

1-PORT METHOD에 의한 전파흡수체의 재료정수 및 전파흡수능 측정기법 연구

김동일, 백명숙*, 정중식

A Study on the Measurement Technique of the Material Constants And Propagation Absorbing Ability of Electromagnetic Wave Absorber By One Port Method

Dong Il Kim, Myung-Sook Baek, Jung-Sik Jeong*

Abstract

This study aims to measure the reflection loss and the material constants of the fabricated samples for electromagnetic wave absorber precisely and easily by using 20mm ϕ coaxial tube with the end-short-type. The authors have established the extraction algorithm of material constants by one port method, and proved that the results of the experiments coincided with the calculated ones. On the basis of the above results, the validity of the proposed measuring method is confirmed.

This measurement method could be used effectively for the design of microwave absorber and for its evaluation.

I. 서 론

TV의 고스트 방지용 전파흡수체, 레이더 전파의 흡수를 위한 RAM 및 각종 전자기기로부터의 전파누설 방지용 전파흡수체 등의 전파흡수능 및 재료정수의 측정은 전파흡수체의 설계 및 제작을 위한 필수요건이 된다. 즉, 원하는 성능을 가지는 전파흡수체를 설계하기 위하여는 시험 제작한 전파흡수체의 재료정수를 정확히 측정하여야 하며, 전파흡수특성의 평가를 통하여 실제 제작된 전파흡수체의 성능을 알 수 있으므로, 전파흡수체의 재료정수 및 전파흡수특성의 측정법이 확립되지 않으면 성능이 좋은 전파흡수체의 설계가 불가능하므로 전파흡수체의 전자기학적 특성을 정확히 측정하는 것은 대단히 중요하다.

현재까지 제안되어 있는 Two Port Method나 One Port Method는 모두 7mm²의 Air Line이나 지그(Jig)를 사용하고 있기 때문에 샘플의 형상이나 Fitting 상태에 따른 측정오차가 크게 되어 실용성이 떨어진다.^{1)~7)}

따라서 본 연구에서는 실험적으로 다섯종류의 샘플(Ferrite 소결체)을 제작하여 동축관법을 실용화 하기 위한 Type-N Coaxial Line으로부터 대형 Coaxial Tube (내경:약 9mm, 외경 20mm 정도)로 변환시키는 Adaptor 및 같은 내외경을 가지는 Coaxial Tube Sample Holder⁹⁾를 이용하여 (1) One Port Method에 의한 전파흡수능 및 재료정수 측정기법의 알고리즘(Algorithm)을 제안하여, (2) 비교적 샘플의 형상이나 Fitting 상태에 따른 측정오차를 저감하고, (3) 제작한 각각의 샘플에 대한 전파흡수능(반사감쇠량)을 실측한 결과와 제안한 One Port Method에 의한 알고리즘에 따라 재료정수를 측정하여, 이를 반사감쇠량으로 환산한 결과치와를 비교 검토함으로써 본 연구의 타당성을 입증하고자 한다.

II. 전파흡수능 및 재료정수 측정기법

2.1 전파흡수능 측정기법

(1) 측정원리

반사계수와 입력임피던스의 관계는 식(1)과 같다.

$$\Gamma = S_{11} = \frac{Z_{in} - Z_0}{Z_{in} + Z_0} \quad (1)$$

따라서, 반사감쇠량 α 는

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

으로 구해진다.

결국, 입력임피던스 또는 반사계수를 측정함으로써 전파흡수능을 구할 수 있다.

(2) 측정기법

전파흡수체의 배면단락시의 흡수능측정 및 설계를 위한 입력임피던스는 Fig.1에 나타낸 측정 장치를 사용하였으며, 이 측정을 위하여 마이크로파 전송선로의 동축선 이론⁹⁾에 바탕을 두었다. 따라서, Sample을 제작한 후, Fig.1의 Coaxial Tube Sample Holder의 배면 Short Plate에 Sample이 밀착되도록 삽입하여 반사감쇠량(반사계수) 또는 입력임피던스를 측정하면 전파흡수능의 평가가 가능하다.

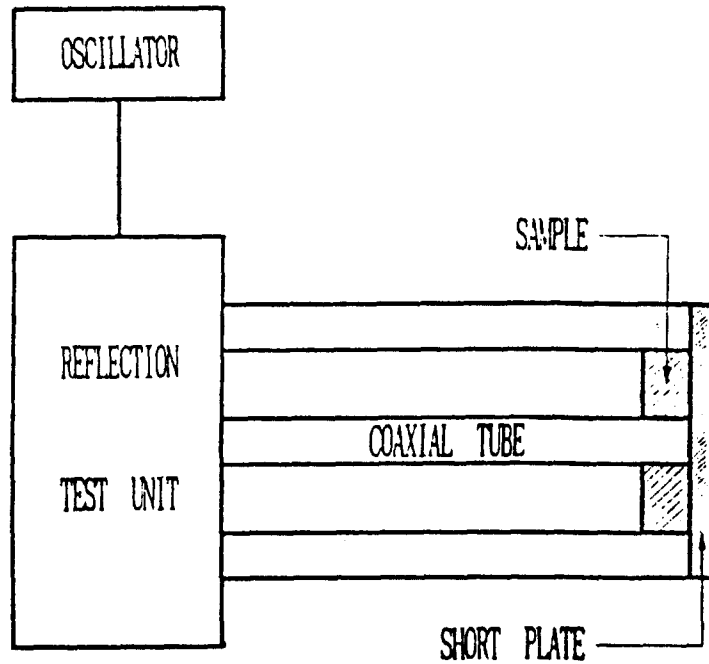


Fig.1 Measuring Apparatus of Microwave Absorbing Characteristics.

2.2 반사법 (One Port Method)에 의한 재료정수 측정법

(1) 측정원리

재료정수의 측정원리에는 크게 나누어 ①정재파법(반사법) ②공진법 ③섭동법 ④투과반사법의 4가지가 있는데, 여기서는 반사법을 이용하여 각 샘플홀더 및 샘플 삽입시에 반사계수를 측정하는 방법을 이용하였다.

Fig. 2에서 $S_{11}^{*}(\text{CAL})$ 를 측정하고 이로부터

$$S_{11}(e) = S_{11}^{*}(\text{CAL}) \cdot \exp(-2\gamma_0 l_0) \quad (3)$$

$$\begin{aligned} S_{11}^{*}(2l) &= S_{11}^{*}(\text{CAL}) \cdot \exp(-2\gamma_0(l_0+2l)) \\ &= S_{11}(e) \cdot \exp(-4\gamma_0 l) \end{aligned} \quad (4)$$

를 각각 측정한다. 식(3)과 (4)로부터

$$\exp(-4\gamma_0 l) = S_{11}^{*}(2l)/S_{11}(e)$$

$$\gamma_0 = -1/4l \ln\{S_{11}^{*}(2l)/S_{11}(e)\} \quad (5)$$

를 구할 수 있다. 또한 Fig. 3에서 Reference Plane에서의 반사계수는

$$\begin{aligned} S_{11}(l) &= S_{11}^{*}(l) \cdot \exp(-2\gamma_0 l_0) \\ \text{로 측정되고, Sample 전면에서의 반사계수는} \\ S_{11}^{*}(l) &= S_{11}(l) \cdot \exp(2\gamma_0 l_0) \end{aligned} \quad (6)$$

로 된다. 식(6)으로부터

$$\hat{Z}'(l) = \frac{1 + S_{11}(l)}{1 - S_{11}(l)} \quad (7)$$

로 된다.

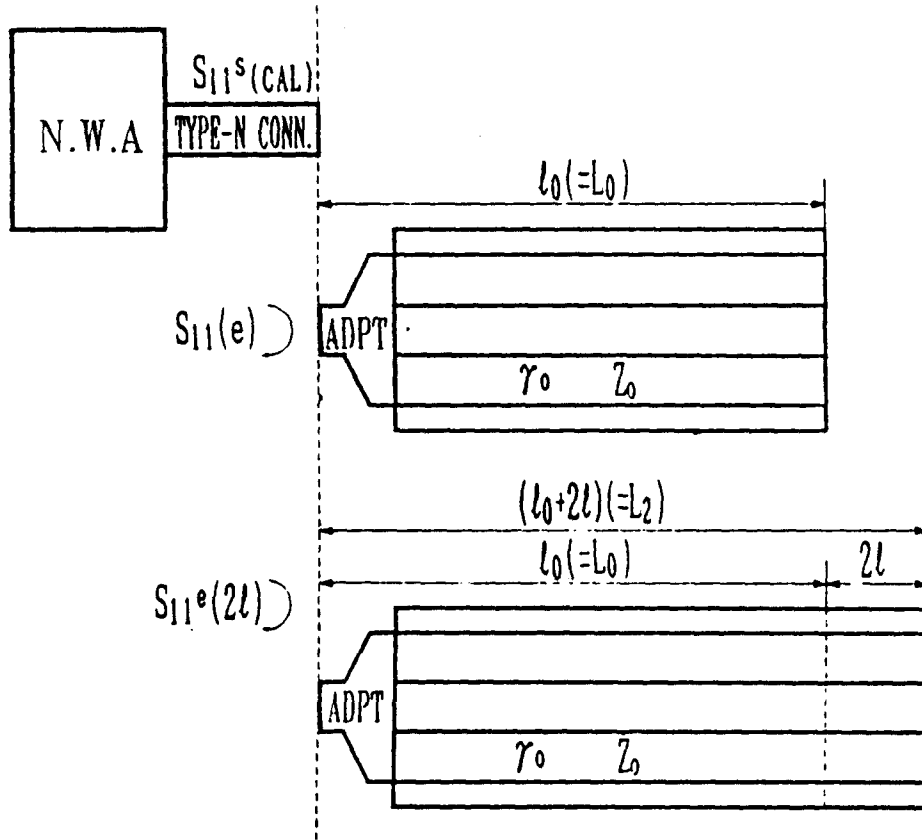


Fig. 2 Sample Holder connected to Network Analyzer.

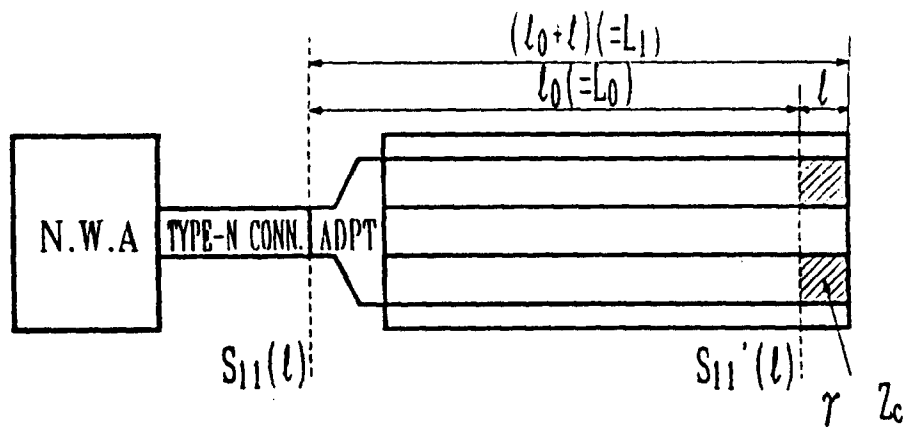


Fig. 3 Sample Holder(L₁) filled with Sample(l).

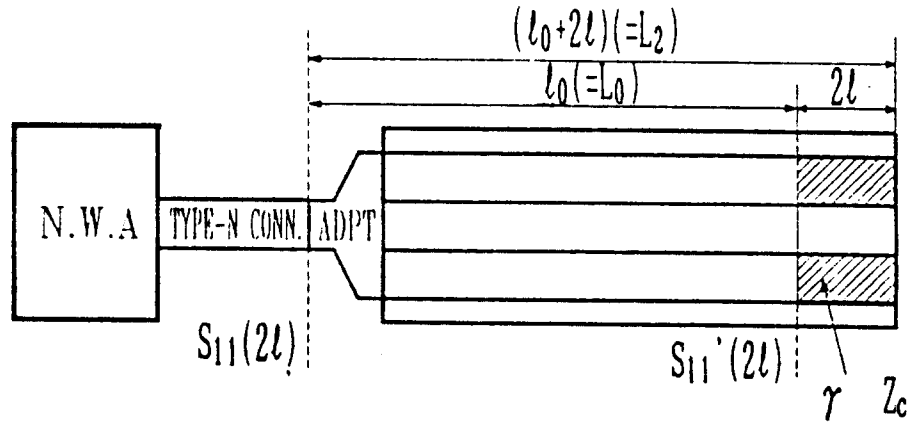


Fig. 4 Sample Holder(L_2) filled with Sample($2l$).

Fig. 4 의 경우, Reference Plane에서의 반사계수는

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

로 측정되고, Sample 전면에서의 반사계수는

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

이 된다. 식(8)로부터

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

이 된다. 한편,

$$\hat{Z}'(l) = \hat{Z}_0 \tanh(\gamma l)$$

$$\hat{Z}'(2l) = \hat{Z}_0 \tanh(2\gamma l)$$

이고

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

이므로

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

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

이 되어

$$\gamma = 1/l \tanh^{-1} \sqrt{\frac{2\hat{Z}'(l) - \hat{Z}'(2l)}{\hat{Z}'(2l)}} \quad (10)$$

$$\hat{Z}_0 = \hat{Z}'(l) \sqrt{\frac{\hat{Z}'(2l)}{2\hat{Z}'(l) - \hat{Z}'(2l)}} \quad (11)$$

이 된다. 따라서,

$$\epsilon_r = -j\lambda/2\pi \cdot \gamma/\hat{Z}_0 \quad (12)$$

$$\mu = -j\lambda/2\pi \cdot \hat{Z}_0 \cdot \gamma \quad (13)$$

에 의하여 복소유전율 ϵ_r 및 복소투자율 μ 이 구해진다.

(2) Sample제작

Table I은 본 연구에서 제작한 샘플을 나타낸다.

Table I Microwave Absorber Sample.

Sample 종류	Ferrite 종류	길이 (mm)	내경 (mm)	외경 (mm)	소성조건	
					온도	시간
S3-1	Mg-Mn-Zn계	3.5	8.80	19.40	1250 °C	2
S3-2l		7.0	8.80	19.40	1250 °C	2
S4-1	Mn - Zn계	4.0	8.80	19.40	1250 °C	2
S4-2l		8.0	8.85	19.50	1250 °C	2
S5-1	Mn - Zn 계 (페 core 분쇄물)	4.0	8.80	19.40	1250 °C	2
S5-2l		8.0	8.80	19.40	1250 °C	2

III. 측정결과 및 검토

3.1 20.05mm ϕ Coaxial Tube에 의한 반사감쇠량의 측정결과

제II장에서 제작한 3종류의 Sample(각각 S3, S4, S5)의 전파흡수특성을 평가하기 위하여 50 Ω 계 Type-N connector-to 20.05mm ϕ Coaxial Tube으로의 변환 Adaptor와 같은 내외경의 종단단락형 Coaxial Tube Sample Holder를 이용하여 0.04GHz-12GHz의 주파수대역에 걸쳐 반사감쇠량을 측정하였다. 측정치구로서 Adaptor와 Sample Holder를 연결한 전체길이는 각각 137.5mm(L₀), 143.5mm(L₁) 및 147.5mm(L₂)이다.

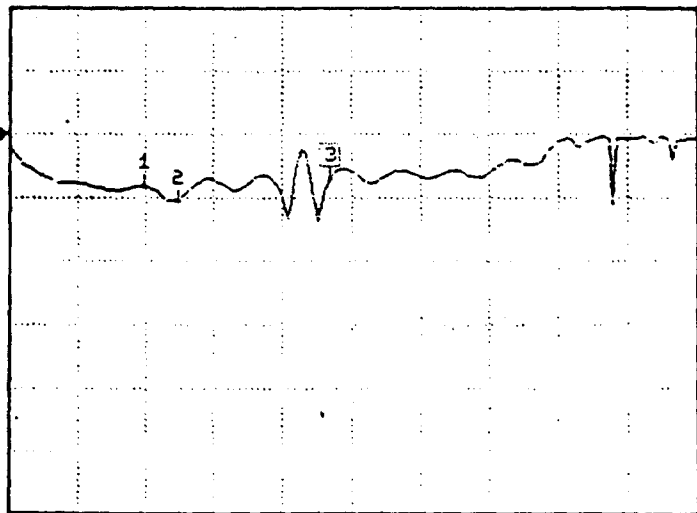
Fig.5 및 Fig.6은 샘플, S3-1 및 S4-1에 대한 반사감쇠량의 측정결과를 나타낸 것이다.

S11 FORWARD REFLECTION

LOG MAG.

REF=0.000dB

10.000dB/DIV



0.0400

GHZ

12.0000

CH 3 - S11
REF. PLANE
0.0000 mm

MARKER 3
5.6560 GHz
-6.808 dB

MARKER TO MAX
MARKER TO MIN

1 2.4160 GHz
-8.078 dB

2 2.9920 GHz
-10.414 dB

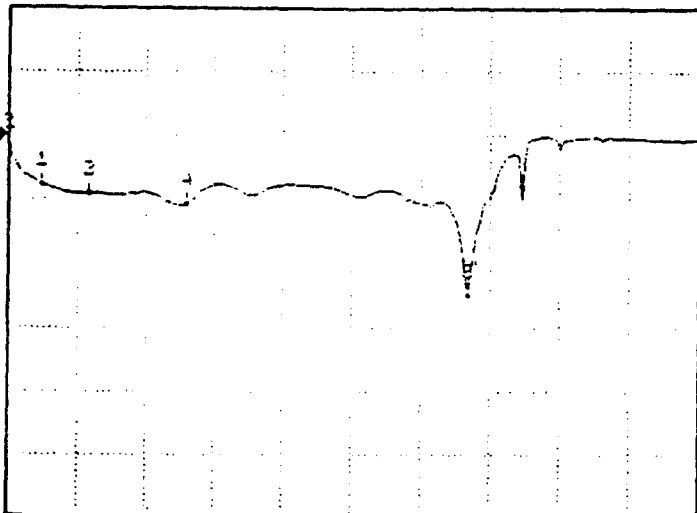
Fig.5 Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample(S3-l).

S11 FORWARD REFLECTION

LOG MAG.

REF=0.000dB

10.000dB/DIV



0.0400

GHZ

12.0000

CH 3 - S11
REF. PLANE
0.0000 mm

MARKER 5
8.0320 GHz
-25.029 dB

MARKER TO MAX
MARKER TO MIN

1 0.8160 GHz
-7.525 dB

2 0.9440 GHz
-1.018 dB

3 1.4080 GHz
-9.369 dB

4 5.1560 GHz
-10.634 dB

Fig.6 Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample(S4-l).

3.2 재료정수 측정 결과

2.2절에서 설명한 One Port Method에 의한 재료정수 측정 알고리즘에 따라 각 샘플의 재료정수를 측정하였다. Fig.7(a), (b) 및 Fig.8(a), (b)는 샘플, S3 및 S4에 대한 복소유전율 및 복소투자율의 측정결과를 나타낸다

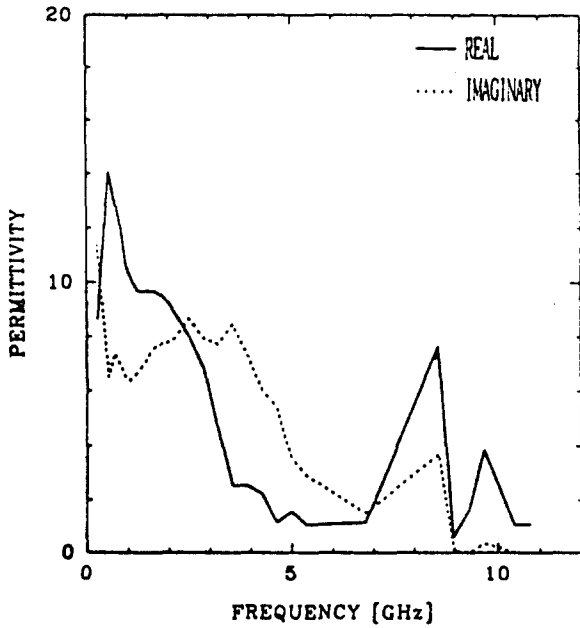


Fig. 7(a) Complex Permittivity of S3.

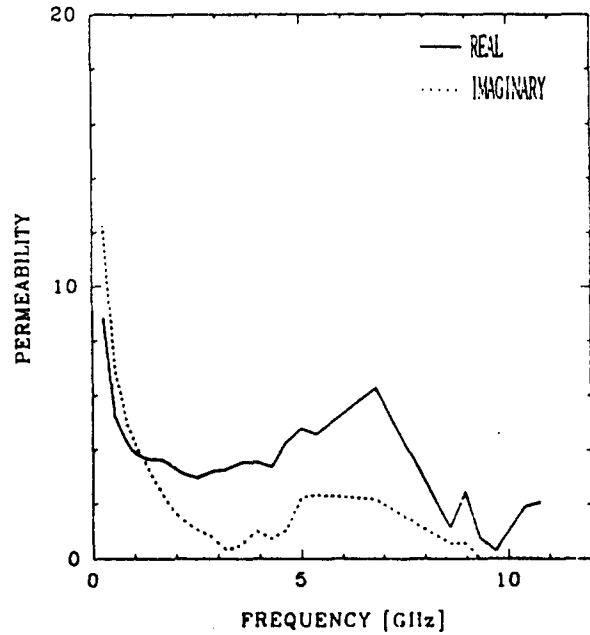


Fig. 7(b) Complex Permeability of S3.

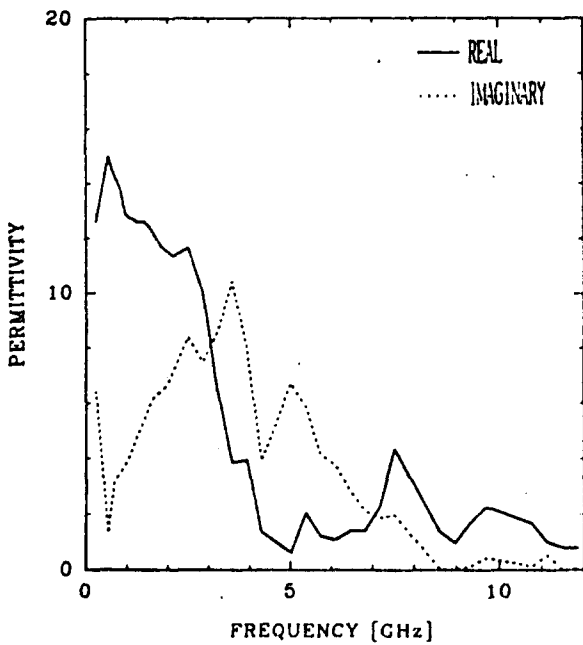


Fig. 8(a) Complex Permittivity of S4.

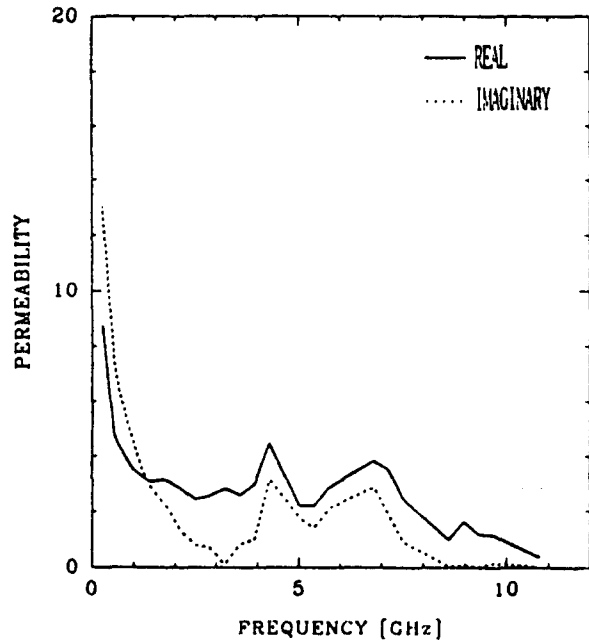


Fig. 8(b) Complex Permeability of S4.

3.3 재료정수로부터 역산한 반사감쇠량과의 비교

2.2절에서 기술한 One Port법에 의한 실측을 위하여, 전송선로로서 20.05mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder를 이용하여 전파흡수체의 재료정수를 측정하고, 이를 이용하여 전파흡수능을 구한 결과에 대해 검토한다.

전파흡수능(반사감쇠량) α 는 다음식(14)에 의해 계산하였다.

$$\alpha \text{ (dB)} = 20 \log |S_{11}| = 20 \log \left| \frac{\hat{Z} - 1}{\hat{Z} + 1} \right| \quad (14)$$

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

Fig.9 및 Fig.10은 샘플, S3-1 및 S4-1에 대하여 측정된 재료정수로부터 계산한 반사감쇠량에 의한 전파흡수 주파수특성을 나타낸다. Fig.9 및 Fig.10의 재료정수로부터 산출된 전파흡수능과 3.1절에서 측정된 전파흡수능은 서로 잘 일치하는 것으로 평가할 수 있다.

따라서 3.1결과 비교하여 검토한 결과로부터 One Port Method에 의한 재료정수 측정법의 측정정도는 상당히 높다고 할 수 있다.

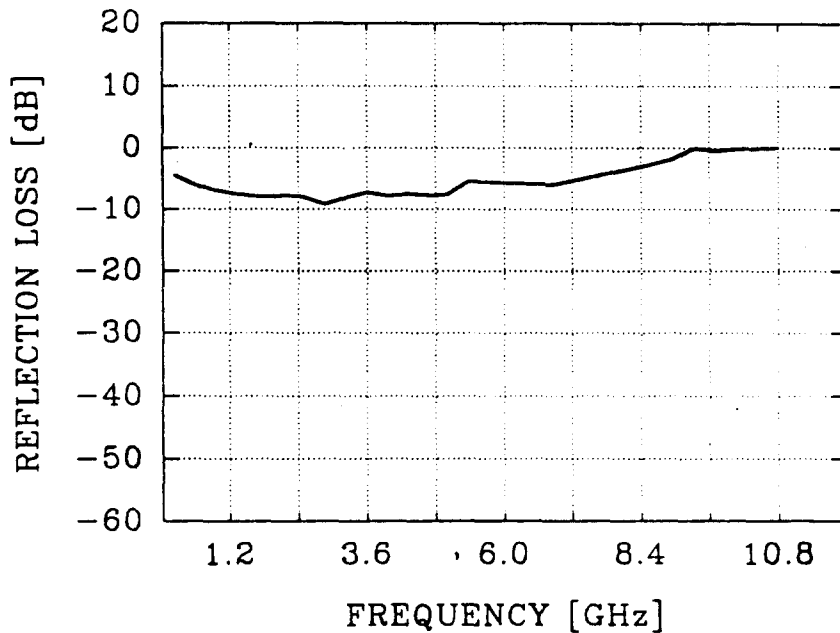


Fig. 9 Frequency Characteristics of Sample(S3-1).

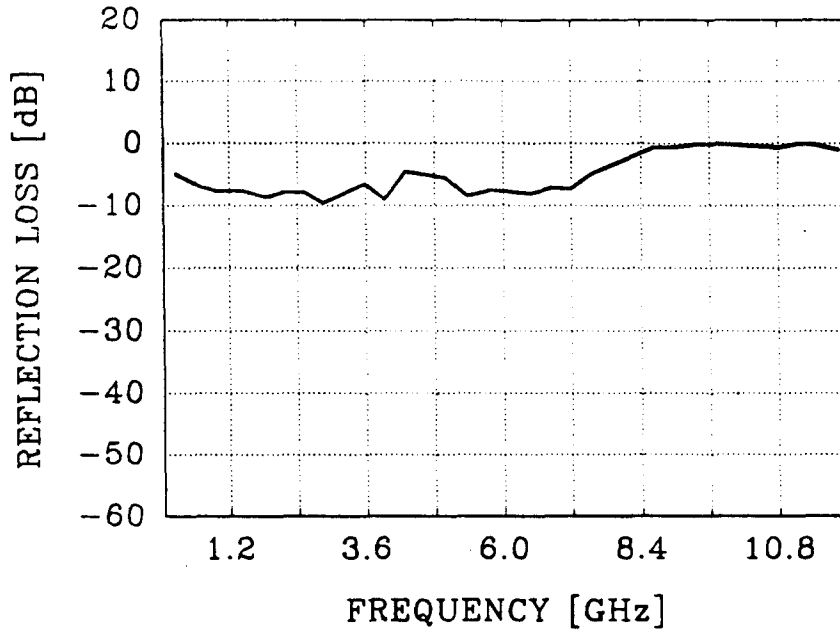


Fig. 10 Frequency Characteristics of Sample(S4-l).

IV. 결 론

현재까지 제안되어 있는 전파흡수체의 재료정수 측정법으로서 Two Port Method 및 One Port Method는 모두 7mm ϕ Air Line이나 지그를 사용하였기 때문에 Sample의 형상 및 Fitting 상태에 따른 측정오차가 큰 문제점이 있다.

따라서, 본 논문에서는 이와같은 문제점을 해결하기 위하여 20.05mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder를 이용한 One Port Method를 제안하고 제작한 샘플의 재료정수를 제안한 방법에 의하여 실측을 하였다. 본 연구를 통하여 얻어진 결과를 종합하면 다음과 같다.

- (1) 20.05mm ϕ Coaxial Tube Sample Holder를 이용한 One Port Method에 의한 전파흡수능 측정기법을 제시하고, 재료정수측정법의 알고리즘을 제안하였으며,
- (2) 제안한 One Port Method는 비교적 샘플의 형상 및 Fitting 상태에 따른 측정 오차를 저감할 수 있었고,
- (3) One Port Method의 알고리즘에 따라 재료정수를 측정하여 전파흡수능으로 환산한 값과 곧바로 실측한 전파흡수능의 측정치가 서로 잘 일치함을 확인함으로써 본 연구의 타당성을 입증하였다.

위 연구결과로부터 One Port Method에 의한 측정법을 이용하여 각종 전파흡수체의 설계 및 특성평가에 활용할 수 있을 것으로 기대된다.

참고 문헌

- 1) 内藤喜之, 마이크로波·ミリ波工學, 1986.
- 2) S. Li, C. Akyel, and R. G. Bosiso, "Precise Calculation and Measurements on the Complex Dielectric Constant of Lossy Materials Using TM_{10} Cavity Perturbation Techniques", IEEE Trans. 29, No.10, pp.1041-1048, Oct. 1981.
- 3) L. P. Lightart, "A Fast Computational Technique for Accurate Permittivity Determination Using Transmission Line Method", IEEE Trans on MTT, Vol. 31, No. 3, pp.249-254, Mar. 1983.
- 4) M. N. Afsar et. al., "The Measurement of the Properties of Materials", Proc. IEEE, Vol.74, No.1, pp.183-199, Jan, 1986.
- 5) "Materials Measurement Package", Wiltron 기술자료.
- 6) "Microwave Material Measurements Seminar" 자료, The Johns Hopkin University, Oct. 1990.
- 7) "Measuring Methods for Properties of Gyromagnetic Materials intended for application at microwave frequencies," International Electro Technical Commission IEC Standard, 1982.
- 8) 김동일, "전파흡수능 측정기법 연구", 국방과학연구소 기술보고서, 1991.3
- 9) 中島將光, 마이크로波 工學, 森北出版(株), 1979.1
- 10) A.M.Nicolson, G.F.Ross. "Measurement of the Intrinsic Properties of Material by Time Domain Techniques." IEEE Trans. Instrum. Meas., vol. IM-19, pp.377-382, Nov. 1970.
- 11) William B. Weir. "Automatic Measurement of Complex Dielectric Constant and Permeability at Microwave Frequencies." IEEE, vol.62, no.1, Jan., 1974.
- 12) Y.Kobayashi. "The Measurement of Complex Dielectric Constant at Microwave Frequencies." 1982, written in Japanese.
- 13) Arthur R. Von Hippel. "Dielectric Materials and Applications." The MIT Press, Cambridge, MA.
- 14) B.W. Hakki and P.D. Coleman. "A Dielectric Resonator Method of Measureing Inductive capacities in the Millimeter Range." IRE Trans. Microwave Theory and Techniques. vol.MTT-8, pp.402-410, July, 1960.