

소형 고이득 Bluetooth용 칩형 유전체 안테나 설계

The Design of Small Size and High Gain Chip Ceramic Dielectric Antenna for Bluetooth Application

문정익* · 박성욱* · 이덕재** · 왕영성** · 이충국**

Jung-Ick Moon* · Seong-Ook Park* · Duck-Jae Lee** · Yong-Seong Wang** · Chung-Kook Lee**

요 약

본 논문에서는 meander line을 이용한 소형 유전체 안테나 모델을 제안하고 이에 대한 계산과 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다. 그 결과, 방사전극의 형성면을 substrate의 전면과 후면에도 적용하고 세라믹 유전체의 크기가 8×4×1.5 mm 인 알루미나와 두께가 1.0 mm 인 substrate(FR-4)상에 방사전극을 형성하여 VSWR<1.5 인 범위에서 Bluetooth용 주파수 대역을 포함하는 성능을 보였다. 또한, 방사패턴은 일반적인 모노폴 안테나와 유사하고 측정된 최대 방사이득은 1.7 dBi로 상용화가 가능한 안테나 모델을 선보였다. 따라서, 본 논문에서 제안하는 표면 실장형 유전체 안테나는 현재의 안테나 소형화 문제와 방사이득을 개선하는 해결수단이 될 수 있으리라 본다.

Abstract

This paper proposed a novel chip type ceramic dielectric antenna by using the advanced meander line technique that the radiational metals are formed on the face of ceramic dielectric(8×4×1.5 mm, alumina) and both faces of substrate(1.0 mm thickness, FR-4). The performance of the antenna model has a good agreements between measurements and computed results. Resultly, it has a 10 dB return-loss bandwidth(2.4~2.4835 GHz) and 1.7 dBi measured radiation gain for Bluetooth application. The proposed antenna model can overcome the limited radiation of the small-sized antenna.

I. 서 론

현재의 이동 통신 시장은 매우 빠른 속도로 변화하고 규모의 성장성도 예측하기 어려울 만큼 유동적이다. 이동 통신용 장치에 사용되고 있는 RF부품의 종류는 매우 다양하며 그 중에 하나인 안테나는 이미 오래 전부터 많은 연구를 통하여 우수한 제품들이 생산되고 있는 상황이다. 안테나의 기능은 통신기기에서 인위적으로 만든 전기적인 신호를 전자기파로 변환하여 대기 중으로 송수신을 하는 것이

다. 따라서, 효율적인 송수신을 위해선 안테나의 감도, 대역폭, 방사패턴 등을 안테나의 기본적인 설계요소로 고려하는 것이 일반적이다. 그러나, 최근에는 이동 통신 장치와 소자들의 소형화 추세에 맞추어 안테나 역시 소형화, 경량화라는 요소를 고려해야 함은 물론이거니와 RF 모듈들과 동일한 PCB상에서 장착이 가능하고 외부에 노출되지 않도록 내장형으로 모델링을 해야 하는 상황이다.

안테나의 소형화를 위한 방법은 다양하게 연구되고 있으며 안테나로 사용되는 유전체가 가지고 있

* 한국정보통신대학교(Information and Communications University)

** 래트론(Lathron Co., Ltd.)

· 논문 번호 : 20010709-089

· 수정완료일자 : 2001년 8월 14일

는 물성을 이용하는 방법과 전류가 흐를 수 있는 금속패턴의 전기적인 길이를 동일 면적내에서 최대한 늘여 낮은 주파수에서 공진을 일으킬 수 있는 방법들이 주류이다. 그 중 세라믹을 이용한 DRA (Dielectric Resonator Antenna)는 최근 몇년간 세계적으로 큰 이슈가 되고 있어 이미 일본의 무라타社를 비롯한 여러 안테나 회사들은 휴대폰용 뿐만 아니라 Bluetooth 서비스를 위한 다양한 상용화 제품들을 시판하고 있으며 국내에서도 여러 기업들이 개발하고 있는 상황이다. DRA는 사용 유전체의 비유전율이 낮을수록 높은 방사효율을 가질 수 있고 높은 유전율을 사용할 경우 같은 공진주파수를 가지는 다른 종류의 안테나보다 크기를 더욱 줄일 수 있는 장점을 가지고 있다.^{[1],[2]}

그러나, 세라믹은 특성상 충격에 약하고 임피던스 정합을 위한 튜닝이 곤란한 경우가 많다. 또한, 비유전율이 높은 물질을 사용할 경우에 대역폭이 좁아지는 문제점을 가지고 있어 여러 종류의 세라믹을 수직이나 수평으로 다층 구조를 만들어 협대역 문제를 해결하려는 노력을 기울이고 있다.^{[3]-[7]}

이러한 DRA는 유전체 내부의 공진모드와 유전체가 가지고 있는 비유전율 등의 물성에 대한 의존도가 높아 L-band, S-band 용 안테나를 설계할 경우 실제 상용화가 가능한 안테나 크기를 가질 수 없게 되는 단점이 발생한다.

따라서, 최근에는 세라믹 유전체내의 전자계 공진현상은 무시하고 세라믹 유전체 상에 금속패턴을 적절한 길이로 형성시켜 안테나의 공진을 일으키는 연구가 활발히 진행되고 있다.^{[8]-[11]} 이 같은 설계의 장점으로는 첫째, 유전체의 크기에 의해 좌우되던 공진주파수의 위치가 전류가 흐르는 금속패턴의 전기적인 길이와 폭에 밀접한 관계를 가지게 되어 제작 후 튜닝작업이 용이해진다. 둘째, 유전체의 내부에 동축케이블의 내심을 삽입시키거나 aperture feeding을 통하여 전자계를 유도시키는 경우 유전체 내부에서 발생하는 전자계 에너지의 손실량이 커서 안테나의 방사효율이 줄어든다. 그러나, 유전체 상의 전극을 통해 전류가 흐를 경우 발생하는 전자계 에너지는 안테나의 외부로 쉽게 방사가 될 수 있으므로 방사효율을 증가시키는 장점을 가질 수 있다. 셋째, 공진주파수가 세라믹 유전체의 높이나 특정부

분의 길이에 대한 의존도가 낮아지게 되어 유전체 기판상에 두께가 얇은 세라믹을 사용하여 안테나를 구현할 수 있다. 따라서, 기판상에 표면 실장이 가능할 뿐만 아니라 내장형 안테나 모델 구현이 용이해진다.

이상과 같이 금속패턴을 substrate 혹은 세라믹 유전체 상에 형성하는 유전체 안테나의 경우는 기본적으로 모노폴이나 헬리컬 안테나 구조를 응용한 것이라 할 수 있고 이러한 모델들이 가지는 방사패턴 또한 모노폴 안테나와 유사하다.

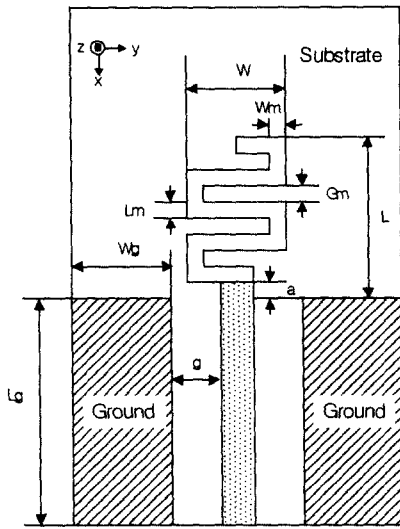
본 논문에서는 DRA 안테나의 설계기술 연구 중 하나로 meander line을 응용하여 크기를 최소한으로 하고 높은 방사효율을 가지는 Bluetooth 용 세라믹 유전체 안테나 모델을 제안하였다. 제안된 안테나에 사용된 유전체는 $8.0 \times 4.0 \times 1.5$ mm의 알루미늄 ($\epsilon_r = 9.3$)이며, 측정을 통하여 공진주파수는 2.45 GHz, 10 %의 대역폭(VSWR<2)과 최대방사효율이 1.7 dBi인 안테나 성능을 확인할 수 있었다.

II. 본 론

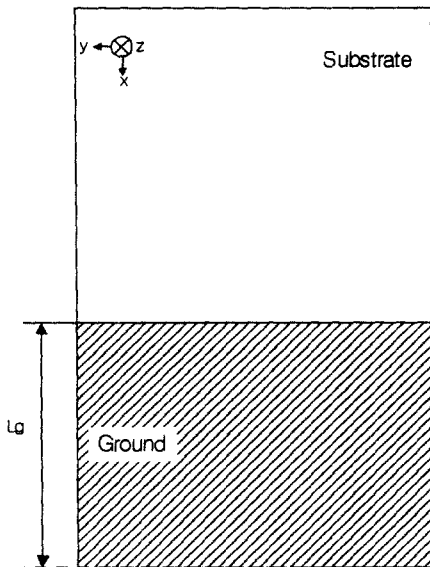
2-1 Meander line을 이용한 표면 실장형 안테나 모델(I)

표면 실장형 안테나의 모델은 아래 그림 1과 같이 substrate상에 금속패턴을 형성하거나 금속패턴을 입힌 직육면체 세라믹 유전체 안테나를 substrate 상에 부착하고 CPW(Co-Planar Waveguide)나 microstrip line과 같은 급전법을 사용하여 설계하는 것이 일반적이다. 또한, substrate의 뒷면에 있는 접지면 일부를 제거함으로써 접지면상에 수직으로 세워져 있는 모노폴 안테나와 유사한 동작원리를 가지게 된다. 따라서 방사패턴은 omni-direction하여 substrate의 후방으로 전자파의 방사가 일어나므로 단말기용 내장형 안테나 모델로 설계할 경우에 전파흡수체를 substrate의 후면에 부착하여 방사에너지를 줄이는 설계방법도 선보이고 있다.

그림 1은 meander line을 이용한 표면 실장형 안테나의 전면과 후면을 보여주고 있다. 앞면에는 CPW와 연결된 meander line이 존재하고 후면에는 전면과 급전부가 존재하는 부분에만 접지면이 있으므로 안테나의 전체길이를 줄일 수 있는 중요한 역



(a) 전면도



(b) 후면도

그림 1. Meander line을 이용한 표면 실장형 안테나
Fig. 1. The surface mountable antenna using the meander line(front, back side).

할을 하게 된다. 여기에서 앞면의 meander line을 대신하여 단순히 직선형 도체가 방사전극이 되는 경우를 고려해 볼 수 있는데, 안테나의 성능면에서는

두가지 경우 큰 차이가 없을 수 있으나 안테나가 점유하게 될 면적을 생각해 본다면 위의 meander line이 유리할 수 있다.

다음 그림 2는 meander line구조를 이용하여 Bluetooth 대역용으로 설계한 안테나의 반사손실을 나타내고 있다. 최적화시킨 각 변수들의 값들은 $W=7$ mm, $W_m=1.5$ mm, $L=15.5$ mm, $L_m=G_m=1.5$ mm, $a=2$ mm, $W_g=17.4$ mm, $L_g=30$ mm, $g=1.7$ mm 이며 substrate는 두께가 1.0 mm 인 FR-4($\epsilon_r = 4.6$)를 사용하였다^[12].

그림 2에서 알 수 있듯이 2.46 GHz에서 공진이 일어나고 있으며 대역폭은 500 MHz 이상으로 Bluetooth용 주파수 대역(2.4~2.4835 GHz)을 충분히 포함하고 있다.

다음으로 meander line을 사용한 평면 안테나에서 설계 파라미터들에 대한 각각의 공진특성을 살펴보도록 하겠다. 기판의 두께와 비유전율에 대한 변화는 일반적인 평판형 안테나의 성질에서 알 수 있듯이 사용 기판의 두께가 두껍고 비유전율이 높을수록 공진은 낮은 주파수에서 발생한다. 따라서, 본 논문에서는 이점에 대해 언급만 하고 정량적인 값은 제시하지 않는 대신에 변수 G_m 을 1.0 mm에서 2.0 mm까지 변화시킨 경우와 W_m , L_m 을 0.5에서 2.0 mm까지 변화시킨 경우, W 를 5에서 8 mm까지 변화시킨 경우에 대한 공진점과 반사손실의 변화를

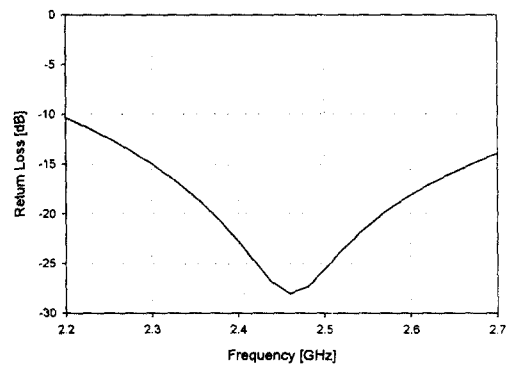


그림 2. Meander line을 이용한 안테나의 반사손실 (계산치)

Fig. 2. The return loss of the antenna using the meander line.

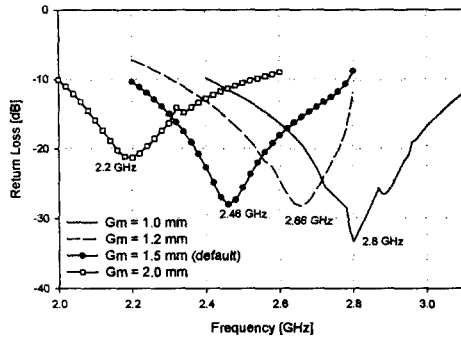


그림 3. G_m 의 변화에 따른 반사손실의 변화
 Fig. 3. The variation of return loss according to the G_m 's length.

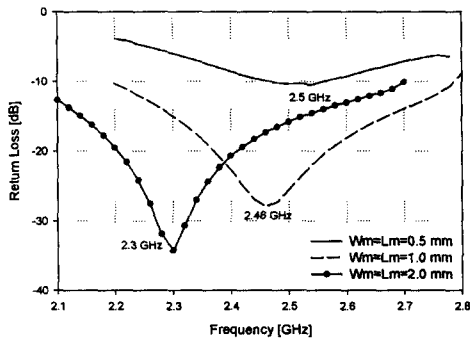


그림 4. W_m, L_m 의 변화에 따른 반사손실의 변화
 Fig. 4. The variation of return loss according to the W_m, L_m 's length.

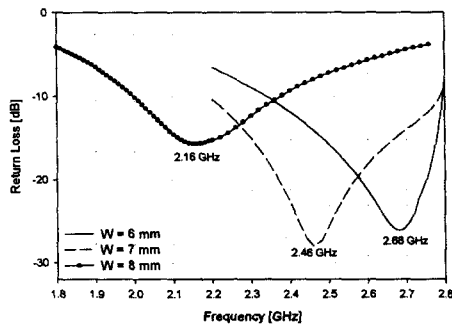


그림 5. W 의 변화에 따른 반사손실의 변화
 Fig. 5. The variation of the return loss according to the W 's length.

그림 3에서 그림 5까지 보여주고 있다.

계산 결과에서 알수 있듯이 G_m, W_m, L_m, W 의 증가로 인해 안테나에서 전류가 흐를 수 있는 경로의 길이가 늘어나서 긴 파장을 가진 전자파가 공진을 일으킬 수 있는 조건을 제공하여 공진주파수가 낮아지게 되고, 경로의 길이가 감소할 경우는 그 반대가 되어 높은 주파수에서 공진이 발생하게 된다.

지금까지 meander line을 이용한 평면형 안테나 모델에 대해 간단히 공진특성을 살펴보았다. 결국, 표면 실장형 안테나 모델을 소형으로 설계하기 위해 X축으로만 뻗어 있는 직선형의 방사전극에 대해 길이를 줄이는 대신 meander line를 사용하여 Y축 방향으로 늘이는 방법을 사용하였으며 다음 절부터 소개하게 될 안테나 모델은 세라믹 유전체를 사용하여 Z축으로 방사전극의 전기적인 길이를 증가시켜 소형화한 것이다.

2-2 Meander line을 이용한 표면 실장형 안테나 모델(II)

2-2-1 세라믹 유전체를 이용한 표면 실장형 안테나(I)

그림 6은 substrate상의 meander line을 직육면체 세라믹 유전체 상에 부착한 안테나 모델을 나타내고 있다. 이 경우에 공진주파수는 방사전극 길이와 substrate의 비유전율 뿐만 아니라 세라믹 유전체의 높이와 크기 그리고 비유전율에 의존하게 된다. 다음 그림 7은 위의 안테나 모델을 Bluetooth용으로 설계하고 ($W_m=L_m=G_m=1.5$ mm, $a=2$ mm, 알루미늄($\epsilon_r=9.3, 13.5 \times 7 \times 1$ mm)) 반사손실을 계산한 결과를 보여주고 있다.

그림 7의 계산결과는 그림 2의 결과와 거의 같고 그림 1의 모델과 비교해 본다면 15×7 mm 인 안테나를 13.5×7 mm로 줄이는 대신 Z 축으로 1 mm 늘여서 같은 공진효과를 얻을 수 있음을 알 수 있다.

그림 8은 세라믹 유전체의 비유전율을 3.4에서 21까지 변화시켰을 때 공진주파수의 변화를 보여주고 있다. 세라믹 유전체의 비유전율이 증가할수록 공진주파수가 낮아지고 있으며 비유전율과 공진주파수의 변화는 거의 선형적임을 알 수 있다. 그러나,

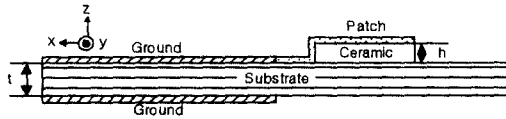
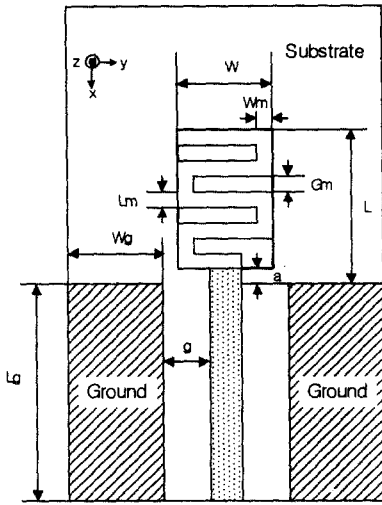


그림 6. 표면 실장형 세라믹 유전체 안테나(I) 모델
Fig. 6. The surface mountable ceramic antenna model(I).

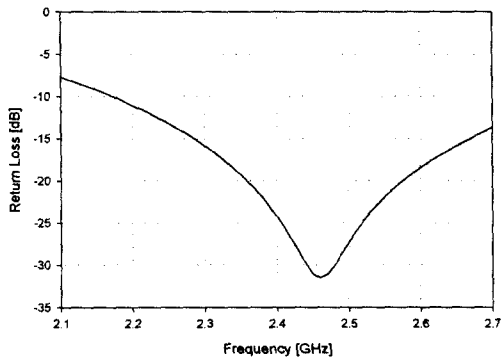


그림 7. 표면 실장형 세라믹 유전체 안테나(I)의 반사손실
Fig. 7. The return loss of the surface mountable ceramic antenna(I).

이러한 결과에만 근거하여 비유전율이 높은 세라믹 유전체를 사용하여 안테나를 설계할 경우 손실에너지 증가와 유전체의 부피 감소로 인한 방사전극의

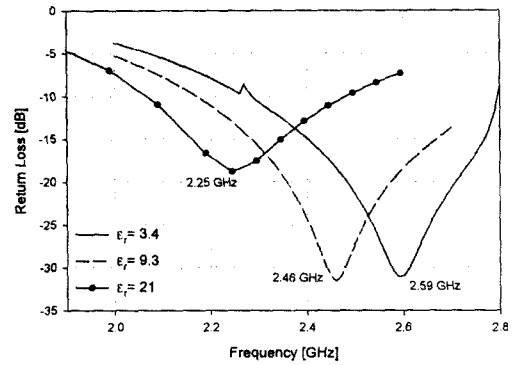


그림 8. 세라믹 유전체의 비유전율 변화에 따른 반사손실 변화
Fig. 8. The variation of return loss according to the relative permittivity.

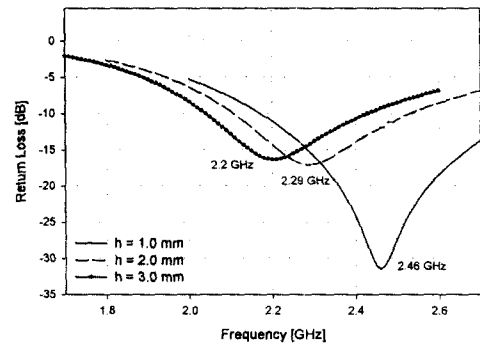


그림 9. 세라믹 유전체의 높이(h) 변화에 따른 공진 주파수 변화
Fig. 9. The variation of resonant frequency according to the ceramic dielectric's height.

면적 감소로 방사이득이 줄어드는 결과를 얻게 되므로 가급적 낮은 비유전율을 가진 유전체를 사용하여 안테나를 소형화 하는 것이 유리하다.

다음으로 세라믹 유전체의 높이(h)에 따른 공진 특성을 살펴보도록 하자. 앞서 모노폴 안테나의 경우에서 기판의 두께가 증가할수록 공진주파수가 낮아지는 것과 유사하게 유전체의 높이를 증가시킴으로써 공진주파수를 낮추는 효과를 얻을 수 있다. 이것은 전류가 자유공간상에 놓여 있는 도체에서 흐르지 않고 유전체 상의 도체를 따라 흐를 경우 전류

가 느끼는 실효 비유전율(effective relative permittivity) 값이 증가하여 파수(wave number)가 늘어나는 점과 유전체 높이의 증가로 급전부와 meander line을 잇는 전극의 길이가 증가하게 되어 낮은 주파수에서 공진이 발생하는 것으로 풀이된다. 그림 9는 높이(h)에 따른 공진주파수의 변화를 보여주고 있다.

2-2-2 세라믹 유전체를 이용한 표면 실장형 안테나(II)

그림 10은 그림 6의 안테나 모델에서 방사전극을 유전체의 측면에 추가한 모델을 나타내고 있다. 즉, 그림과 같이 측면에 방사전극을 형성하여 동일한 부피의 유전체상에서 전류가 흐를 수 있는 방사전극의 전체 길이를 증가시켜 공진주파수를 낮추는 효과를 기대할 수 있다.

그림 11은 그림 6에서 사용한 유전체와 동일한 부피($13.5 \times 7 \times 1$ mm)로 설정하고 옆면에 방사전극을 추가로 형성하였을 경우에 공진점이 2.46 GHz에서 2.1 GHz로 이동하는 것을 나타내고 있다.

그러나, 이러한 안테나 모델은 세라믹 유전체의

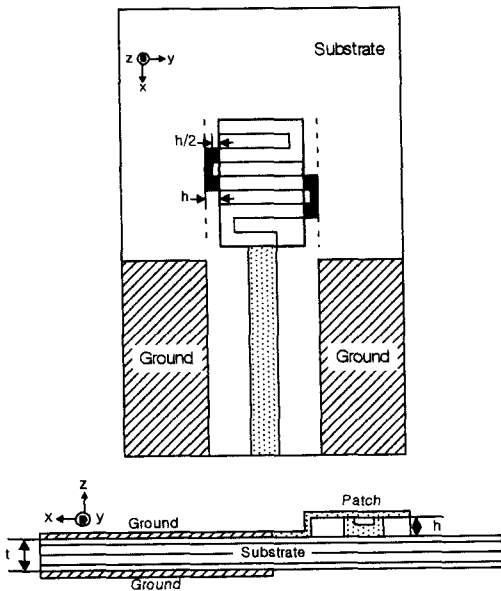


그림 10. 표면 실장형 세라믹 유전체 안테나(II) 모델
Fig. 10. The surface mountable ceramic antenna model(II).

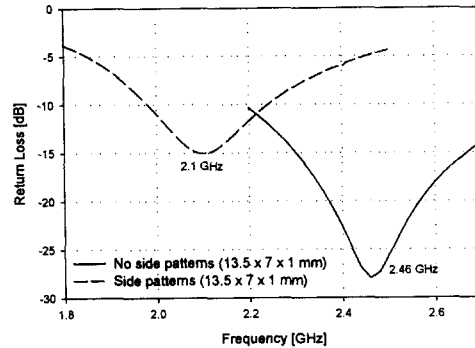


그림 11. 세라믹 유전체를 이용한 표면 실장형 안테나간의 공진점 변화

Fig. 11. The variation of resonant frequency between ceramic antennas.

높이(h)가 1.0 mm 이상인 경우 전극의 전체적인 길이가 증가하여 공진주파수를 낮추는 효과를 기대할 수 있으나 1.0 mm 미만인 경우에는 유전체의 측면에 금속패턴을 입히는 작업이 쉽지 않을 뿐만 아니라 전극의 길이가 증가하는 양이 크지 않으므로 공진주파수를 현저히 낮추는 효과는 기대하기 어렵다.

2-3 본 논문에서 제안하는 Bluetooth용 칩형 유전체 안테나 모델

본 절에서는 앞에서 언급한 안테나 모델을 개선하여 안테나의 세라믹 유전체 부피를 50% 이상 줄인 모델을 제시하고 반사손실와 방사패턴에 대한 계산값과 실제 안테나를 제작 후 측정된 성능을 비교하고자 한다.

지금까지 언급한 안테나 모델들은 substrate상 혹은 세라믹 유전체 상에만 국한하여 방사전극을 형성하였으므로 보다 낮은 주파수에서 사용할 수 있도록 설계할 경우 유전체의 크기를 증가시키거나 비유전율이 높은 유전체를 사용해야 할 것이다.^{[9]~[11]} 그러나, 유전체가 실장되어 있는 substrate를 급전부 뿐만 아니라 안테나의 일부로 사용할 경우 효율적으로 안테나의 크기를 줄일 수 있는 장점을 가진다.

그림 12과 그림 13은 본 논문에서 제안한 세라믹 유전체 안테나의 모델과 각 층별 금속패턴을 보여

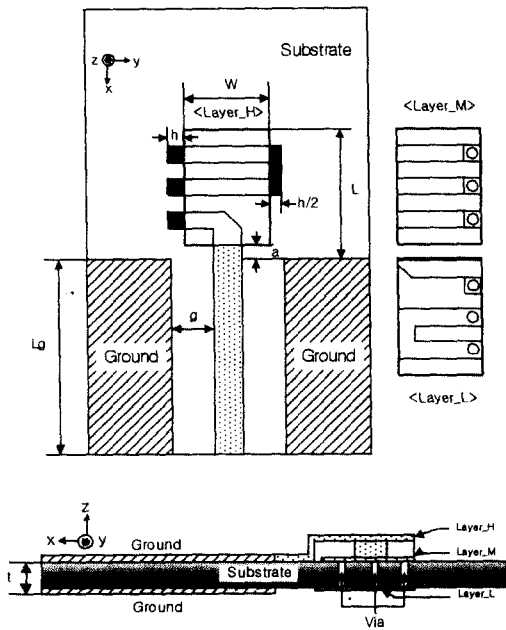


그림 12. 본 연구에서 제안한 표면 실장형 유전체 안테나 모델
 Fig. 12. Our surface mountable ceramic antenna model.

주고 있다.

그림 12와 그림 13에서 알 수 있듯이 본 논문에서 제안한 세라믹 유전체 안테나는 유전체뿐만 아니라 유전체와 substrate가 접하는 면과 via를 통하여 substrate의 후면에 형성한 meander line 전극을 연결하여 유전체가 차지하는 동일한 면적에서 방사전극의 길이를 최대한 증가시킨 구조를 가지고 있다. 그림에서 Layer_H, Layer_M, Layer_L은 Z축의 부(-)방향으로 금속패턴의 순서를 표시한 것이며 Layer_M의 경우는 세라믹 유전체의 하면과 substrate의 상면에 동일하게 각각 형성되어서 전극으로서 역할뿐만 아니라 실제 안테나 제작에서 유전체를 substrate상에 고정시키는 용도로도 사용된다. 또한, Layer_L를 나타낸 그림에서 트리밍(trimming)된 전극의 끝단은 임피던스 매칭을 개선시키는 효과를 가진다.

참고로 세라믹 유전체를 금속면이 없는 substrate상에 고정시키는 경우에는 에폭시 본드를 유전체 모서리의 일부에 칠하지만, 본 안테나 모델과 같이 금속간의 접합은 substrate상의 금속에 solder(Pb+Ag)를 바른

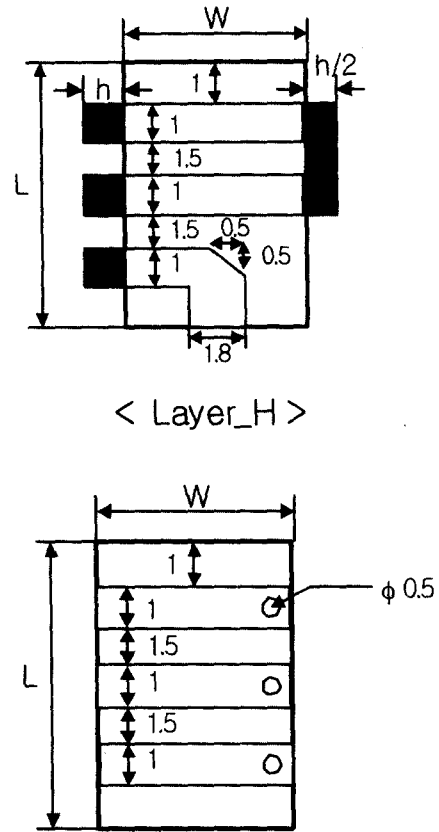


그림 13. 제안한 표면 실장형 유전체 안테나의 금속 패턴
 Fig. 13. The metal patterns of our surface mountable ceramic antenna.

다음 유전체를 실장하고 십씨 220도에서 2분 정도 가열하는 과정(soldering, reflow)을 거쳐야 한다.^[13]

다음 그림 14는 위의 안테나 모델을 사용하여 실제 제작한 칩형 세라믹 유전체 안테나의 전면과 후면을 보여주고 있다. 사용한 세라믹 유전체는 크기가 $8 \times 4 \times 1.5$ mm 인 알루미늄 ($\epsilon_r = 9.3$) 이고 $65 \times 25 \times 1.0$ mm 인 FR-4 ($\epsilon_r = 4.6$) 상에 실장되어 있다. 따라서, 동일한 비유전율과 기판을 사용할 경우에 본 연구에서 제안한 세라믹 유전체 안테나 모델은 유전체의 부피가 $8 \times 4.0 \times 1.5$ mm 로서 앞서 언급한 유전체 안테나 모델이 가지고 있던 $13.5 \times 7 \times 1$ mm 부피를 50.7 %로 감소시킬 수 있을 뿐 아니라 현재 상용화된 표면실장형 유전체 안테나 모델에서 유전체 실장을 주 목적으로 하는 substrate 상의 부수적인 금속전극이 불필요한 구조라 할 수 있다.^[14]

그림 15는 본 논문에서 제안한 안테나 모델에 대한 반사손실의 계산치와 실험치를 비교한 것이다.

그림 15에서 알 수 있듯이 계산치와 실험치간의 수렴도는 양호한 편이며 Bluetooth용 주파수 대역을 $VSWR < 1.5$ 범위에서 만족하고 있어 본 안테나의 반사손실 특성은 만족스럽다 할 수 있다. 다음 그림 16은 본 안테나에 대한 방사패턴의 계산치와 실험

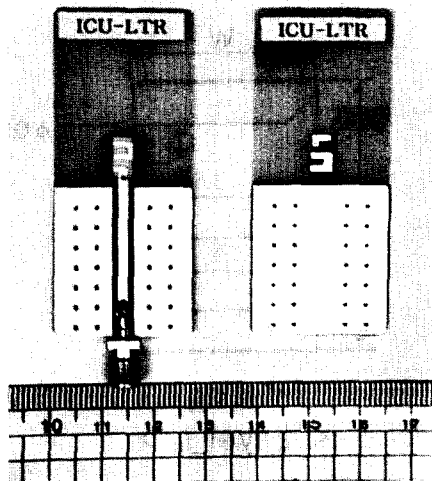


그림 14. 본 연구에서 제안한 표면 실장형 유전체 안테나

Fig. 14. Our surface mountable ceramic antenna.

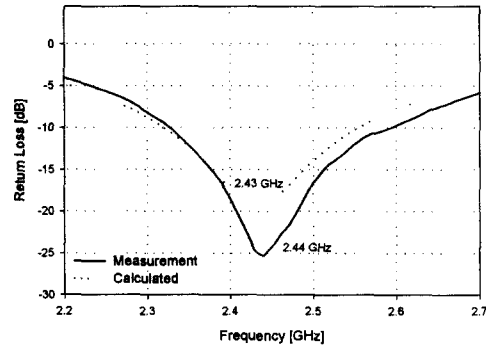


그림 15. 제안한 표면 실장형 유전체 안테나의 반사 손실

Fig. 15. The return loss of our proposed ceramic antenna.

치를 나타내고 있다.

그림 16에서 나타내고 있는 방사패턴은 모노폴 안테나의 그것과 형태가 유사함을 알 수 있고 최대 방사이득은 계산치가 2.4 dBi, 측정에서는 1.7 dBi를 얻었다. 일반적으로 Bluetooth용 안테나의 방사이득이 1.0 dBi 이상임을 고려해 볼 때 본 논문의 안테나는 양호한 방사특성을 가지고 있는 것으로 사려된다. 그러나, 계산값과 측정치간의 차는 실제 안테나를 구성하는 유전체와 substrate의 손실성분을 고려하지 못한 점과 방사이득 측정에서 발생한 것으로 분석된다.

또한, 그림 16에서 나타내고 있는 방사패턴은 전체적으로 매끄럽지 못함을 알 수 있는데 이것은 본 안테나 모델에서 사용하고 있는 접지면의 면적이 공진 파장에 비해 충분히 크지 못하기 때문으로 사려되고 안테나의 방사전극이 비대칭적으로 구성되어 있기 때문에 y-z plane 상의 방사패턴이 왼쪽으로 치우쳐지는 현상이 일어남을 알 수 있다. 이에 대한 문제는 좀더 면밀한 검토와 보완 설계를 통하여 해결할 수 있을 것이다.

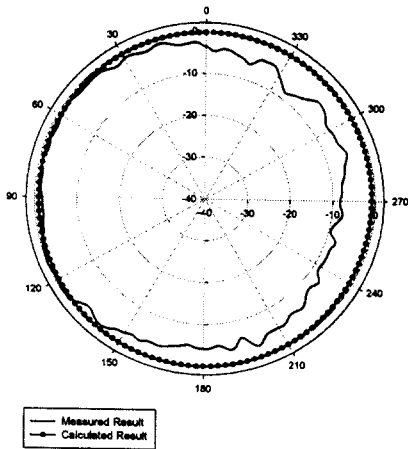
III. 결 론

이상으로 본 논문에서는 meander line을 이용한 소형 유전체 안테나 모델을 제안하고 이에 대한 계산과 실험을 통하여 그 성능을 검증하였다. 그 결과,

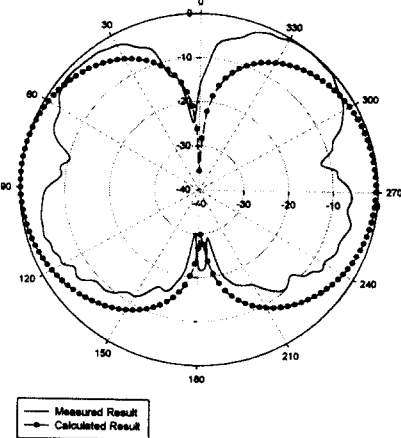
따라서, 본 논문에서 제안하는 표면 실장형 유전체 안테나는 현재의 안테나 소형화 문제와 방사이득을 개선하는 해결수단이 될 수 있으리라 본다.

참고 문헌

- [1] A. A. Kishk, M. R. zunoubi, and D. Kajfez, "A numerical study of a dielectric disk antenna above a grounded dielectric substrate", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation, AP-41*, pp.812-821, June 1993.
- [2] Rajesh Kumar Mongia, Apisak Ittipiboon, "Theoretical and Experimental Investigations on Rectangular Dielectric Resonator Antennas", *IEEE Trans. on Antennas and Propagation*, vol. 45, No. 9, pp.1348-356, Sep. 1997.
- [3] A. Ittipiboon, R. K. Mongia, Y. M. M. Antar, P. Bhartia and M. Cuhaci, "An Integrated Rectangular Resonator Antenna", *AP-S. Digest*. vol. 2, pp. 604-607, 1993.
- [4] A. Petosa, A. Ittipiboon, Y.M.M Antar, and D. Roscoe, "Recent Advances in Dielectric Resonator Antenna Technology", *IEEE AP Magazine*, vol. 40, no. 3, June 1998.
- [5] M. Cooper, A. Petosa, A. Ittipiboon and J. S. Wight, "Investigation of Dielectric Resonator Antennas for L-Band Communications", *Proceedings of the Symposium on Antenna Technology and Applied Electromagnetics ANTEM-96*, 1996, Montreal, Canada, pp. 167-170.
- [6] Michael Cooper, "Investigation of Current and Novel Rectangular Dielectric Resonator Antennas for Broadband Applications at L-Band Frequencies", A Thesis of Master Degree, Carleton University, Ottawa, Canada.
- [7] 문정익, 박성욱, "PCS 및 IMT-2000 이종대역용 광대역 세라믹 유전체 안테나 설계", 한국전자과학회논문지, vol. 11, no. 6, pp.996-1005, Sep. 2000.
- [8] 이종환, 우종명, "PCS용 표면실장형 칩 유전체 세라믹 안테나 설계", 한국전자과학회논문지,



(a) y-z plane



(b) x-z plane

그림 16. 제안한 세라믹 유전체 안테나의 방사패턴
Fig. 16. The radiation patterns of our proposed ceramic antenna.

기존의 안테나 모델에서는 크게 고려하지 않은 방사전극의 형성면을 substrate의 전면과 후면에도 적용하고 세라믹 유전체의 크기가 $8 \times 4 \times 1.5$ mm 인 알루미늄과 두께가 1.0 mm 인 substrate(FR-4)상에 방사전극을 형성하여 VSWR<1.5인 범위에서 Bluetooth용 주파수 대역을 포함하는 성능을 보였다. 또한, 방사패턴은 일반적인 모노폴 안테나와 유사하고 최대 방사이득은 1.7 dB로 상용화가 가능한 안테나 모델을 선보였다.

vol. 11, no. 1, pp.55-62, Jan. 2000.

[9] Atef Z. Elsherbeni, Chun-Wen Paul Huang, and Charles E. Smith, "Wide Band Meander line Antenna for Wireless Communication Systems", *IEEE AP-S*, pp. 17-20, 2000.

[10] Keisuke Noguchi, and Motoo Mizusawa, "Numerical Analysis of the Radiation Characteristics of the Meander Line Antennas Consisting of Two -Strips", *AP-S, Digest*. vol. 3, 1996;

[11] Shyh-Ting Fang, "A Novel Polarization Antenna

for WLAN Applications", *Proc. IEEE APS/ URSI Inter. Symp.* vol. 1, July 2000.

[12] HFSS ver 7.0 Ansoft

[13] <http://search.murata.co.jp/image/A04X/KANNTCSE.PDF>

[14] http://search.murata.co.jp/Ceramy/owa/CATALOG.showipage?sPath=/image/A04X/KPC194PT.GIF&sHinnmTmp=ANCG22G45SAA001TT1&sLang=2&sCapt=Land_Pattern&nPage=1&nPageNum=1

이 덕 재



1998년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)
 2000년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)
 2000년 2월~현재 : (주) 래트론 연구원

이 충 국



1983년 2월: 서울대학교 요업공학과 (공학사)
 1985년 2월: 한국과학기술원 재료공학과 (공학석사)
 1994년 6월: Georgia Institute of Technology 재료공학과 (공학박사)
 1985년 3월~1997년 12월: 쌍용양회 중앙연구소

1998년 2월~현재: (주) 래트론 대표

왕 영 성



1989년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학사)
 1991년 2월: 고려대학교 재료공학과 (공학석사)
 1997년 3월~현재: 한국과학기술원 박사과정
 1991년 1월~1998년 2월 : 쌍용양회 중앙연구소

1998년 2월~현재: (주) 래트론 개발팀장

문 정 익



1996년 2월: 영남대학교 전기공학과 (공학사)
 1998년 2월: 영남대학교 대학원 전기공학과 (공학석사)
 1998년 3월~2000년 2월: 한국정보통신대학원대학교 공학부 (공학석사)
 2000년 3월~현재: 한국정보통신대

학원대학교 공학부 박사과정
 [주 관심분야] 전자장 수치해석, 세라믹 유전체를 이용한 소형고효율 안테나 설계 등.

박 성 옥



1987년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1989년 2월: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)

1993년 8월: 한국통신인력개발본부

1997년 3월: Arizona State University, Electrical Engineering (공학 박사)

1997년 9월~현재: 한국정보통신대학원대학교 조교수
[주 관심분야] 광대역 적층형 안테나의 설계 및 분석, 전자파의 복사 및 산란, M/W, mm-wave 대역용 고속 반도체 소자의 전자패키징, 전자장 수치 해석기법 등