

전 파 흡 수 체 의 전 파 흡 수 특 성 측 정 기 법 에 관 한 연 구

(A Study on Measuring Technique of Electromagnetic Wave Absorbing
Characteristics of Microwave Absorbers)

김 동 일*, 안 영 섭**, 정 세 모*

(Dong Il KIM, Young-Sup AHN, Se-Mo CHUNG)

* 정희원, 한국해양대학교

(Korea Maritime Univ.)

** 정희원, 목포해양전문대학

(Mokpo Merchant Marine College)

※ 이 논문은 1991년도 교육부지원 한국학술진흥재단의 자유공모과제
학술연구비조성에 의하여 연구되었음.

< 요약 문 >

사회구조의 다양화, 고도화에 수반하여 전파의 이용도가 높아지고, 또한 각종 전자 기기의 보급이 확대되게 되었다. 이에 따라 필수적으로 수반되는 전자파 환경의 폭주는 현대사회의 심각한 공해로 등장하기에 이르고 있다. EMC 관련으로 불요전파를 내지않거나 또는 반사하지 않도록하는 재료는 주로 양도체의 금속 또는 저저항체, 손실재료이다.

이와 같은 전파흡수체의 전파흡수능 측정방법은 기본적으로 마이크로파 측정법이 이용될 수 있지만, 레이다용 전파흡수체의 경우, 전파의 주파수가 높기 때문에 파장이 짧아서 측정오차가 큰 문제점이 있다.

따라서, 본 연구에서는 전파흡수체의 전파흡수능을 실험실적으로 간단히 측정할 수 있게 하기 위한 20mmφ동축관 샘플홀더 및 Type-N connector로 부터 20mmφ동축관으로의 변환Adaptor를 제작하여 전파흡수체의 설계 및 특성(전파흡수능) 평가에 사용할 수 있게 하였다. 또 구형도파관을 이용한 재료정수 측정법을 채용하여 시료의 형상 등의 영향을 적게 받는 실측 방법에 관하여 검토하였다.

나아가서, 구형도파관을 이용한 재료정수측정치를 반사감쇠량으로 환산한 전파흡수능과 동축관으로 측정한 전파흡수능의 주파수 특성을 구하여 거의 일치함을 밝히고 있다.

< Abstract >

According to the increase of occupation density of microwave frequency band on use, microwave environments have been congested extensively. For shielding unnecessary electromagnetic wave or preventing the electromagnetic wave reflection, a good conductor, a low resistive material, or a lossy material is mainly used.

As a method to measure the absorbing characteristics of microwave absorber, the fundamental microwave measuring method can be used. There is, however, a big problem in measuring errors, since the wavelength of microwave is very short, especially, as in the case as microwave absorber for RADAR.

Therefore, this research aimed to a converting adaptor of 20mmφ coaxial tube from a Type-N connector to 20mmφ coaxial tube and to use it for designing microwave absorber and evaluating absorbing characteristics.

Furthermore, the measurements of absorbing characteristics and material constants have performed and reviewed, which were carried out by using the coaxial tube in the short type and by using rectangular waveguide, respectively. As a result, the validity of the measured values have been confirmed.

I. 서론

전파흡수체는 입사한 전파를 흡수해서 열로 변환하여, 반사파가 생기지 않게하는 특수재료이다. 전파흡수체의 역사는 길어서, 전파가 사용되게 된 당시부터 무반사중단기 등에 사용되었으며, 그 후 공간을 전파하는 전파를 흡수하는 전파흡수체가 1960년대에 개발되어 전파암실(전파무향실)이나 안테나의 지향성 개선 등에 널리 사용되어 왔다.

그러나, 최근 환경전자파공학의 연구의 진전과 더불어 전자파환경의 엄격한 규제 때문에 전파흡수체의 응용범위도 점차 넓어지고 있다. 이로 인하여 전파흡수체의 용도도 다양해져서 계속용전파암실을 비롯한 TV의 고스트(ghost)방지대책, 전자렌지(microwave oven)나 각종 전자기기로 부터 누설되는 전파를 억제하는 EMC / EMI대책 등의 응용이 활발히 연구되고 있다[1]. 이 경향은 세계적인 것이지만, TV나 RADAR의 고스트 대책용에 쓰이는 전파흡수체는 일본에서 독특한 것이 개발되어 왔다.

한편, 제 2차 세계대전중 잠수함이나 비행기가 레이다에 탐지되지 않도록 하기 위하여 전파흡수체의 제작이 시도된 이래, 최근에는 교량 또는 선박의 마스트등에 의한 레이다의 허상방지용 전파흡수체[2] 및 군사적으로는 레이다에 탐지되지 않는 전함 또는 항공기의 제작을 위한 전파흡수체의 개발이 미국을 비롯한 선진국을 중심으로 활발히 행해져 Gulf전쟁에서 Stealth전투기의 위력을 과시한 바 있다.

이와같은 전파흡수체의 발전과정과 수반하여 전파흡수체의 전파흡수능력 측정방법도 지속적으로 발전되어 오고 있으나, 레이다(C,X-Band)용 전파흡수체의 경우 사용주파수가 높기 때문에 전파의 파장이 짧아서 측정방법에 따른 측정오차가 크기 때문에 정밀도 및 신뢰성에 문제가 남아있다. 단순히 레이다용 전파흡수체(RADAR Absorbing Material:RAM)의 품질관리 또는 생산개발을 위하여 전파흡수 능력만을 비파괴적으로 측정하고자 하는 경우에는 NRL Arch를 이용하는 반사전력법이 약 40년전에 개발되어 사용되고 있으나 이것은 전파흡수능 이외에 재료정수등의 측정이 불가능 할 뿐아니라 비교적 큰 샘플(예를 들면 1*1 ft, 1*3 또는 2*2 ft)을 필요로 하기 때문에 실험적으로는 부적당한 방법이다. 또한, 정제파법을 이용하는 경우에는 단일 주파수(point frequency)에서만 측정이 가능하기 때문에 측정에 요하는 노력과 시간이 많이 요구되는 번거로움이 있다.

한편 동축관(coaxial air line)을 이용하는 방법이 있으나 일반적으로 사용되고 있는 gig는 그 치수가 작기 때문에 유전율 또는 투자율이 큰 전파흡수체와 같은 시료의 경우에는 시료의 형상이나 air gap등에 기인하는 오차가 커서 실용적이 못된다.

나아가서, 재료정수의 측정법에 관해서는 크게 나누어, 공진법, 섭동법, 동축관 또는 구형도파관을 이용한 투과반사측정법(2-port method) 및 open-short법, $l-2l$ 법 등이 있다[3]-[9]. 이들중 공진법 및 섭동법은 하나의 공진기를 제작하였을때 한점의 주파수에서만 재료정수를 구할수 있으므로 실용적인 방법이 못되지만, 전자레인지(microwave oven)와 같이 특정주파수(2.45 GHz)의 전파만을 사용하는 경우에 ferrite와 같은 특수재료의 재료정수 측정에 이용된다.

또한, 투과반사 측정법은 비교적 넓은 범위의 주파수대에 걸친 재료정수 측정에 유리한 방법이지만, 사용되는 gig의 칫수가 작거나 시료의 fitting이 어렵고, reference plane의 setting 방법등에 오차가 개입되기 쉬워서 측정오차에 큰 문제점이 남아 있다.

위의 각 측정방법이 가지고 있는 문제점을 해결하기 위하여 지속적인 연구가 수행되어오고 있으나, 아직까지 전파흡수능력 및 재료정수 측정방법에는 크고 작은 문제점이 그대로 남아 있다.

따라서, 본 연구에 있어서는 1차적으로 N-Type Coaxial Line으로 부터 대형 Coaxial Tube (내경:약 9mm, 외경 20mm정도)로 변환 시키는 adaptor 및 같은 내외경을 가지는 등축관 sample holder를 설계 제작하여, 비교적 sample의 형상이나 fitting 상태에 영향을 적게받는 등축관법에 의한 전파흡수능력 측정법을 개발함으로써 크기가 큰 시료를 준비하지않고서도 간단히 전파흡수능력을 측정할 수 있는 lab-scale의 측정법을 제시한다.

나아가서, 도파관을 이용한 재료정수 측정법(투과반사법)을 채용하여 시료의 형상등이 측정오차에 비교적 영향을 적게 미치는 측정system을 구성하여 전파흡수체의 전파흡수능 및 재료정수를 측정하고, 그 결과에 관하여 검토한다.

II. 전파흡수특성의 측정기법 비교

II-1 전파흡수능의 측정법

1) 입력임피던스 또는 반사계수 측정법

동축관 등과같은 샘플홀더에 시료를 장착하고 Network Analyzer 또는 Vector 임피던스측정기 등으로 임피던스 또는 반사계수 S_{11} 을 측정하면, 반사계수 Γ 와 입력임피던스 Z_{in} 의 관계는다음 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.

2) 정재파비 측정법

전파흡수체의 전방에서 전파를 입사시키고, 공간 또는 도파관내에 형성된 정재파비를 ρ 라하면 반사감쇠량 α 는 식(3) 또는 식(4)에 의하여 구해진다.

즉, 공간에 놓인 전파흡수체의 전방에서 전파를 입사시키고, 전방의 공간에 형성된 정재파를 적절한 안테나로 측정하면 반사감쇠량 α 는

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

으로 구해진다.

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

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

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

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

E_M, E_m : 각각 정재파의 극대·극소점의 전계의 세기[V/m]

E_i, E_r : 각각 입사파·반사파의 전계의 세기[V/m]

3) 반사전력측정법

지향성을 가지는 송수신안테나를 그림1과 같이 적당한 각도로 배치하고 P_1 및 P_2 를 측정하면, 반사감쇠량 α 는 다음 식으로 구해진다.

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

단, P_1 : 흡수체가 없이 금속판만 있는 경우의 수신기 수신전력

P_2 : 흡수체를 장착한 경우의 수신기 수신전력

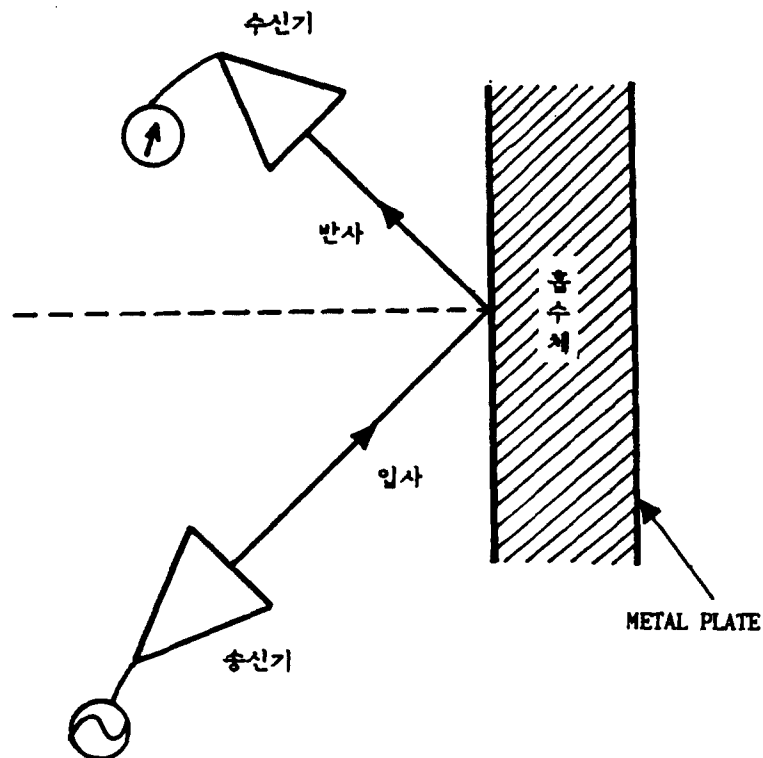


그림1. 반사전력법

Fig.1 Reflected Power Method

본 논문에서는 제I장에서 설명한 바와 같이 비교적 측정오차가 작으면서도 실험적인 방법으로 간단히 전파흡수능을 측정할 수 있게 하기 위하여 전파흡수체의 배면단락시의 흡수능측정 및 설계를 위한 입력임피던스의 측정시스템을 그림2와 같이 구성하였으며, 이 측정을 위하여 마이크로파전송선로의 동축선 이론[10]에 바탕을 두고, 제작한 20.05 mmφ 50Ω계 동축관 샘플 홀더 및 50Ω계 Type-N connector로 부터 20.05mmφ 동축관 샘플홀더로의 변환 adaptor의 도면은 각각 그림3(a) 및 그림3(b)와 같다.

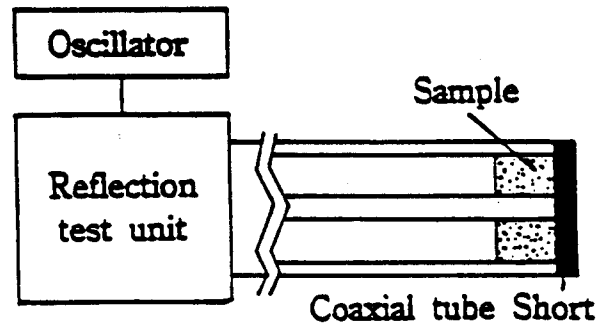


그림2. 전파흡수능 측정장치

Fig.2 Measurement Apparatus of Microwave Absorbing Characteristics

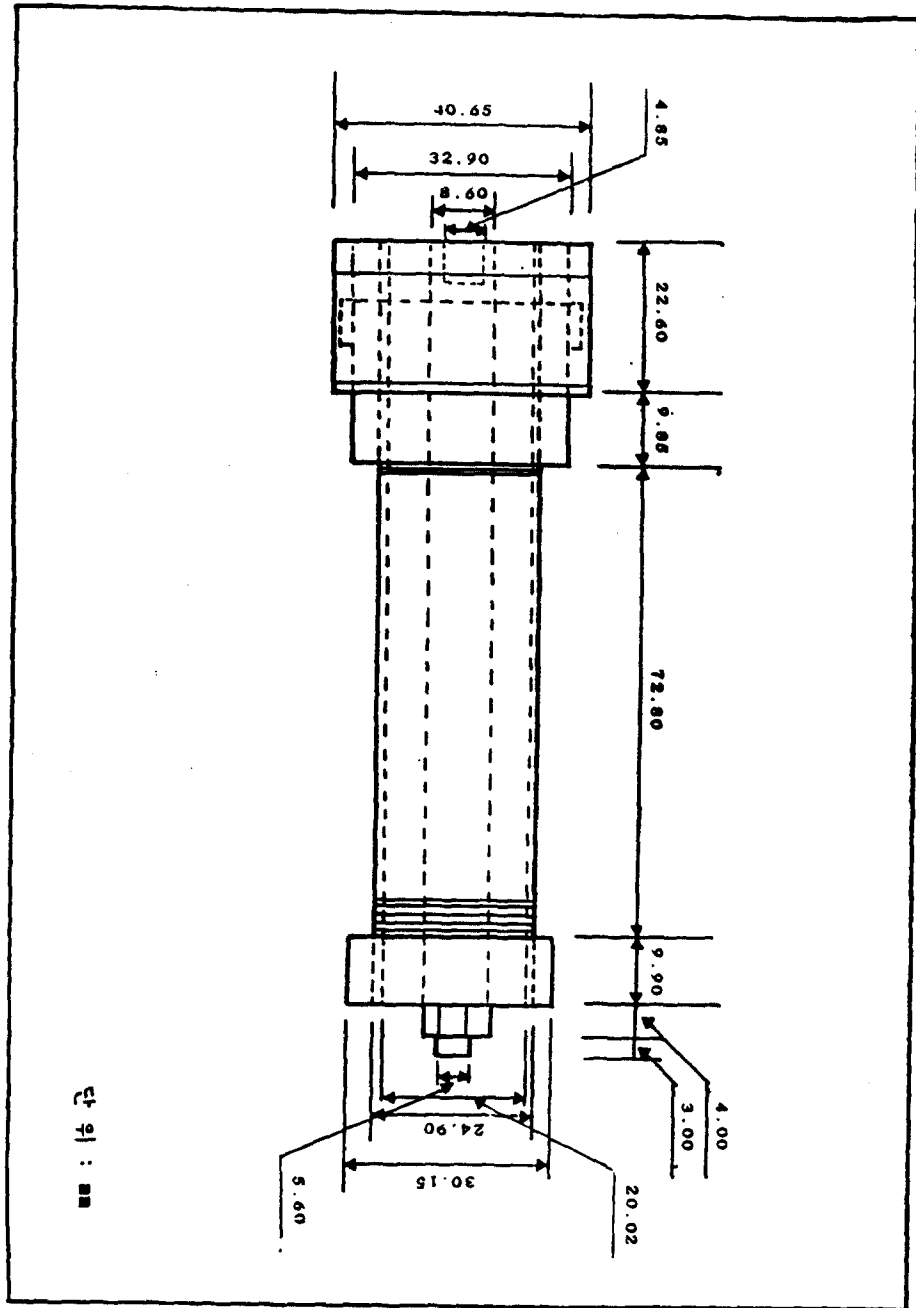


그림3(a) 제작한 20.05mm ϕ 50 Ω 계 동축관 샘플홀더의 도면

Fig.3(a) Drawings of Fabricated Coaxial Sample Holder
with 20mm Diameter

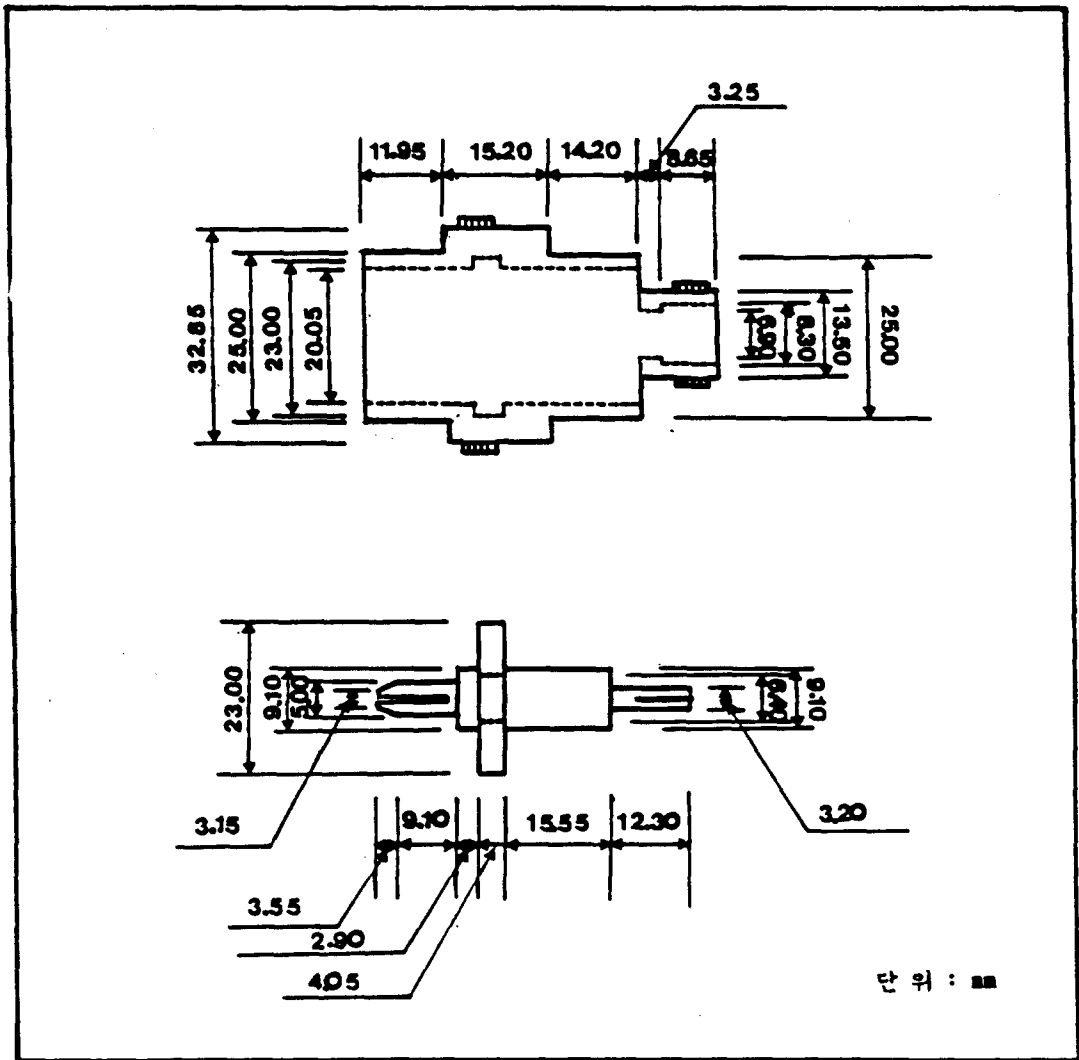


그림3(b) 제작한 50Ω계 Type-N connector로 부터 20.05mmφ 동축관 샘플홀더로의 변환 adaptor의 도면

Fig.3(b) Drawings of Fabricated Adaptor from Type-N Connector-to-20.05mmφ Coaxial Tube

따라서, 시편을 제작한 후 그림2 또는 그림3(a)의 동축관 샘플홀더의 배면 Short Plate에 시편이 밀착되도록 삽입하여 반사감쇠량(반사계수) 또는 입력임피던스를 측정하면 식(1) 및 식(2)에 의하여 전파흡수능이 구해진다.

II-2 재료정수의 측정법

재료정수의 측정원리는 크게 다음의 4가지로 분류할 수 있다[11]-[14], 즉,

1) 정재파법(또는 반사법)

동축관 또는 도파관의 일부에 시료를 삽입하고, 시료로부터의 반사에 의한 정재파 또는 입력임피던스를 측정하여, 그 결과로부터 재료정수를 구한다. 이 방법은 비교적 넓은 범위의 ϵ , $\tan\delta$ 를 가지는 재료의 측정에 이용된다.

2) 공진법

공동공진기의 일부에 시료를 삽입하여, 공진조건의 변화 및 Q의 저하정도로부터 재료정수를 산출하는 방법으로, 주로 손실이 적은 재료의 측정에 이용된다.

3) 섭동법

ferrite와 같은 특수한 재료에 대해서는, 공동공진기중에 놓인 작은 시료에 의한 공진조건의 변화로부터 섭동법으로 계산하여 재료정수를 구하는 방법이다.

4) 투과반사법(2-Port Method)

전송로의 중간에 샘플을 삽입하고, S_{11} 및 S_{21} 을 측정하여 이를 이용하여 재료정수를 구하는 방법이다. 여기서, 전파흡수체의 재료정수측정법으로 투과반사법(2-Port Method)을 사용하였으며, 그 측정기법을 요약하면 다음과 같다.

분포정수회로를 기본으로 하여 전송선로에 시료를 삽입하여 2-PORT 전송선로에 대한 입사파와 반사파를 구하고, 그로부터 산란행렬을 구하여 투과계수와 반사계수를 구한 다음 재료정수 즉 복소유전율과 복소투자율을 계산한다[12].

시료가 삽입된 전송선로에 대한 전압·전류방정식을 세우고, 경계조건을 만족시키도록 S_{11} 과 S_{21} 에 대하여 정리하면 식(6) 및 (7)과 같이 된다.

$$S_{11}(\omega) = \frac{(1 - \Gamma^2)\Gamma}{1 - T^2\Gamma^2} \quad (6)$$

$$S_{21}(\omega) = \frac{(1 - \Gamma^2)T}{1 - T^2\Gamma^2} \quad (7)$$

식(6)과 식(7)을 Γ 에 관해서 정리하면

$$\Gamma = \frac{T - S_{21} - S_{11}}{T(S_{11} + S_{21}) - 1} \quad (8)$$

또 T 에 관해서 정리하면

$$T = \frac{\Gamma - (S_{11} + S_{21})}{\Gamma(S_{11} + S_{21}) - 1} \quad (9)$$

와 같이되고 식 (8)을 식(9)에 대입하면

$$S_{11}\Gamma^2 - (S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1)\Gamma + S_{11} = 0 \quad (10)$$

식(10)은 2차 방정식이므로 근의 공식에 의해

$$\begin{aligned} \Gamma &= \frac{(S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1) \pm \sqrt{(S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1)^2 - 4S_{11}^2}}{2S_{11}} \\ &= \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}} \pm \sqrt{((S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1)/2S_{11}) - 1} \end{aligned} \quad (11)$$

여기서, $K = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}}$ 이라고 하면

$$\Gamma = K \pm \sqrt{K - 1} \quad (12)$$

와 같은 결과식을 얻을 수 있다.

식 (9)과 식 (12)에서 알 수 있듯이 투과계수 T와 반사계수 Γ 는 S-PARAMETER S_{11} 과 S_{21} 으로 나타낼 수가 있다.

여기서, Γ 는 시료의 길이가 무한대 (즉 $l = \infty$)에서의 반사계수, T는 한정된 길이의 시료($l = d$)에서의 투과계수이며, 각각 다음과 같이 나타낸다.

$$\Gamma = \frac{Z_S - Z_0}{Z_S + Z_0} = \frac{\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} - 1}{\sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r}} + 1} \quad (13)$$

$$T = \exp(-j\omega \sqrt{\mu \cdot \epsilon} \cdot d) = \exp[-j(\omega/c) \sqrt{\mu_r \cdot \epsilon_r} \cdot d] \quad (14)$$

식 (13), (14)를 각각 ϵ_r 과 μ_r 에 관해서 정리를 하면 식(15) 및 (16)과 같이 된다.

$$\epsilon_r = \frac{\left(\frac{1}{\Lambda^2} + \frac{1}{\lambda_c^2}\right) \lambda_0^2}{\mu_r} \quad (15)$$

$$\mu_r = \frac{1 + \Gamma}{\Lambda(1 - \Gamma) \sqrt{\frac{1}{\lambda_0^2} - \frac{1}{\lambda_c^2}}} \quad (16)$$

단, λ_0 : 자유공간파장, λ_c : 도파관 차단파장

$$\frac{1}{\Lambda^2} = -\left[\frac{1}{2\pi d} \ln\left(\frac{1}{T}\right)\right]^2$$

결론적으로 식 (9), (12)에서 알 수 있듯이 S_{11} 과 S_{21} 의 S-Parameter만을 측정 하면 T와 Γ 는 계산할 수 있으며, 식(13), (14)를 이용해서 복소유전율 ($\epsilon_r = \epsilon_r' - j\epsilon_r''$)과 복소투자율($\mu_r = \mu_r' - j\mu_r''$)을 각각 식 (15)과 식(16)으로써 구할 수 있다.

III. 전파흡수특성의 실측 및 검토

III-1. 전파흡수능의 측정

가. 20.05mm ϕ Coaxial Tube에 의한 측정

그림3과 같이 설계한 샘플홀더 및 50 Ω 계 Type-N connector-to-20.05mm ϕ Coaxial Tube로의 변환 adaptor (ADPT)의 특성을 평가하기 위하여, 우선 adaptor를 샘플홀더에 연결한 상태에서 1GHz - 11GHz의 주파수대역에 걸쳐 소인하면서 TIME DOMAIN에서의 반사특성을 측정하였다. Adaptor와 샘플홀더를 연결한 전체의 길이는 13.92cm이다.

그림4는 제작한 adaptor와 종단단락형 샘플홀더를 연결한 경우의 TIME DOMAIN에서의 반사특성을 나타내며 양호한특성을 나타내고 있음을 알 수 있다.

한편, 그림5는 제작한 adaptor와 샘플홀더를 연결시키고 reference plane을 종단면까지 이동시킨 경우의 입력임피던스를 Smith Chart상에서 측정한 것이며, 이상의 평가실험으로 부터, 본 연구에서 제작한 종단단락형 동축관 샘플홀더 및 50 Ω 계 Type-N connector-to-20.05mm ϕ Coaxial tube로의 변환 adaptor는 비교적 잘 설계·제작되었음을 확인하였다.

SET MARKERS
 MARKER 1 ON 13.9200 cm
 ▶ MARKER 2 ON 1.5600 cm
 MARKER 3 OFF
 MARKER 4 OFF
 MARKER 5 OFF
 MARKER 6 OFF
 DISPLAY MARKERS ON
 Δ REF MODE OFF
 SELECT Δ REF MARKER
 PRESS ◀ ENTER ▶ TO SELECT OR TURN ON/OFF

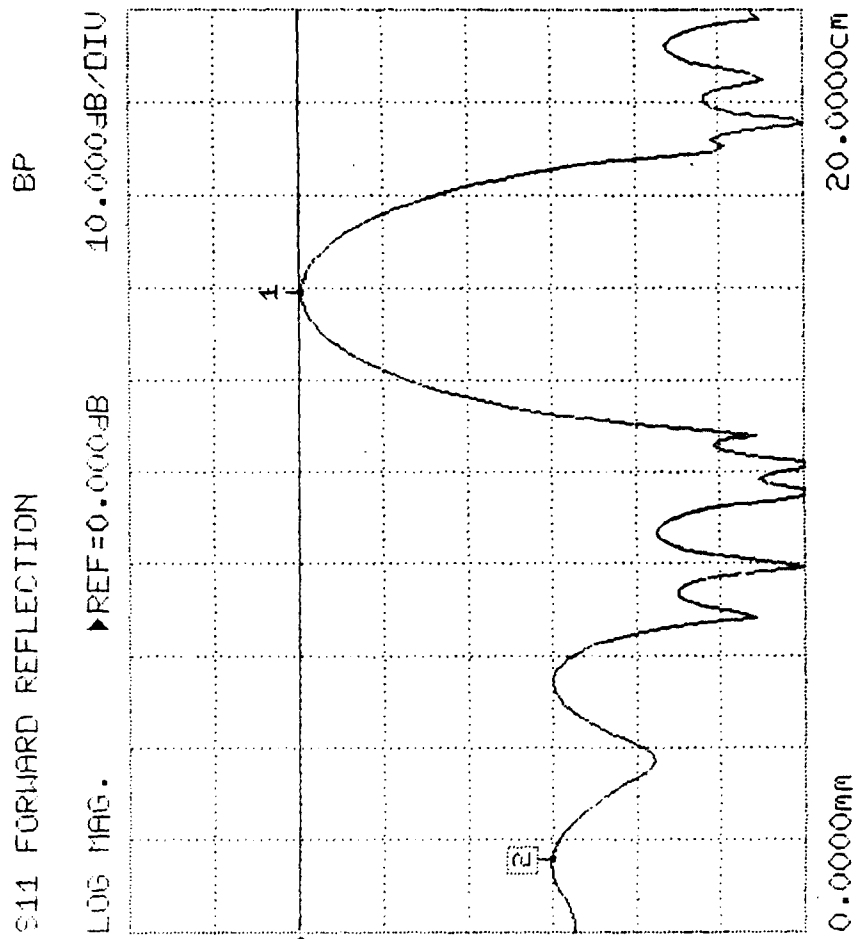


그림4 ADPT와 샘플홀더를 연결한 때의 Time Domain에서의 반사특성 (소인주파수: 1 - 11GHz)

Fig.4 Reflection Characteristics of Sample Holder Connected with ADPT in Time Domain (Sweep Frequency : 1 - 11GHz)

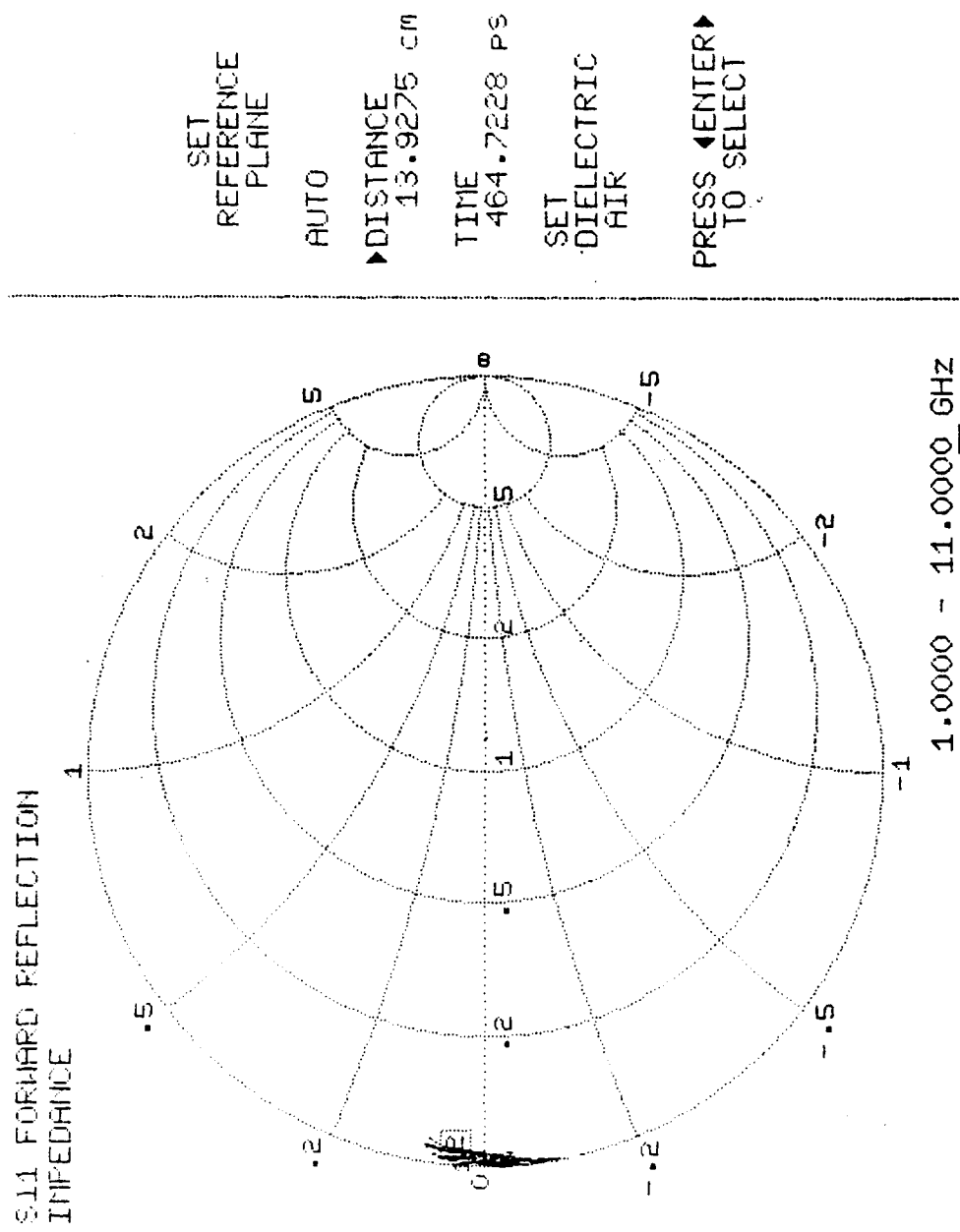


그림5 Reference Plane을 단락판까지 이동시킨 때의 ADPT에 연결된 샘플 홀더의 스미스도표상의 입력임피던스

Fig.5 Input Impedance on Smith Chart to the Sample Holder Connected with the ADPT When the Reference Plane Shifted to the Short Plane

그림6은 실험용으로 제작된 전파흡수체 시편(샘플; A-1, 두께; 2.8mm을 설계·제작한 샘플홀더의 단락판에 밀착되도록 삽입시키고, Type-N connector-to-20.05mm ϕ Coaxial Tube로의 변환 adaptor에 연결한 후, 회로망분석기(Wiltron 360)와 연결된 S-parameter test set의 Port-1에 연결하여 전파흡수능을 측정된 결과이다.

나아가서, 본 연구에서 설계·제작된 샘플홀더에 의한 전파흡수능의 측정결과와 7mm ϕ Air Line 및 X-Band용 구형도파관에 의한 전파흡수능 측정결과를 각각 비교하기 위하여 비교측정을 행하였다. 비교측정에 사용한 전파흡수체 샘플은 표1과 같으며, 그 측정결과를 그림7 및 그림8에 나타낸다.

표1. 비교측정에 사용한 전파흡수체 샘플

Table 1. Samples of Microwave Absorber Used for the Comparative Measurements

Sample No.	Thickness
C - 1	3.081 mm (Partly 3.079 mm)
C - 2	1.276 mm

S11 FORWARD REFLECTION

LOG MAG.

REF=0.000dB

10.000dB/DIU

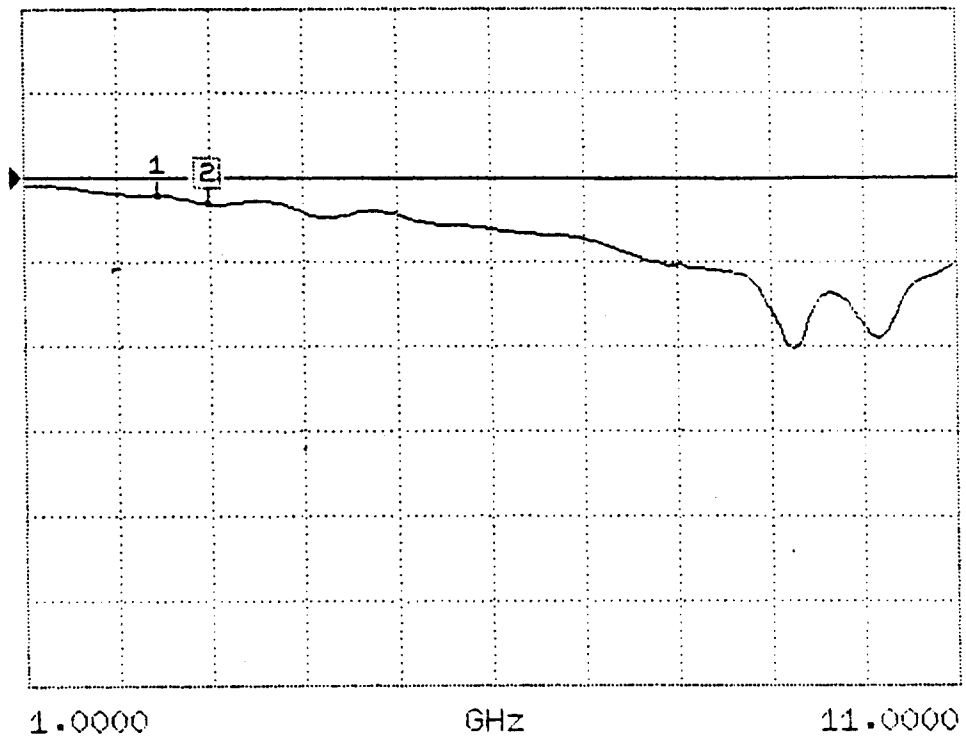


그림6 ADPT와 샘플홀더에 의하여 측정된 전파흡수체 시편(샘플: A-1)의 전파흡수 주파수특성

Fig.6 Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample (Sample No. A-1) Measured by the Manufactured Sample Holder and ADPT.

S11 FORWARD REFLECTION

LOG MAG.

REF=0.000dB

10.000dB/DIV

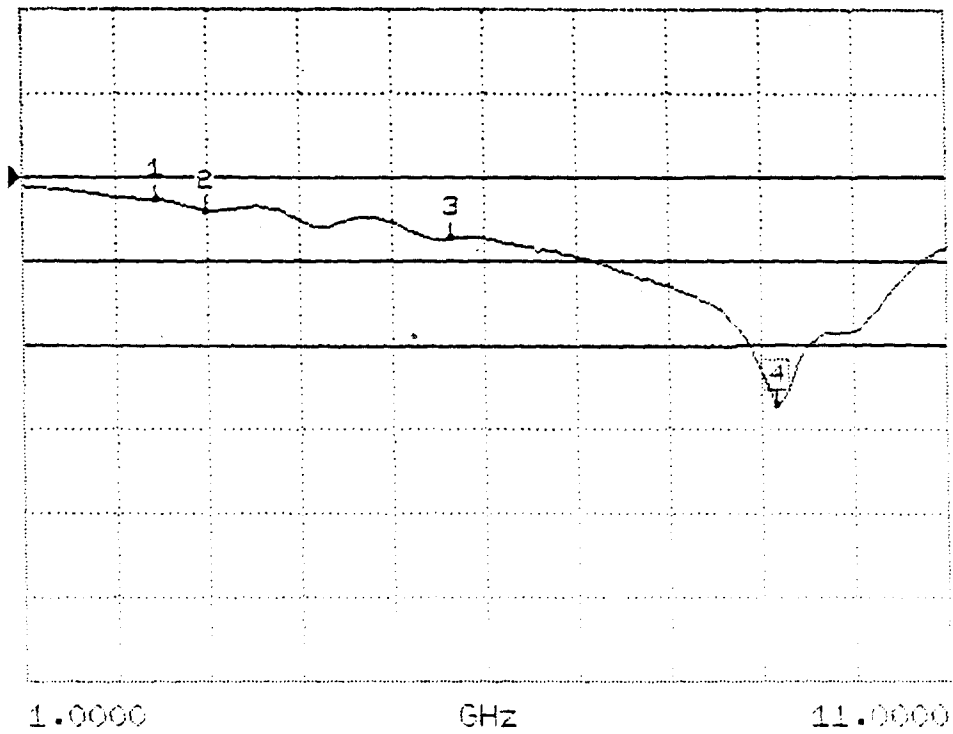


그림7. 제작된 샘플홀더 및 ADPT.3에 의하여 측정된 전파 흡수체(샘플; C-1)의 전파흡수 주파수특성

Fig.7 Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample (Sample No. C-1) Measured by the Manufactured Sample Holder and ADPT.3

S11 FORWARD REFLECTION

LOG MAG.

REF=0.000dB

10.000dB/DIU

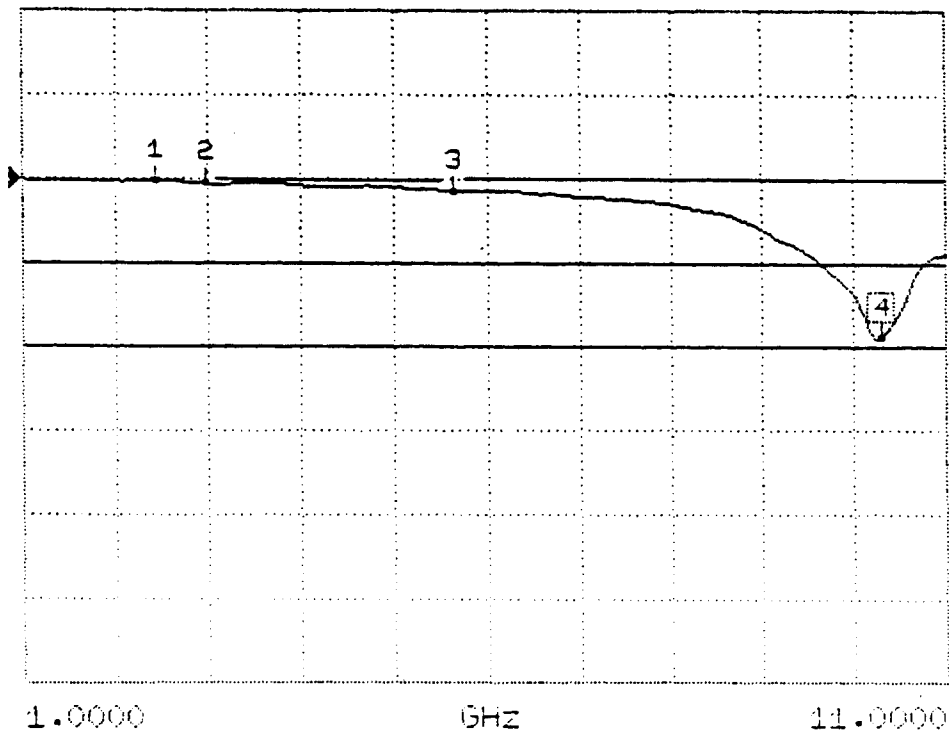


그림8. 제작된 샘플홀더 및 ADPT.3에 의하여 측정된 전파 흡수체(샘플: C-2)의 전파흡수 주파수특성

Fig.8 Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample (Sample No. C-2) Measured by the Manufactured Sample Holder and ADPT.3

나. 7mmφ Air Line에 의한 측정결과와의 비교

표1에 나타난 전파흡수체샘플(C-1)의 전파흡수특성을 20.05mmφ 동축관 샘플 홀더를 이용하여 측정한 결과를 검증하기 위하여, 종단단락된 7mmφ Air Line을 이용하여 측정한 결과와 비교 검토하였다. 종단단락된 7mmφ Air Line을 이용하여 측정한 결과는 그림9와 같으며, 이것은 그림7에 나타난 20.05mmφ 동축관법에 의한 측정치와 잘 일치하고 있어서, 본 연구에서 설계·제작한 20.05mmφ 동축관에 의한 전파흡수능측정법의 간편성과 정확성을 명백히 해주고 있다.

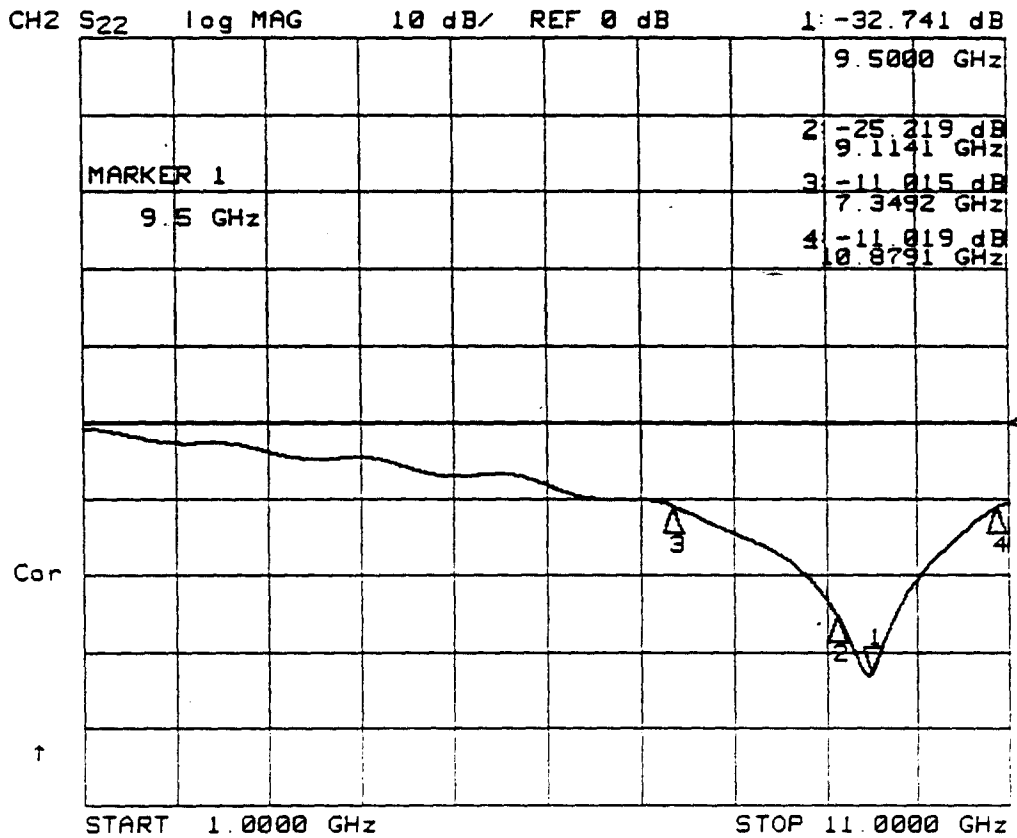


그림9. 7mmφ Air Line에 의하여 측정된 전파흡수체 (샘플; C-1)의 전파흡수 주파수특성

Fig.9 Frequency Characteristics of Microwave Absorber Sample (Sample No. C-1) Measured by Use of 7mmφ Air Line

다. 구형도파관에 의한 측정결과와의 비교

구형도파관(Rectangular Waveguide)은 기본적으로 TE모드의 전파를 전송하는 도파로이므로 평면파와는 상당한 차이가 있지만, 참고를 위하여 표1의 전파흡수체 샘플 C-1 및 C-2의 전파흡수능을 종단단락된 X-Band용 구형도파관에 장착하여 전파흡수능을 측정한 결과를 그림 10 및 그림 11에 각각 나타낸다. 이 결과는 그림 7 및 그림 8의 20.05mm 동축관 샘플홀더를 사용하여 측정한 결과와 비교하여 그 경향에 있어서는 유사하지만 다소 차이를 보이고 있으며, 이것은 전파모드의 차이에 의한 당연한 결과로 분석된다.

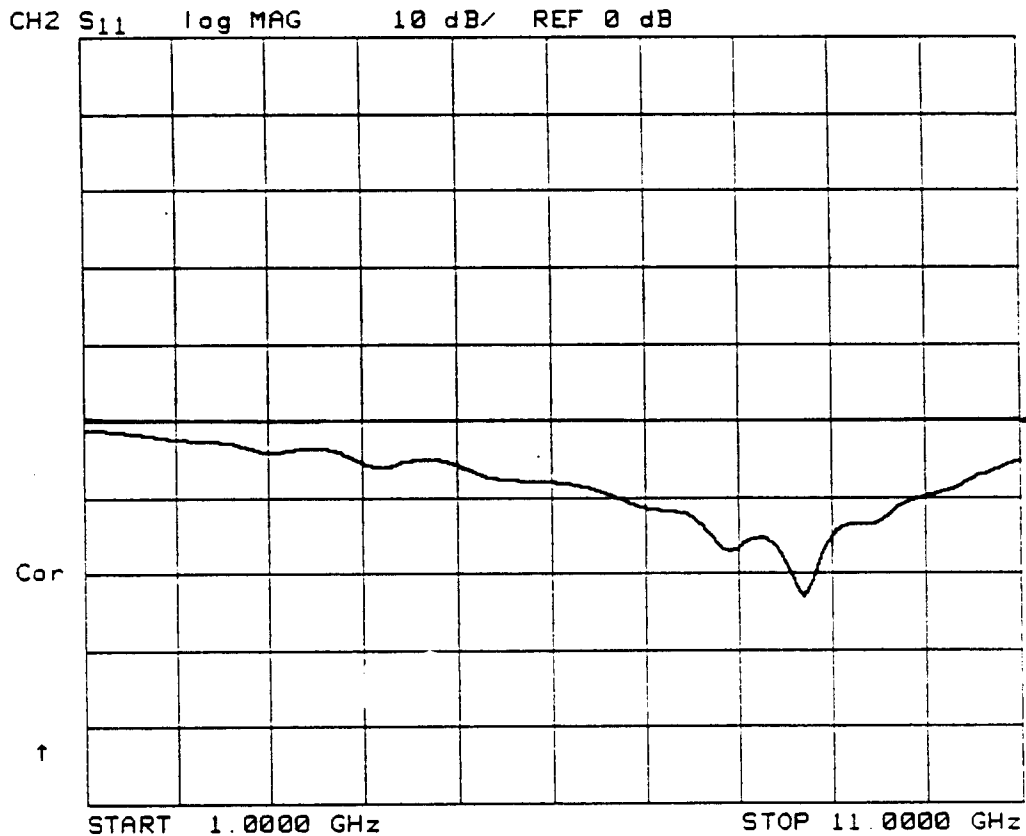


그림10. X-Band용 구형도파관에 의하여 측정된 샘플 C-1의 전파흡수 주파수특성

Fig.10 Frequency Characteristics of Sample C-1 Measured by use of Rectangular Waveguide for X-Band

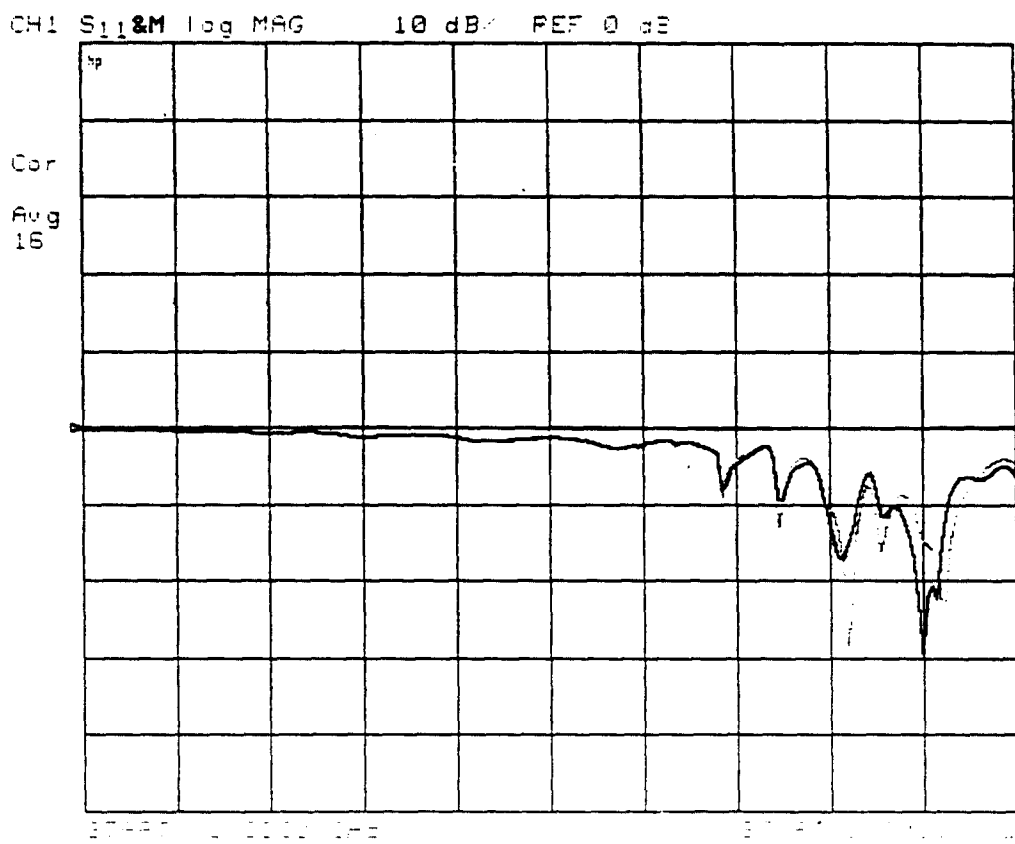


그림11. X-Band용 구형도파관에 의하여 측정된 샘플 C-2의
전파흡수 주파수특성

Fig.11 Frequency Characteristics of Sample C-2 Measured
by use of Rectangular Waveguide for X-Band

III-2 재료정수의 측정

앞에서 기술한 투과반사법(2-Port Method)에 전송선로로서 X-Band용 구형도파관 샘플홀더를 사용하여 전파흡수체 샘플의 재료정수를 측정하고, 이를 이용하여 전파흡수능을 구한 결과에 대하여 검토한다. 전파흡수능(반사감쇠량) α 는 다음 식(17)에 의하여 계산하였다.

$$\alpha \text{ (dB)} = 20 \log |S_{11}| = 20 \log \left| \frac{z - 1}{z + 1} \right| \quad (17)$$

$$\text{단, } z = \sqrt{\frac{\mu_r}{\epsilon_r} \tanh(j\omega \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \cdot d)}$$

그림12(a) 및 (b)는 표1의 Sample C-1(두께;3.079mm)의 재료정수 측정결과를 나타낸다.

나아가서, 그림13은 그림12(a) 및 (b)에 나타난 샘플C-1의 재료정수를 식(17)에 대입하고 두께 d 를 2.5mm에서 3.0mm까지 0.1mm간격으로 변화시킨 경우의 전파흡수 주파수 특성을 나타낸다.

그림13의 3.0mm곡선과 그림7에 나타난 등축관 샘플홀더에 의한 측정결과는 직접 비교가 어렵지만, 개략적으로 유사한 것으로 평가할 수 있다. 다만, 최대흡수 중심주파수에 약간의 차이가 있으나 이것은 측정 오차에 기인하는 것으로 판단된다.

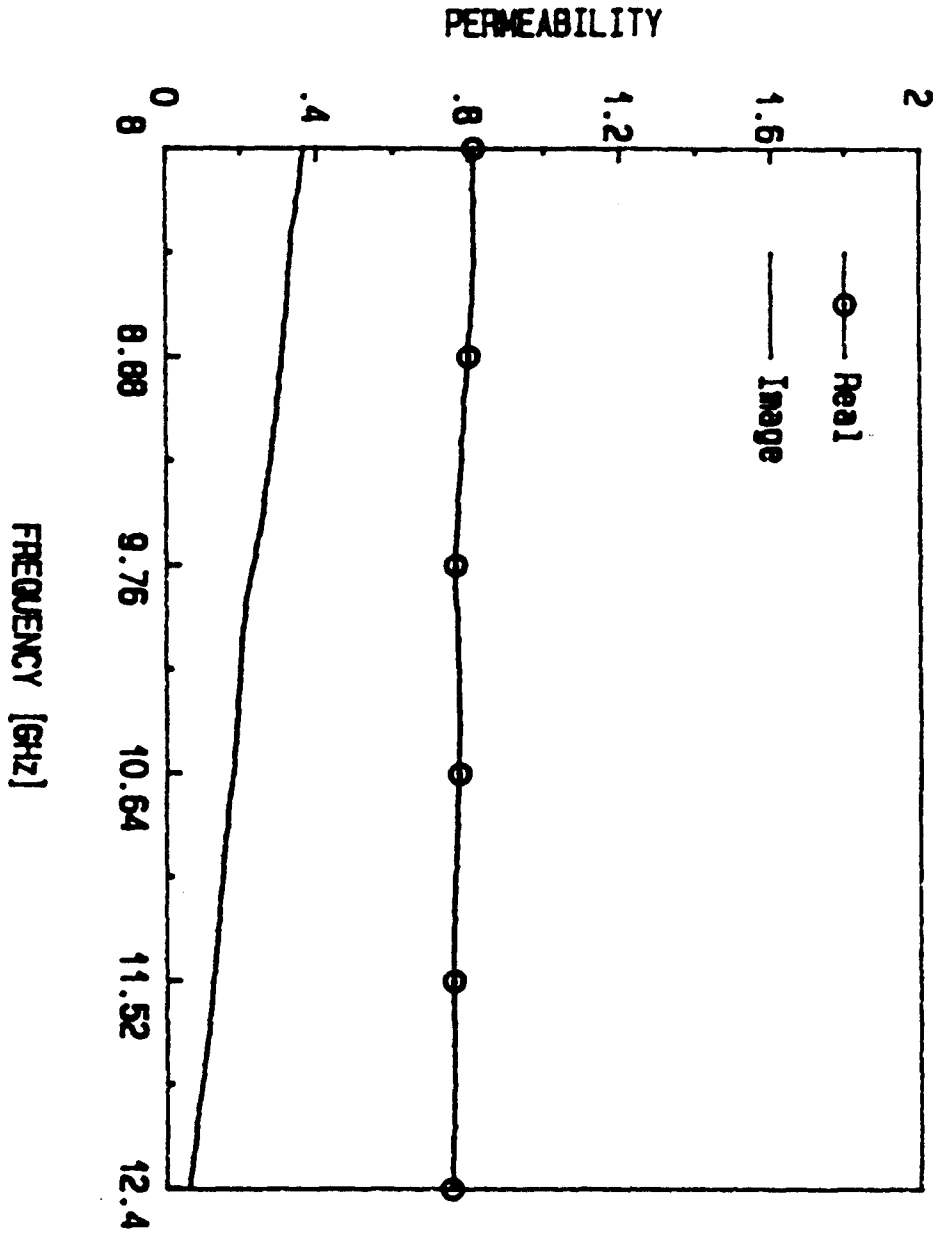


그림12(a) 측정된 샘플C-1의 복소투자율

Fig.12(a) Measured Permeability of Sample C-1

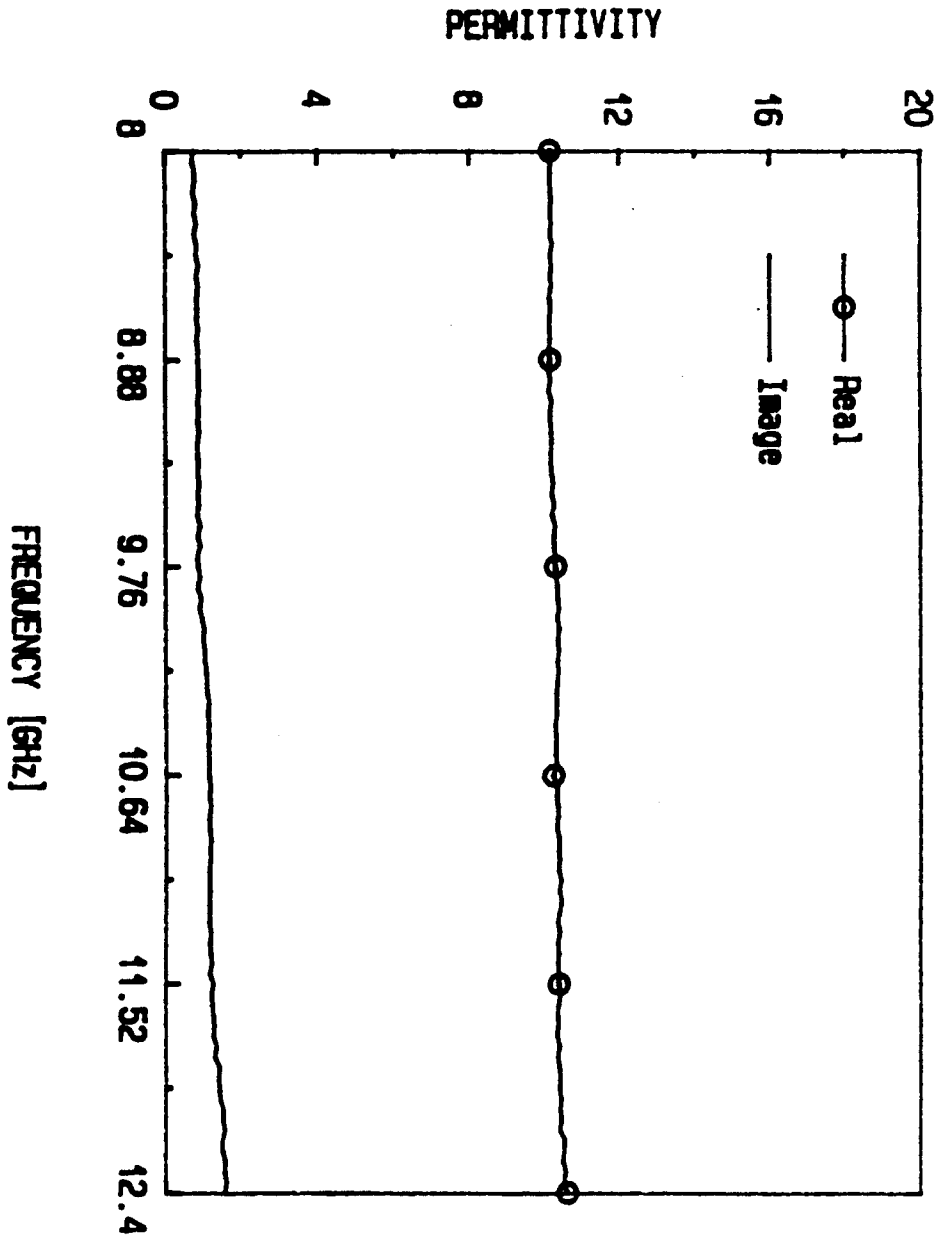


그림12(b) 측정된 샘플C-1의 유전율

Fig.12(b) Measured Permittivity of Sample C-1

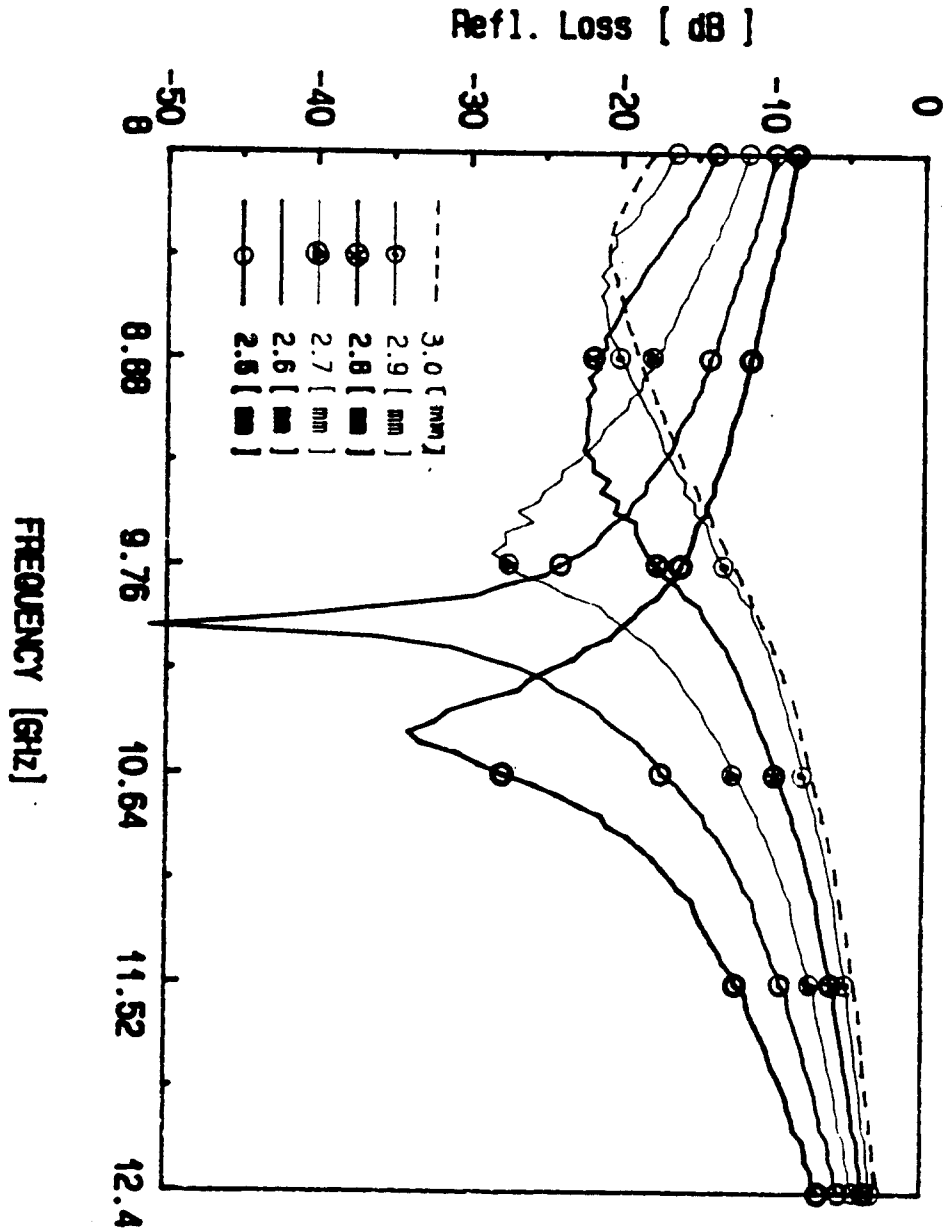


그림13. 측정된 재료정수(그림15(a) 및 (b))로부터 계산된 샘플C-1의 전파흡수 주파수특성

Fig.13 Frequency Characteristics of Sample C-1 Calculated from the Measured Material Constants Which are Shown in Fig.15(a) and (b)

IV. 결 론

전파흡수체의 전파흡수능을 실험실적으로 간편하게 측정할 수 있게 하기 위한 20.05mm ϕ 동축관샘플홀더 및 Type-N connector로 부터 20.05mm ϕ 동축관으로의 변환 Adaptor를 제작하여, 그 특성을 평가·검토하고 전파흡수체의 설계 및 전파흡수특성의 측정에 사용할 수 있게 하였다. 또한 본 연구에서 제작한 20.05mm ϕ 동축관샘플홀더 및 변환 Adaptor를 이용하여, 실제의 전파흡수체 샘플의 전파흡수능을 측정하고, 구형도파관을 이용한 측정치, 7mm ϕ Air Line에 의한 측정치 등과 비교·검토하였다.

나아가서, 구형도파관을 이용한 재료정수측정치들 반사감쇠량으로 환산한 전파흡수능과 동축관으로 측정한 전파흡수능의 주파수 특성을 구하여 거의 일치함을 밝힘으로써 본연구의 타당성을 입증하였다.

사 사

본 연구를 수행함에 있어서, 연구비 일부를 지원하여 주신 한국학술진흥재단의 관계자 여러분과, 연구를 도와 준 한국해양대학교 이공대학 마이크로파연구실의 정 중식, 백 명숙, 민 경식군 그리고 대동정밀(주)의 김 동철군에게 감사드린다.

참 고 문 헌

- [1] 김 동일, 정 세모 외, "카아본-페라이트 전파흡수체의 특성", 대한전자공학 회 논문지, 제 26권 제 11호, pp. 92-97, (1989. 11)
- [2] 김 동일, 정 세모 외, "X-밴드 레이다용 전파흡수체의 개발에 관한 연구", 한국항해학회지, 제 14권 제 1호, pp. 9-19, (1990. 3)
- [3] 内藤喜之, マイクロ波・ミリ波工學, 1986.
- [4] S. Li, C. Akyel, and R. G. Bosiso, "Precise Calculations and Measurements on the Complex Dielectric Constant of Lossy Materials Using TM_{010} Cavity Perturbation Techniques, " IEEE Trans.29, No.10, pp. 1041-1048, Oct. 1981.
- [5] 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.
- [6] M. N. Afsar et. al., " The Measurement of the Properties of Materials," Proc. IEEE, Vol.74, No.1 , pp.183-199, Jan, 1986.
- [7] "Materials Measurement Package, " Wiltron 기술자료.
- [8] " Microwave Material Measurements Seminar," 자료, The Johns Hopkin University, Oct. 1990.
- [9] " Measuring Methods for Properties of Gyromagnetic Materials intended for application at microwave frequencies," International Electro technical Commission IEC Standard, 1982.
- [10] 中島將光, マイクロ波 工學, 森北出版(株) (1979.1)
- [11] Y. Kobayashi, "The Measurement of Complex Dielectric Constant at Microwave Frequencies," written in 1982
- [12] Product Note 8510-3, "Materials Measurement, Measuring the Dielectric Constant of Solids with the HP 8510 Network Analyzer," Hewlett Packard
- [13] Product Note, "Model 2300-11A, Materials Measurement Package," Wiltron
- [14] Brian Sequeira, "Extracting ϵ and μ of Non-Metallic Solids (Powders, Liquids) from Single Port Vector Analyzer Measurements," Microwave 1990)