

Measuring Constitutive Parameter of Dielectric in Wave Guide Using Nicolson-Ross-Weir Method

2020011095 마현준

1. 실험 목적

여러 주파수 밴드 내에서 dielectric material의 permittivity와 permeability를 파악하는 것은 물성 연구와 전자기파 특성 연구에 있어서 매우 중요하다. 이를 측정하는 방법으로 NRW가 가장 널리 사용되고 있다. NRW는 Scattering Parameter를 측정하여 물체의 complex permittivity와 permeability를 측정하는 방식이다. Wave Guide 내에서 S-parameter를 측정하고 역으로 물체의 특성을 계산하는 것이 이 실험의 목표이다.

2. Theory

직사각형 Wave Guide 내부에 homogeneous, isotropic하고 flat한, 임의의 두께와 임피던스 Z 를 갖는 물체가 Wave guide의 단면을 완벽히 채우고 있다고 하자. TE_{10} -mode인 전기장이 Poynting vector가 Longitudinal한 방향으로 존재한다고 하자.

이 때 reflection/transmission S-parameter는 다음과 같이 쓰여진다.

$$S_{11} = \Gamma \frac{1-T^2}{1-\Gamma^2 T^2}$$

$$S_{21} = T \frac{1-\Gamma^2}{1-\Gamma^2 T^2}$$

이를 정리하면 다음을 얻는다.

$$\Gamma = K \pm \sqrt{K^2 - 1}, \quad K = \frac{S_{11}^2 - S_{21}^2 + 1}{2S_{11}}, \quad (|\Gamma| < 1)$$

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

물체의 complex permeability와 permittivity는 다음과 같이 쓸 수 있다.

$$\mu_r = \frac{\lambda}{\Lambda} \left(\frac{1+\Gamma}{1-\Gamma} \right)$$

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

$$\text{where } \lambda_{0g} = \frac{\lambda_0}{\sqrt{1 - (\lambda_0 / \lambda_c)^2}}, \quad \Lambda = \frac{j}{2\pi d} \ln(T)$$

따라서, 물체의 S parameter를 측정하면 물체의 complex permittivity와 permeability를 측정할 수 있다.

3. Experimental Apparatus

Network Analyzer, CNT sample, Epoxy sample, Copper slab, phase WR90 waveguide



fig 1. Apparatus. Network Analyzer(좌), WR90 and Sample(우)

4. Experimental Setup

Network Analyzer 세팅 및 TRL Calibration

Offset delay, Offset Loss, Offset Impedence 등을 조정하고, Cutoff frequency인 6.55 GHz ~ 13.11 GHz로 측정 주파수를 맞춘다. THRU, Reflection, Line 모두에 대해서 세팅을 적용한다. Line의 경우는 linear delay를 계산해 적용한다.

TRL calibration을 진행한다. THRU는 $T=1$ 인 케이스를 Reflection은 Copper slab을 통해 $\Gamma=1$ 인 케이스를, Line을 Line standard를 이용해 phase calibration을 수행한다.

Sample S parameter 측정

CNT, Epoxy sample의 S parameter를 log magnitude와 phase로 반복 측정하고 그 결과를 저장한다. 측정 횟수를 늘려가면서 standard error를 줄인다.

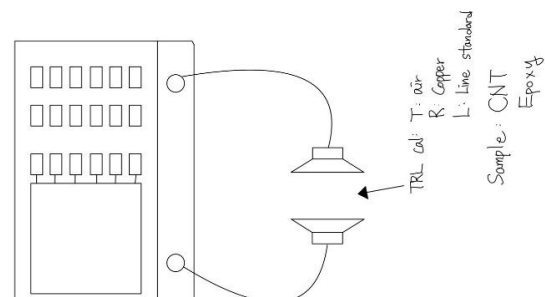


fig 2. Experimental setup. 주어진 샘플의 S-parameter를 측정한다.

5. Measurand to be measured.

각 Sample의 X-band 영역 내 S parameter를 측정하고, 이를 permittivity와 permeability로 변환한다.