

마이크로스트립 안테나의 주파수 이동 특성에 관한 연구

Frequency properties of Microstrip Antenna using LiNbO<sub>3</sub>

오승재\*, 우형관\*, 하용만\*, 김영훈\*, 송준태\*

(Seung Jae Oh, Hyoung Gwan Woo, Yong man Ha, Young Hoon Kim, Joon Tae Song)

Abstract

This paper investigated that resonant frequencies of microstrip patch antenna were tunable when piezoelectric materials were used as the antenna substrates. The resonant frequencies of the microstrip antenna using the piezoelectric substrate, like PZT, LiNbO<sub>3</sub> were able to be controlled by applied DC voltage. The frequency variation of the air gap antenna was 29MHz when the voltage variation was 14[kV/cm], and the frequency variation of microstrip patch antenna made of LiNbO<sub>3</sub> substrate was 29MHz when voltage variation was 6[kV/cm].

Key Wards(중요용어) : microstrip antenna, LiNbO<sub>3</sub>, tunable, resonant frequency, DC

1. 서론

요즘, 무선 장비의 개인화가 급속화되면서 대량 생산이 용이하고 경량인 마이크로스트립 안테나에 대한 관심이 커지고 있다. 마이크로스트립 안테나는 가격이 싸고 부피가 작고, 경량이며 평면 배열이 용이하여 고속 이동체의 굴곡면에 부착하기 쉽다는 이점이 있는 반면, 협대역 특성, 제한된 전력 용량 등의 단점이 있다. 마이크로스트립 안테나의 공진 주파수를 조정하기 위해서 많은 연구들이 행하여져 왔다. 좁은 대역폭을 개선하기 위해 대역폭을 넓히거나 dual-band로 하여 계속적인 연구가 보고되었다. 대역폭을 넓히기 위해서는 패턴이 모양을 여러

개로 만들어 제작하거나<sup>[1]</sup>, 개구 결합 방법을 이용하여 다층으로 쌓는 방법<sup>[2]</sup> 등이 있고 dual-band로 하기 위해서는 두 개의 층으로 패치를 만드는 방법<sup>[3]</sup>과 상부 패치와 급전점과 거리를 두어 고차 모드를 이용하는 방법<sup>[4]</sup> 등이 있다. 이런 연구들은 제작 상에 있어서 많은 단계를 거쳐서 복잡하고 정밀하게 제작되어야 하며, 제작 후에는 주파수의 조정이 불가능한 단점들이 있다. 이런 문제점을 해결할 수 있는 새로운 방법을 제시하고자 한다.

본 논문에서는 기존의 연구되어지지 않은 새로운 방법으로 단순한 구형의 형태에서 안테나의 물리적 변형을 가하지 아니하고 안테나의 기판을 압전체로 대체하여 전계를 인가했을 때의 압전 현상, 기계적 변위를 이용하여 리얼타임으로 안테나 기판에 변화를 가해 주파수를 이동하고자 하였다. 압전 현상을 이용한 이론적 접근을 하여 PZT 압전체를 사용한 Air Gap 안테나, 및 LiNbO<sub>3</sub> 구형 마이크로스트립 패치 안테나를 제작하고 압전 기판에 전압을 인가하여 전압의 변화에 따라 안테나의 대역 주파수 이동을 확인하였다.

\* : 성균관대학교 전기전자 및 컴퓨터공학과 (경기도 수원시 장안구 천천동 300, Fax : 031-290-7159, e-mail : aura4321@ece.skku.ac.kr)

## 2. 관련 이론

압전물질(piezoelectric material)은 비대칭적인(asymmetric) 전자 격자 구조를 가지고 있어서 전계를 가하면 기계적 변형(strain)이 생기고 역으로 압력을 가할 때 전계가 발생된다. 이러한 에너지 변환현상을 압전 현상이라 한다. 즉 압전물질에 대해서는 기계적 에너지와 전기적 에너지가 상호변환이 가능하다. 모든 강유전체는 압전성을 나타내지만 반대로 압전체라고 모두 강유전체는 아니다. 압전 방정식은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$S = s^E T + d_t E \quad (\text{식 1})$$

$$D = d T + \epsilon^T E$$

(식 1)의 위 식에서 근사적으로  $T=0$ 으로 가정하면,

$$S = d_t E \quad (\text{식 2})$$

이다. 여기서,  $d_t$ 는 압전 상수이다. 인가된 전계에 대한 변위  $S$ 를 다음의 공진 주파수 실험식에 인용한다.

$$f_r (\text{Ghz}) = \frac{16.299}{(L + 0.7h)(\epsilon_r + 0.538)^{1/2}} \quad (\text{식 3})$$

계산한 값을 그림 3에 나타내었다.

## 3. 실험 방법

### 3.1 Air-gap 마이크로스트립 안테나의 제작

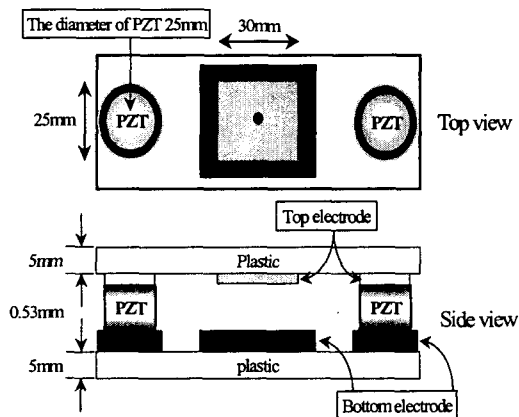


그림 1. 제작된 Air gap 안테나의 모형

Fig 1. The schematic diagram of fabricated Air gap antenna

본 실험에서 제작한 Air-gap 마이크로스트립 안테

나는 두께가 5 mm인 아크릴 기판에 구리 박판을 이용하여 하부 접지 판과 상부 패치를 각각 제작하였다. 지지폴로는 교세라에서 제작되어진 두께가 0.28 mm, 공진 주파수 3 [khz]  $\pm 30$ , 지름 25 mm인 PZT를 사용하였고, 마이크로스트립 안테나에 영향을 미치지 않도록 하고 외부에서 AC bias를 가할 수 있도록 연결하였다. 그림 2와 같이 상부 패치의 크기를 가로는 30 mm로, 세로는 30 mm로 하고, 중간에 급전선을 연결하였다. PZT가 인가된 전계에 의해 두께의 변화를 줄 수 있도록 급전선은 gold wire를 사용하여 구리 박판과 SMA cable에 연결하였다. 접지판과 패치 사이의 간격을 0.53 mm로 하여 중심 주파수 5.7 [Ghz]의 Air gap 안테나를 제작하였다. 제작한 안테나를 그림 1에 나타내었다.

### 3.2 LiNbO3 마이크로스트립 안테나의 제작

본 논문에서는 전계에 의한 마이크로스트립 안테나의 주파수 변화를 관찰하고자 하였기 때문에 제작 방식을 단순화하기 위해 LiNbO<sub>3</sub>기판 위에 구형 패치로 소자를 제작하였다. 사용된 LiNbO<sub>3</sub>는 Crystal Technology사의 Y-cut, Z-propagation, 두께 0.52mm, 직경 3인치인 것을 사용하였다.

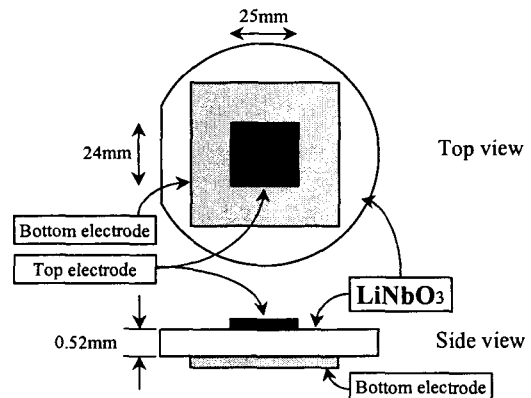


그림 2. LiNbO<sub>3</sub>기판 위에 제작한 마이크로스트립 안테나

Fig 2. Fabricated microstrip antenna on the LiNbO<sub>3</sub> substrate

패치는 길이 25mm, 폭 24mm로 패턴을 설계, 제작하여 그 위에 기판을 고정시킨 후 전극을 증착 시켜 제작하고, 접지판은 패치보다  $\lambda/2$ 정도 크게 제작하였다. 패치와 접

지판을 제작한 후에 접지판을 SMA cable의 ground에 고정하고 급전선(feed line)은 clamp효과를 억제하고 기판의 strain을 최대화하기 위해서 gold wire를 이용해 SMA cable에 연결하였다. 제작한 안테나를 그림 2에 나타내었다.

#### 4. 실험 결과 및 고찰

그림 4에 DC Bias의 크기에 따른 Air Gap안테나의 공진 주파수 특성을 나타내었다. 이 그래프에서 인가 전계  $-12[\text{kV}/\text{cm}]$ 부터  $-2[\text{kV}/\text{cm}]$ 까지는 감소하다가, 인가 전계  $-2[\text{kV}/\text{cm}]$ 부터  $12[\text{kV}/\text{cm}]$ 까지는 안테나의 공진 주파수가 지속적으로 증가함을 볼 수 있다. 또  $12[\text{kV}/\text{cm}]$ 부터  $2[\text{kV}/\text{cm}]$ 까지는 감소하다가, 인가 전계  $2[\text{kV}/\text{cm}]$ 부터  $-2[\text{kV}/\text{cm}]$ 까지는 안테나의 공진 주파수가 지속적으로 증가함을 볼 수 있다. 즉,  $\pm 2[\text{kV}/\text{cm}]$ 를 인가했을 때 가장 낮은 주파수임을 알 수 있다. 이 그래프는 일반적인 압전체의 strain 곡선과 유사한 것을 알 수 있다[5]. 두 피크치 간의 전압차는 강유전체의 이력곡선(hysteresis loop)에 의해 발생하며[6], 또한 주파수 변화는 항전계 내애가 가장 크게 일어남을 알 수 있다.

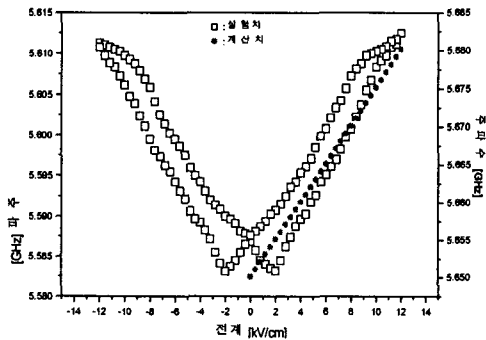


그림 4. DC 전계에 따른 Air Gap 안테나의 주파수변화의 측정값과 계산값

Fig 4. Frequency variation of air gap antenna with applied DC voltage

그림 5에서는 Air-gap 안테나의 정재파비(VSWR)와 반사손실(Return loss)을 나타내었다.

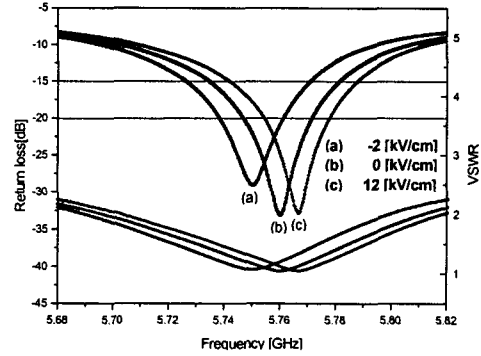


그림 5. 인가 전계에 따른 대역폭 변화(SPAN 140MHz)

Fig 5. Bandwidth variation with applied voltage

$\text{LiNbO}_3$  기판 위에 제작한 마이크로스트립 안테나의 DC bias에 따른 공진 주파수 특성을 그림 6에 나타내었다.  $-3[\text{kV}/\text{cm}]$ 인 DC 전계를 인가했을 때 공진 주파수가  $5.66[\text{GHz}]$ 에서  $3[\text{kV}/\text{cm}]$ 인 DC 전계를 인가했을 때  $5.689[\text{GHz}]$ 로 약  $29[\text{MHz}]$ 의 변화를 보였다. Bias-T를 이용하여 전계를 인가하였으나, Bias-T의 용량 제한으로 항전계 내에서만 전계를 인가하여 선형적인 증가와 감소만 나타났다.

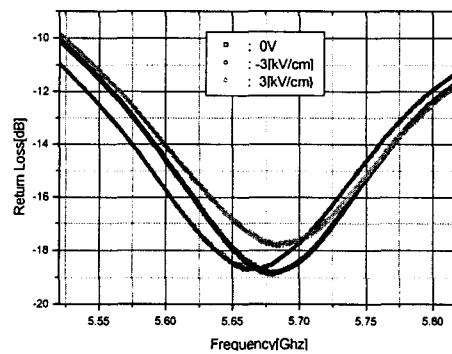


그림 7.  $\text{LiNbO}_3$  기판 위에 제작한 마이크로스트립 안테나의 주파수 변화(SPAN 300MHz)

Fig 7. Frequency variation of microstrip antenna fabricated on the  $\text{LiNbO}_3$  substrate

LiNbO<sub>3</sub>가 Y-cut z-propagation인 것을 고려해보면 pzt에 비해 실제로 안테나의 strain에 영향을 준 전계는 약 ±3[kV/cm]정도로 미약하나 주파수 변화는 Air gap의 경우와 비슷했다.

## 5. 결론

본 논문에서는 마이크로스트립 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해 기판물질로 LiNbO<sub>3</sub> 압전기판을 사용한 구형 마이크로스트립 패치 안테나와 PZT 압전체를 지지폴로 하는 Air Gap 마이크로스트립 안테나를 제작하고 안테나 외부에 전압을 인가하여 아래의 결과를 얻었다.

- (1) PZT를 사용한 Air-gap 마이크로스트립 안테나의 경우 -2[kV/cm]인 DC 전계를 인가했을 때 공진 주파수가 5.583[GHz]에서 12[kV/cm]인 DC 전계를 인가했을 때 5.612[GHz]로 약 29[MHz]의 변화를 보였다.
- (2) LiNbO<sub>3</sub>를 substrate로 사용한 마이크로스트립 안테나의 경우 -3[kV/cm]인 DC 전계를 인가했을 때 공진 주파수가 5.66[GHz]에서 3[kV/cm]인 DC 전계를 인가했을 때 5.689[GHz]로 약 29[MHz]의 변화를 보였다.
- (4) 압전기판을 사용한 경우 인가 전계에 따라 안테나의 부하특성을 직접 제어할 수 있다.
- (5) 압전기판 위에 제작한 안테나는 Air Gap안테나보다 적은 전압으로 큰 폭의 주파수 변화를 얻을 수 있다.
- (6) 강유전체를 지지폴로 사용할 때, 주파수 변화는 항전계 내에서 가장 크게 일어난다.

## 참고문헌

- [1] Ernest E. Okon and Charles W. Turner, "A WIDE-BAND MICROSTRIP SERIES ARRAY AT MM-WAVE", 1999 high Frequency postgraduate Student Colloquium, 17 September 1999, University of Seeds.
- [2] S. D. Targonski, R. B. Waterhouse, and D. M. Pozar, "Design of Wide-Band Aperture -Stacked Patch Microstrip Antennas", IEEE

Transactions on Antennas and Propagation, vol. 46, No. 9, pp. 1246 -1251, September 1998.

[3] David M. Pozer and Sean M. Duffy, "A Dual-Band Circularly Polarized Aperture -Coupled Stacked Microstrip Antenna for Global Positioning Satellite", IEEE Transactions on Antennas and Propagation, vol. 45, No. 11, pp. 1618-1625, 1998.

[4] Takashi AMANO, Norimichi CHIBA, and Hisao IWASAKI, "A Quarter-Wavelength Shorted Microstrip Antenna with a Slot for Dual-Frequency Operation", IEICE Trans. Electron., vol. E82-C, No. 7, pp. 1211-1216, 1999. [1] Satish K. Sharma and Babau R. Vishvakarma, "Frequency agile microstrip antenna", Int. J. Electronics, Vol. 84, No. 1, pp. 55-67, 1998.

[5] Kenji Uchino, "Piezoelectric actuators and Ultrasonic motors", Kluwer Academic publishers, 1997

[6] Francis K. Chai, J. R. Brews, R. D. Schrimpf and D. P. Brinie III, "Domain switching and spatial dependence of permittivity in ferroelectric thin films" J. Appl. Phys. vol. 82, No.5, pp.2505-pp.2516, 1997