

Bi₂O₃가 첨가된 BaTi₄O₉ 세라믹 후막 모노폴 안테나의 전기적 특성

The Electrical Properties of Bi₂O₃ Doped BaTi₄O₉ Ceramic Thick Film Monopole Antenna

정천석 · 안상철 · 안성훈 · 허대영* · 박언철* · 이재신*

Chun-Suk Jung · Sang-Chul Ahn · Sung-Hun Ahn · Dae-Young Heo*
· Eun-Chul Park* · Jae-Shin Lee*

요 약

본 논문에서는 소형이며 광대역 특성을 가지는 안테나를 위해 Bi₂O₃가 첨가된 BaTi₄O₉ 세라믹스를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작하였다. 그 결과 첨가된 Bi가 치환되어 이차상인 Bi₄Ti₃O₁₂를 형성되었고 이에따라 높은 비유전율은 일정하였고 품질계수(Q_rf)는 급격히 감소하였다. 안테나 특성에 있어서 비유전율보다는 품질계수의 영향을 직접적으로 받는다. 대역폭을 측정된 결과 Bi₂O₃ 첨가량이 증가할수록 급격한 품질계수 감소와 함께, 대역폭은 16 %에서 33 %로 증가하였다. 이에 반하여 이득은 -0.8 dBi에서 -4.3 dBi로 감소하였다. 이로 인해 방사 패턴은 Bi₂O₃ 미(未)첨가시 보다 낮은 dBi 값을 보여 주었다. 특히 방사 패턴을 측정된 결과 무 지향성을 보여야 될 x-y면 방사 패턴의 경우 격자구조의 왜곡으로 인한 파장의 산란과 공기와 유전체의 경계면에서 높은 비유전율의 차이로 굴절이 일어나 심하게 왜곡되어 있었다. 그러나 낮은 품질계수로 인하여 모든 조성 범위에서 우수한 -10 dB 대역폭 특성을 보여주었다.

Abstract

In this paper, we fabricated thick film monopole antennas using Bi₂O₃-doped BaTi₄O₉ ceramics for small size and broadband antenna. In the result, the high permittivity was fixed and the quality factor was also significantly decreased by the formation of secondary phase of Bi₄Ti₃O₁₂ replaced by addition Bi. The antenna property influenced by the quality value more than the permittivity. The bandwidth of antenna was increased to 33 %. On the other hand, the gain was reduced to -4.3 dBi. Also radiation patterns were showed low dBi value by increasing of dielectric loss. Specially, Measured x-y plane radiation patterns was distorted as the dispersion of wavelength and high permittivity difference. But the result is showed excellent bandwidth because of low quality value in all formation range.

Key words : Dielectric Constant, Quality Value(Q_rf), Ceramic, Monopole Antenna

I. 서 론

정보통신 기술에 있어서 이동형 통신과 멀티미디어형 통신서비스가 중심이 됨에 따라 마이크로파 대

역(300 MHz~30 GHz)의 주파수 이용이 급격히 증가되고 있다. 특히 현재 무선통신 서비스의 특징이 동화상 등의 멀티미디어에 기반을 두게 되므로 대역폭 확보를 위해 사용주파수 대역은 더욱 높아질 것이

「이 논문은 2003년 울산대학교의 연구비에 의하여 연구되었음.」

울산대학교 전기전자정보시스템공학부(School of Electrical Engineering, University of Ulsan)

*울산대학교 첨단소재공학부(School of Materials Science and Engineering, University of Ulsan)

· 논문 번호 : 20040414-043

· 수정완료일자 : 2004년 9월 6일

확실시된다. 정보통신 분야의 발전과 정보화 시대의 고속화로 이동통신 기기의 사용이 급증하고 있으며, 이동통신 수요 중에서도 특히 휴대용 단말기가 상업적인 수요와 대중적인 면에 있어서 그 비중이 매우 크다고 할 수 있다.

휴대폰 단말기는 휴대와 이동이라는 특수성으로 인해 소형화, 경량화 하는 것이 매우 중요한 기술요소로 부각되고 있으며 동시에 고성능화 및 저가격화, 다기능화도 요청되고 있다. 특히 소형화를 크게 요구하므로 가능한 한 모든 RF 부품을 소형화하기 위해 하나의 칩 형태로 제작하여야 한다. 특히, 시스템 마지막 단에서 신호를 송수신하는 안테나의 경우, 종래에 주로 사용되던 휘프(whip) 안테나가 휴대전화 케이스로부터 돌출되어서 부러지기 쉽고, 불필요한 공간을 차지함에 따라 최근 내장 가능한 세라믹 칩 안테나 및 PIFA(Planar Inverted-F Antenna)에 대한 연구가 활발히 이루어지고 있다^{[1]~[4]}. 특히, 세라믹 칩 안테나는 유전체 세라믹을 사용하여 전기적 길이를 크게 줄인 안테나로서 PIFA에 비해 그 크기가 매우 작다. 또한, 구조가 간단하고, MIC(Microwave Integrated Circuit)와의 호환성이 우수하다는 장점을 가지고 있다. 그리고, 향후 S.A.R 규제와 관련해 단말기 안테나에 세라믹 안테나 기술을 적용할 경우 인체에 대한 전자파의 영향을 최소화할 수 있으며, 단말기 측에서 다이버시티 기술을 적용할 수 있는 구조의 안테나를 제작할 수 있다^[5].

그러나, 일반적인 세라믹 칩 안테나의 경우, 복사 저항에 비해 큰 리액턴스 값을 가지므로 효율, 임피던스 매칭 및 주파수 대역폭 등의 안테나 특성에 제약을 받는다^{[6],[7]}. IMT-2000의 단말기용 안테나의 경우 사용 주파수 대역폭은 250 MHz이며, 임피던스 대역폭이 12.2 % (VSWR < 2.0) 이상인 광대역 특성이 요구된다^[8].

RF 부품용 유전체 수동소자 소재로서는 TiO₂가 처음으로 사용되었다. 마이크로파 영역에서의 TiO₂는 높은 비유전율을 가지나 공진주파수의 온도 안정성이 낮으므로 Ba 조성비를 높여 마이크로파 부품에 적합한 유전 특성을 가지는 화합물이 개발되어 왔다^{[9],[10]}. 이러한 소재 개발과 관련하여 BaO-TiO₂계의 상평형에 관한 연구에서 Ti 함유량(80~85 mole % TiO₂)이 많은 조성을 갖는 BaTi₄O₉와 BaTi₉O₂₀ 화

합물들은 마이크로파 영역에서 우수한 유전 특성을 가지는 것으로 알려져 있다^{[11],[12]}. 이들 중 BaTi₉O₂₀ 조성은 높은 비유전율과 높은 품질계수를 가지면서 안정된 공진주파수 온도계수의 우수한 고주파 유전 특성을 가지고 있지만 일반적인 세라믹스 제조공정으로 제거하기 힘든 제 2상의 형성으로 BaTi₄O₉ 조성에 비해 단일상을 얻기가 용이하지 못하다. 그러나 BaTi₄O₉ 조성은 단일상의 생성 영역이 넓고, 우수한 마이크로파 유전 특성을 가지고 있다. BaO-TiO₂계 화합물들의 경우 1,300°C 이상의 소결 온도를 요구하므로 LTCC에서 Ag나 Cu 등을 내부전극으로 사용하여 동시 소성(co-firing)해야 하는 적층형 고주파 소자용 유전체 세라믹스나 LCR 복합 모듈 소자의 구현에 제한을 받는다. 최근 연구에서는 BaTi₄O₉에 저온 소결 조제로 유리 프리트를 첨가하여 1,200°C에서 소결한 결과 비유전율 35, 품질계수 5700(at 1.4 GHz), 공진주파수 온도계수 14 ppm/°C의 우수한 마이크로파 유전 특성을 보고하였다^[13].

순수 BaTi₄O₉ 세라믹스의 경우, 1,300°C 이상의 고온에서의 소성과정이 필요하므로 Ag 전극과 동시 소성되는 세라믹 다층 패키지용 소재로 활용이 적합하지 않다. 따라서 가능한 소성온도를 낮추는 것이 바람직하다. 또한 순수 BaTi₄O₉의 경우 품질계수가 49,000으로 공진기 필터 소재로는 우수하나 칩 안테나로의 구현시 대역폭이 좁다는 한계가 있으며, 불안정한 주파수의 온도계수(14 ppm/°C)는 고주파용 소자로 사용하기에 신뢰성이 떨어져 활용이 적합하지 않다.

본 논문에서는 소형이며 광대역 특성을 가지는 안테나 제작을 위해 종래의 비유전율 10이하의 유전체 대신 비유전율이 35~40, 품질계수가 49,000, 주파수의 온도계수(T_f)가 14 ppm/°C이며 소결온도가 1,300°C인 BaTi₄O₉ 세라믹스를 이용하여 평판형 모노폴 칩 안테나를 제작하였다. 지금까지의 연구보고에 의하면 BaTi₄O₉ 세라믹의 안테나 구현에 대한 연구는 보고된 바가 없으며 Bi₂O₃의 첨가에 대한 연구 사례 또한 전무한 실정이다. 따라서 본 연구에서는 BaTi₄O₉ 세라믹스 조성에 Bi₂O₃(0~7 wt.%)을 첨가시켰으며 이에 따른 소결특성, 유전특성, 그리고 모노폴(monopole) 안테나의 특성 변화를 관찰하였다.

II. 실험 방법

2-1 세라믹시편 제작 및 특성 관찰

본 실험에서는 일반적인 세라믹 공정법(산화물 혼합법)에 의하여 시편을 제조하였다. 99 % 이상의 BaCO₃, TiO₂, Bi₂O₃ 원료 분말을 BaTi₄O₉ + x wt.% Bi₂O₃ (x = 0, 1, 3, 5, 7) 조성식에 따라 정확히 칭량하여 습식 혼합후 24시간 건조시켰다. 건조된 분말은 5°C/min의 속도로 승온시킨 뒤 1,100~1,200°C에서 4 hr 하소시켰다. 이후에 분말을 분쇄한 후 첨가제인 Bi₂O₃를 첨가하여 혼합후 재건조시켰다. PVA 5wt.%를 혼합하여 지름 15 mm mold에 성형하여 550°C에서 2 hr 열처리한 후 적정 소결온도(1,100°C~1,350°C)에서 4 hr 동안 소결하였다. 고주파 유전 특성은 TE₀₁₁ 모드를 이용한 Hakki-Coleman의 평형 도체 판형 유전체 원주 공진기법^{[14],[15]}을 이용하여 Anritsu vector network system(MS4623B)을 사용하여 측정하였다.

2-2 모노폴 안테나 제작 및 특성 관찰

시뮬레이션에 사용된 세라믹 유전체의 유전 특성은 $\epsilon_r = 36.7$ 로 Bi₂O₃ 첨가시에 나타나는 유전율의 평균값을 고려하여 고정된 유전율값을 이용하였다. 그림 2~6은 안테나의 특성을 고찰하기 위해서 HFSS를 이용하여 높이(Ha), 길이(Hb), 폭(Wb), 두께(Wc) 등의 변화에 따라 3D 구조 시뮬레이션 한 결과이다.

그림 4는 길이에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 대역폭은 Ha=19 mm일 때 48.5 %였으며 Ha=12 mm일 때 44.5 %로 세라믹의 길이가 짧아질수록 대역폭이 증가하였다. 그림 5는 폭(Wb)에 따른 시뮬레이션 결과를 나타낸 것이다. 대역폭은 Wb=7 mm일 때 37.7 %이었고, Wb=15 mm일 때 44.8 %였다. 주파수 응답 특성을 통해 볼 때 공진주파수와 대역폭은 도체의 길이와 세라믹의 길이, 폭, 높이 모두에 의해 좌우되고 있다. 도체 길이가 일정할 때 일반적으로 고유전율 재료가 가지고 있는 높은 커패시턴스 값이 부피의 축소로 감소하게 되고, 용량성 리액턴스도 감소됨을 알 수 있다.

구조 시뮬레이션 결과를 이용하여 3 GHz 대 세라믹 후막 모노폴 안테나를 설계하였다. 그림 6은 3 GHz 대에서 설계된 세라믹 모노폴 안테나의 시뮬레

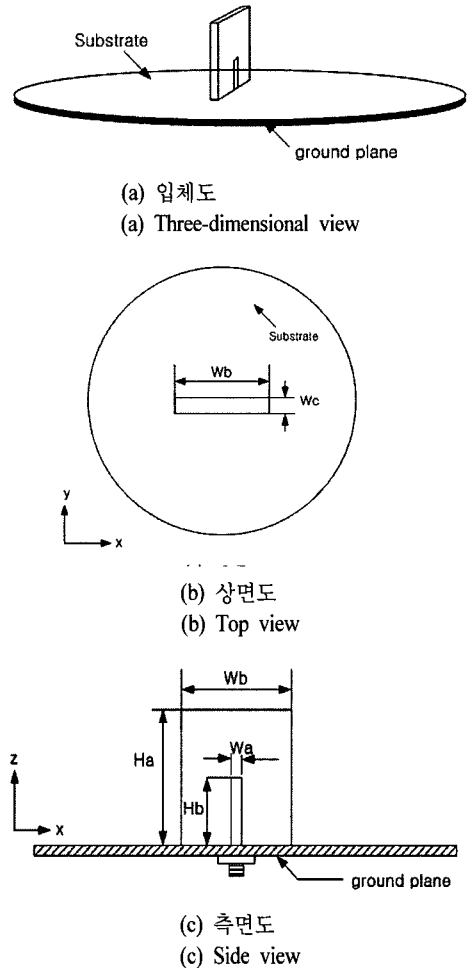


그림 1. 세라믹 모노폴 안테나의 구조

Fig. 1. The configuration of a ceramic chip monopole antenna.

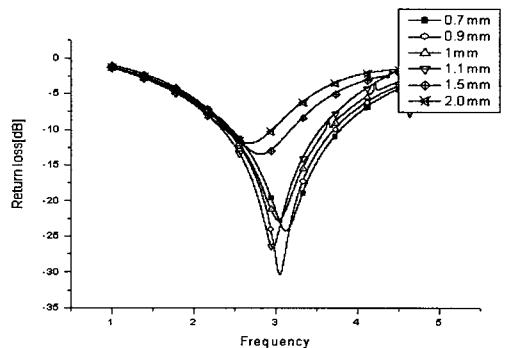


그림 2. 두께(Wc) 따른 시뮬레이션 결과

Fig. 2. The simulated results according to Wc.

이션 결과이다. 그림 6은 주파수 응답특성을 나타낸

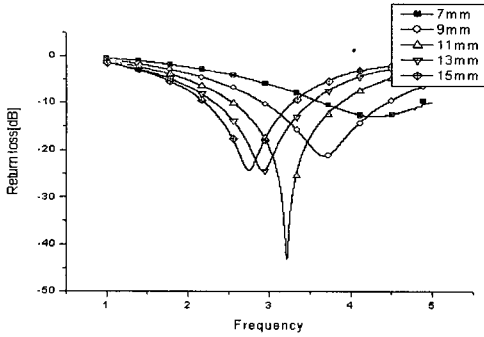


그림 3 전극길이(Hb)에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 3. The simulated results according to Hb.

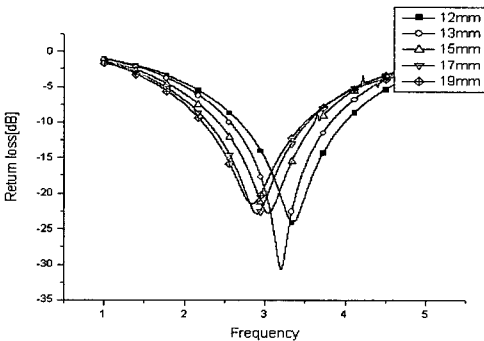


그림 4. 세라믹 길이(Ha)에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 4. The simulated results according to Ha.

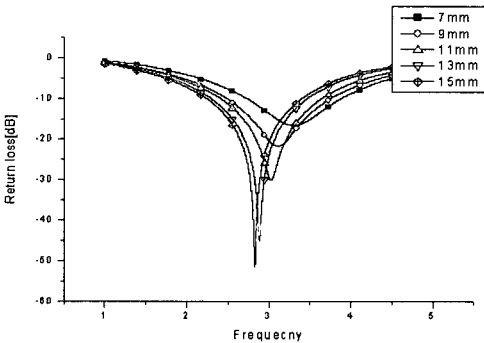


그림 5. 세라믹 폭(Wb)에 따른 시뮬레이션 결과
Fig. 5. The simulated results according to Wb.

것이며, 중심주파수 3.03 GHz, 대역폭(VSWR<2.0)은 1.32 GHz였다. 세라믹 후막 모노폴 안테나는 BaTi₄O₉ + x wt.% Bi₂O₃ 분말을 이용하여 합성하여 장방형의 소결체를 얻은 후 Dicing 및 Lapping 공정으로 15×11 mm² 크기로 모노폴 안테나 형상 가공을 하였다. 전

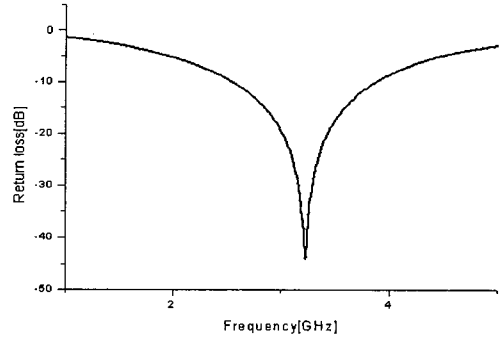


그림 6. 주파수 응답 특성
Fig. 6. Frequency response characteristic.

극 도체로 Ag을 사용하여 screen printing 방법으로 12×1 mm의 전극을 형성시켰다. 3 GHz 대역에서 network analyzer(Anritsu 56100A)를 이용하여 중심 주파수와 VSWR, 그리고 복사패턴 및 안테나 이득을 측정하였다. 그림 1에 제작된 모노폴 안테나의 구조를 도시하였다.

III. 측정결과 및 고찰

3-1 미세구조 및 결정성

그림 7은 BaTi₄O₉ + x wt.% Bi₂O₃ (x=0, 1, 3, 5) 세라믹스의 각 조성별로 적정 소결온도에서 소결하였을 때 SEM(주사전자현미경) 사진이다. SEM 이미지에서 입자가 보다 작으며 밝게 보이는 상이 이차상인 Bi₄Ti₃O₁₂임을 EDS 분석 결과를 통해 짐작해 볼 수 있다. x=1부터는 고용한계를 벗어난 과잉의 Bi가 Ti와 반응하여 입계에서 성장하여 이차상을 형성하였다. 그림 7(e)를 보면 과잉의 Bi가 Ti와 반응하여 형성된 Bi₄Ti₃O₁₂상이 판상으로 성장하여 석출된 것을 볼 수 있다. 이러한 이차상들은 유전 특성에 큰 영향을 미칠 것으로 예상된다.

3-2 마이크로파 유전 특성

그림 8은 Bi₂O₃의 첨가량과 소결온도 변화에 따른 비유전율의 변화를 나타낸 그래프이다. 비유전율은 소결온도 및 Bi₂O₃의 첨가량이 증가할수록 거의 변화가 없었다. 첨가된 Bi가 Ba site에 치환되어 이차상인 Bi₄Ti₃O₁₂를 형성되어 높은 비유전율은 거의 일정

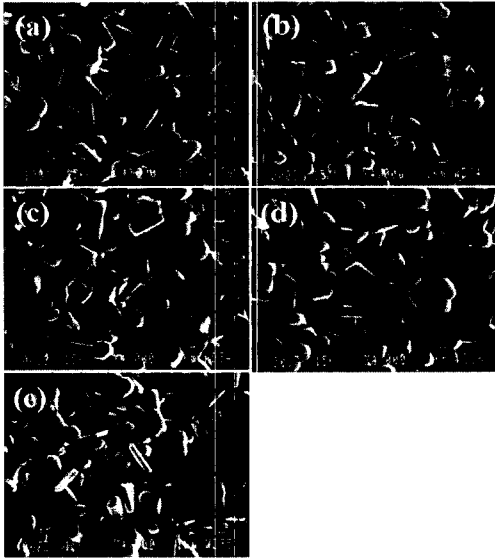


그림 7. BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ 세라믹스의 주사 전자 현미경 사진

Fig. 7. SEM photographs of BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramics.

(a) x=0, Ts=1,250 °C, (b) x=1, Ts=1,200 °C, (c) x=3, Ts=1,150 °C, (d) x=5, Ts=1,150 °C, (e) x=7, Ts=1,150 °C.

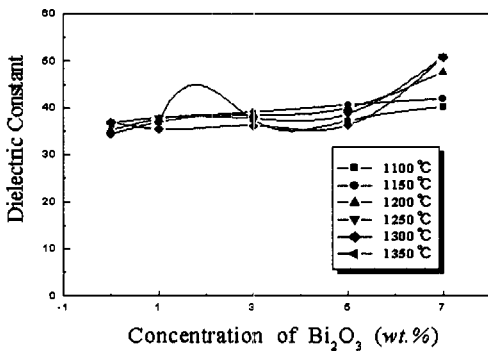


그림 8. BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ 세라믹 첨가량과 소결 온도 변화에 따른 비유전율

Fig. 8. Dielectric constant versus sintering temperature for BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramics.

하였다.

Bi₂O₃의 첨가량과 소결온도에 따른 품질계수 변화를 그림 9에 나타내었다. 그림 9에서 품질계수는 Bi₂O₃의 첨가량 증가에 따라 급격히 감소하였으며 x=3인 영역에서부터 일정한 경향을 나타내고 있다. 이러한 품질계수의 감소는 Bi의 휘발에 의한 산소

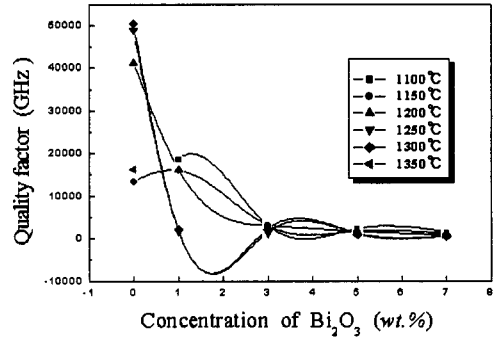


그림 9. BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃의 첨가량과 소결 온도에 따른 품질계수

Fig. 9. Quality factor of BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramics with various x values for different sintering temperatures.

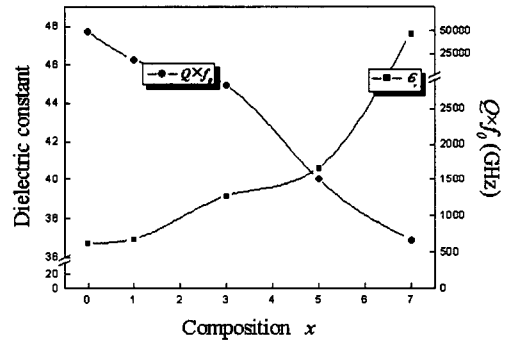


그림 10. BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ 유전상수와 품질계수
Fig. 10. Dielectric constant and Quality factor of BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramics.

vacancy로 사료되어진다. 또한 Bi₂O₃의 첨가량에 따른 비유전율과 품질계수의 변화를 그림 10에서 볼 수 있다. Bi₂O₃의 첨가량이 증가할수록 비유전율은 증가하였으며 품질계수는 감소하는 경향을 보였다.

3-3 모노폴 안테나 특성

그림 11에 Bi₂O₃ added BaTi₄O₉ 세라믹 모노폴 안테나의 반사손실 측정 결과를 도시하였다. Bi₂O₃의 첨가량이 증가할수록 공진주파수가 감소하는 경향을 보인다. 유전체 부품의 크기는 주파수와 비유전율에 반비례한다. 즉, 같은 크기 시편의 중심 주파수를 측정할 경우 비유전율이 감소할수록 주파수는 증가한다^{[16],[17]}. Bi₂O₃의 첨가의 경우 이차상인 Bi₄Ti₃O₁₂의 형성으로 높은 비유전율은 거의 일정하였고 이로

인해 모노폴 안테나의 공진주파수는 감소하였다.

-10 dB에서 대역폭을 살펴보면 Bi₂O₃의 첨가량에 따라 280~650 MHz의 우수한 대역폭 특성을 보여주고 있다. 즉, Bi₂O₃의 첨가량을 조절함으로써 대역폭을 임의로 조절할 수 있다는 결과를 얻었다. 유전체의 경우, 측정 주파수가 증가할수록 유전손실이 증가하여 대역폭이 증가하므로 조성별 대역폭의 비교를 위해 VSWR이 2.0 이하인 지점에서의 임피던스 대역폭($\Delta f/f_0$, %)을 측정하였다. 그리고 그 결과를 그림 12에 나타내었다. 그 결과 $x=0$ 에서 16%의 대역폭을 보이던 것이 $x=7$ 에서 33%까지 증가하였다. 이는 그림 10에서의 품질계수의 급격한 감소때문이다. 그리고 비유전율이 높은 Bi₄Ti₃O₁₂의 생성으로 인한 유전손실의 증가와 일부 Bi의 휘발로 인한 공간 전하의 불균형으로 인해 품질계수가 감소하여 대역폭이 증가하는 것이다.

반면 그림 12의 안테나 이득을 보면 대역폭과는 반대 양상을 보여주고 있다. Bi의 첨가에 의해 품질계수 감소와 함께 손실의 증가로 이득이 감소하였다. 고용한계를 넘어선 과잉의 Bi로 인해 이차상이 증가하며 품질계수가 감소하였기 때문이다. 즉 Bi의 첨가는 Bi가 Ba site에 치환되어 이차상인 Bi₄Ti₃O₁₂를 형성하여 재료의 미세구조 변화에 의한 유전손실이 안테나 이득에 영향을 미치는 것이다.

이러한 양상은 모노폴 안테나의 방사 패턴에서도 잘 나타난다. 그림 13과 14에 Bi가 첨가된 BaTi₄O₉ 세라믹 모노폴 안테나의 x-z, x-y면 방사 패턴을 각각

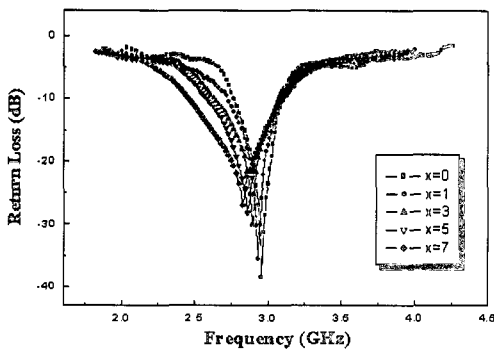


그림 11. BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ 세라믹 모노폴 안테나 반사손실
Fig. 11. Return loss of BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramic monopole antennas.

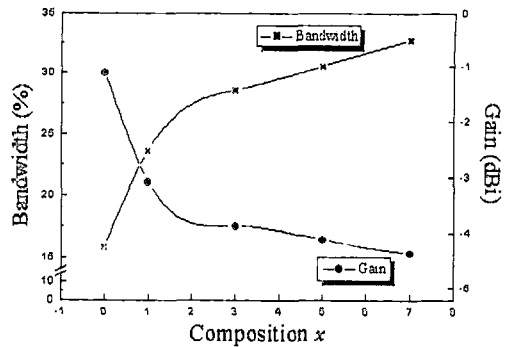


그림 12. BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃에 따른 세라믹 안테나 대역폭과 이득
Fig. 12. Bandwidth and gain of a ceramic monopole antenna with BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramics.

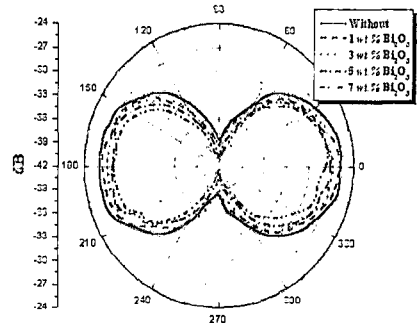


그림 13. Bi₂O₃가 첨가된 BaTi₄O₉ 세라믹스 안테나의 측정된 x-z방사 패턴
Fig. 13. Measured radiation patterns(x-z plane) of BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramic monopole antenna.

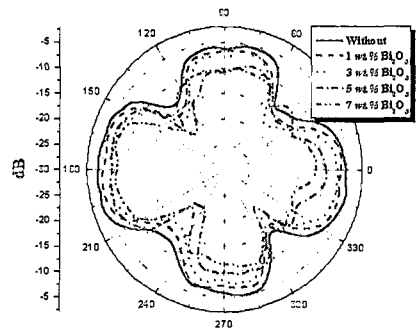


그림 14. 측정된 Bi₂O₃ 첨가된 BaTi₄O₉ 세라믹스 안테나의 x-y 방사 패턴
Fig. 14. Measured radiation patterns(x-y plane) of BaTi₄O₉ + x wt.%Bi₂O₃ ceramic monopole antenna.

나타내었다. x-z면의 경우 모든 조성이 이상적인 모노폴 안테나의 방사 패턴을 형성하고 있다. 그리고 전반적으로 Bi 첨가로 인한 품질계수의 감소로 순수 BaTi₄O₉에 비해 낮은 dB 값을 보이고 있다. 하지만 파장의 형태에 있어서는 미소한 왜곡이 나타나고 있다. 이것은 Bi를 첨가 시켰을 때 내부 미세조직에 존재하는 이차상의 영향으로 사료되어진다. 파장이 유전체 내부를 통과할 때 비유전율이 다른 이차상에서 굴절 또는 산란이 일어나기 때문이다.

x-y면 방사 패턴을 살펴보면 미세조직 변화에 의한 유전손실의 영향이 더욱 잘 알 수 있다. 조성에 따른 dB의 차이가 x-z면 방사 패턴에 비해 더 잘 나타나고 있기 때문이다. 특히 유전 손실이 큰 x=5와 7에서 이러한 양상을 잘 보여주고 있다. x=7의 경우 다량의 이차상으로 인해 파장의 왜곡이 특히 심하게 나타나고 있다. 한편 무 지향성을 보여야 될 모노폴 안테나의 x-y면 방사 패턴이 네 방향으로 지향성을 보이고 있다. 이것은 제작된 모노폴 안테나의 외형의 영향으로 사료되어진다. 왜냐하면 지향성을 보이는 네 지점이 직사각형 형태의 안테나에서 모서리 부분이기 때문이다. 네 모서리 부분이 안테나 패턴으로부터 거리가 상대적으로 멀어 파장이 유전체 내부에 머무는 시간이 길기 때문에 이러한 현상이 일어난 것으로 생각되어진다. 이는 외형을 가공하여 극복할 수 있을 것으로 판단된다.

안테나 또는 일반적인 유전체 공진기에 있어서 중심주파수의 대역폭(Bandwidth)은 손실을 의미한다. 대역폭이 커질수록 그만큼 손실이 많다는 의미이다. 그리고, 대부분의 유전체 세라믹스의 경우 단결정이 아닌 다결정체로 수많은 결정립과 입계를 지니고 있다. 따라서 미세조직이 불균일해질수록 파장의 산란은 증가하며 이로 인해 주파수 손실은 증가하게 된다. 즉, Bi가 첨가된 BaTi₄O₉ 세라믹스의 미세조직 변화에 따른 유전 특성 변화가 안테나 특성 변화에 직접적인 영향을 미친 것으로 사료되어진다.

IV. 결 론

본 논문에서는 크기가 작고 넓은 대역폭을 가지는 안테나 제작을 위해 종래의 비유전율 10 이하의 유전체 대신 비유전율이 35~40, 품질계수가 49,000,

소결온도가 1,300℃인 BaTi₄O₉ 세라믹스를 이용하여 후막 모노폴 안테나를 제작하였다. 측정결과 Bi₂O₃ 첨가량이 증가할수록 모노폴 안테나의 공진주파수는 감소하였다. -10 dB에서 대역폭을 살펴보면 Bi₂O₃의 첨가량에 따라 280~650 MHz의 우수한 대역폭 특성을 보여주고 있다. 조성별 대역폭의 비교를 위해 VSWR이 2.0 이하인 지점에서의 임피던스 대역폭($\Delta f/f_0$, %)을 측정하였다. 그 결과 x=0에서 16%의 대역폭을 보이던 것이 x=7에서 33%까지 증가하였다. 안테나 이득을 보면 대역폭과는 반대 양상을 보여주고 있다. Bi의 첨가에 의해 품질계수 감소와 함께 손실의 증가로 이득이 -0.8 dBi에서 -4.3 dBi로 감소하였다. 안테나의 방사 패턴은 무 지향성을 보여야 할 모노폴 안테나의 x-y면 방사 패턴이 심하게 왜곡되게 나타났다. 결과적으로 BaTi₄O₉ 세라믹스에 대한 Bi₂O₃ 첨가를 통하여 소형 세라믹 칩 안테나 특성에 있어서 유전율뿐만 아니라 재료의 결정구조 및 미세조직 변화와 품질계수의 직접적인 영향으로 공진주파수와 대역폭에 변화를 가져오므로 다양한 안테나의 제작이 가능하리라 예상된다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Dakeya, T. Suesada, K. Asakura, N. Nakajima and H. Mandai, "Chip multilayer antenna for 2.45 GHz-band application using LTCC technology", *IEEE MTT-s Digest*, pp. 1696-1696, 2000.
- [2] 이종환, 우종명, 김현학, 김경용, "PCS용 표면실장형 칩 안테나 설계", 한국전자파학회 논문지, 11(1), pp. 55-62, 2000년 1월.
- [3] P. K. Panayi, M. O. Al-Nuaimi and I. P. Iverissimtzis, "Tuning techniques for planar inverted-F antenna", *Electron. Lett.*, vol. 37, pp. 1003-1004, 2001.
- [4] P. Salonen, M. Keskilammi, "Novel dualband planar inverted-F antenna", *Asia-Pacific Microwave Conference 2000*, pp. 706-710, 2000.
- [5] 양진수, "최신안테나 기술동향", EP&C, vol. 11, pp. 18-28, 2000년.
- [6] 심성훈, 강종윤, 박용욱, 윤석진, 윤영중, 김현재, "IMT-2000 단말기용 적층형 세라믹 칩 안테나의 설계", 한국전자파학회 논문지, 13(3), pp. 301-

306, 2002년 3월.

- [7] K. Fujimoto, "Electrical small antennas", *J. IEICE*, vol. 55, no. 9, pp. 1235-1239, 1972.
- [8] Y. Wang, C. K. Lee, "Small broadband microstrip patch antenna for IMT-2000 handsets", *Radio and Wireless Conference, RAWCON 2000, IEEE*, pp. 187-190, 2000.
- [9] H. M. O'Bryan, Jr., J. K. Plourde, J. Thomson, Jr. and D. F. Linn, "A new BaO-TiO₂ composition with temperature stable high permittivity and low microwave loss", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 57, no. 10, pp. 450-453, 1974.
- [10] G. H. Jonker, K. Westoo, "The ternary systems BaO-TiO₂-SnO₂ and BaO-TiO₂-ZrO₂", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 41, no. 10, pp. 390-394, 1958.
- [11] Shin-ichi Hirano, Toshinobu Yogo and Ko-ichi Kikuta, "Processing of functional ceramics by metallorganic route", *J. Japan. Ceram. Soc.*, vol. 99, no. 10, pp. 1026-1035, 1991.
- [12] R. C. Kell, A. C. Greenham and G. C. E. Olds, "High-permittivity temperature-stable ceramic dielectric with low microwave loss", *J. Am. Ceram. Soc.*, vol. 6, no. 7, pp. 352-354, 1973.
- [13] C. F. Yang, "The microwave characteristics of glass-BaTi₄O₉ ceramic", *Jpn. J. Appl. Phys.*, vol. 38, pp. 3576-3579, 1999.
- [14] B. W. Hakki, P. D. Coleman, "A dielectric resonator method of measuring inductive capacities in the millimeter range", *IRE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. Mtt-8, pp. 402-410, 1960.
- [15] Y. Kobayashi, S. Tanaka, "Resonant modes of a dielectric rod resonator short-circuited at both ends by parallel conducting plates", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-28, no. 10, pp. 1077-1085, 1980.
- [16] 김원률, 이권익, 홍성욱, 김홍수, "5.8 GHz ISM 대역용 구형 유전체 공진 안테나 설계", 제주대학교 산업기술연구소 논문집, 12(1), pp. 71-76, 2001년.
- [17] 이기성, 채윤경, 최익권, "IMT-2000 단말기용 변형된 역 F형 광대역 세라믹 유전체 칩 안테나", 한국전자과학회 논문지, 13(7), pp. 625-631, 2002년 8월.

정 천 석



1969년 2월: 한국항공대학교 항공전자공학과 (공학사)
 1980년 2월: 부산대학교 전자공학 (공학석사)
 1988년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1995년 11월~현재: 울산대학교 전

기전자정보시스템공학부 교수
 [주 관심분야] 안테나 및 EMC

안 상 철



2003년 2월: 울산대학교 전자공학과 (공학사)
 2003년 3월~현재: 울산대학교 전기전자정보시스템공학부 석사과정
 [주 관심분야] RF 소자 및 안테나, EMC

안 성 훈



2002년 2월: 울산대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 2월: 울산대학교 전기전자 정보시스템공학부 (공학석사)
[주 관심분야] RF 소자 및 안테나, EMC

박 언 철



2003년 2월: 울산대학교 재료공학과 (공학사)
2003년 3월~현재: 울산대학교 첨단소재공학부 석사과정
[주 관심분야] 유전체 주파수 필터, 유전체 안테나

허 대 영



2002년 2월: 울산대학교 재료공학과 (공학사)
2004년 2월: 울산대학교 첨단소재공학부 (공학석사)
[주 관심분야] 유전체 주파수 필터, 유전체 안테나

이 재 신



1982년 2월: 서울대학교 요업공학과 (공학사)
1983년 2월: KAIST 재료공학과 (공학석사)
1986년 2월: KAIST 재료공학과 (공학박사)
1993년: 한국전자통신연구소 선임

연구원
1993년~현재: 울산대학교 첨단소재공학부 교수
[주 관심분야] 유전체 필터, 유전체안테나, 압전 액츄에이터, 적외선센서