

900 MHz 무선전화기용 유전체 세라믹 안테나의 설계와 제작

문창호 · 이만형 · 김영일* · 김덕수* · 이성수* · 노용래**

경북대학교 센서공학과

*삼성전자 기술총괄 기반기술센터

**경북대학교 전자전기공학부/센서공학과

(1997년 12월 1일 접수)

Design and Fabrication of Microstrip Dielectric Ceramic Antenna for 900 MHz Cordless Phones

Chang Ho Moon, Man Hyung Lee, Young Eil Kim*,
Duck Su Kim*, Seong Soo Lee*, Yong Rae Roh**

Department of Sensor Engineering, Kyungpook National University

*Core Technology Research Center, Corporate Technical Operations, Samsung Electronics Co., Ltd.

**Department of Electronics/Sensor Engineering, Kyungpook National University

(Received December 1, 1997)

요 약

본 논문에서는 공동모델을 이용하여 직사각형의 패치를 가지는 마이크로 스트립형 유전체 세라믹 안테나의 최적 구조를 설계하고, 그 결과를 바탕으로 900 MHz대 중심주파수를 가지는 시작품을 제작하였다. 본 연구의 결과는 기존의 헬리컬 안테나보다 성능과 무지향성이 우수한 유전체 세라믹 안테나를 개발하는 것 뿐만아니라, 안테나의 다양화에 유용한 도구로 사용될 수 있을 것이다.

ABSTRACT

This paper is about design of optimal structure of microstrip dielectric ceramic antenna with rectangular electrode patches in accordance with the cavity model, and fabrication of its prototype sample operating at the frequency of 900 MHz. Results of this work can be employed as a useful tool to develop and diversify ceramic antenna having superior performance and omni-directivity to that of current helical antenna.

Key words : Microstrip antenna, Dielectric ceramic, Cordless phone

1. 서 론

최근 이동통신의 발달과 더불어 고성능, 고효율 통신 단말기가 요구되고 있다. 이런 요구조건을 만족하는 이동통신용 단말기의 구성부품중 가장 핵심적인 역할을 하는 것이 안테나이다. 많은 안테나가 개발되어 왔고, 성능의 개선이 이루어 지고 있다. 이런 시점에서 발달하고 있는 것이 유전체 세라믹을 이용한 안테나이다.

일반적으로 유전체 세라믹 안테나는 저가격, 경량, 작은 프로파일(profile)을 요구하는 GPS(global position system)의 필요성을 만족하여, 많이 이용되고 있다.¹⁾ 이미 선진국에서는 GPS를 국방 및 경제산업용으로 이용하고 있다. 이것을 이용한 시스템에서는 정밀성과 더불어

소형, 경량, 저가격이 요구되는데, 이에 가장 적합한 안테나가 유전체 세라믹을 이용한 안테나이다. 이러한 GPS용 유전체 세라믹 안테나의 경우는 사용되는 주파수가 수 GHz에 이르고 있다. 이러한 유전체 세라믹 안테나의 일반적인 구조는 유전체기판이 절지된 면위에 놓여있고, 이 유전체 위에 전도성막(patch)이 입혀져 있다. 이 전도성막은 원칙적으로는 여러가지 형태로 제작되어 질 수 있지만, 실제로는 정사각형(square), 직사각형(rectangular), 원형(circular), 정삼각형(equitrangular), 환형(annular ring)이 사용되고 있으며, 급전(feed)의 형태는 크게 동축케이블(coaxial cable)과 스트립선로(stripline)로 나누며, 이것은 source에서부터 유전체 내부로 전자기 에너지를 유도한다. 이 에너지의 일부는 패치의 경계부

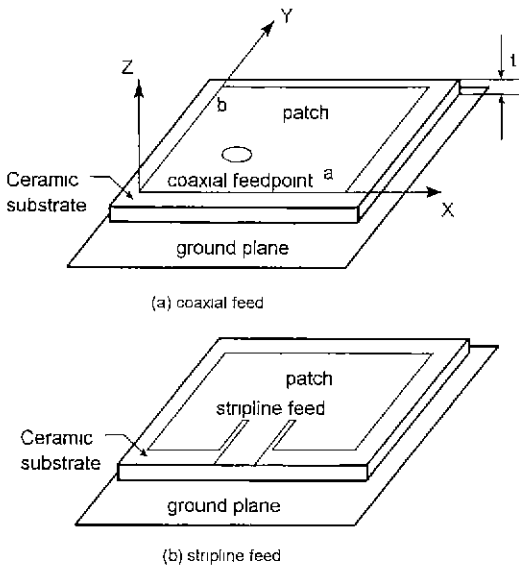


Fig. 1. Rectangular microstrip antennas.

분을 넘어서서 공간상으로 방사(radiation)된다. 동축케이블의 장점은 케이블의 위치를 적당히 조절하여 원하는 임피던스 특성을 변화시킬 수 있고, 급전점과 패치 사이의 결합(coupling)을 최소화시키는 접지면에 위치한다는 점이며, 완전한 모놀리식 형태가 될 수 없고 제작하기 어렵다는 단점을 가지고 있다. 스트립선로 급전방식의 경우, 안테나 임피던스를 스트립선로의 임피던스로 변환해야 한다는 단점이 있기는 하지만, 착탈이 쉽고, 기판위에서 작업하기가 동축케이블보다 편하다는 이점이 있다. 일반적인 직사각형 모양의 유전체 세라믹 안테나의 기본형태를 Fig. 1에 나타내었다.

본 논문에서는 이상에서 설명한 바와 같이 수 GHz에 많이 이용되고 있는 유전체 세라믹 안테나를 낮은 주파수인 900 MHz대의 무선전화기에 응용하고자 설계하였고, 그 설계결과를 토대로 시작품을 제작하고, 그 시제작의 결과를 보았다. 연구대상으로 하는 형태는 스트립선로형 안테나이다. 나아가 이렇게 제작된 안테나를 기존의 900 MHz대 무선전화기의 안테나 대신에 실장하여서 기존 안테나와 비교하여 여러특성과 효율, 방사패턴 등을 보고자 한다.

2. 유전체 세라믹 안테나의 해석

유전체 세라믹 안테나를 해석하는 방법에는 여러 가지가 있는데, 그중 가장 널리 사용되는 방법은 전송선로모델(transmission model),²⁾ 공동모델(cavity model),³⁾ 풀웨이브모델(full-wave model)⁴⁾ 등이 있다. 하지만 본 연

구에서는 공학적으로 정확한 값을 얻을 수 있고, 다른 방법에 비해 비교적 쉽게 해석이 가능한 공동모델을 사용하여 직사각형 모양의 패치를 갖는 유전체 세라믹 안테나의 특성을 해석하였다. 공동모델은 사용되는 유전체기판의 두께가 전자기파에 비해 매우 작다는 전제하에서 단순화가 가능하며($h \ll \lambda$, 일반적으로 $0.003\lambda \leq h \leq 0.05\lambda$), 본 해석을 위해 사용된 가정은 다음과 같다. i) 유전체 기판내에서 전기장은 Z 방향의 성분만을 가지며, 기판내에서 Z축에 따라 변화하지 않는다. ii) 유전체 기판내에서 자기장은 횡축성분만 갖는다. iii) 안테나 내에서의 전류가 가장자리에 대해서 수직성분이 존재하지 않기 때문에 맥스웰방정식에 의하여 가장자리에 따른 자기장의 수직성분이 존재하지 않는다. 그러므로 유전체 세라믹 안테나에 있어 패치와 접지면 사이의 공간은 상하면이 전기벽, 측면이 자기벽으로 둘러 싸여진 공동(cavity)으로 간주할 수 있는 것이다. 이러한 모델은 오래 전부터 유전체 공진기의 해석에 사용되어져 왔는데, 유전체 세라믹 안테나로의 적용은 Lo,⁵⁾ Richard,⁶⁾ Derneryd⁷⁾ 등에 의해 이루어졌다. 공동모델의 장점은 패치의 형상에 제약이 따르는 전송선로모델에 비해 다양한 형태의 해석이 가능하고, 간단하며, 비교적 공학적으로 정확한 결과를 얻을 수 있다는 점 등이다. 하지만 유전체기판의 두께가 두꺼워지면 해석이 곤란하다는 단점이 있다.

본 연구에서는 기존에 사용되고 있는 900 MHz대 무선전화기용 헬리컬 안테나를 대체할 수 있는 유전체 세라믹 안테나의 개발을 목적으로 하고 있는데, 무선전화기용 인쇄회로기판(PCB)으로의 실장을 고려할 때 안테나 크기의 제약이 따르므로 최적의 유전체 기판재료의 선정이 우선되어야 하며, 이렇게 정해진 재료의 물성데이터(유전률, 손실탄젠트, 재료 품질계수 등)를 바탕으로 최적 설계인자를 도출하고자 특성 시뮬레이션을 행하였다. 설계의 절차는 다음과 같다. i) 희망 공진주파수(f_r)를 바탕으로 유전상수(ϵ_r)와 기판두께를(h)를 결정한다. ii) 패치의 폭(W)과 길이(L)를 결정한다. iii) 유효 유전률을 근거로 해서 패치길이를 조정한다.

2.1. 패치크기

공진주파수와 기판재료가 정해지면 식 (1)에 의해 유전체 세라믹 안테나의 패치폭(patch width, W)을 구할 수 있다.

$$W = \frac{1}{2f_r \sqrt{\mu_0 \epsilon_0}} \sqrt{\frac{1}{\epsilon_r + 1}} = \frac{v_0}{2f_r} \sqrt{\frac{2}{\epsilon_r + 1}} \quad (1)$$

여기서 f_r 은 공진주파수, μ_0 는 진공에서의 투자율($4\pi \times 10^{-7}$ H/m), ϵ_0 는 진공에서의 유전률, v_0 는 전자기파의 속도이다.

유전체 세라믹 안테나에 있어서 패치의 크기는 유한하기 때문에, 패치길이방향의 가장자리부에서 전기장의 왜곡을 일으키는 프링지효과(fringing effect)를 나타내게 되므로 유효유전률(ϵ_{eff})의 개념을 도입하게 된다. 유효유전률은 Schneider 공식에 의해 기판의 두께와 패치의 폭의 함수로서 나타난다.⁸⁾

$$\epsilon_{\text{eff}} = \frac{\epsilon_r + 1}{2} + \frac{\epsilon_r - 1}{2} \left[1 + 12 \frac{h}{W} \right]^{-\frac{1}{2}} \quad (2)$$

여기서 h는 유전체 세라믹기판의 두께이다.

이러한 가장자리 효과로 인해 패치의 크기는 전기적으로는 실제의 크기보다 더 크게 나타나게 된다. 그러므로 패치의 길이를 결정함에 있어 유효유전률, 패치폭과 기판두께간의 비(W/h)에 의해 결정되는 길이의 확장량(ΔL)을 고려해서 Hammerstad 공식에 의해 보상설계를 해야 한다.⁹⁾

$$\Delta L = 0.412h \frac{(\epsilon_{\text{eff}} + 0.3) \left(\frac{W}{h} + 0.264 \right)}{(\epsilon_{\text{eff}} - 0.258) \left(\frac{W}{h} + 0.86 \right)} \quad (3)$$

여기서 패치의 실제 길이를 L 이라 하면 유효길이(L_{eff})는 다음과 같이 구해진다.

$$L_{\text{eff}} = L + 2\Delta L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \quad (4)$$

주모드로서 TM₀₁₀ 모드만을 고려할 경우 패치의 실제 길이는 유효유전률과 그로 인한 길이 확장량에 의해 구할 수 있다.

$$L = \frac{v_0}{2f_r \sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} - 2\Delta L \quad (5)$$

2.2. 성능지수(figure-of-merit)

안테나의 설계에 있어 중요사항은 고효율, 광대역 특성을 만족시키기 위해서는 상호 종속적인 각종변수들을 최적화해야 한다는 것이다. 일반적으로 안테나의 특성을 결정하는 성능지수에는 품질계수(quality factor), 대역폭(bandwidth), 효율(efficiency) 등이 있다. 이들은 독립적인 설계가 불가능하며, 상호 종속적이므로 안테나의 기본 성능을 저해하지 않는 범위에서 서로 보상되어서 설계되어야 한다.

품질계수(quality factor)²⁾는 안테나에서 발생하는 손실을 나타내는 특성인자로서 i) 복사에 의한 손실, ii) 전도성 패치와 접지 면에서의 온도상승에 따른 손실, iii) 유전손실, iv) 표면파의 진행에 의한 손실 등에 의해 결정된다. 복사손실에 의한 품질계수(Q_r)^{2),10)}는

$$Q_r = v_0 \frac{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}}{4f_r h} \quad (6)$$

σ 를 패치 및 접지 전극의 전도도라고 할 경우, 전도성손실(Q_c)은

$$Q_c = h \sqrt{\pi} t_r \mu_0 \mu_r \sigma \quad (7)$$

유전손실(Q_d)은 유전체 재료기판의 손실탄젠트($\tan \delta$)의 역수로서

$$Q_d = \frac{1}{\tan \delta} \quad (8)$$

이고, 표면파손실(Q_{sw})은 기판이 매우 얇을 경우에는 무시할 수 있으므로,¹¹⁾ 전체 품질계수는 다음과 같이 주어지게 된다.²⁾

$$Q_r = \frac{1}{1/Q_c + 1/Q_d + 1/Q_{sw}} \quad (9)$$

여기서 μ_r 은 투자상수이다.

대역폭(bandwidth)도 역시 안테나의 특성을 결정하는 중요한 성능지수로서, 일반적으로 사용되는 안테나의 대역폭에 대한 정의는 안테나가 동작 가능한 주파수 범위를 말한다. 하지만 안테나의 종류에 따라 동작 기준이 다르므로 대역폭 또한 그 정의가 달라지게 된다. 근본적으로 강한 공진 소자인 유전체 세라믹 안테나의 경우 동작기준을 제한하는 변수가 임피던스이므로, 대역폭을 결정하는 정의로서 임피던스 대역폭(impedance bandwidth)을 사용한다. 유전체 세라믹 안테나에 있어서는 주파수에 따른 전달특성의 변화는 안테나와 급전선간 임피던스정합 정도에 의해 제한된다.

만일 안테나가 전송선로와 정합이 이루어졌다면 공진시 발생하는 공진 불일치는 전압정재파비(voltage standing wave ratio, rm VSWR)에 연관되는데, 이는 안테나 대역폭을 정의하는 요인이 된다. 안테나의 비대역폭(relative bandwidth)은 품질계수(Q_1)와 전압정재파비에 의해 다음과 같이 정의된다.

$$\frac{\Delta f}{f_r} = \frac{VSWR - 1}{Q_1 \sqrt{VSWR}} \times 100(\%) \quad (10)$$

한편 안테나의 효율(efficiency, η)은 입사전력에 대한 복사전력의 비로서 정의되며 성능지수의 항으로서 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = Q_r / Q_t \times 100(\%) \quad (11)$$

2.3. 입력임피던스

직사각형 유전체 세라믹 안테나에 있어 패치폭과 나

란한 방향의 슬롯에 대한 등가의 어드미턴스는 컨덕턴스 G_1 과 서셉턴스 B_1 으로 구성된다. 유전체 기판의 두께가 매우 얇고(h/λ_0), 유한한 크기의 패치 폭을 갖는다고 가정하면,¹²⁾

$$G_1 = \frac{W}{120} \left[1 - \frac{1}{24} (k_0 h)^2 \right] \quad (12)$$

$$B_1 = \frac{W}{120} \left[1 - 0.636 \ln(k_0 h) \right] \quad (13)$$

가 되는데, 여기서 $k_0 (=2\pi/\lambda_0)$ 는 진공에서의 파수(wave number)를 나타낸다. 그리고 슬롯간의 상호 컨덕턴스(mutual conductance), G_{12} 는 far-field zone에서¹³⁾

$$G_{12} = \frac{1}{120\pi^2} \int_0^\pi \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\cos \theta} \right]^2 J_0(k_0 L \sin \theta) \sin^2 \theta d\theta \quad (14)$$

이다.

스트립라인 급전방식을 채택하고 있는 본 유전체 세라믹 패치 안테나의 경우에는 급전선로의 특성임피던스(Z_c)는 유전체기판의 두께에 대한 급전선로의 상대적인 폭(W_0)에 의해 다음과 같이 주어진다.^{2,13)}

$$Z_c = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \ln \left[\frac{8h}{W_0} + \frac{W_0}{h} \right], \quad \frac{W_0}{h} \leq 1 \quad (15a)$$

$$= \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{\text{eff}}}} \left[\frac{W_0}{h} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{W_0}{h} + 1.444 \right) \right], \quad \frac{W_0}{h} \geq 1 \quad (15b)$$

따라서 급전 개시점의 위치(y_0)에 대한 입력임피던스를 구해보면 다음과 같다.

$$Z_m(y=y_0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \left[\cos^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right) + \frac{G_1^2 + B_1^2}{Y_c^2} \sin^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right) - \frac{B_1}{Y_c} \sin\left(\frac{2\pi}{L}y_0\right) \right] \quad (16)$$

여기서 Y_c 는 특성 어드미턴스($=1/Z_c$)이며, 일반적인 유전체 세라믹 스트립라인 안테나에서는 $G_1/Y_c \ll 1$, $B_1/Y_c \ll 1$ 이므로 간략화 하면,

$$Z_m(y=y_0) = \frac{1}{2(G_1 \pm G_{12})} \cos^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right) = Z_m(y=0) \cos^2\left(\frac{\pi}{L}y_0\right) \quad (17)$$

요업학회지

으로 고쳐 표현할 수 있는데, 슬롯의 가장자리에서 임피던스가 최대가 되며, 패치의 중간에서 최소가 됨을 알 수 있다.

2.4. 방사패턴(radiation pattern)

유전체 세라믹 스트립라인 안테나에 있어서 전기장 E-평면과 자기장 H-평면상의 방사패턴(radiation pattern)을 분석함으로써 지향성(directionality)을 관찰할 수 있다.

먼저 far-field 영역($r = \frac{2L^2}{\lambda}$)의 경우 주된(principal) E-평면($\theta = 90^\circ$, $0^\circ \leq \phi \leq 90^\circ$ & $270^\circ \leq \phi \leq 360^\circ$)에서의 방사패턴은 다음 식으로부터 유도할 수 있다.

$$E_\phi = -j \frac{2k_0 W h E_0 e^{-j k_0 r}}{\pi} \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 h}{2} \cos \phi\right)}{\frac{k_0 h}{2} \cos \phi} \right] \cos\left(\frac{k_0 L}{2} \sin \phi\right) \quad (18)$$

그리고 주된(principal) H-평면($\phi = 0^\circ$, $0^\circ \leq \theta \leq 180^\circ$)에서도 마찬가지로 far-field 영역에서 구해보면 다음 식으로 나타난다.

$$E_\theta = -j \frac{2k_0 W h E_0 e^{-j k_0 r}}{\pi} \left[\frac{\sin\left(\frac{k_0 h}{2} \sin \theta\right) \sin\left(\frac{k_0 W}{2} \cos \theta\right)}{\sin \theta \frac{k_0 h}{2} \sin \theta - \frac{k_0 W}{2} \cos \theta} \right] \quad (19)$$

여기서 $E_0 = j\omega A_{010}$ 이고, A_{010} 는 010모드의 vector potential이다.

3. 안테나 특성 시뮬레이션

3.1. 최적기판의 선택

900 MHz대 무선전화기 탑재용으로 PCB내 실장을 최종적인 목표로 하는 본 패치안테나의 경우에는 제품의 크기에 제약이 가해지므로, 전반적인 안테나특성을 만족시키기 위해서는 상관적인 특성의 보상설계에 의한 최적화가 이루어져야 한다. 이러한 요구를 만족시키기 위해 충분한 경향의 분석이 필요하므로, 가상의 큰 유전율을 테이타를 넣어 유전율을 따른 i) 안테나패치의 폭(W)과 길이(L)의 변화(Fig. 2), ii) 품질계수 및 안테나 효율의 변화(Fig. 3), iii) 안테나 이득의 변화(Fig. 4) 등을 시뮬레이션을 통해서 분석하였다. 분석결과에서 알 수 있듯이 기판의 유전율이 90일 때 패치의 크기의 변화

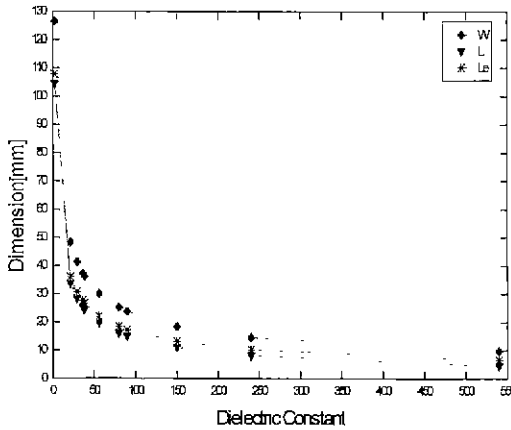


Fig. 2. Variation of antenna size as a dielectric constant.

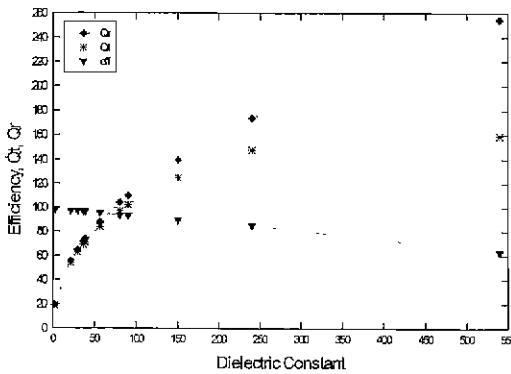


Fig. 3. Variation of quality factor and efficiency as a dielectric constant.

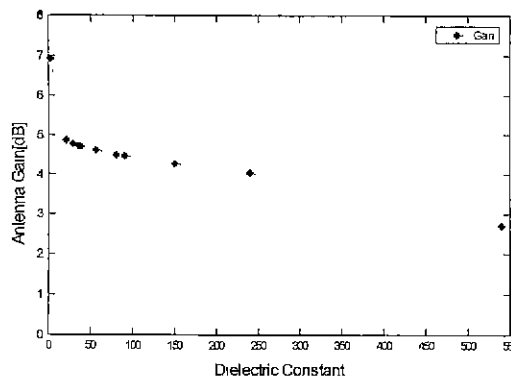


Fig. 4. Variation of antenna gain as a dielectric constant.

율이 완만해질 뿐만 아니라 무선전화기의 실장에 적당한 크기를 가지며, 80%이상의 효율을 얻을 수 있으므로 본 안테나의 기본적인 요구조건을 만족시킬 수 있는 것으로 밝혀졌다.

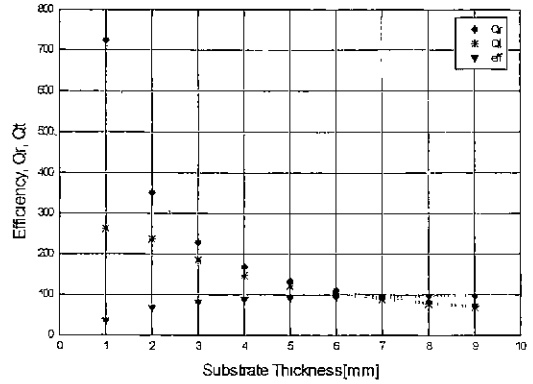


Fig. 5. Variation of quality factor and efficiency as a substrate thickness of dielectric material.

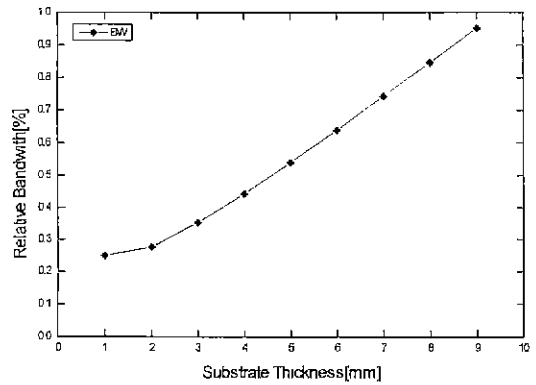


Fig. 6. Variation of antenna bandwidth as a substrate thickness of dielectric material.

3.2. 최적 기판두께 설정

무선전화기를 인쇄회로기판(PCB)에 실장하려면 사용 부품의 경박단소화는 필수적인데, 효율이나 대역폭 특성에 열화를 가져오지 않는 범위 내에서 기판 두께는 최적화에 의해 적절히 얇아져야 한다. 따라서 앞의 결과로 구한 유전률 90인 기판재료와 그에 따른 최적 패치폭에 대해서 무선전화기에 내장을 고려한 기판 두께에 따른 안테나 효율과 대역폭의 변화에 대해 특성 시뮬레이션을 행하였다. 그 결과 80% 이상의 효율(Fig. 5)과 0.1% 이상의 비대역폭(Fig. 6)을 얻기 위해서는 유전체기판의 두께가 3 mm 정도일 때 최적임을 알 수 있다.

3.3. 방사패턴분석

유전률이 90이고, 두께가 3 mm인 유전체기판을 사용하여 설계한 유전체 세라믹 스트립라인 패치안테나의 지향성을 분석하기 위해 주된(principal) E-평면상에서의 방향에 따른 방사패턴의 변화를 cavity model로 시뮬레이션 하였다. Fig. 7에서 보면 알 수 있듯이 무지향

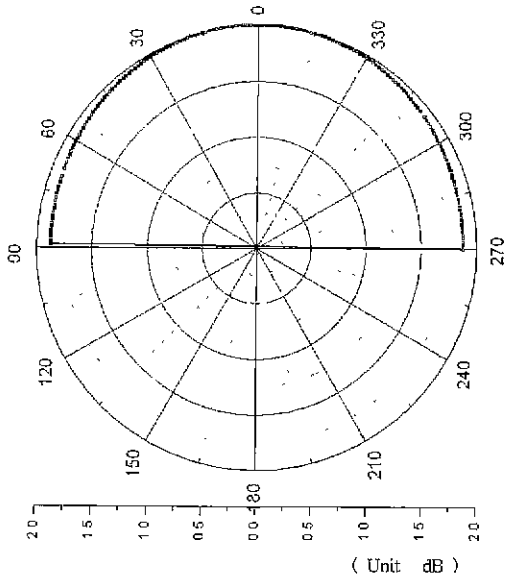


Fig. 7. Radiation pattern of principal E-plane (fat-field).

(omni-direction) 특성을 가짐을 알 수 있다.

4. 유전체 세라믹 안테나의 제작

2절의 이론적 배경과 3절의 시뮬레이션 결과를 기본으로 해서 스트립 급전선로를 갖는 900 MHz대 유전체 세라믹 안테나를 turbo-c programming과 mathematica를 이용하여 설계하였다. 현재 사용중인 무선전화기의 RF단의 수·송신 중심주파수는 914.5 MHz와 959.5 MHz로서 최적재료도를 시뮬레이션 결과에 따라 구해진 BSMT계열의 상용 재료인 유전률 92, 두께가 3.16 mm인 유전체 세라믹을 이용하여 패치안테나를 설계, 제작하였다. 수신 중심주파수인 914.5 MHz를 구현하기

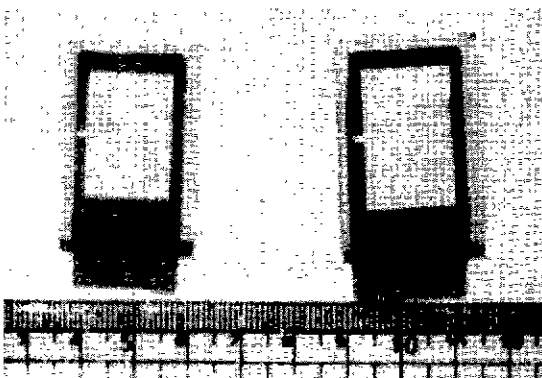


Fig. 8. Photography of manufactured antennas. (transmitter : left, receiver : right)

위해서는 패치의 폭(W)은 23.70 mm이고, 길이(L)는 15.68 mm이다. 송신 중심주파수인 959.5 MHz를 구현하기 위한 패치의 폭(W)은 19.99 mm이고, 길이(L)는 14.93 mm이다. 안테나의 패치를 만들 때에는 치수의 정밀성을 요구하기에, emulsion mask를 제작하여서 screen printing방법으로 형성된 Ag전극의 일부분을 에칭시켜 제작하였다. 그리고 이렇게 시제작된 유전체 세라믹 안테나의 사진을 Fig. 8에 나타내었고, 송·수신용 두 개의 안테나를 하나의 인쇄회로기판에 실장하여서, BNC 커넥터와 50 Ω 케이블을 연결하여 중심주파수를 측정된 것을 Fig. 9에 나타내었다. 그리고, 그 때의 안테나 특성을 Table 1에 나타내었고, 시제작 송신용 안테나를 무선전화기의 본체에 내장하여 EMC chamber안에서 3m의 거리를 두어서 안테나 방사패턴의 특성을 측정된 결과를 Fig. 10에 나타내었다. 본 연구에서 개발된 마이크로 스트립라인형 유전체 안테나가 우수한 무지향

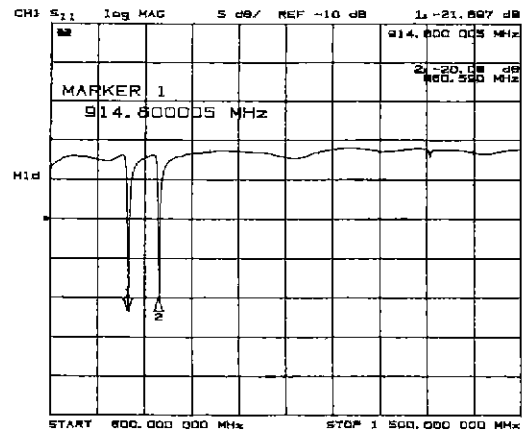


Fig. 9. Transmitter and receiver resonance frequency of manufactured antennas.

Table 1. Characteristics of Manufactured Antennas

	Transmitter	Receiver
Dielectric constant(ϵ_r)	91.12	91.12
Effective dielectric constant(ϵ_{eff})	72.59	73.60
Relative bandwidth	0.15%	0.40%
Qr	210.6	222.8
Qc	1527	1490
Qd	3003	3003
Qt	174.3	182.1
Efficiency	82.8%	81.7%
Resonance frequency	959.2 MHz	914.1 MHz
SWR	1.25	2.04
Impedance	58.9 ohm	67.4 ohm
Weight	9.27 g	10.24 g

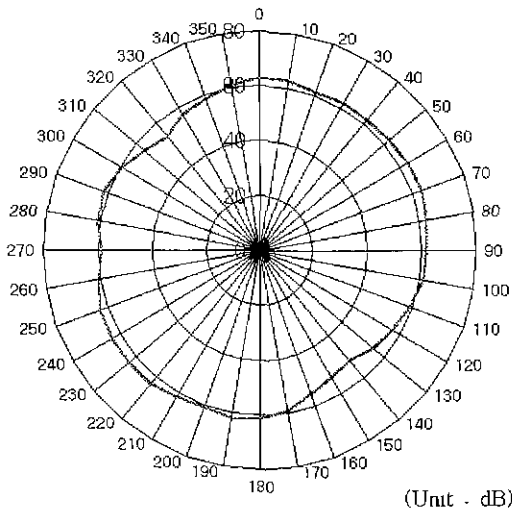


Fig. 10. Radiation pattern of manufactured antenna.

특성을 나타내며, 전 방위에 걸쳐 더 높은 감도특성을 가짐을 알 수 있다.

따라서, 본 논문에서 제시한 유전체 세라믹 안테나의 해석과 이를 바탕으로 최적구조의 설계와 그 결과로 제작한 안테나의 특성이 우수하다는 것이 Fig. 10으로 증명되었다.

5. 결 론

본 논문에서는 900 MHz대의 무선전화기에 응용하고자 스트립선로 급전방식을 가지고 직사각형 패치를 가지는 마이크로 스트립형 유전체 세라믹 안테나를 해석하고, 이를 이용하여서 다양한 특성시뮬레이션을 하였고, 그 설계 결과를 토대로 시작품을 제작하였다. 설계과정에서 계산의 정확도 향상과 설계변수들간의 보상을 위해 각 변수들의 최적화 작업을 거쳤다. 이렇게 제작되어 실장된 유전체 세라믹 패치안테나는 방사패턴(radiation pattern)이 모든 방향에서 일정한 지향성을 갖는 무지향(omni-direction) 특성이 우수하다는 것이 밝혀졌으며, 식 (6), (9), (11)에 의하여 구하여진 안테나의 효율 또한 80%이상으로 나타났다. 그러므로 유전체 세라믹 안테나는 기존의 안테나를 대체할 수 있고, 무선전화기에 실장되어서, 크기가 작고 내장이 가능하며, 더욱 다양한 디자인과 좋은 특성을 가지는 통신단말기의 개발을 가능케 할 수 있다.

향후 계속 이루어져야 할 연구내용으로는 보다 특성이 우수한 유전체재료의 개발과 더불어 정밀한 제작공정이 이루어져, 본 연구에서 제시한 방법에 의한 안테나의 다양화를 들 수 있겠다. 본 연구의 결과는 기존 통신단말기의 안테나들 보다 특성이 우수한 유전체 세라믹 안테나를 설계, 제작하는데 유용하게 사용될 수 있을 것이다.

REFERENCES

1. D. M. Pozar and D. H. Schaubert, "Microstrip Antennas-The Analysis and Design of Microstrip Antennas and Arrays," *IEEE Press*, pp.375-377. (1995).
2. K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip Antenna Technology," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-29**(1), 2-24 (1981).
3. J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Vols. 1 and 2, Peter Peregrinus, London, UK, pp.75 (1989).
4. I. E. Rana and N. G. Alexopoulos, "Current Distribution and Input Impedance of Printed Dipoles," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-29**(1), 99-105 (1981).
5. Y. T. Lo, D. Solomon and W. F. Richards, "Theory and Experiment on Microstrip Antennas," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-27**, 137-145 (1975).
6. W. F. Richards, Y. T. Lo. and D. D. Harrison, "An Improved Theory for Microstrip Antennas and Applications," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-29**, 38-46 (1981).
7. A. G. Derneryd, "Analysis of the Microstrip Disk Antenna Element," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-27**, 660-664 (1979).
8. C. A. Balanis, *Advanced Engineering Electromagnetics*, John Wiley & Sons, New York, pp.54-59, (1989).
9. E. O. Hammerstad, "Equations for Microstrip Circuit Design," *Proc. Fifth European Microwave Conf.*, pp. 268-272, September (1975).
10. I. J. Bahil and P. Bhartia, *Microstrip Antennas*, Artech House, Dedham, MA, pp.60, (1980).
11. R. J. Mailloux, J. F. McIlvenna and N. P. Kernweis, "Microstrip Array Technology," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-29**, 25-37, (1981).
12. R. F. Harrington, *Time-Harmonic Electromagnetic Fields*, McGraw-Hill Book Co., pp.183, (1961)
13. A. G. Demeryd, "A Theoretical Investigation of the Rectangular Microstrip Antenna Element," *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, **AP-26**(4), 532-535 (1979).