

## Mo을 치환한 BiNbO<sub>4</sub> 세라믹 후막 모노폴 안테나의 전기적 특성

### The Electrical Properties of Mo-doped BiNbO<sub>4</sub> Ceramic Thick Film Monopole Antenna

서원경\*, 허대영\*, 최문석\*, 안성훈\*\*, 정천석\*\*, 이재신\*

(Won-Kyung Seo\*, Dae-Young Heo\*, Mun-Seok Choi\*, Sung-Hun Ahn\*\*, Chun-Suk Jung\*\*, and Jae-Shin Lee\*)

#### Abstract

We fabricated thick film monopole antennas using Mo-doped BiNbO<sub>4</sub> ceramics and investigated their electrical properties as a function of the Mo-doping concentration. Compared with undoped BiNbO<sub>4</sub> ceramics, 10 at.% Mo-doping improved microwave dielectric properties of ceramics by increased sintered density as well as decreased space charge density. Further increase in the Mo-doping concentration caused formation of Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub> phases, resulting in deterioration of the microwave characteristics. The gain and bandwidth of the ceramic monopole antenna were also greatly affected by the Mo-doping concentration. When Mo-doping concentration was 10 at.%, highest gain of -0.7dBi with lowest bandwidth of 30% at 2.3GHz was obtained.

**Key Words** : Dielectric constant, Quality value(Q×f<sub>0</sub>), Resonant Frequency, Monopole antenna, Bandwidth, Gain

#### 1. 서론

휴대용 통신기기의 소형경량화 추이에 따라 RF 부품의 박형화와 일체화가 급속히 진전되고 있다. 특히, 단말기 마지막 단에서 신호를 송수신하는 안테나의 경우, 종래에 주로 사용되던 휘프(whip) 안테나가 외장으로부터 돌출되어 부러지기 쉽고, 불필요한 공간을 차지함에 따라 최근 내장 가능한 칩형 세라믹 안테나 및 PIFA(planar inverted-F antenna)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다 [1,2].

특히, 유전체 세라믹을 사용하는 칩 안테나는 PIFA에 비해 크기가 작으며, 구조가 간단하고

MIC(microwave integrated circuit)와의 호환성이 우수하다는 장점을 가지고 있다.

그러나, 칩형 세라믹 안테나의 경우 복사저항에 비해 큰 리액턴스 값을 가지므로 고효율화, 임피던스 정합 및 광대역화 면에서 기술적인 어려움이 있다[3,4]. IMT-2000 단말기용 안테나의 경우 사용 주파수 대역폭은 250MHz이며, 임피던스 대역폭이 12.2% (VSWR<2.0) 이상인 광대역 특성이 요구된다[5]. 또한 안테나를 표면실장형 부품화하기 위해서는 세라믹 유전체와 전극용 내부금속을 동시에 소성하는 방법이 유리하다. 이 경우 가격이 싸고 전기전도도가 우수한 Ag나 Cu를 전극재료로 이용하려면 900℃ 이하의 온도에서 소결이 가능한 저온소성용 유전체 소재의 개발이 필요하다[6].

본 연구에서는 크기가 작고 넓은 대역폭을 가지는 안테나 제작을 위해 종래의 유전율 10 이하의 유전체 대신에 유전율이 35~40이며 저온소결이 가능한 것으로 알려진[7,8] BiNbO<sub>4</sub>계 세라믹스를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작하였다. 그러

\* : 울산대학교 첨단소재공학부

(울산시 남구 무거2동 산 29번지,

Fax : 052-259-2237

Corresponding Author : lordson@hanmail.net)

\*\* : 울산대학교 전기전자정보시스템공학부

2003년 3월 21일 접수, 2003년 5월 27일 1차 심사완료

2003년 6월 25일 최종 심사완료

나 BiNbO<sub>4</sub> 세라믹스는 순수한 상태에서 소결성이 불량하므로 소결조제로 CuO나 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 첨가하여 900~920 °C의 범위에서 소결이 가능하다고 알려져 있다[8-12]. 그리고 BiNbO<sub>4</sub>계 세라믹스에 있어서 유전특성 향상을 위해 Bi 또는 Nb자리에 Sm<sup>3+</sup>, La<sup>3+</sup>, Nd<sup>3+</sup>, Ta<sup>5+</sup>과 같은 원자격을 갖는 금속 이온을 치환시키는 사례는 많이 보고되었다. 반면에 아직까지 Bi나 Nb 자리에 donor 또는 acceptor의 치환으로 소결특성을 향상시키고자 한 연구는 아직 보고된 바가 없다. 따라서 본 연구에서는 CuO가 0.1wt.% 첨가된 BiNbO<sub>4</sub> 세라믹 조성에서 Nb자리에 Mo를 10~50at.%까지 치환시키며 이에 따른 소결특성과 유전특성을 살펴보았다. 또한 이상의 소재를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작한 다음 유전체 조성이 안테나 특성에 미치는 영향을 관찰하였다.

## 2. 실험 방법

### 2.1 시편 제작 및 특성 관찰

99.9%이상의 Bi<sub>2</sub>O<sub>3</sub>, MoO<sub>3</sub>, Nb<sub>2</sub>O<sub>5</sub>, CuO분말을 Bi(Nb<sub>1-6x/5</sub>Mo<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> + 0.1wt.%CuO (x = 0, 0.1, 0.2, 0.3, 0.4, 0.5) 조성식에 따라 평량하고, 24시간 동안 습식 혼합한 후 650~900°C에서 2시간 하소하였다. 이후 재분쇄 및 건조된 분말에 binder로 10%PVA를 혼합한 후 15mmφ의 disc 형태로 성형, 650~1200°C 온도에서 4시간 소결 하였다. 고주파 유전 특성은 TE<sub>011</sub> 공진모드를 이용한 Hakki and Coleman의 방법으로 network analyzer(HP8753D)를 이용하여 측정하였다[13].

### 2.2 모노폴 안테나 제작 및 특성 관찰

합성된 Bi(Nb<sub>1-6x/5</sub>Mo<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> 분말을 이용하여 5000 cps 정도의 점도를 가지는 슬러리를 제조한 후 테

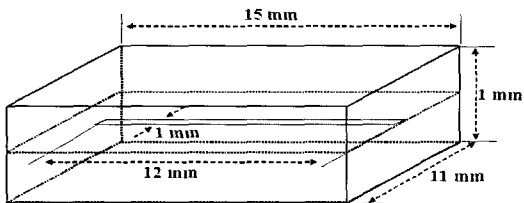


그림 1. 적층형 세라믹 모노폴 안테나의 계략도.  
Fig. 1. The schematic of ceramic monopole antenna.

이프 주입법으로 100 μm두께의 green sheet를 제작하였다. 제조된 세라믹 sheet에 12×1 mm의 전극을 형성, 1 mm 두께로 적층한 후 15×11 mm 크기로 절단하여 소결하였다. 이후 2GHz 대역에서 network analyzer (Anritsu 56100A)를 이용하여 중심 주파수와 VSWR, 그리고 복사패턴 및 안테나 이득을 측정하였다. 그림 1에 제작된 적층형 모노폴 안테나의 구조를 도시하였다.

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 미세구조 및 결정성

소결온도의 변화에 따른 Bi(Nb<sub>1-6x/5</sub>Mo<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> + 0.1wt.%CuO (x=0~0.5) 세라믹스의 밀도를 그림 2에 나타내었다. Mo를 첨가하지 않은 경우와 x=0.1일 때 1000 °C에서 최대밀도를 나타내었다. 그러나, x=0.2 이상인 경우 Mo의 첨가량이 증가함에 따라 최대밀도를 나타내는 온도가 낮아짐을 볼 수 있다. 소결밀도가 최대에 이르는 온도에서 소결한 Bi(Nb<sub>1-6x/5</sub>Mo<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> + 0.1wt.%CuO 세라믹스의 XRD 패턴을 그림 3에 나타내었다. 모든 시편들이 1000 °C 이하에서 소결되었으므로 저온 안정상인 사방정 구조를 나타내고 있다. 그러나 Mo를 첨가한 경우 Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub>상이 2차상으로 관찰되었다. 특히 x=0.3 조성부터는 Bi<sub>2</sub>MoO<sub>6</sub>상의 형성이 뚜렷하게 나타난다.

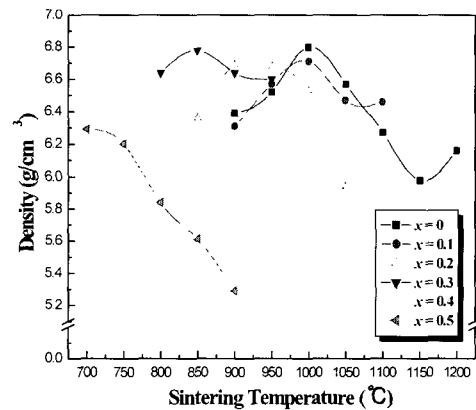


그림 2. 소결온도에 따른 Bi(Nb<sub>1-6x/5</sub>Mo<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> + 0.1wt.%CuO 세라믹스의 밀도 변화.

Fig. 2. Density of Bi(Nb<sub>1-6x/5</sub>Mo<sub>x</sub>)O<sub>4</sub> + 0.1wt.% CuO ceramics as a function of the sintering temperature.

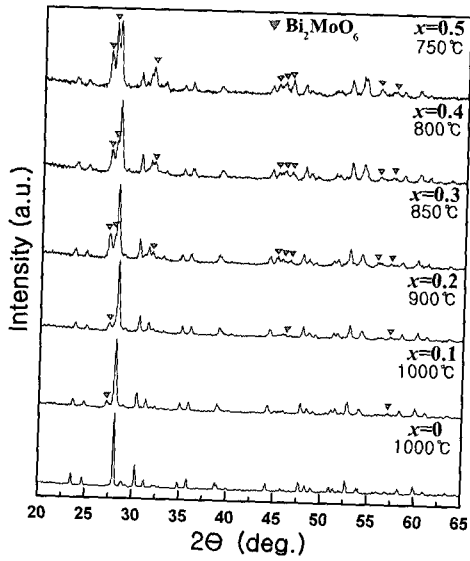


그림 3. 소결밀도가 최대에 이르는 온도에서 소결한  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 XRD 패턴.

Fig. 3. XRD patterns of  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1 \text{ wt.}\% \text{CuO}$  ceramics sintered at different temperatures.

최대밀도를 나타내는 온도에서 소결한  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 FE-SEM 사진을 그림 4에 나타내었다.  $x=0.3$  이상으로 Mo를 많이 첨가할 경우 크기가  $10 \mu\text{m}$  이상인 거대입자가 관찰되었다. 이를 EDS로 분석한 결과 Bi와 Mo의 화합물로 밝혀졌으며(그림 5 참조), 그림 3의 XRD 분석 결과와 연관지어 보면  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  상임을 알 수 있다. 따라서 Mo를 첨가함에 따라 소결온도가 낮아지는 것은 과잉의 Mo이 Bi와 반응하여 형성된  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  가 소결중에 액상을 형성하여 소결을 촉진하였기 때문으로 판단된다. 차후 이러한 액상들이 유전손실에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다[14].

### 3.2 마이크로파 유전특성

Mo의 치환량과 소결온도 변화에 따른 마이크로파 유전율의 변화를 그림 6에 나타내었다. 유전율은 소결온도가 증가함에 따라서 증가하며 적정 소결온도 이후부터 감소하는 경향을 보인다.

특히 Mo의 치환량이 작을수록 좁은 온도구간에

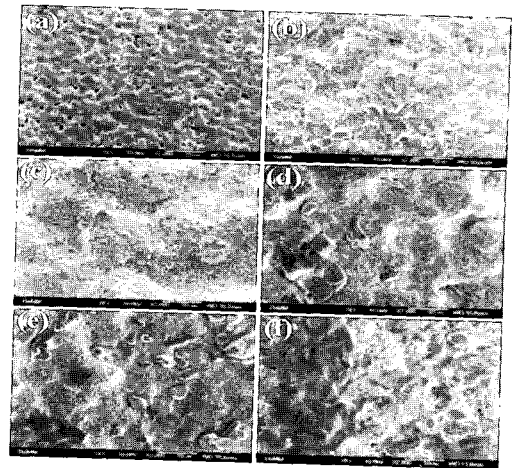


그림 4. 조성별 적정 온도에서 소결한  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 FE-SEM 사진.

(a)  $x=0$ ,  $T_s=1000^\circ\text{C}$  (b)  $x=0.1$ ,  $T_s=1000^\circ\text{C}$   
(c)  $x=0.2$ ,  $T_s=900^\circ\text{C}$  (d)  $x=0.3$ ,  $T_s=850^\circ\text{C}$   
(e)  $x=0.4$ ,  $T_s=800^\circ\text{C}$  (f)  $x=0.5$ ,  $T_s=750^\circ\text{C}$

Fig. 4. SEM photographs of  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramics.

(a)  $x=0$ ,  $T_s=1000^\circ\text{C}$  (b)  $x=0.1$ ,  $T_s=1000^\circ\text{C}$   
(c)  $x=0.2$ ,  $T_s=900^\circ\text{C}$  (d)  $x=0.3$ ,  $T_s=850^\circ\text{C}$   
(e)  $x=0.4$ ,  $T_s=800^\circ\text{C}$  (f)  $x=0.5$ ,  $T_s=750^\circ\text{C}$

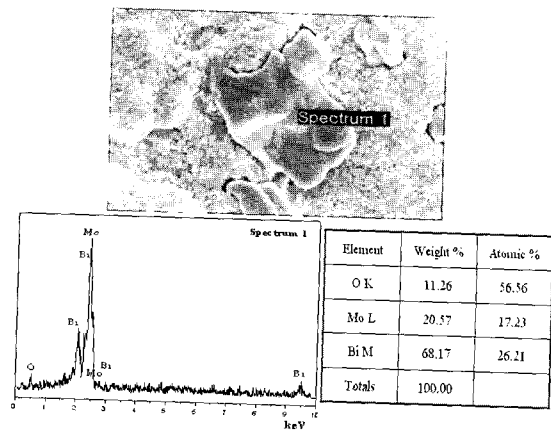


그림 5. 850 °C에서 소결한 30at.% Mo이 치환된  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 EDS 스펙트럼.

Fig. 5. EDS spectrum of 30at.% Mo-doped  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramics sintered at  $850^\circ\text{C}$ .

서급격히 유전율이 증가하다가 다시 급격히 감소하는 양상을 보여준다. 유전율이 최대를 보이는 소결온도는 Mo의 첨가량이 증가함에 따라서 지온으로 이동하며  $x=0.5$ 를 제외한 모든 조성이 37이상의 유전 상수값을 갖는다. 이와 같이 소결온도와 치환량에 따른 유전율의 변화 양상은 그림 2에서 본 밀도의 변화 양상과 유사하다.

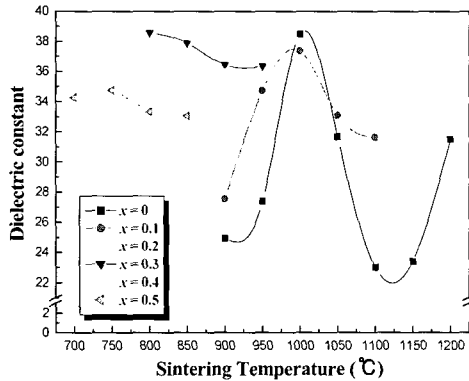


그림 6. 소결온도에 따른  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x.5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 유전율 변화.

Fig. 6. Dielectric constant versus sintering temperature for  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x.5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramics.

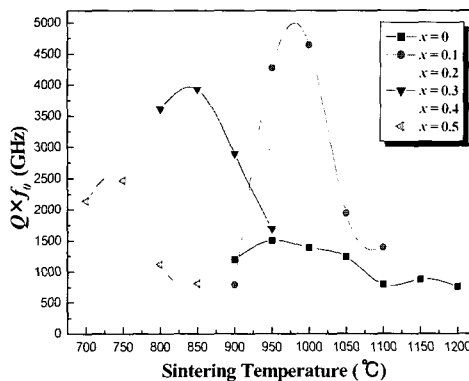


그림 7. 소결온도에 따른  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x.5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 품질계수 변화.

Fig. 7. Quality factor of  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x.5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramics as a function of sintering temperature.

Mo의 치환량과 소결온도에 따른 품질계수 변화를 그림 7에 나타내었다. 그림에서 품질계수는 밀도변화 추이와 비슷하게 소결온도에 대해서 포물선의 거동을 보이고 있다. 즉, 소결온도가 증가함에 따라서 품질계수는 증가하며 최대값을 나타내는 이상의 온도에서는 다시 감소한다. 품질계수가 최대치를 나타내는 온도는 Mo의 치환량이 증가할수록 저온영역으로 이동한다. 품질계수도 유전율과 같이 소결 밀도와 관계가 있다. 그림 2와 7을 비교해 보면 Mo 치환시 비교적 낮은 온도 영역에서도 치밀화가 이루어지며 이에 따라 품질계수도 증가하고 있다. 그러나, 소결 밀도만으로 품질계수의 변화를 완전하게 설명할 수는 없다. 각 조성별 적정 소결온도에서 품질계수를 비교해보면 Mo 치환량의 증가에 따라서 최대 품질계수가 감소함을 알 수 있다. 특히 초기  $x=0.1$  조성에서는 품질계수가 급격히 증가하는 양상을 보여준다. 이와 같이 Mo를 첨가하지 않은  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x.5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스에 비해 Mo를 소량 첨가했을 때 품질계수가 급격히 증가하는 이유를 다음과 같이 논의할 수 있다.

FRAM용 강유전체 박막소재 또는 비납 압전소재 조성으로 많이 알려진  $\text{Bi}_4\text{Ti}_3\text{O}_{12}$ ,  $\text{BaBi}_4\text{Ti}_4\text{O}_{15}$ ,  $(\text{Bi}_{0.5}\text{Na}_{0.5})\text{TiO}_3$  등의 Bi계 세라믹스는 대부분 소결과정 중에 Bi의 휘발로 인해 산소 공공이 생겨 p형 반도체성을 나타내는 경향이 있다[15]. 따라서 일부 보고에서는 Ti 자리에 Ta, V과 같은 donor를 치환시켜 공간전하 밀도를 감소시킨 사례가 있다 [16].

또한 (Zr, Sn) $\text{TiO}_3$ 와 같은 마이크로파 유전체에서도 Fe나 Al과 같은 acceptor 불순물에 의해 형성된 산소 공공이 격자변형을 일으켜 품질계수를 떨어뜨린다는 보고가 있다[17,18]. 그리고 품질계수 향상을 위해 W, Mo, Ta, Nb, V등과 같은 donor 첨가제를 사용하는 사례가 있다. 하지만 과잉의 donor는 자유전자농도를 증가시켜 유전손실을 유발하는 것으로 보고되고 있다[17,18].

본 연구에서는 Nb 공공을 형성시켜 소결을 촉진시키고자 Mo를 Nb자리에 치환시켰다. 이때 Mo은 donor로 작용하게 된다. 또한  $\text{BiNbO}_4$  세라믹스의 경우에도 소결과정 중에 Bi의 휘발이 발생한다. Bi의 휘발에 의해 생성된 Bi 공공은 이온화하면 정공을 생성한다[19]. 따라서 donor인 Mo에 의해 형성된 전자가 정공을 보상하여 품질계수를 향상시킬 것으로 예상된다.

그림 8에 Mo 치환에 따른  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 전기전도도 변화를 나타내었다. 이때 각 시편은 조성별로 최대 소결밀도가 얻어지는 온도에서 소결하여 얻었다. 그림 8로부터 전기전도도의 변화 경향이 품질계수와 상반됨을 알 수 있다. 즉, 전도도가 감소할수록 세라믹스 내의 공간전하 밀도가 감소하므로 품질계수가 증가하였다.  $x=0.1$ 일 때 정공농도와 자유전자 농도가 일치하는 것으로 보인다. 그 이유는 이 조성에서 전기전도도의 최소치와 품질계수의 최대치를 얻을 수 있었기 때문이다.  $x=0.1$  이후부터 점차 전도도가 증가하며 품질계수 역시 감소하는 양상을 보인다. 이것은 Mo 도핑량이 증가함에 따라 Bi 휘발에 의한 정공을 보충하고 남은 전자농도가 증가하기 때문이다. 이와 같은 양상은 기존의 ZST계에서 Fe나 Al등의 acceptor에 의한 산소 빈자리를 보충하기 위해 V, Nb등을 첨가 한 사례와 일치한다 [17,18].  $x=0.5$  조성에서는 전도도가 급격히 감소하며 품질계수도 증가하는 현상을 보이는데 주상이  $\text{BiNbO}_4$ 에서  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$ 로 바뀌기 때문으로 보인다.

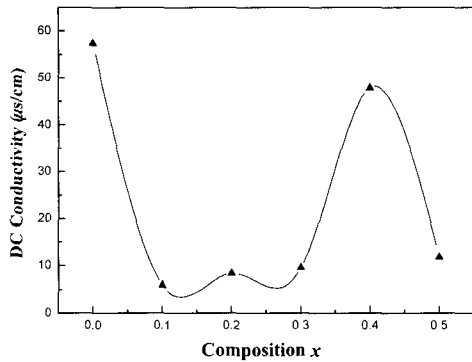


그림 8. Mo 치환에 따른  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹스의 전기전도도 변화.  
Fig. 8. DC electrical conductivity of  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramics.

### 3.3 모노폴 안테나 특성

그림 9에 Mo-doped  $\text{BiNbO}_4$  세라믹 모노폴 안테나의 반사손실 측정 결과를 도시하였다. Mo의 치환량이 증가할수록 공진주파수가 증가하는 경향을 보인다. 유전체 부품의 크기는 주파수와 유전율에 반비례한다[20]. 즉, 같은 크기를 가진 시편의 중심 주파수를 측정할 경우 유전율이 증가할수록 주파수는 감소한다. Mo 치환의 경우 액상 형태의

이차상인  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  형성으로 유전상수가 감소하였고 이로 인해 모노폴 안테나의 공진주파수는 증가하였다.

-10dB에서 대역폭을 살펴보면 모든 조성 범위에서 700MHz 이상의 우수한 대역폭 특성을 보여주고 있다. 유전체의 경우 측정 주파수가 증가할수록 유전손실이 증가하여 대역폭이 증가하므로 조성별 대역폭의 비교를 위해 VSWR이 2.0이하인 지점에서의 임피던스 대역폭( $\Delta f/f, \%$ )을 측정하였다. 그리고 그 결과를 그림 10에 나타내었다. 그

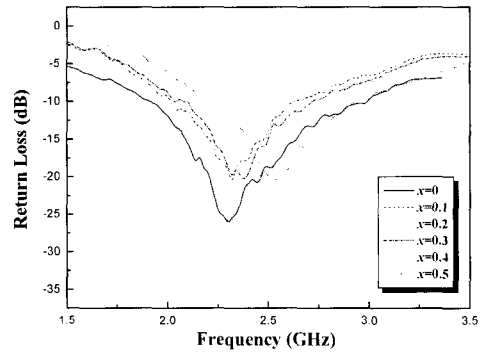


그림 9. Mo이 치환된  $\text{BiNbO}_4$  세라믹 모노폴 안테나의 반사손실 측정 결과.  
Fig. 9. Effect of Mo-doping on the return loss of  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramic monopole antenna.

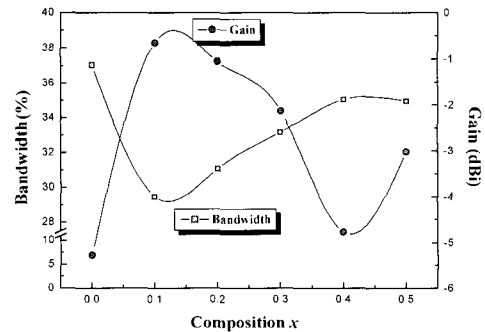


그림 10. Mo의 치환량에 따른  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  세라믹 모노폴 안테나의 임피던스 대역폭과 이득 변화.  
Fig. 10. Bandwidth and gain of monopole antenna with  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1\text{wt.}\% \text{CuO}$  ceramics as a function of Mo-doping concentration.

결과  $x=0$ 에서 37%의 대역폭을 보이나  $x=0.1$ 에서 29.5%까지 감소하였다. 그러나 이후부터는 Mo 치환량 증가와 함께 35%까지 증가하는 경향을 보였다. 이는 그림 2와 8에서 보았듯이  $x=0.1$ 에서 미세조직의 치밀화 및 공간전하밀도의 감소로 품질계수가 급격히 증가했기 때문이다. 그리고  $x=0.2$ 이후부터는 고용한계를 넘어선 과잉의 Mo으로 인해 이차상이 증가하며 품질계수가 감소하여 대역폭이 증가하였다고 판단된다.

반면 그림 10의 안테나 이득을 보면 대역폭과는 반대 양상을 보여주고 있다. Mo의 치환에 의해 초기 품질계수 급증과 함께 손실의 감소로 이득이 증가하였지만  $x=0.2$ 부터는 점차적으로 감소하는 것을 볼 수 있다. 이는 고용한계를 넘어선 과잉의 Mo으로 인해 이차상이 증가하며 품질계수가 감소하였기 때문이다. 즉 Mo을 과잉으로 넣으면 재료의 미세구조 변화에 의한 유전손실이 안테나 이득에 영향을 미치는 것이다. 이러한 양상은 모노폴 안테나의 방사패턴에서도 잘 나타난다.

그림 11과 12에 Mo이 치환된  $\text{BiNbO}_4$  세라믹 모노폴 안테나의  $x-z$ ,  $x-y$ 면 방사패턴을 각각 나타내었다.  $x-z$ 면의 경우 모든 조성이 이상적인 모노폴 안테나의 방사패턴을 형성하고 있다. 그리고 전반적으로 Mo 치환으로 인한 품질계수의 향상으로 순수한  $\text{BiNbO}_4$ 에 비해 높은 이득을 보이고 있다. 하지만 과잉의 형태에 있어서는 미소한 왜곡이 나타나고 있다. 이것은 Mo을 치환 시켰을 때 내부 미세조직에 존재하는 액상형태의 이차상의 영향 때문으로 보여진다. 즉, 전자기파가 유전체 내부를 통과할 때 유전율이 다른 이차상에 의해 굴절 또는 산란이 일어나기 때문이다.

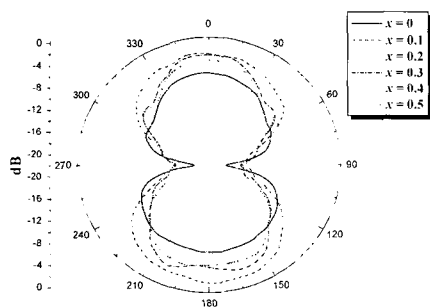


그림 11.  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1wt.\% \text{CuO}$  세라믹 모노폴 안테나의 방사패턴( $x-z$ 면).

Fig. 11. Radiation patterns( $x-z$  plane) of monopole antenna using  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1wt.\% \text{CuO}$  ceramics.

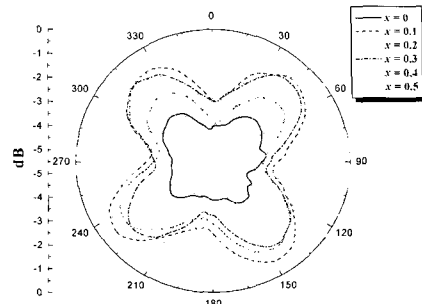


그림 12.  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1wt.\% \text{CuO}$  세라믹 모노폴 안테나의 방사패턴( $x-y$ 면).

Fig. 12. Radiation patterns( $x-y$  plane) of monopole antenna using  $\text{Bi}(\text{Nb}_{1-6x/5}\text{Mo}_x)\text{O}_4 + 0.1wt.\% \text{CuO}$  ceramics.

한편 무지향성을 보여야 될 모노폴 안테나의  $x-y$ 면 방사패턴이 네 방향으로 지향성을 보이고 있다. 이것은 제작된 모노폴 안테나의 외형에 기인한 것으로 보인다. 왜냐하면 지향성을 보이는 네 지점이 직사각형 형태의 안테나에서 모서리 부분이기 때문이다. 네 모서리 부분이 안테나 패턴으로부터 거리가 상대적으로 멀어 과잉이 유전체 내부에 머무는 시간이 길기 때문에 이러한 현상이 일어난 것으로 보인다.

#### 4. 결론

본 연구에서는  $\text{BiNbO}_4$ 계 세라믹스를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작하였다. 특히,  $\text{BiNbO}_4$  세라믹스의 Nb 자리에 Mo를 치환함에 따른 미세구조 및 유전특성의 변화가 안테나 특성에 미치는 영향에 대해 관찰하였다. 그 결과  $\text{BiNbO}_4$  세라믹스에 Mo을 소량 치환하게 되면 Q 값이 현저히 증가 하였으며, Mo 치환량인  $x$ 가 0.1 이상이 되면  $\text{Bi}_2\text{MoO}_6$  액상의 형성과 공간전하 밀도가 증가하며 유전율 및  $Q \times f_0$ 가 감소하였다. 안테나 특성에 있어서는 유전율 감소와 함께 모노폴 안테나의 공진주파수는 증가한 반면 모든 조성이 2GHz 대역에서 700MHz 이상의 우수한 주파수 대역폭을 보여주었다. 특히 Mo를 치환함에 따라 미세조직의 변화로 Q값이 감소하며 임피던스 대역폭이 증가하는 경향을 보여 주었다. 그러나  $x > 0.2$  이상인 경우 Q값의 감소와 함께 유전손실의 증가로 안테나 이득은 감소하였다.

### 감사의 글

본 연구는 유망전자부품 기술개발사업인 Electro 0580 사업의 일환으로 수행되었습니다.

### 참고 문헌

- [1] Y. Dakeya, T. Suesada, K. Asakura, N. Nakajima, and H. Mandai, "Chip multilayer antenna for 2.45GHz-band application using LTCC technology", *IEEE MTT-s Digest*, p. 1696, 2000.
- [2] P. K. Panayi, M. O. Al-Nuaimi, and I. P. Iverissimtzis, "Tuning techniques for planar inverted-F antenna", *Electron. Lett.*, Vol. 37, p. 1003, 2001.
- [3] 심성훈, 강종윤, 박용욱, 윤석진, 윤영중, 김현재, "IMT-2000 단말기용 적층형 세라믹 칩 안테나의 설계", *한국전자과학회논문지*, 13권 3호, p. 301, 2002.
- [4] K. Fujimoto, "Electrical Small Antennas", *J. IEICE*, Vol. 55, No. 9, p. 1235, 1972.
- [5] Y. Wang and C. K. Lee, "Small broadband microstrip patch antenna for IMT-2000 handsets", *Radio and Wireless Conference, RAWCON 2000, IEEE*, p. 187, 2000.
- [6] A. J. Bloodgett, "Multi-layer ceramics, multi-chip module", *Proc. 30th Electronic Component Conf.*, p. 283, 1980.
- [7] 박정흠, 장낙원, 윤광희, 최형욱, 박창엽, "적층형 마이크로파 소자용 BiNbO<sub>4</sub> 유전체 세라믹스의 유전특성", *전기전자재료학회논문지*, 9권, 9호, p. 900, 1996.
- [8] C. F. Yang, "Improvement of quality value and Shift of  $\tau_r$  value of BiNbO<sub>4</sub> ceramics with addition of CuO-V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> mixtures", *J. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, p. 6797, 1999.
- [9] 김태건, "BiNbO<sub>4</sub>계의 저온 소결 특성 및 마이크로파 유전특성", *서울대학교 공학석사학위논문*, 1997.
- [10] 고상기, 김현학, 김경용, "BiNbO<sub>4</sub> 세라믹스의 유전특성과 미세구조에 관한 연구", *전기전자재료학회논문지*, 11권, 3호, p. 208, 1998.
- [11] C. L. Huang and M. H. Weng, "The microwave dielectric properties and the microstructures of Bi(Nb, Ta)O<sub>4</sub> ceramics", *Jpn. J. Appl. Phys.*, Vol. 38, p. 5949, 1999.
- [12] C. L. Huang, M. H. Weng, C. C. Wu, and C. T. Lion, "Low fire BiNbO<sub>4</sub> microwave dielectric ceramics modified by Sm<sub>2</sub>O<sub>3</sub> addition", *Mater. Reser. Bull.*, Vol. 35, p. 827, 2001.
- [13] B. W. Hakki and P. D. Coleman, "A dielectric resonator method of measuring inductive capacities in the millimeter range", *IRE Trans. Microwave Theory and Tech.*, Vol. Mtt-8, p. 402, 1960.
- [14] B. Steele, "Electronic Ceramics", Elsevier science, 1991.
- [15] I. Pribosic, D. makovec, and M. Drofenik, "Electrical properties of donor- and acceptor-doped BaBi<sub>4</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>15</sub>", *J. Eu. Ceram. Sov.*, Vol. 21, p. 1327, 2001.
- [16] M. S. Choi, W. K. Seo, D. Y. Kim, J. S. Lee, C. W. Ahn, I. W. Kim, and J. S. Song, "Piezoelectric and ferroelectric properties of V<sup>3+</sup> doped Bi<sub>3.25</sub>La<sub>0.75</sub>Ti<sub>3</sub>O<sub>12</sub> ceramics", *The 5th Joint Symposium on Electronic Materials*, p. 8, 2002.
- [17] C. L. Huang, M. H. Weng, and H. L. Chen, "Effects of additives on microstructures and microwave dielectric properties of (Zr, Sn)TiO<sub>4</sub> ceramics", *Mat. Chem. Phys.*, Vol. 71, p. 17, 2002.
- [18] W. S. Kim, T. H. Hong, E. S. Kim, and K. H. Yoon, "Microwave dielectric properties and far infrared reflectively spectra of the (Zr<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>)TiO<sub>4</sub> ceramics with additives", *Jpn. J. Appl. Phts.*, Vol. 37, p. 5367, 1998.
- [19] A. J. Moulson and J. M. Herbert, "Electroceramics", *Chapman and Hall*, p. 117, 1990.
- [20] 이기성, 채운경, 최익권, "IMT-2000 단말기용 변형된 역 F형 광대역 세라믹 유전체 칩 안테나", *한국전자과학회논문지*, 13권, 7호, p. 625, 2002.