

유전체 세라믹을 이용한 GPS용 안테나의 설계 및 제작

The Design and Fabrication of Antennae for GPS using Dielectric Ceramic

허영규 명지대학교 공과대학 전기공학과
이현용 명지대학교 공과대학 전기공학과
윤중락 명지대학교 공과대학 전기공학과
권정열 명지대학교 공과대학 전기공학과

Young-Kyu Heo Dept. of Electrical Eng., Myongji University
Heon-Yong Lee Dept. of Electrical Eng., Myongji University
Jung-Rag Yoon Dept. of Electrical Eng., Myongji University
Jung-Youl Kwon Dept. of Electrical Eng., Myongji University

Abstract

This paper presents a patch antenna design method using microwave dielectric ceramic substrate. Before manufacturing the GPS(Global Positioning System) antenna, such contents as input impedance, resonant frequency and quality factor and efficiency are surveyed theoretically for design, and parameters for manufacturing the antenna are found.

1. 서론

GPS(Global positioning System)는 1967년 Transit 위성을 이용한 미해군 항해시스템 NNSS(Navy Navigation Satellite System)가 공개된 이후 인공위성을 이용하여 지상의 위치를 정밀하게 측정할 수 있는 위성인 NAVSTAR(Navigation System with Time And Ranging)가 GPS로 개발되었다[1]. GPS는 1973년부터 미국 국방성에서 개발 실용화되어 인공위성을 이용한 새로운 측위 시스템으로 인공위성의 전파를 수신, 지구상 어느곳에서도 자신의 위치를 알 수 있는 방법이다. 초기에는 항법 지원용으로 군사적 목적을 띠고 출범하였으나 현재는 1/10억(0.001ppm)이상의 높은 정확도로 지구상 세점간의 상대적 위치관계를 측정할 수 있어 선박, 항공기, 자동차 등의 위치측정은 물론 정밀 측량분야에서도 이 시스템이 활용되고 있다. GPS 시스템은 소형, 저가격, 경량, 작은 프로파일을 가지는 안테나를 필요로 하는데 유전체 세라

믹 안테나가 이러한 조건을 만족시킬 수 있는 안테나 형태로, 그동안 많은 종류의 유전체 세라믹 안테나가 개발되어져 왔고 이동체 통신 시스템에 사용되어지고 있다. 이 안테나의 기본구조는 접지면위에 유전체 세라믹 기판이 놓여있고 그위에 전도막(patch)이 입혀져있다. 일반적으로 patch에는 환형(annular ring), 직사각형(rectangular), 정사각형(square), 원형(circular), 등 다양한 형태를 가질 수 있으나, 직사각형, 원형등이 많이 사용되고 있다. 또한 급전(feed)의 형태에는 동축케이블(coaxial cable), 마이크로스트립선로(strip line)로 나눌 수 있는데 동축케이블의 장점은 원하는 임피던스 특성을 케이블의 위치를 적당히 조절하여 변화시킬 수 있고 급전점과 patch 사이의 결합을 최소화시키는 접지면의 위치한다는 점이다. 유전체 세라믹 안테나는 GPS용 안테나의 요구조건을 만족시킬 수 있고 직접회로의 적합성등의 장점이 있으며 단점은 유전체 기판이 높은 선택도를 가지는 공진공동이기 때문에 발

생하는 좁은 대역폭과 낮은 효율을 들 수 있다.

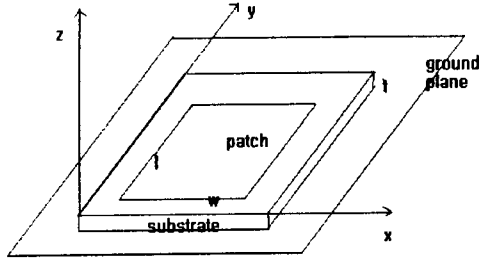


Fig1. 유전체 세라믹 안테나의 기본 구조

따라서 본 논문에서는 유전체 세라믹을 이용한 GPS용 안테나의 설계를 위해 유전체 안테나를 이론적으로 해석하고 이를 기반으로 안테나 성능을 최적화할 수 있는 설계법을 제시하고자 한다.

2. 유전체 세라믹 안테나의 이론적 해석

유전체 안테나의 해석방법에는 전송선로모델, 공동모델[2,3], 모멘트법, 유한요소법등이 있으나 여기서는 비교적 해석이 쉽고, 공학적으로 정확한 값을 얻을 수 있는 공동모델을 이용, 직사각형 모양의 patch를 가지는 유전체 세라믹 안테나를 해석하고 그의 따른 특성변수들을 조사하였다.

2.1. 입력 임피던스

공동모델은 직사각형 patch와 급진에 적용시킬 수 있다. (x-y)평면 위에 patch가 놓여있고 x축 방향을 patch의 너비라 놓으면 기판이 얇다는 가정하에 맥스웰 방정식을 도입, 파동방정식으로 patch의 아래쪽으로 흐르는 전계의 z-요소를 알아낼 수 있다. 이 z축 방향의 직교정규화된 전기장 모드는 접지면과 patch사이의 전계는 zero이고, 기판 각각의 벽에서는 자계가 zero라는 경계조건을 통해 다음과 같이 구할 수 있다.[4]

$$E_z(x, y) = jI_0 \sqrt{\frac{\mu_0}{\epsilon}} \sum_{m=0}^{\infty} \sum_{n=0}^{\infty} \frac{\Psi_{mn}(x, y) \Psi_{mn}(x_0, y_0)}{k^2 - k_{mn}^2} G_{mn} \quad (1)$$

여기서 I_0 는 급진전류의 크기, $\epsilon = \epsilon_0 \epsilon_r$, (x_0, y_0) 는

급진위치, $k = \omega \sqrt{\mu_0 \epsilon}$, $k_{mn}^2 = k_m^2 + k_n^2$, G_{mn} 은 진폭계수 이고,

$$\Psi_{mn} = \frac{\chi_{mn}}{\sqrt{WL}} \cos(k_n x) \cos(k_m y) \quad (2)$$

이다.

위 식에서 $m=0$ 이고 $n=0$ 이면 $\chi_{mn} = 1$ 이고, $m \neq 0$ 또는 $n=0$ 이면 $\sqrt{2}$, $m \neq 0$ 이고 $n \neq 0$ 이면 2이다. 급진점에서의 전압은 전계를 선적분하여 다음과 같이 얻을 수 있다.

$$V_f = -h E_z(x_0, y_0) \quad (3)$$

따라서 입력 임피던스는 급진위치에서의 전압과 전류의 비로 나타낼 수 있다.

$$Z_{in} = \frac{V_f}{I_0} = -j\omega\mu_0 h \sum_m \sum_n \frac{\Psi_{mn}^2(x_0, y_0)}{k^2 - k_{mn}^2} G_{mn} \quad (4)$$

2.2. 공진 주파수

식 (1)에서 각 항은 공동공진 모드이다. 따라서 공진 주파수는 단 하나의 모드를 취하게 되는데 즉, $m=1$ 이고, $n=0$ 인 모드이다.

$$f_{n0} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{w}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{l}\right)^2} \quad (5)$$

$m, n = 0, 1, 2, \dots$

식 (5)는 이론적인 공진주파수로서 patch에서 발생하는 가장자리 효과로 생기는 실질적인 값과의 차이를 보상하기 위해 실효유전율이 첨가된 식으로 다시 나타낼 수 있다.

$$f_{n1} = f_{n0} \frac{\epsilon}{\sqrt{\epsilon_r(w)\epsilon_r(l)}} \frac{1}{(1+\Delta)} \quad (6)$$

$$\Delta = \frac{t}{w} \left[0.882 + 0.614 \frac{(\epsilon_r - 1)}{\epsilon_r^2} + \frac{(\epsilon_r + 1)}{\pi \epsilon_r} \times \left\{ 0.758 + \ln\left(\frac{w}{t} + 1.88\right) \right\} \right] \quad (7)$$

$$\epsilon_r(w) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10t}{w} \right]^{1/2} \quad (8)$$

$$\epsilon_r(l) = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + \frac{10t}{l} \right]^{1/2} \quad (9)$$

2.3. 복사선택도

TM₁₀ 모드 여기서 복사선택도는 다음과 같다.

$$\tan k_{10}l = \frac{2k_{10}\alpha_{10}}{k_{10}^2 - \alpha_{10}} \quad (10)$$

위에서

$$\alpha_{10} = j \frac{2\pi Z_0}{\lambda_0} \frac{t}{w} Y_m F_v(w/l) \quad (11)$$

Y_m는 y 0과 y l에서 복사 자기벽 어드미턴스, 고유 임피던스 Z₀ 377Ω, λ₀는 자유공간에서의 파장이다. 또한 TM₁₀모드의 직사각형 패치 안테나에서 고려해야하는 종횡비 요소 F_v(w/l)는 다음과 같다

$$F_v(w/l) = \frac{0.7747 + 0.5977(w/l - 1) - 0.1638(w/l - 1)^2}{1} \quad (12)$$

자기벽 어드미턴스 Y_m는 다음과 같다.

$$Y_m = G_w + jB_w \quad (13)$$

다시 G_w 와 B_w는

$$G_w = (\pi/377)(w/\lambda_0) \quad (14)$$

$$B_w = 0.01668(\wedge/l)(w/\lambda_0)\epsilon_r \quad (15)$$

그리고 증가보상값이[5], 공식에 의하여

$$\Delta 1/t = 0.412 \left[\frac{\epsilon_r + 0.300}{\epsilon_r - 0.258} \right] \left[\frac{\frac{w}{t} + 0.262}{\frac{w}{t} + 0.813} \right] \quad (16)$$

로 나타낸다.

이렇게 구한 공식에서 우리는 k₁₀의 값을 다음과 같이 구할수 있고

$$k_{10} = \frac{\pi}{l} - \frac{\Delta}{l} \quad (17)$$

따라서 복사 선택도는 다음과 같다.

$$Q_r = \frac{Re(k_{10})}{2Im(k_{10})} \quad (18)$$

2.4. 총 선택도

선택도를 구하기 위해서는 안테나에서 발생하는 손실들이 고려되어 적야 한다. 즉 복사손실, 진도체손실, 유전체손실, 표면파손실등이다. 선택도는 안테나 설계에 있어 중요한, 높은 효율과 큰 대역폭을 가지는 변수들과 관련이 있기 때문에 이들 값을 조정할필요가 있다.

$$\frac{1}{Q_{tot}} = \frac{1}{Q_r} + \frac{1}{Q_{sur}} + \frac{1}{Q_d} + \frac{1}{Q_c} \quad (19)$$

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta}, \quad Q_c = \frac{t}{d_s}, \quad d_s = \frac{1}{\sqrt{\pi f \mu \sigma}} \quad (20)$$

여기서 d_s는 진도체의 skin derth 이다.

2.5. 효율

안테나의 효율은 선택도항으로 나타낼수 있는데 총 선택도를 복사 선택도로 나눈것과 같다.

$$\eta = \frac{Q}{Q_{rad}} \quad (21)$$

식 (21)은 주로 손실을 나타낼 때 사용한다.

2.6. 대역폭

안테나에서 대역폭이라함은 안테나가 수신할 수 있는 범위를 말한다. 하지만 안테나의 종류에 따라 이러한 수신범위는 달라지기 때문에 안테나에 따라 정의가 달라진다. 일반적으로 공진의 불일치 때문에 전압 정재파비(VSWR)와 관계가 있고, 이는 선택도와 함께 대역폭을 정의하는데 중요한 요소이다.

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q_{total} \sqrt{VSWR}} \quad (22)$$

여기서 Q는 앞서 구한 총 선택도이고, VSWR는 다음과 같이 정의 된다.

$$S = \frac{|V|_{max}}{|V|_{min}} = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|} \quad (23)$$

여기서 Γ는 반사계수이다.

3. 설계 및 제작

유전체 세라믹 안테나가 많이 쓰이는 통신 시스템에서 응용되는 것중 하나가 바로 원형편파가 요구되는 시스템이다. 원형편파용 유전체 세라믹 안테나는 급전방식에 따라 단일급전방식, 이

중립진방식이 있는데 이중 외부의 편파생성장치 없이도 원형편파를 발생시키는 단일급진방식 안테나가 유용하다. 이 안테나는 Perturbation segment 면적을 조절하면 원형편파가 만들어지는 조건인 동일 진폭과 90°의 위상차를 가지는 두 적교모드가 발생한다. 이렇게 해서 단일급진방식임에도 불구하고 원형편파로 작동하게 되는 것이다. GPS에서는 오른손방향 원형편파(RHCP)를 요구하기 때문에 그림 2와 같이 patch의 끝부분을 잘라내고 급진위치를 그림에서와 같이 x축 위에 두면된다. 또한 perturbation segment 면적을 다음과 같은 관계식으로 나타낼 수 있다.

$$\frac{\Delta s}{S} = \frac{1}{2Q} \quad (24)$$

여기서 $\Delta s = \Delta s_1 + \Delta s_2$ 이다.

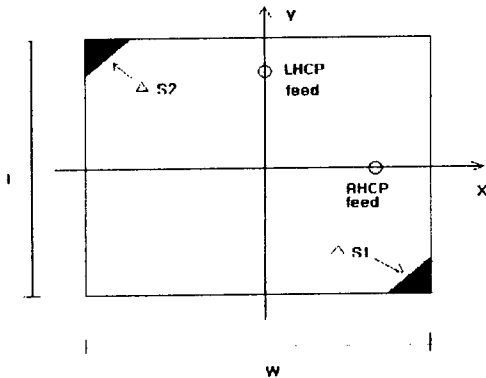


Fig2. 원형편파가 요구되는 급진위치

GPS용 안테나 설계를 위해서 우선 유전체 세라믹 안테나를 이론적으로 해석하고 앞서 언급한 문헌들의 수학적 계산을 통해 안테나의 특성들이 각 변수에 대해 어떻게 변화하는지를 알아보고자 시뮬레이션을 실행 하였다. 이때 몇몇 변수들은 고정시켜야 하는데 그 값은 (사용주파수:1.575GHz, 패치진도도:6.173 × 10⁷m/s, 상대유전율:20, 상대투자율:1, 두께:0.6cm, 손실 탄젠트:0.005 급진점 크기:0.2cm) 등이다. 이유는 유전율 20의 세라믹 기판에 patch의 재료로는 silver를 사용했기 때문이다. 여기서 x,y축의 patch크기는 1.5cm에서 2.5cm까지만 변화를 주었다. 그리고 이러한 시뮬레이션을 실행하여 다음 그림들에서와 같은 특성들을 알아내었고 이를 바탕으로 안테나를 실제 제작하였다.

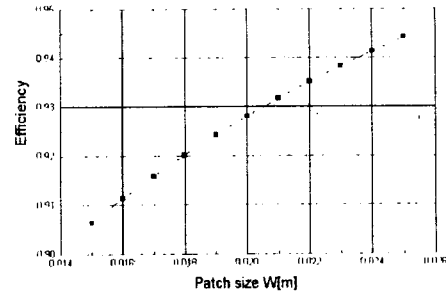


Fig3. x축 patch 크기 변화에 대한 효율의 변화.

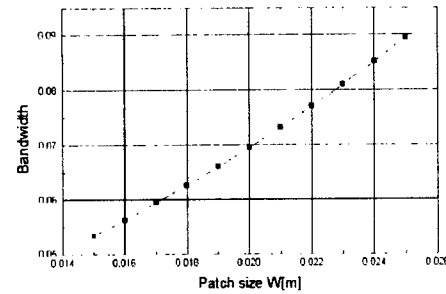


Fig4. x축 patch 크기 변화에 대한 대역폭의 변화

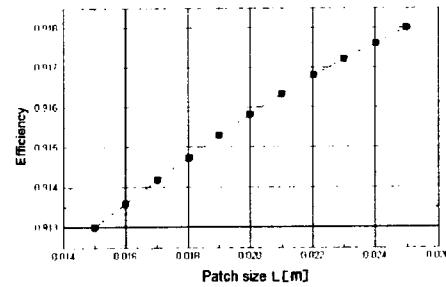


Fig5. y축 patch 크기 변화에 따른 효율의 변화

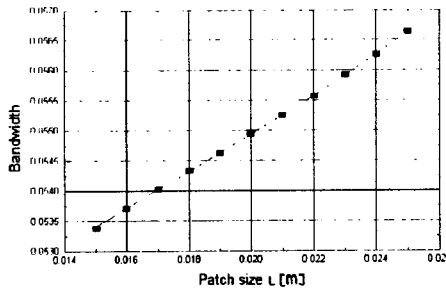


Fig6. y축 patch 크기 변화에 따른 대역폭의 변화

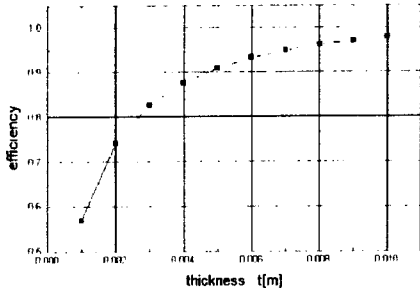


Fig. 7. 기관 두께변화에 따른 효율의 변화.

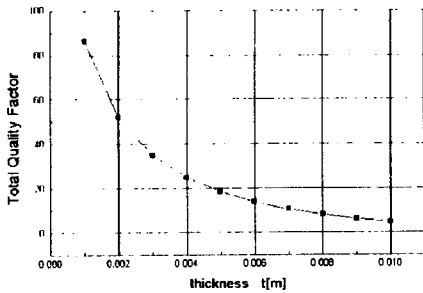


Fig. 8. 기관 두께 변화에 따른 총 선택도의 변화

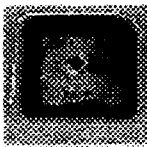


Fig. 9. 실제 제작한 GPS-용 안테나.

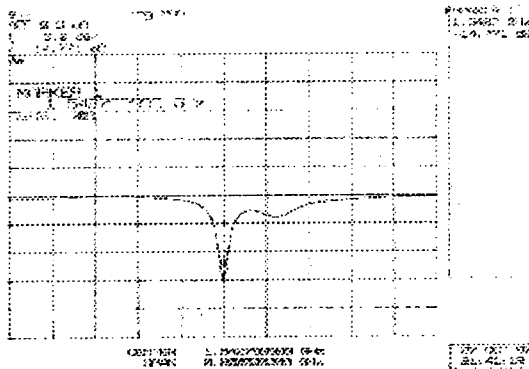


Fig. 10. 제작한 안테나의 반사손실

4. 결론

시뮬레이션의 결과에서 알 수 있는 것같이 patch의 크기가 증가할수록 효율과 대역폭은 점점 증가하는 것을 알수있었고, Fig. 7과 8에서 유전체 기관 두께에 대한 선택도와 효율값의 변화를 나타내었는데 선택도가 크면 효율은 좋아지나 대역폭이 그만큼 작아지기 때문에 각 특성마다 장단점을 분석하여 변수값을 결정해야 한다는 것을 알수있었다. 그리고 실제 제작한 안테나를 측정 한 결과 입력임피던스는 48.23[Ω], 반사손실은 -14.771[dB]로 측정되었다. 또한 중심 주파수는 1.5428[GHz]에서 공진되었다. 이러한 약간의 오차는 해석시 안테나를 급전점에서 보았을 때 임피던스 정합이 완전히 이루어졌다는 가정하에 해석하게 되는데 제작된 안테나는 정합이 완전히 이루어지지 않은 결과라 볼 수 있다. 따라서 안테나를 설계, 제작할 경우 급전선에 의한 임피던스 정합 문제가 더욱 중요함을 알수있었으며, 좀더 확실한 변수값의 결정과 정확한 임피던스의 정합으로 GPS용 유전체 세라믹 안테나 성능의 최적화가 기대된다.

참고문헌

1. B.W. Parkinson & S.W. Gilbert : NAVSTAR : Global Positioning System Ten Years later. Proc. IEEE, 71, 10, pp.1177-1186(1983-10)
2. D. Thouroude, M. Hindi, , and J.P. Daniel. Cad-oriented cavity model for rectangular patches. Electronic Letters, 26(13):842-844, June 1990.
3. A.G. Derneryd, "Extended analysis of rectangular microstrip resonator antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat. AP-27, 846-849(1979)
4. Carver, K.R., and J.W.Mink, "Microstrip Antenna Technology," IEEE Trans. Antennas Propagat. Vol.29, No.1, 2-24 Jan. (1981).
5. E.O. Hammerstad, "Equations for microstrip circuit desgin," in Proc. 5th European Micro. Conf., Hamburg, Sept. pp. 268-272, 1975.