

## GPS용 Patch 안테나 제작 및 MgTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub>계 세라믹 유전체 고주파 유전특성

윤종락\* · 이석원\*\* · 이현용\*\*\*

\* 삼화콘덴서 연구소, \*\*호서대학교 전기정보통신공학부, \*\*\* 명지대학교 전기전자공학부

## The Microwave Dielectric Properties of MgTiO-CaTiO<sub>3</sub> Ceramics Dielectrics and Fabrication of GPS Antenna

Jung Rag Yoon\*, Serk Won Lee\*\*, and Heun Young Lee\*\*\*\*

\*Samwha Capacitor Co.

\*\*Department of Electrical and Electronics Engineering, Hoseo University

\*\*\*Department of Electrical and Electronics Engineering, Myoungji University

**초 특:** GPS 안테나 제작을 위하여 MgTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub>계 세라믹 유전체의 고주파 유전 특성을 연구하였다. (1-X) MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub>계 세라믹에서 X=7 mol%이고 소성 온도 1400°C일 때 유전율 20.6, 품질 계수 52,500, 공진주파수 온도계수 -1.5 [ppm/°C]의 유전 특성을 얻었다. X=0.7 mol% 조성에 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 0.6wt% 첨가한 결과 소성온도 1250°C에서 유전율 21, 품질계수 58,000, 공진주파수 온도 계수 2.6 [ppm/°C]의 고주파 유전 특성을 얻었다. 상기 조성을 이용하여 세라믹 두께 6[mm], 정사각형의 패치 길이 20.5[mm]인 GPS 안테나를 설계 제작하였다. GPS 안테나 제작 결과 중심주파수 1579[MHz], 반사손실 -11[dB], 대역폭 22 [MHz]로 설계 결과와 유사함을 볼 수 있었다.

**Abstract:** Microwave dielectric properties of the MgTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> ceramics were investigated for GPS antenna fabrication. (1-X) MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub> ceramics with X=7 mol% sintered at 1400°C exhibited can be dielectric constant of 20.6, the quality factor of 52,500 and the temperature coefficient of resonant frequency of -1.5 [ppm/°C]. The results of 0.93MgTiO<sub>3</sub>-0.07CaTiO<sub>3</sub> ceramics with P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 0.6 wt% sintered at 1250°C exhibited can be dielectric constant of 21, the quality factor of 58,000 and the temperature coefficient of resonant frequency of 2.6 [ppm/°C]. The size, insertion loss, center frequency and band width of GPS antenna were 20.5×20.5×6[mm], -10[dB] and 1575.42[MHz] respectively. The insertion loss, center frequency and band width of the fabricated GPS antenna were -11[dB], 1579[MHz] and 22 [MHz] respectively. The center frequency was higher than design result, but other characteristics of GPS antenna were similar to the results of design result.

**Keywords:** Microwave dielectric properties, GPS antenna, Dielectric constant, Quality factor

### 1. 서 론

GPS(Global Positioning System)는 미국방성에서 개발한 위성을 이용하여 위치, 속도 및 시간 측정 서비스를 제공하는 시스템이다. 초기에는 항법 지원용으로 군사적 목적을 가지고 출발하였으나 현재는 1/10억 이상의 높은 정확도로 지구상 제점간

의 상대적 위치 관계를 측정할 수 있어 선박, 항공기, 자동차 등의 위치 측정은 물론 디지털 오디오 방송과 같은 디지털 지상파 방송 첨단 부가가치 서비스로도 이 시스템이 활용되고 있다<sup>1)</sup>. GPS 시스템은 소형, 경제적 가격, 경량이 요구되고 있으며 이에 따라 고 유전율을 가지는 고주파 유전체 세라믹스를 이용한 안테나가 개발, 사용되고 있

다. 대부분의 GPS용 수신용 안테나는 원형 편파 마이크로스트립 안테나 구조를 가지고 있으며 패치의 형태로는 정사각형, 직사각형, 원형, 환형 등이 사용되고 있으나 정사각형과 원형이 대부분 사용되고 있다. 급전 방식으로는 coaxial probe 급전 방식, 마이크로스트립 라인 급전 방식,  $\lambda/4$  변환기를 이용한 급전 방식이 있다<sup>2)</sup>. GPS 안테나 제작에 이용되는 유전체재료로는 고주파 유전체 세라믹스와 테프론 기판 등이 있다. 대표적인 고주파 유전체 세라믹스는 유전율 80~100인 BaO-Nd<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-PbO-TiO<sub>2</sub>계, 30~40인 (Zr,Sn)TiO<sub>3</sub>, Ba<sub>2</sub>Ti<sub>9</sub>O<sub>20</sub>계, 25~30인 Ba(Mg,Ta)O<sub>3</sub>, Ba(Zn,Ta)O<sub>3</sub>, 유전율이 20인 (Mg,Ca)TiO<sub>3</sub> 등이 있다. 고주파 유전체 세라믹스는 부품의 소형화를 위하여 높은 유전율이 요구되며 양호한 주파수 선택도를 위해 높은 품질계수 ( $Q \times f$ )가 요구된다. 특히 넓은 온도범위에서 안정적으로 사용하기 위해서 공진주파수 온도계수가  $0 \pm 5$  ppm/°C 이내 이어야 한다<sup>3)</sup>. 일반적으로 GPS 안테나 제작용 고주파 유전체 세라믹스로는 고주파 유전 특성과 경제성을 고려하여 (Mg,Ca)TiO<sub>3</sub>계가 주로 이용되고 있으며 유전율 20, 품질계수 55,000 이상, 공진주파수 온도계수가  $0 \pm 5$  ppm/°C의 우수한 유전 특성을 나타내는 것으로 알려져 있다<sup>4)</sup>. 본 논문에서는 산업적으로 사용 가능한 원료를 얻기 위하여 MgTiO<sub>3</sub>와 CaTiO<sub>3</sub>의 비를 조절하여 공진주파수 온도계수가  $0 \pm 5$  ppm/°C인 기본 조성을 얻었으며 유전특성 향상 및 소성온도를 낮추기 위하여 기존의 논문에서는 V<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 또는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>를 첨가하였으나 본 논문에서는 B<sub>2</sub>O<sub>3</sub>대신 생산시 공정 안정화를 위하여 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 첨가하여 고주파 유전 특성을 조사하였다. 또한 본 논문에서는 상기 실험으로부터 얻은 조성을 이용하여 안테나를 제작하였으며 적용한 안테나는 정사각형 패치면의 모서리를 자른 형태를 선정한 후 안테나의 크기와 손실을 줄이기 위해 패치면에 구멍을 뚫어 급전선을 설계, 제작하였다.

## 2. 실험

본 실험에서 사용한 주원료는 생산시 공정 단순화를 위하여 CaTiO<sub>3</sub> (USA, Ferro 社), MgTiO<sub>3</sub> (USA, Ferro 社) 사용하였고 소결 조제로는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> (일본, 고순도화학 社)를 첨가하였다. MgTiO<sub>3</sub>,

CaTiO<sub>3</sub> 및 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 조성비에 맞게 평량한 후 알콜을 매체로 하여 24시간 습식 혼합 건조하였다. 건조된 분말을 10 wt% PVA 수용액을 5 wt% 첨가하여 200 mesh체로 체가름한 후 직경이 15 mm인 원통형 금형에서 1 ton/cm<sup>2</sup>의 압력으로 성형하였다. 소결은 대기중에서 5°C/min의 속도로 승온하여 1200~1400°C의 범위에서 2시간 유지한 후 5°C/min의 속도로 냉각하였다. 마이크로파 대역에서의 유전특성은 원주상의 시편을 평행한 두개의 도체 사이에 삽입한 다음 TE011 모드의 공진 특성 곡선을 얻어 유전율과 품질계수를 계산하는 Hakki-Coleman법<sup>5)</sup>을 이용하였다. 그리고 공진주파수의 온도계수( $\tau_f$ )는 세라믹에 은 코팅을 한 Cavity 공진기내에 시편을 넣고 25와 85°C에서의 공진주파수를 측정하여 다음식으로 계산하였다.

$$\tau_f = \frac{1}{f_{25}} \times \frac{(f_{85} - f_{25})}{60} \times 10^6 \text{ [(ppm)/}^\circ\text{C]}$$

$f_{o_{25}}$ : 25[°C]에서의 공진주파수

$f_{o_{85}}$ : 85[°C]에서의 공진주파수

## 3. 결과 및 고찰

### 3.1 (1-X)MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub>의 결정 구조 및 고주파 유전 특성

그림 1은 1400°C에서 2시간 소결한 (1-X)MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub>의 X mol%에 따른 XRD 결과로서 X 양에 상관없이 Ilmenite 구조를 가지는 MgTiO<sub>3</sub>와 perovskite 구조를 가지는 CaTiO<sub>3</sub>가 분리되어 나타났다. 이와 같은 결과는 (Mg,Ca)TiO<sub>3</sub>의 경우 MgTiO<sub>3</sub>와 CaTiO<sub>3</sub>의 두상으로 구성되며 이 두상은 서로 상이한 구조와 Mg와 Ca 사이의 이온 반경의 크기가 크기 때문에 고용체를 형성하지 않고 2개의 상이 혼합되어 있는 혼합상으로 존재한다는 결과와 일치함을 볼 수 있다<sup>6)</sup>.

일반적으로 MgTiO<sub>3</sub>의 유전 특성을 보면 품질계수( $Q \times f_o$ )는 110,000으로 상당히 높은 값을 나타내지만 유전율은 17로서 낮은 값을 나타내며 공진주파수 온도계수는 -45 ppm/°C로 알려져 있다. 반면 CaTiO<sub>3</sub>의 경우 품질계수( $Q \times f_o$ )는 4,800으로 낮은 값을 나타내지만 유전율은 170으로서 높은 값을 나타내며 공진주파수 온도계수는 180 ppm/°C로 알려져 있다<sup>7)</sup>.

그림 2,3는 상기의 유전 특성을 갖는 유전 재료를 1400°C에서 2시간 소결한 (1-X)MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub>의 X mol%에 따른 고주파 유전특성을 나타내었다. 유전율과 공진주파수 온도계수의 경우 X 양의 증가에 따라 유전율은 18에서 22로 증가하고 공진주파수 온도계수도 -11 ppm/°C에서 7 ppm/°C로 증가하며 일반적으로 유전체 세라믹스에서 나타나는 대수혼합법칙과 유사한 경향이 나타남을 볼 수 있다. 이와 같은 결과는 그림 1에서의 XRD 분석 결과와 같이 MgTiO<sub>3</sub>와 CaTiO<sub>3</sub>가 서로 고용되지 않고 각각 다른상으로 공존하기 때문으로 예상된다. X mol% 증가에 따른 품질계수의

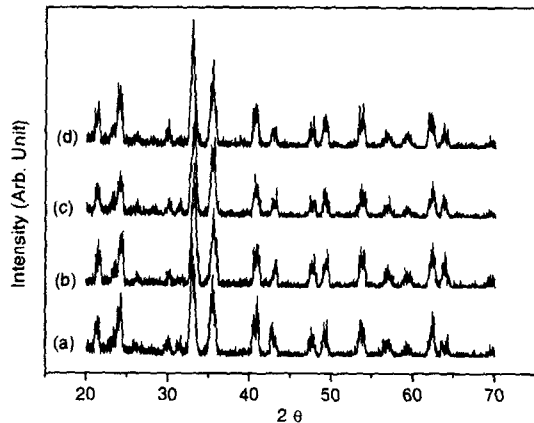


Fig. 1. XRD patterns of (1-X)MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub> sintered at 1400°C for 2 hrs. (a) X=0.5 mol%, (b) X=0.6 mol%, (c) X=0.7 mol% (d) X=0.8 mol%.

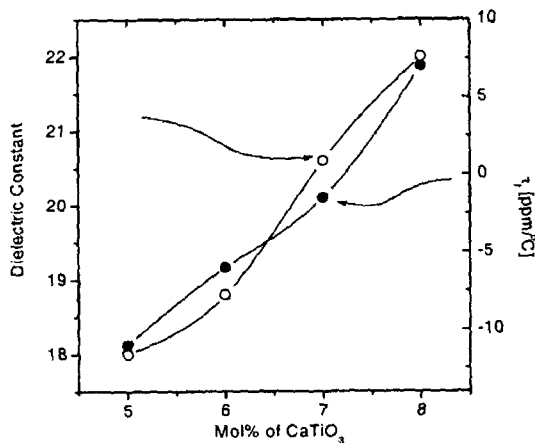


Fig. 2. Dielectric constant and temperature coefficient of resonant frequency of (1-X)MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub> sintered at 1400°C for 2 hrs.

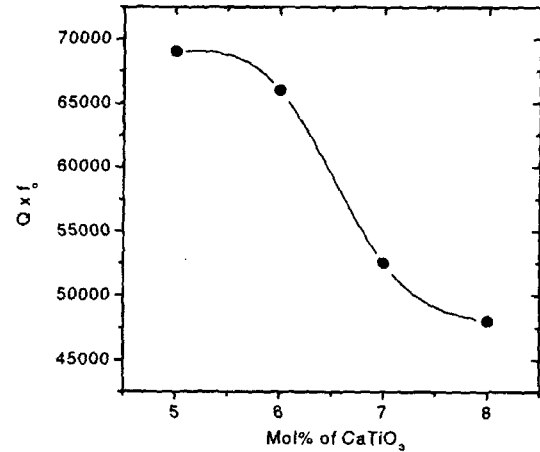


Fig. 3. Quality factor of (1-X)MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub> sintered at 1400°C for 2 hrs.

경우 X 양의 증가에 따라 품질계수는 감소하는 경향을 볼 수 있으나 유전율의 경우와 같이 대수혼합법칙에는 따르지 않을 볼 수 있다. 그림 2,3의 결과를 보면 CaTiO<sub>3</sub>가 7 mol%에서 유전율이 20.6, 품질계수 52,500, 공진주파수 온도계수 -1.5 ppm/°C로서 우수한 고주파 유전 특성을 나타냄을 볼 수 있다.

### 3.2 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> 첨가에 따른 (Mg<sub>0.93</sub>Ca<sub>0.07</sub>)TiO<sub>3</sub>의 고주파 유전 특성

본 절에서는 CaTiO<sub>3</sub>를 7 mol%로 정한 후 저온

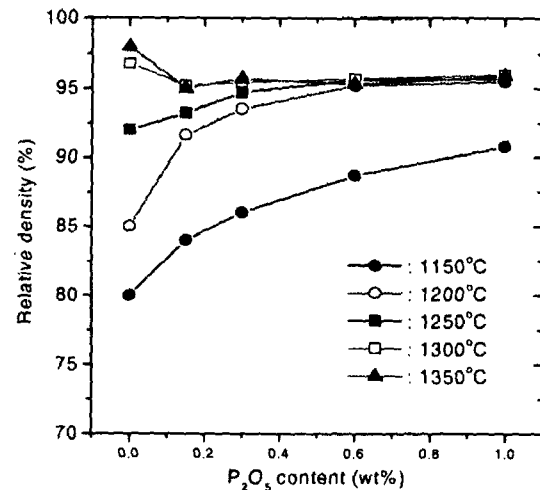


Fig. 4. Relative densities as a function of P<sub>2</sub>O<sub>5</sub> content and sintering temperature.

소결을 위하여  $P_2O_5$ 를 첨가하여 소결 온도 및 첨가량에 따라 고주파 유전특성을 연구하였다. 그림 4는 소결 온도 및 첨가량에 따른 상대밀도의 변화로서 소성 온도 및 첨가량이 증가함에 따라 상대밀도가 증가함을 볼 수 있으며 이와 같은 결과는 기존의 결과와 유사함을 알 수 있다<sup>8)</sup>. 특히  $P_2O_5$  첨가량이 0.6 wt% 이상에서는 소결 온도가 1200°C 부터 상대밀도가 94% 이상의 값으로 포화되는 경향을 나타냄을 볼 수 있다. 그림 5는 ( $Mg_{0.93}Ca_{0.07}$ )

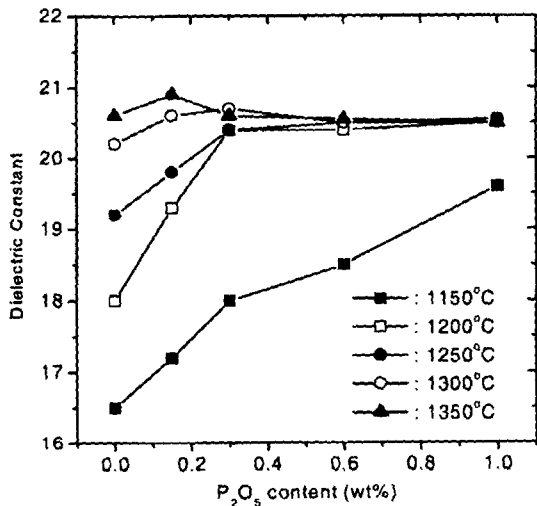


Fig. 5. Dielectric constant as a function of  $P_2O_5$  content and sintering temperature.

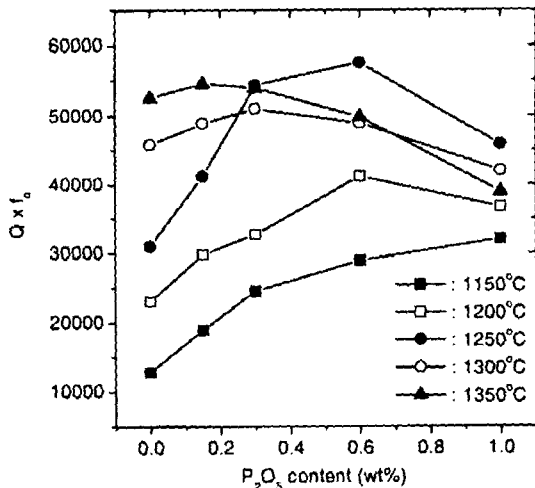


Fig. 6. Quality factor as a function of  $P_2O_5$  content and

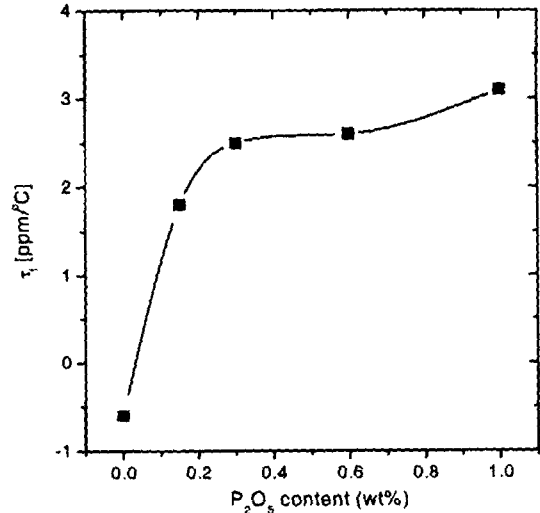


Fig. 7. Temperature coefficient of resonant frequency as a function of  $P_2O_5$  content and sintered at 1250°C.

$TiO_3$ 의 소결 온도 및  $P_2O_5$  첨가량에 따른 유전율 특성을 나타내었다. 유전율은 첨가제에 의한 영향 보다는 소결 온도에 의한 영향이 크게 나타남을 볼 수 있으며 어느 온도 이상에서는 포화되는 경향을 나타낸다. 소결 온도 증가에 따른 유전율의 증가는 기공이 포함된 소결체를 기공(유전율=1)과 유전체의 복합체로 본다면 대수혼합법칙에 따라 나타나는 결과로 볼 수 있으며 그림 4의 소결 밀도의 경향과 일치함을 볼 수 있다. 그림 6은 소결 온도 및  $P_2O_5$  첨가량에 따른 품질계수를 나타내었다. 품질계수는 상대 밀도가 96%인 영역에서  $P_2O_5$ 의 첨가량에 따라 0.6 wt%까지는 증가하는 경향을 나타내지만 그 이상 첨가시 소결성은 증가되지만 품질계수는 조금씩 감소함을 볼 수 있다. 고주파 유전체에서 액상이 생성되면 시편내의 불순물로 작용하여 품질계수가 감소하는 것으로 알려져 있지만 본 실험에서는  $P_2O_5$ 의 함량이 0.6 wt%까지는 첨가하지 않은 경우 보다 품질계수가 5,000 이상 증가함을 볼 수 있었다. 그림 7은 1200°C에서 소성한 시편의  $P_2O_5$  첨가량에 따른 공진주파수 온도계수의 변화로서 첨가량 증가에 따라 공진주파수 온도계수는 증가하는 경향을 보이나 유전율과 같이 큰 변화를 볼 수 없었다. 이상의 결과를 볼 때  $P_2O_5$ 의 첨가는 소결온도를 200°C 이상 저하시킬 수 있으며 품질계수는 향상시키며 유전율과 공진주파수 온도계수에는 큰 영향을 주지 않음을 알 수 있다.

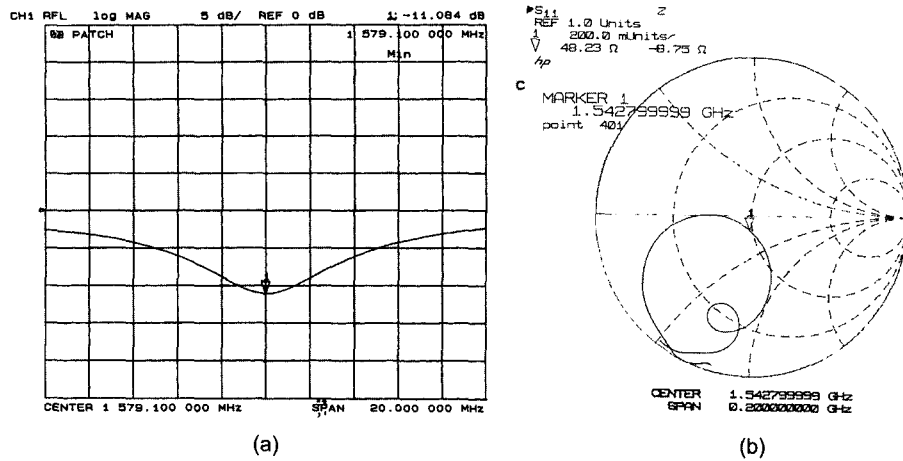


Fig. 8. Return loss and smith chart of GPS antennas. (a) Return loss (b) Smith chart.

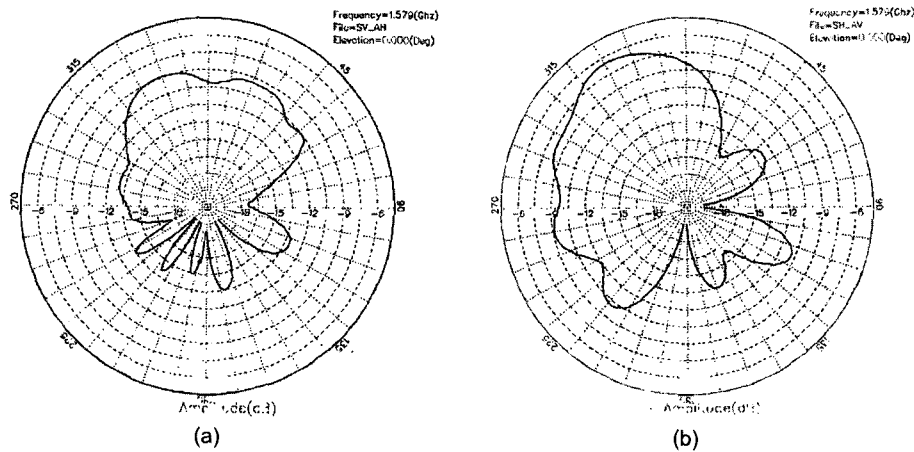


Fig. 9. Radiation patterns of GPS antenna. (a) E-field pattern (b) H-field pattern.

### 3.3 GPS 안테나 제작 및 특성

본 논문에서 설계 제작한 안테나의 특성은 GPS 위성의 신호를 수신하기 위해서 우선회 원형편파를 사용하였으며 중심주파수 1575.42[MHz], 대역폭 20[MHz] min. 반사손실 10[dB] min, 임피던스 50 [ $\Omega$ ]이다. 안테나 설계는 전송선로 모델, 모멘트법, 유한요소법, 공동공진 모델 법등이 있으나 본 논문에서는 비교적 해석이 쉽고 공학적으로 정확한 값을 얻을 수 있는 공동공진 모델법을 이용하였다<sup>9)</sup>. 설계 절차로는 고주파 유전재료의 유전율과 품질계수, 패치 전극을 전도도를 정한 후 설계 규격을 만족하기 위하여 패치 전극의 길이와 유전체의 두께 및 급전점의 위치를 선택하였다. GPS

안테나 제작에 이용된 세라믹 유전체는 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>가 0.6 wt%첨가된 (Mg<sub>0.93</sub>Ca<sub>0.07</sub>)TiO<sub>3</sub>계 조성을 이용하였으며 유전율 21, 품질계수 58,000이고 패치 전극은 Ag 전극을 이용하였다. 설계 결과 세라믹의 두께는 6[mm], 정사각형 패치의 길이는 20.5 [mm]이고 급전선의 위치는 X에서는 중앙이고 Y 축에서는 14.5 [mm]이고 지름은 1.5 [mm]로 하였다<sup>10)</sup>. 패치 안테나의 제작은 금형을 이용하여 세라믹 소체를 성형, 소성한 후 Ag전극을 이용하여 전면 패치 전극을 프린팅한 후 700°C에서 15분간 은소부하였다. 또한 본 소자의 접지면을 위하여 후면 전극을 Ag로 인쇄 후 앞서와 동일한 방법으로 은소부하였으며 측정을 위하여 급전선을 부착하였다.

그림 8은 제작된 안테나의 반사손실 및 스미스차트로서 Network Analyzer(HP 8753C)로 측정하였다. 측정결과 중심주파수는 1579 [MHz]이고 반사손실은 -11 [dB]를 나타내었으며 대역폭은 22[dB]로서 설계 결과와 거의 일치함을 볼 수 있다. 임피던스는 스미스차트에서 보듯이 52.42-j30.23 [ $\Omega$ ]으로서 차이가 남을 볼 수 있는데 이와 같은 결과는 설계시 고려하지 않은 급전선 길이 및 측정 Jig에 의한 영향으로 예상된다. 그림 9는 AL2000 안테나 측정시스템을 이용하여 안테나의 방사패턴을 측정한 결과로서 기존 발표된 제품과 유사한 특성을 나타내었다.

#### 4. 결 론

본 논문에서는 GPS용 안테나를 제작하기 위하여 고주파 유전체의 유전 특성을 연구하였으며 GPS용 안테나를 제작하여 다음과 같은 결론을 얻었다. (1-X) MgTiO<sub>3</sub>-X CaTiO<sub>3</sub>계 세라믹에서 X = 7 mol%이고 소성 온도 1400°C일 때 유전율 20.6, 품질계수 52,500, 공진주파수 온도계수 1.5 [ppm/°C]의 유전 특성을 얻었으며 소결 조제로 P<sub>2</sub>O<sub>5</sub>를 0.6wt% 첨가한 결과 소성온도 1250°C에서 유전율 21, 품질계수 58,000, 공진주파수 온도 계수 2.6 [ppm/°C]의 고주파 유전 특성을 얻었다. 상기 조성을 이용하여 세라믹 두께 6[mm], 정사각형의 패치 길이 20.5[mm]인 GPS 안테나를 설계 제작하여 중심주파수 1579[MHz], 반사손실 -11[dB], 대역폭 22 [MHz]의 특성을 얻었다.

#### 참고문헌

1. Global Positioning System (GPS) Spectrum Protection Report to Congress, Department of Defense, 64(168), Federal Register, 1999. 8.
2. E. Chang, S.A.Long and W.F. Richards, "An Experimental Investigation of Electrically Thick Rectangular Microstrip Antennas," IEEE Trans, AP-34, 767-772 (1986).
3. 윤중락, 이현용, 김경용, 이석원, "이동통신부품에 이용되는 BaO-(Nd,Bi)<sub>2</sub>O<sub>3</sub>-TiO<sub>2</sub>계 마이크로파 유전체의 유전특성", 전기전자재료학회, 11(11), 947-953 (1998).
4. H. Yamamoto, A. Koga, S. Shibagaki and N. Ichinose, "Low Temperature Firing of MgTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> Microwave Dielectric Ceramics Modified with B<sub>2</sub>O<sub>3</sub> or V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>", J. Ceram. Soc. Jpn., 106, 339-343 (1998).
5. B.W. Hakki and P.D. Coleman, "A Dielectric Resonator Method of Measuring Inductive Capacities in the Millimeter Range", IRE Trans. Microwave Theory and Techniques, MTT-8, 402-410 (1960).
6. K. Haga, T. Ishii, J. Mashiyama and T. Ikeda, "Dielectric Properties of two Phase Mixture Ceramics Composed of Rutile and Its Compounds", Jpn. J. Appl. Phys., 31, 3156-3159 (1992).
7. V.M. Ferreira, F. Azough, R. Freer and J.L. Baptista, "The Effect of Cr and La on MgTiO<sub>3</sub> and MgTiO<sub>3</sub>-CaTiO<sub>3</sub> Microwave Dielectric Ceramics", J. Mater. Res., 12, 3293-3299 (1997).
8. 이경호, "V<sub>2</sub>O<sub>5</sub>의 첨가가 (Zr<sub>0.8</sub>Sn<sub>0.2</sub>)TiO<sub>4</sub>의 마이크로파 유전특성에 미치는 영향", 마이크로전자 및 패키징학회지, 8(1), 27-32 (2001).
9. A.G. Derneryd, "Analysis of Microstrip Disk Antenna Element", IEEE Trans. Antenna and Propagation, AP-27(5), (1979).
10. 허영규, 이현용, 윤중락, 권정열, "유전체 세라믹을 이용한 GPS 안테나 설계 및 제작", 전기전자 재료학회 추계학술대회논문집, 153-157 (1997).