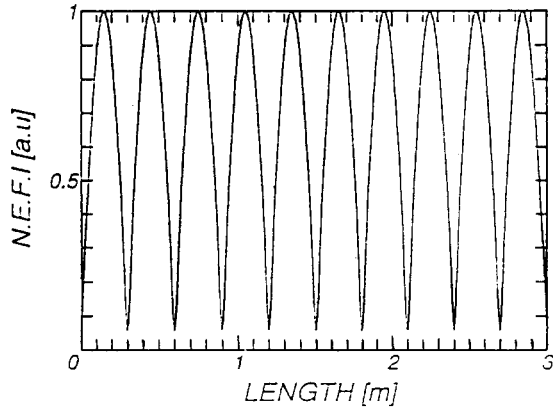
였다. 따라서, 전파흡수특성은 얻어진 정재파 분포를 기본으로 다음과 같이 해서 구할 수 있다. 즉, 정규화하여 얻어진 종단 short의 경우의 최소전압 V_s [a.u.] 및 전파흡수체 장착시의 최소전압 V_a [a.u.]를 이용하여,

$$\begin{cases} \rho_s = 1/V_s \\ \rho_a = 1/V_a \end{cases} \quad (5)$$

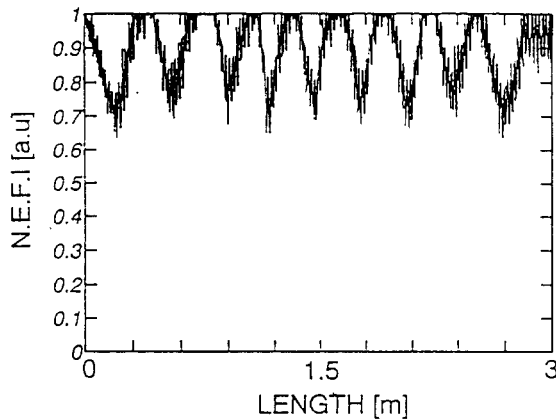
라 하면 반사계수 Γ 는 (6)으로 계산할 수 있다.

$$\Gamma = 20 \log \frac{(\rho_a - 1) / (\rho_a + 1)}{(\rho_s - 1) / (\rho_s + 1)} \text{ [dB]} \quad (6)$$

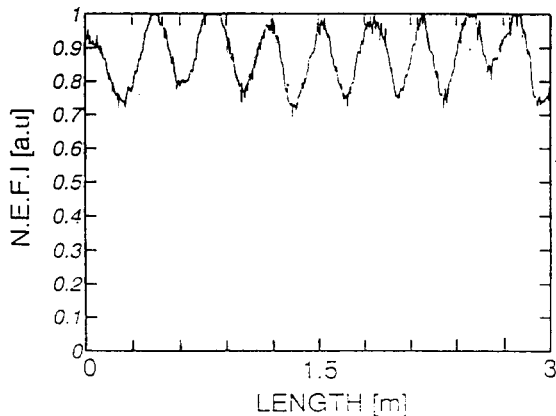
로 계산할 수 있으며 [29]~[33] 그 결과 [Fig. 6] 및 [Fig. 7]과 같은 흡수특성이 얻어졌다. Flat형, Grid형 공히 반사가 -20dB 이하가 되는 대역은 측정되지 않았다.



[Fig. 3] Short(400MHz).



[Fig. 4] Flat(400MHz).

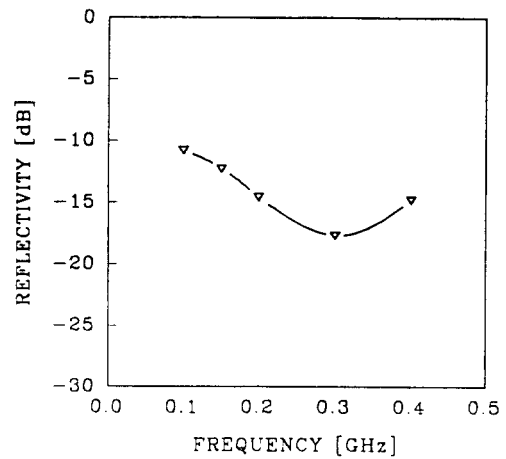


[Fig. 5] Grid(400MHz).

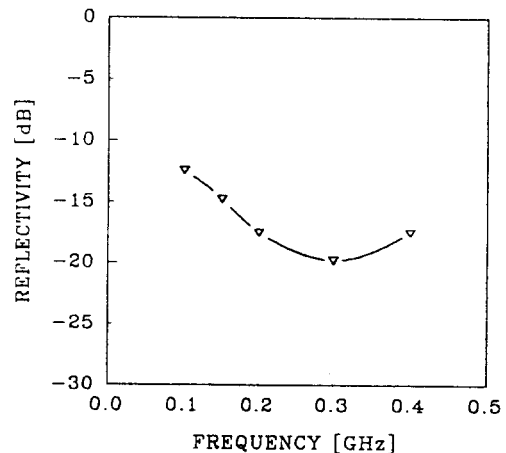
같은 방법으로 V.N.A를 사용하여 스트립라인의 입사단에 50Ω N-Type connector로 연결하고 반사

계수를 측정하여 Time Domain상에서 종단 단락된 부분에 적절히 Gate를 걸어 종단 단락시의 반사계수와 흡수체 장착시의 반사계수를 대수 차감함으로써 Gate된 위치의 흡수체에 의한 전파흡수능을 측정할 수 있다.[6]~[7]

[Fig. 8], [Fig. 9]는 Time Domain 측정법으로 측정된 Flat형 및 Grid형 전파흡수체의 흡수특성과 정재파 측정법으로 얻어진 전파흡수특성을 비교하여 나타내고 있다[8]~[11]. 전반적으로 약 700MHz부근까지 양호한 흡수특성을 보여주고 있으며 좋은 측정치를 나타내고 있음을 알 수 있다. 한편, 정재파측



[Fig. 6] Absorption Characteristics of Flat Tile.



[Fig. 7] Absorption Characteristics of Grid Absorber.

에 있어 Center conductor의 굴곡 등에 의한 오차 및 Tile Setting시 사이에 간격이 벌어져 버린 것등을 생각할 수가 있다.

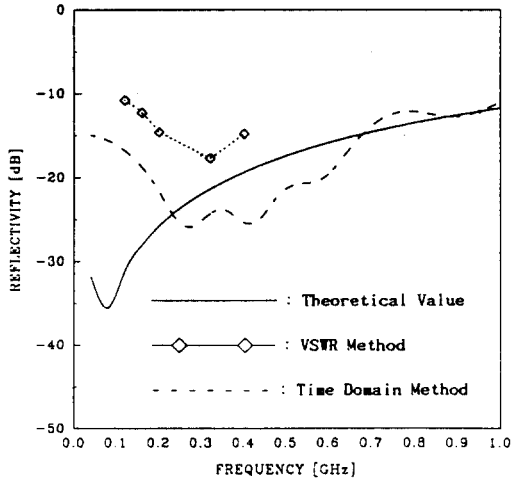
IV. 결 론

본 연구에서는 전파흡수체용이나 TV Ghost방지용 전파흡수체와 같이 형상이 특이하거나, 크기가 큰 전파흡수체를 별도의 전파흡수실을 구비하여 특수안테나와 같은 고가장비를 이용하지 않고서도, 실험적으로 간편하게 측정할 수 있는 평행스트립라인을 이용한 간이측정장비를 제안하고 비교실험을 통하여 그 타당성을 입증하여 전파흡수체의 전파흡수능을 80MHz정도의 낮은 주파수에서도 측정할 수 있게 함으로써, 고성능 전파흡수체의 실험적인 설계 및 성능평가를 가능하게 하였으며 EMC/EMI대책에 활용할 수 있게 하고, 실측을 행하여 타당성을 입증하였다.

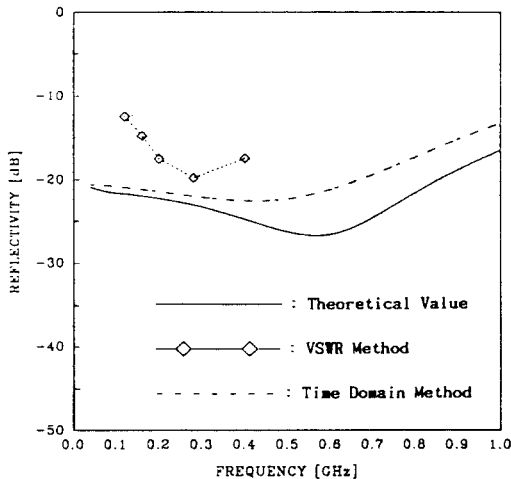
본 연구의 결과로 평행스트립라인을 이용한 Time Domain법은 적절한 Gate에 의해 그 오차를 충분히 줄일 수 있었고 측정결과, 전파흡수체 특성의 이론치와 비교적 잘 일치하므로 실용적임을 확인하였다. 그러나 평행 스트립라인상의 정재파측정에 있어서는 측정장비의 미비로 측정상에 많은 오차가 있었으며 Center conductor를 Sweep하는 안테나의 높이를 일정하게 유지하는데 있어 많은 오차를 유발하였다. 차후로 제안된 측정시스템을 사용하여 보다 짧은 스트립라인 만으로 Time Domain상에서의 측정 실험을 행하고 다른 여러 샘플에 대해서도 적용하여 비교실험을 행하고자 한다.

참 고 문 헌

- [1] 전자파장해(EMC)기술세미나, 한국전자파기술학회, pp.10, 1990.
- [2] S. O. Rice, "Steady State Solutions of Transmission Line Equations," The Bell System Technical Journal, Vol. XX, No.2, pp.131-178,



[Fig. 8] Comparison of Absorption Characteristics in Tile Type by Time Domain Method and VSWR Method.



[Fig. 9] Comparison of Absorption Characteristics in Grid Type with Time Domain Method and VSWR Method.

정법과 비교하여 전반적인 측정오차에 있어서 간단하면서도 적절한 Gate에 의해 그 오차를 충분히 줄일 수 있었다. 정재파비 측정법에 있어서는 측정시스템상 발전기의 충분한 Power를 얻지 못하여 VSWR Meter의 구동을 위해 제작된 증폭기의 오차를 생각할 수가 있다. 그 외의 측정오차는 측정시스템

- Apr. 1941.
- [3] A. A. Oliner, "Equivalent Circuits for Discontinuities in Balanced Strip Transmission Line," IRE Trans. on MTT, pp.134-143, Mar. 1955.
- [4] S. Cohn, "Problems in Strip Transmission Lines," IRE Trans. on MTT, Vol.3, No.2, 119-126, 1955.
- [5] Harlan Hove, Strip Line Design, Artech House, Inc., 1979.
- [6] 김동일, 정세모외, "카아본-페라이트 전파흡수체의 특성", 대한전자공학회 논문지, 제26권 제11호, pp.92-97, (1989. 11)
- [7] 김동일, 정세모외 "전파흡수능력 측정기법연구", 국방과학연구소 기술보고서 MRDD-411-91127(1991. 3)
- [8] M.N. Afsar et. al., "The Measurement of the Properties of Materials," Proc. IEEE, Vol.74, No.1, pp.183-199, Jan. 1986.
- [9] 中島將光, 마이크로波 工學, 森北出版(株) (1979. 1)
- [10] 內藤喜之 外, "フェライト吸收の電波吸收特性", 日本電子通信學會 論文誌 B, 52-B, pp. 26-30(1969. 1)
- [11] 內藤喜之, 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, 第9號, pp.537-545(1970. 9)
- [12] "Materials Measurement Package," Wiltron 기술자료.