

동축선로 프로브를 이용한 프린트 배선 회로용 기판 재료의
주파수 및 온도 변화에 따른 유전특성 연구

A Study on Dielectric Properties of Printed Circuit Board(PCB) Materials
with Variation of Frequency and Temperature using Coaxial Air Line Probe

박 종 성 광운대학교 공대 전파공학과
김 종 현 광운대학교 공대 전파공학과

Jong-Sung Park Dept. of Radio Sciencee and Engineering, Kwangwoon Univ.
Jong-Heon Kim Dept. of Radio Sciencee and Engineering, Kwangwoon Univ.

Abstract

In this paper a probe for the measurement of dielectric properties of dielectric sheet materials is designed and implemented as a coaxial air line type. Using the broadband impedance method with this measurement probe the dielectric constant and loss tangent of the glass-epoxy and teflon are determined in the frequency range of 0.1 ~ 1.0[GHz] with the temperature variation from 25[°C] up to 65[°C]. A measured relative dielectric constant of the glass-epoxy is 4.42 and a loss tangents is 0.019 relatively, and the relative dielectric constants of teflon is 2.17 and a loss tangents is 0.002 relatively.

Key Words(중요용어) : Printed-Circuit-Board(PCB) (프린트 배선 회로용 기판), Measurement probe(측정 프로브), Dielectric constant (유전상수), Loss tangent (손실 탄젠트)

1. 서론

전자산업이 고도화되어 프린트 배선 회로용 기판(Printed Circuit Board : PCB)을 이용한 전자 제품의 생산이 대량화되면서 PCB에 대한 연구가 대두되고 있다. 특히, 회로 동작에 있어서 영향을 주는 파라미터들은 여러 가지가 있으나 그 중에서도 회로의 기판으로 사용되는 PCB재료의 유전특성은 중요한 파라미터로 간주되고 있다. 높은 주파수에서 작동하는 전기적인 회로의 사용이 증가함에 따라 고주파에서의 유전체 기판상의 회로의 동작은 점점 더 중요하게 여겨지고 많은 관심을 갖는 부분이다.^{[1],[2]}

유전특성을 측정하는 방법으로는 평행판 방법,

동축선로 방법, 그리고 공진기 방법 등이 있다. 이런 측정 방법은 측정하고자 하는 시료의 특성 및 측정 주파수 범위에 따라서 결정 되어 진다.^[3]

일반적으로 주파수 범위가 30MHz이하에서는 평행판 방법이 사용되며 1GHz이상에서는 공진기 방법을 사용한다. 최근의 광대역 임피던스 측정 방법이 소개 되었는데, 주파수 측정 범위가 수MHz에서 수GHz까지로 넓어졌으며 유전상수와 손실계수를 측정할 수 있다.

본 논문에서는 광대역 임피던스 방법에 적합한 측정 프로브를 설계 및 제작하였다. 그리고 이 프로브를 이용하여 glass-epoxy와 teflon의 유전특성을 측정하였다. 이때, 실제 사용환경과 같은 조건하에서 실험을 하기 위하여 측정 주파수 범위는 0.1 ~

1.0[GHz], 온도 범위는 25 ~ 65[°C]로 설정하였다.

2. 측정 이론

광대역 임피던스 방법은 측정 프로브를 회로망 분석기에 연결하여 측정으로 부터 얻어진 전송계수로부터 상대 유전상수와 손실탄젠트를 계산하는 방법이다.^{[4],[15]} 측정 구성도는 그림 1과 같다.

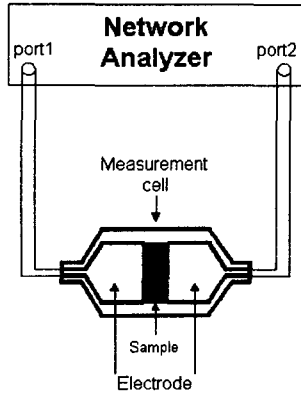


그림 1. 광대역 임피던스 방법의 측정 구성도
Fig. 1. The experimental setup for broadband impedance method

이때, 측정 프로브가 필요하게 되는데 본 논문에서는 측정하고자 하는 시료를 두 전극의 사이에 삽입하여 시료를 통과하는 신호의 전송계수를 측정할 수 있는 coaxial air line 형태의 프로브를 설계 및 제작하였다. 이 방법의 장점으로서는 측정하고자 하는 시료의 제작이 간단하다는 점이다. 측정 셀의 재질은 동이고, 외부 차폐용 덮개와 전극으로 구성되어 있으며 균일한 임피던스 정합을 얻기 위해서 커넥터와 전극사이를 원추형으로 설계하였다. 이때, 측정 프로브의 최대 측정 주파수(f_{max})는 측정셀의 기하학적인 크기에 의해 제한되는데 전극의 반지름과 측정 셀의 차폐용 덮개는 식 (1)을 만족해야 한다.^[6]

$$f_{max} \leq \frac{c}{\pi(d+D)} \quad (1)$$

여기서 d 는 전극의 반지름이고, D 는 차폐덮개의 내부 반지름이고, 그리고 c 는 자유공간에서의 빛의 속도이다.

본 연구에서 사용한 전극의 반지름 $d=10[\text{mm}]$ 이

고 차폐덮개의 내부 반지름 $D=23[\text{mm}]$ 이므로 최대 측정 주파수는 $f_{max} \leq 2.894[\text{GHz}]$ 이다.

이와 같은 측정 프로브를 이용한 광대역 임피던스의 측정방법은 먼저, 측정하고자 하는 시료를 전극에 삽입하였을때(S_{21m}), 두 전극을 단락시켰을때(S_{21a}), 그리고 전극을 시료의 두께와 일치하는 간격으로 떨어뜨렸을때(S_{21b})의 전송계수를 각각 측정한다. 이상에서 측정한 전송계수로 부터 시료의 임피던스를 계산한다.

$$Z = \frac{Z_a \cdot S_{21a} (S_{21b} - S_{21m})}{S_{21m} (S_{21b} - S_{21a})} + \frac{Z_b \cdot S_{21b} (S_{21m} - S_{21a})}{S_{21m} (S_{21b} - S_{21a})} \quad (2)$$

여기서 Z_a 는 두 전극을 단락 시켰을 때의 임피던스로 $Z_a=0$ 이 된다. Z_b 는 전극 사이의 거리와 같은 거리를 갖는 부하가 걸리지 않은 캐패시터의 임피던스이다. 따라서 복소 유전율 ϵ_r^* 은 식 (3)과 같다.

$$\epsilon_r^* = \frac{Z_b}{Z} = \epsilon_r' - j\epsilon_r'' \quad (3)$$

3. 실험 방법

그림 2는 실험 장치의 구성사진을 나타낸다.

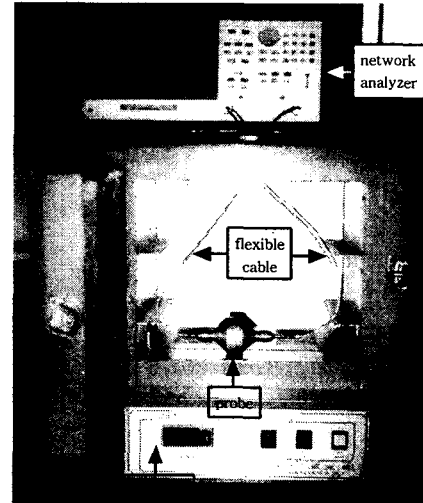


그림 2. 실험 장치의 구성사진
Fig. 2. Photograph of experimental setup.

주파수 및 온도의 변화에 따른 PCB의 유전특성을 측정하기 위한 실험 장치는 크게 Network analyzer와 전기오븐으로 구성되어 있으며 Network analyzer와 sample을 연결해주는 cable은 고온에서도 잘 견딜 수 있으며 측정이 용이하고 안정된 flexible cable을 사용하였다. 전기오븐을 사용하여 glass-epoxy 와 teflon 의 온도를 증가 시켰다. 측정 온도 범위는 25 ~ 65[°C]으로 공업용 온도계를 직접 이용하여 시편의 온도를 직접 측정하여 측정 온도와 일치하게 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

본 논문에서는 먼저 광대역 임피던스 방법을 이용하기 위하여 제작된 프로브의 적합성을 판단하기 위하여 주파수 범위 0.1 ~ 1.0[GHz]에서 유전특성을 측정하였다. 먼저 표준 측정 방법인 마이크로스트립 라인 방법과 광대역 임피던스 방법으로 각각 측정하여 그 결과를 비교하였다 (그림 3).

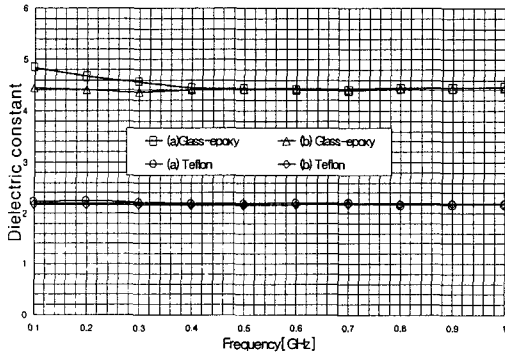


그림 3. 주파수 변화에 따른 glass-epoxy와 teflon의 유전상수 :

- (a) 광대역 임피던스 방법
- (b) 마이크로스트립 라인 방법

Fig. 3. Dielectric constant of glass-epoxy and teflon with variation of frequency :
(a) Broadband Impedance Method
(b) Microstrip Line Method

두 가지 방법의 실험 결과 teflon의 경우 측정 주파수 범위에서는 유전상수 값이 거의 일치하였으며, glass-epoxy의 경우는 300MHz 이하에서의 약간의 차이가 있었으며 전반적으로 일치하였다. 온도변화에 따른 glass-epoxy의 유전상수와 손실탄젠트를

그래프로 나타내면 그림 4와 그림 5와 같다.

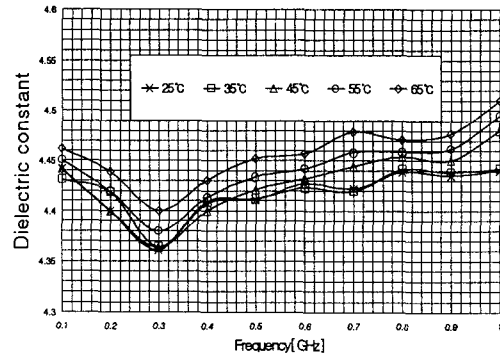


그림 4. 측정 온도에서 주파수 변화에 따른 glass-epoxy의 유전상수

Fig. 4. Dielectric constant of glass-epoxy with variation of frequency at the measured temperature

그림 4에서와 같이 glass-epoxy의 유전상수 값은 저주파수 대역인 0.1 ~ 0.3[GHz]범위에서는 유전상수가 감소하다가 0.4[GHz]부터는 증가하기 시작하였다. 또한, 25[°C]와 65[°C]에서 일때의 유전상수를 비교하면 온도가 증가함에 따라서 유전상수는 약 1% 증가하였다. 그림 5에서와 같이 glass-epoxy의 손실탄젠트는 온도에 따라서는 변화가 거의 없었다.

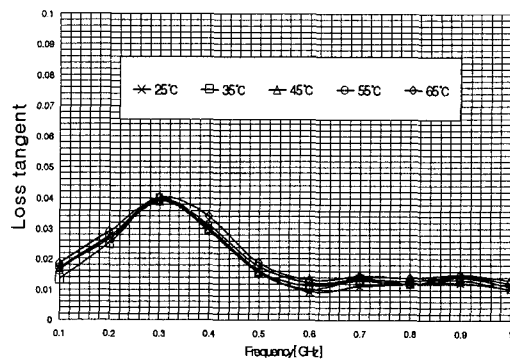


그림 5. 측정 온도에서 주파수 변화에 따른 glass-epoxy의 손실탄젠트

Fig. 5. Loss tangent of glass-epoxy with variation of frequency at the measured temperature

그림 6과 그림 7은 teflon의 유전상수와 손실 탄젠트이다. 그림 6에서와 같이 온도 및 주파수 변화에 따른 teflon의 유전상수는 0.5[Ghz]에서 약간의 변화가 있으며 모든 주파수 범위에서는 변화가 거의 없음을 알 수 있다. 그림 7에서와 같이 teflon의 손실탄젠트는 매우 작음을 알 수 있으며 유전상수가 변하는 0.5[Ghz]에서 가장 많이 변화됨을 알 수 있다. teflon이 glass-epoxy 보다는 주파수 및 온도 변화에 따라서 유전상수 값의 변화가 없음을 알 수 있다.

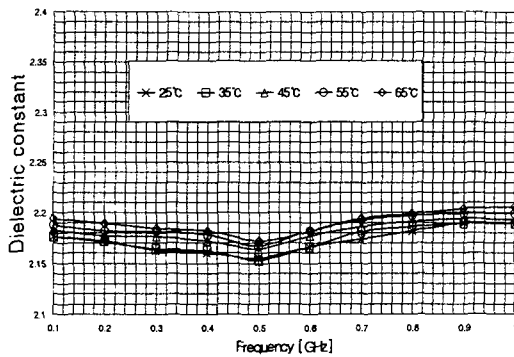


그림 6. 측정 온도에서 주파수 변화에 따른 teflon의 유전상수

Fig. 6. Dielectric constant of teflon with variation of frequency at the measured temperature

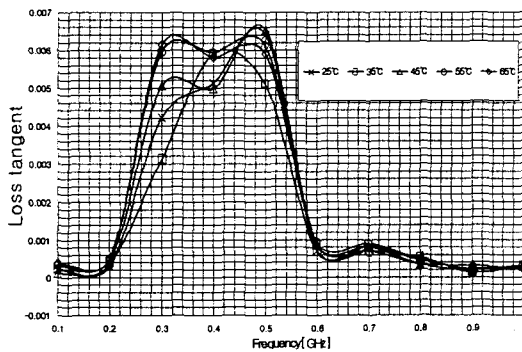


그림 7. 측정 온도에서 주파수 변화에 따른 teflon의 손실탄젠트

Fig. 7. Loss tangent of teflon with variation of frequency at the measured temperature

5. 결론

본 논문에서는 conical coaxial air line구조의 측정 프로브를 이용한 광대역 임피던스 방법을 사용하여 측정 주파수 범위 0.1 ~ 1.0[Ghz], 측정 온도 범위 25 ~ 65[°C]에서 glass-epoxy와 teflon의 유전 특성을 측정하였다. 측정 셀의 적합성을 비교, 검증하기 위하여 표준 측정 방법인 마이크로스트립 라인 방법을 이용한 유전상수를 측정 한 결과, 광대역 임피던스 방법에 의해 측정된 유전상수와 매우 일치함을 알 수 있었다.

실험 결과, 측정 온도 범위 및 측정 주파수 범위에서는 glass-epoxy가 teflon에 비해서 온도 및 주파수 대한 영향을 더 많이 받음을 알 수 있었으며 teflon 기판이 온도 및 주파수 특성이 우수하므로 고밀도, 고주파수용 기판으로 쓰이는데 적합하다고 사료된다.

본 연구에서 제시한 측정 프로브를 이용하여 유전체 기판의 유전특성을 측정할 경우 시료의 제작 및 처리가 매우 간단하다는 장점이 있다.

참고문헌

- [1] HP 4194A Application Information, Characteristic Impedance Measurement of PC Board Circuit Patterns.
- [2] Roberto Sorrentino ; "Numerical Methods for Microwave & Millimeterwave Structures," pp.407-409, IEEE Press, 1989.
- [3] HP Solution Note 4291-4, Permittivity Measurement of PC Board and Substrate Materials using the HP 4291A and HP 16453A.
- [4] R. Pelster, "A novel analytic method for the broad band determination of electromagnetic impedances and material parameters," IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., vol. 43, no. 7, pp. 1494-1501, 1995.
- [5] J. H. Kim and C. Venkateshaiah, "Measurement of Permittivity of Printed Circuit Board Materials at RF," Proceedings of the 5th International Conference on Properties and Applications of Dielectric Materials, Vol. 1, pp. 1167-1170, 1997.
- [6] S. F. Adam, *Microwave Theory and Applications*, 1st ed., Prentice-Hall, ch 2 2, 1969.