

## 온도 및 주파수 변화에 따른 프린트 배선기판의 유전특성 연구

11-10-4

### A Study on Dielectric Properties of Printed Circuit Board Materials with Variation of Frequency and Temperature

박종성\*, 김종현\*, 이준웅\*\*

(Jong-Sung Park, Jong-Heon Kim, Joon-Ung Lee)

#### Abstract

This paper presents the results of measured permittivity of PCB sheet material in the frequency range of 0.1 ~ 2[GHz] and temperature range of 25 ~ 85[°C]. Microstrip lines with different physical length are implemented to measure the attenuation and phase shift of the signals through these lines. The loss factor of glass-epoxy and teflon could be calculated with the measured dielectric constant and the attenuation. From the experiment, the glass-epoxy was more influenced by temperature and frequency than teflon. The average dielectric constants of glass-epoxy and teflon within the measured frequency range are 4.48 and 2.18, respectively.

**Key Words(중요용어)** : Dielectric constant (유전 상수), PCB(Printed-circuit-board) (프린트 배선 회로용 기판), Dielectric property (유전 특성), Loss factor (손실 계수), Loss tangent (손실 탄젠트)

#### 1. 서 론

최근, 전자산업이 발전함에 따라 전자제품의 집적화로 인하여 프린트 배선 회로용 기판(PCB)의 물성 및 회로 상에서의 전자파 해석에 관한 연구가 필요하게 되었다. 대부분의 무선전화기, 휴대폰 및 노트북용 PCB의 사용 주파수 범위는 100[MHz] ~ 1[GHz]이지만 PCS등 개인휴대통신의 대중화로 인하여 PCB에서 사용되는 주파수의 범위가 점점 수GHz 이상의 범위로 확대되고 있으며, 고밀도 실장화로 인하여 PCB는 실온보다 훨씬 높은 온도에서 사용되고 있다.

이로 인하여 기판의 변형 및 EMI 발생으로 인한 회로의 오동작을 유발시킬 수 있다. 따라서 주파수의 변화와 온도에 의한 PCB재료의 물성에 관한 연구가 필요하게 되었다.

그러므로 원판이 PCB로 제작되었을 때 그 물성이 온도, 주파수 등의 여러 가지 요인에 의하여 어떻게 변화되는가를 연구해야하며 이를 응용하여 우수한 특성을 지닌 PCB를 개발하는 것은 매우 중요하다.<sup>1)2)</sup>

본 논문에서는 초고주파 통신 기기 등에 쓰이는 Teflon 기판과 Glass-Epoxy 기판의 주파수 및 온도 변화에 따른 유전 특성을 측정하기 위하여 각 기판을 마이크로스트립 라인으로 제작하였다. 저주파수 대역에서는 전기저항 방식이나 평행판 Capacitor 방법 등을 이용하여 유전특성을 측정하나, PCB에서 실제로 사용되는 주파수와 같은 환경에서 실험을 하기 위하여 고주파수 대역에서도 측정이 가능한 마이크로스트립 라인 방법을 이용하였다.

이때, 각 전송선로에서 측정신호의 위상차를 이

\* : 광운대학교 전자공학과

\*\* : 광운대학교 전기공학과

(서울시 노원구 월계동 447-1, Fax : 02-916-8014

E-mail : jhkim@daisy.kwangwoon.ac.kr)

1998년 7월 28일 접수, 1998년 9월 17일 심사완료

<98 춘계학술회의에서 우수논문으로 추천됨>

용하여 기판의 유전상수를 구하였으며 측정신호의 손실과 유전상수를 이용하여 손실계수를 계산하는 방법을 제시하였다. 이때 사용 주파수는 0.1 ~ 2.0 [GHz], 온도는 25 ~ 85[°C] 범위에서 측정하였다.

2. 측정 이론

마이크로스트립 라인 방법을 이용한 기판의 유전을 측정을 위해서는 서로 다른 길이를 갖는 두개의 마이크로스트립 라인을 제작한다.

마이크로스트립 라인의 구조는 그림 1과 같다.

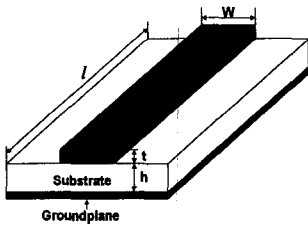


그림 1. 마이크로스트립 라인의 구조  
Fig. 1. Structure of microstrip line

마이크로스트립 라인의 전기적인 길이( $l_e$ )는 마이크로스트립 라인상에서 신호가 진행해 나간 길이로 신호의 위상으로 표현되며, 물리적인 길이( $l_p$ )는 실제 마이크로 스트립 라인의 길이를 의미한다 :

$$l_e = \frac{\Phi \cdot c}{2\pi f} \quad (1)$$

여기서  $\Phi$ 는 위상전위,  $f$ 는 주파수,  $c$ 는 자유공간에서의 빛의 속도이다.

이때, 마이크로스트립 라인의 전기적인 길이와 물리적인 길이의 관계로부터 실효 유전상수와 위상차의 관계식을 얻을 수 있다.<sup>3)4)</sup>

$$\sqrt{\epsilon_{eff}} = \frac{(\Phi_2 - \Phi_1) \cdot c}{2\pi f(l_2 - l_1)} \quad (2)$$

여기서  $\Phi_2$ 는 길이가 긴 마이크로스트립 라인에의 신호의 위상차이고,  $\Phi_1$ 은 길이가 짧은 마이크로 스트립 라인에서의 위상차이며,  $l_2$ 는 긴 마이크로 스트립 라인의 물리적인 길이이고,  $l_1$ 은 짧은 마이크로 스트립 라인의 물리적인 길이이다.

식(1)에서 얻어진 실효 유전상수로부터 기판의

유전상수를 다음과 같은 관계식으로부터 구할 수 있다.<sup>5)</sup>

$$\epsilon_{eff} = \frac{\epsilon_r}{0.96 + C_t} \quad (3)$$

$$C_t = \epsilon_r (0.109 - 0.004 \epsilon_r) [\log(10 + Z_0) - 1] \quad (4)$$

또한, 본 논문에서는 마이크로스트립 라인을 이용해서 손실계수를 계산할 수 있는 방법을 제시하였다.

먼저 전송선로 상에서 측정된 신호의 감쇠는 도체손실(Conduction loss)과 유전손실(Dielectric loss)로 구성되어있다.<sup>6)</sup>

$$\alpha_T = \alpha_d + \alpha_c \quad (5)$$

여기서  $\alpha_T$ 는 전체손실,  $\alpha_d$ 는 유전손실, 그리고  $\alpha_c$ 는 도체손실이다.

이때 도체손실은

$$\alpha_c = 6.1 \times 10^{-5} \frac{R_s Z_0 \epsilon_{eff}}{h} \times \quad (6)$$

$$\left[ W/h + \frac{0.067 W/h}{W/h + 1.444} \right] \Lambda$$

$$W = W + \frac{1.25}{\pi} t (1 + \ln \frac{2h}{t}) \quad (7)$$

$$\Lambda = 1 + \frac{h}{W} (1 - \frac{1.25t}{\pi h} + \frac{1.25}{\pi} \ln \frac{2h}{t}) \quad (8)$$

이고 여기서  $Z_0$ 는 특성 임피던스,  $R_s$ 는 표면 저항,  $t$ 는 마이크로스트립 라인의 두께, 그리고  $h$ 는 기판의 높이이다.

유전손실은

$$\alpha_d = 27.3 \frac{\epsilon_r (\epsilon_{eff} - 1) \tan \delta}{\sqrt{\epsilon_{eff}} (\epsilon_r - 1) \lambda_0} \quad (9)$$

이고 이로부터 기판의 손실계수를 계산할 수 있다.

3. 실험 방법

마이크로스트립 라인을 이용하여 복소 유전율을 측정하기 위하여 표 1과 같이 측정용 마이크로스트립 라인을 제작하였다.<sup>7)</sup>

표 1. Glass-Epoxy와 Teflon의 마이크로스트립 라인 파라미터

Table 1. Parameter of the microstrip line of glass-epoxy and teflon

|             | Width  | Height | Thickness | Length      |
|-------------|--------|--------|-----------|-------------|
| Glass-Epoxy | 2.15mm | 1.18mm | 0.01mm    | 100mm, 30mm |
| Teflon      | 2.42mm | 0.78mm | 0.01mm    | 100mm, 30mm |

이때 표 1의 파라미터를 이용하여 만들어진 마이크로스트립 라인은 그림 2와 그림 3과 같다.

그림 2는 3cm의 마이크로스트립 라인이고 그림 3은 10cm의 마이크로스트립 라인이다.

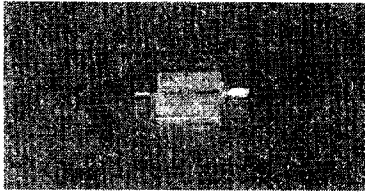


그림 2. 마이크로스트립 라인 (3cm)

Fig. 2. Microstrip line (3cm)

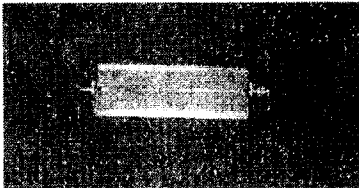


그림 3. 마이크로스트립 라인 (10cm)

Fig. 3. Microstrip line (10cm)

이때 각 기판에 대하여 길이가 서로 다른 두 개의 마이크로스트립 라인을 제작하였는데 같은 종류의 기판을 두 가지로 제작한 이유는 2개의 마이크로스트립 라인의 차를 계산하여 connector 자체에서 발생하는 error를 없애기 위해서이다. 즉 connector pin의 길이가 길어지면 마이크로스트립 라인의 길이가 짧아지므로 측정 시 발생하는 error, soldering을 너무 많이 했을 때 생기는 fringe 때문에 발생하는 error, 그리고 connector가 불완전하게 접속되었을 때 발생하는 error들을 최대한 줄이기

위해서이다.

그림 4는 주파수 및 온도 변화에 따른 PCB의 유전특성을 측정하기 위한 실험 장치의 구성도이다.

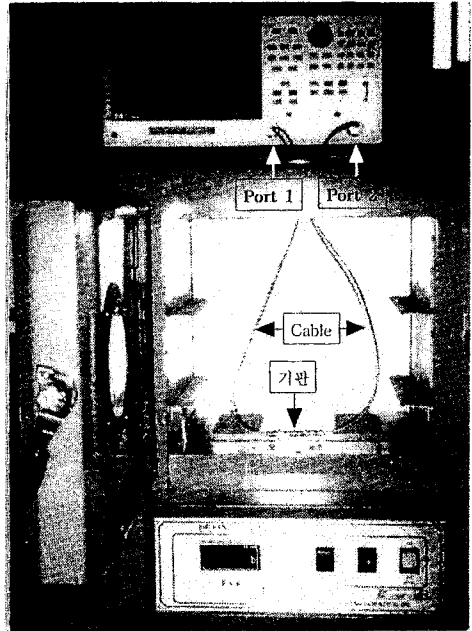


그림 4. 실험 장치의 구성사진

Fig. 4. Photograph of experimental setup

먼저, 실험장치는 크게 Network analyzer와 전기오븐으로 구성되어 있으며 Network analyzer와 Sample를 연결해주는 Cable은 고온에서도 잘 견딜 수 있는 안정된 Cable을 사용하였다. 측정하기 전에 Network analyzer를 Calibration을 시킨다. Calibration을 시키는 순서는 Cable에 각각 Open, Short, Load 단자를 연결해서 정합을 시키는데 이때, Open 단자의 Marker 위치와 Short 단자의 Marker 위치는 180도의 위상차가 나야하며 Load 단자의 Marker 위치는 임피던스 매칭점에 있어야 한다. Network analyzer의 port1과 port2에 각각의 기판을 연결한 후 port1에서 port2의 전송계수인  $S_{21}$ 과 port2에서 port1로의 전송계수인  $S_{12}$ 를 측정한다.<sup>(8)</sup> 이와 같이  $S_{12}$ 와  $S_{21}$ 을 측정하는 이유는 두 전송계수의 평균값을 구하여 마이크로스트립 라인의 폭이 일정치 않은 구조적인 문제점과 connector에서 발생하는 오차를 줄이기 위하여 평균값을 구하기 위해서이다.

또 전기오븐을 사용하여 Glass-Epoxy 기판과

Teflon 기판의 온도를 증가 시켰다. 두 기판 모두 같은 조건하에서 실험을 하였으며 챔버 내 온도는 디지털 온도조절기로 자동조정이 되며 설정온도에서 약 10분간 시편을 챔버 내에 있도록 하여 시편의 온도가 충분히 설정온도에 이를 수 있도록 하였다.

4. 실험 결과 및 고찰

그림 5는 마이크로스트립 라인을 이용하여 측정 한 Teflon과 Glass-Epoxy의 유전 상수를 고주파 영역인 0.1 ~ 2.0[GHz] 에서 나타내었다.

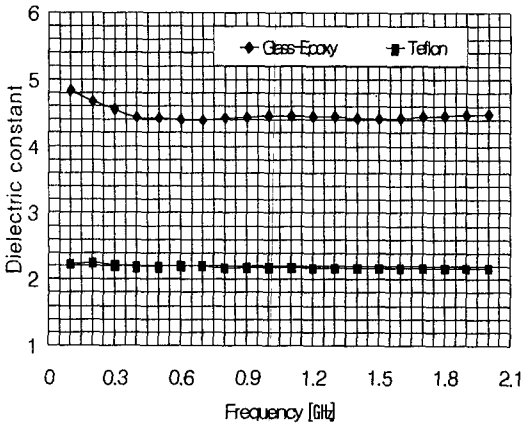


그림 5. 주파수 변화에 따른 Glass-Epoxy와 Teflon 기판의 유전상수

Fig. 5. Dielectric constant of glass-epoxy and teflon substrates with variation of frequency

주파수 변화에 따른 Teflon과 Glass-Epoxy를 보면 모든 주파수 범위에서 유전율 값이 일정한 경향을 보이고 있다. 이는 Debye 이론 및 쌍극자 분극에 의한 비유전율의 주파수에 따른 변화와 비교하여 볼 때 측정 주파수 범위에서 유전상수가 크게 변하지 않음을 알 수 있다.<sup>9)</sup>

그림 6은 주파수 변화에 따른 손실 탄젠트를 나타내며 전반적으로 주파수 변화에 대하여 큰 변화가 없는 것으로 나타났으며 Glass-Epoxy의 경우 주파수의 변화에 따른 손실 탄젠트의 변화폭이 Teflon의 경우에 비해서 큰 것을 알 수 있다.

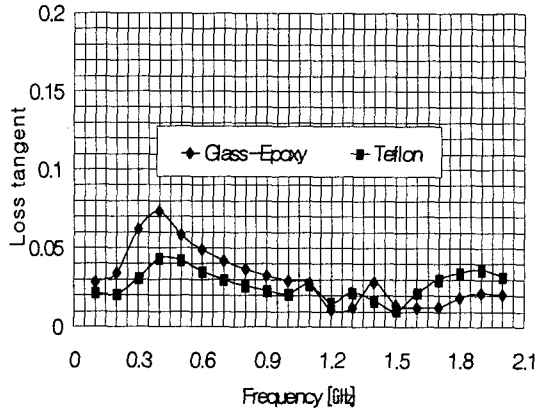


그림 6. Glass-Epoxy와 Teflon 기판의 Loss tangent

Fig. 6. Loss tangent of glass-epoxy and teflon substrates

그림 7에서는 온도가 증가함에 따라서 Teflon과 Glass-Epoxy의 유전상수의 변화량을 나타내었는데 두 가지 모두 25 ~ 85[°C] 측정 온도 구간에서는 온도에 의한 큰 영향이 없는 것으로 나타났다.

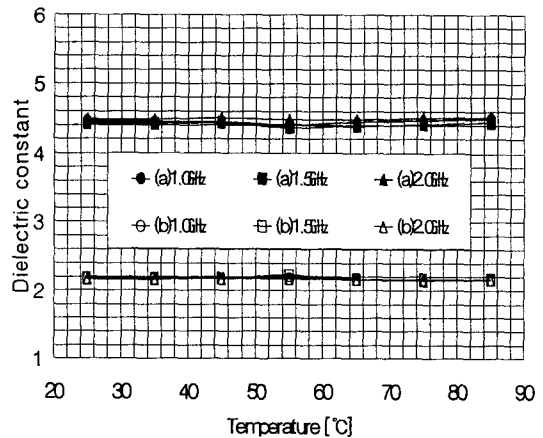


그림 7. 온도 변화에 따른 기판의 유전상수 :

(a) Glass-Epoxy (b) Teflon

Fig. 7. Dielectric constant of substrates with variation of temperature :

(a)Glass-Epoxy (b) Teflon

그림 8은 Teflon과 Glass-Epoxy의 온도변화에 따른 손실계수를 나타내었다. 손실계수 또한 유전상수와 마찬가지로 온도에 의한 영향이 적은 것으로 나타났으며 Glass-Epoxy가 Teflon에 비해서 온도 변화에 따른 손실계수의 차이가 심한 것을 볼 수 있다.

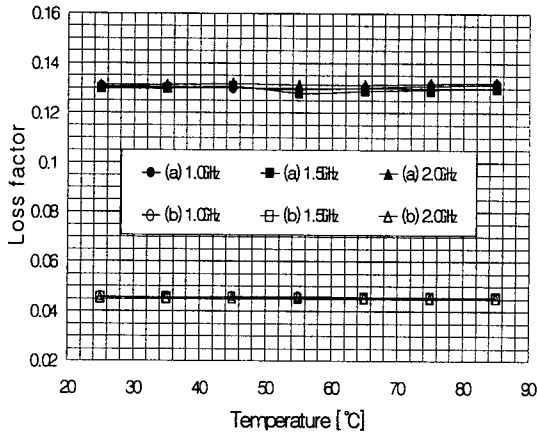


그림 8. 온도 변화에 따른 기판의 손실계수 :  
(a) Glass-Epoxy (b) Teflon

Fig. 8. Loss factor of substrates with variation of temperature :  
(a) Glass-Epoxy (b) Teflon

### 5. 결 론

본 논문에서는 마이크로스트립 라인 방법을 사용하여 0.1 ~ 2.0[GHz] 고주파영역과, 25 ~ 85[°C] 온도변화에 따른 Glass-Epoxy 기판과 Teflon 기판의 유전특성을 측정하였다.

특히 본 논문에서는 마이크로스트립 라인을 이용하여 유전상수 측정뿐만 아니라 손실 계수의 측정 방법을 제시하였으며 따라서 마이크로스트립 라인을 이용하여 복소 유전율을 측정할 수 있음을 검증하였다.

측정결과, 본 논문에서 사용한 주파수 및 온도 범위에서 Glass-Epoxy와 Teflon기판의 경우 유전 특성은 크게 영향을 받지 않는 것으로 나타났으나 Glass-Epoxy가 Teflon보다 변화 폭이 큰 것을 알 수 있었다.

따라서, Teflon 기판이 Glass-Epoxy 기판보다 고 밀도, 고주파수용 기판으로 적합하다고 사료된다.

### 참고 문헌

1. HP Solution Note 4291-4, *Permittivity Measurement of PC Board and HP16453A*.
2. HP Application Note 1217-1, *Basics of Measuring the Dielectric Properties of Materials*.
3. N. K. Das, S. M. Voda and D. M. Pozar, "Two Methods for the Measurement of Substrate Dielectric Constant," *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. 35, No. 7, pp. 636-641, 1987.
4. 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.
5. L. A. Trinogga, G. Kaizhou, and I. C. Hunter, *Practical Microstrip Circuit Design*, Ellis Horwood, ch.2, pp. 27-32 1991.
6. K. Chang, *Handbook of Microwave and Optical Components*, Vol. I, John Wiley & Sons, Inc., ch. 1.3.2, 1989.
7. T. C. Edwards, *Foundations for Microstrip Circuit Design*, 2nd ed., John Wiley & Sons, Inc., ch. 3.1.2, 1992.
8. K. Chang, *Microwave Solid-State Circuit and Application*, John Wiley & Sons, Inc., ch. 3.4, 1994.
9. 誘電體現象論, 日本電氣學會, pp. 117~171, 1985.