

논문 2005-42TC-3-4

LTCC 적층 기술을 이용한 이중대역 칩 안테나의 설계

(Design of Dual-Band Chip Antenna using LTCC Multilayer Technology)

김 영 두*, 원 충 호*, 이 흥 민**

(Young Do Kim, Chung Ho Won, and Hong Min Lee)

요 약

본 논문에서는 GPS/K-PCS 대역의 무선 이동 단말기 응용을 위한 LTCC 소형 칩 안테나의 모의실험과 제작, 측정 결과를 나타내었다. 설계된 LTCC 칩 안테나의 전체 크기는 9mm×15mm×1.2mm 이다. 이중 대역 동작 특성을 위해 적층된 상부 미앤더 방사 패치는 하부 미앤더 방사 소자에 0.3mm의 높이를 갖는 비아홀을 통해 연결되었다. 하부의 미앤더 방사 소자는 GPS 대역에 중심 주파수가 일치하도록 설계되었으며, 상부의 미앤더 방사 패치는 K-PCS 중심 주파수에 일치하도록 설계 변수가 결정되었다. 제안된 안테나의 공진 주파수와 주파수 비는 미앤더 방사 패치의 실효 공진 길이와 비아홀의 높이 설계 변수에 의해 결정될 수 있었다. 제작된 안테나의 제반 특성으로부터 본 논문에서 제안된 안테나는 다중대역에서 동작하는 소형 칩 안테나로 응용될 수 있을 것이다.

Abstract

This paper presents design simulation, implementation, and measurement of a miniaturized GPS/K-PCS dual-band LTCC chip antenna for mobile communication handsets. The dimension of LTCC chip antenna is 9mm×15mm×1.2mm. The meander type radiating patch for dual-band operation is realized by using via holes with 0.3mm height to connect upper and lower-layer antenna. The lower meander type antenna is to be tuned to the lower frequency (GPS) band. The upper meander antenna with via hole connection is to contribute the higher frequency (K-PCS) band. The resonant frequency and frequency ratio of the proposed antenna can be adjusted by changing the height of via-hole and effective path of meander radiating patch. The electrical characteristics of the meander chip antenna applied to a GPS/K-PCS are suitable for mobile communication application.

Keywords: chip antenna, LTCC, meander patch, multi-band

I. 서 론

정보화 사회로의 발전과 증대된 무선 통신의 신뢰성은 무선 이동통신의 개인용 단말기 수요를 증가시켰고, 이러한 휴대형 단말기는 휴대목적과 이동성의 편의를 위해 소형화, 경량화가 요구되어져 왔다. 이러한 휴대용 단말기의 소형화 요구 증가는 전체적인 RF-Front End를 구성하는 수동/능동 부품의 SoC(System on Chip)화를 요구하고 있으며, 특히 단말기의 크기와 디자인을 결정하는 가장 중요한 부품인 소형 안테나의 개발에 대한 관심을 유발시켰다. 안테나가 소형화되면 이동성과

단말기 디자인 측면에서는 유리하지만, 이득과 대역폭이 감소하는 단점으로 인해 다른 수동부품의 소형화에 비해 상대적으로 안테나 부분은 소형화의 진척이 미미하였다. 최근에는 GPS(Global Position System) 기능을 활용한 네비게이션 시스템, 무선 인터넷, 무선랜, Bluetooth 등 새로운 어플리케이션의 등장으로 새로운 수익을 창출할 수 있는 파생 정보 상품이 속속 등장하고 있어, 기존 이동통신 대역을 포함한 다중 대역에서 동작하는 소형 안테나의 개발이 필수적이라 할 수 있다.

이동 무선 단말기에 적용되는 공진형 안테나의 소형화를 위해 기존에 사용되었던 비 유전 상수값(ϵ_r)이 높은 기판을 사용하거나, 외부에 집중 정수 소자를 부설하는 방법들은, 표면파와 안테나의 효율을 현저히 저하시켜 안테나의 전기적인 특성을 제한하는 단점을 나타

* 학생회원, ** 정회원, 경기대학교 전자공학과
(Department of Electronic Engineering Kyonggi University)

접수일자: 2004년8월17일, 수정완료일: 2005년3월10일

내었다^{[1][2]}. 따라서 최근에는 공진형 안테나의 실효 전류 길이를 증가시키기 위해서 방사 패치를 구조적으로 변형하거나, 3차원으로 방사 구조를 설계하는 방법이 안테나의 소형화를 이루는 구조로 주목 받고 있다.^{[3][4][5]} 특히 PIFA(Planar Inverted F-Antenna) 구조와 같이 급전 방향의 리액턴스를 최소화한 공진 구조와 슬릿 부설에 의한 단순 변형구조의 접목으로 보다 소형화된 칩 안테나 구조가 다양하게 소개되었다^{[6][7]}.

이와 같이 방사 소자에 적절한 다중 슬릿 부설은 방사 패치상에 분포하는 표면 전류의 실효 길이를 증가시켜 동일 크기의 방사 패치에 비해 효과적으로 공진 주파수를 낮추어 소형화된 안테나를 구현할 수 있는 설계 방법을 제시하고, 이중 대역과 같은 다중 대역에서 동작하는 안테나 설계나, 이중대역에서 공진 주파수의 FR(frequency ratio) 비율을 낮추어 임피던스 대역폭을 확장하는데 유용한 방법이 될 수 있다. 또한 안테나의 Q-factor를 낮추어 마이크로 스트립 패치 안테나의 협대역 특성을 개선하거나, 제작시 허용오차(tolerance error) 측면의 장점 등으로 소형화 및 다중대역 특성 확보를 위한 소형 안테나 구조로 주목 받아왔다.^[8]

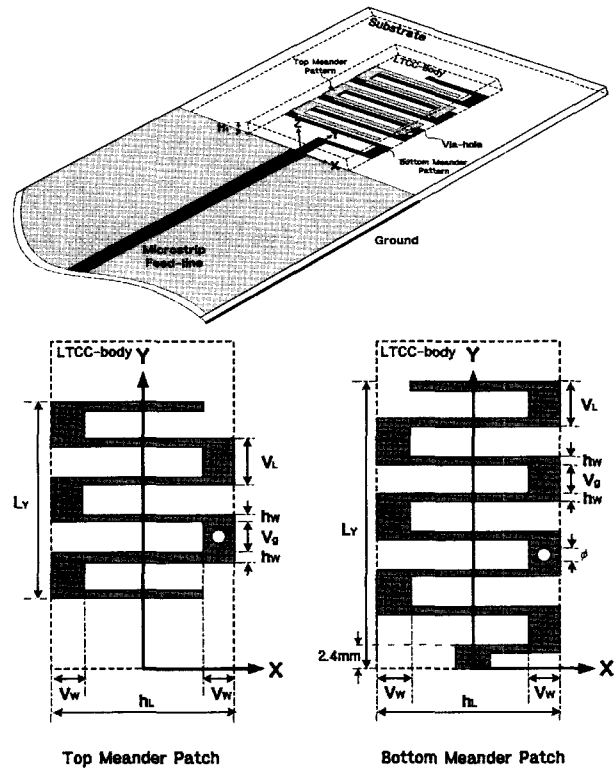
따라서 본 논문에서는 이와 같은 무선 이동통신 환경의 무선 단말기용 안테나에서 요구되는 소형화 문제를 해결하면서 다중대역에서 동작하며, 고효율의 안테나 성능을 갖는 이중 대역 소형 칩 안테나를 LTCC(Low Temperature Co-firing Ceramic) 적층 기술을 이용한 설계 방법을 제안하였다.

II. 본 론

2-1 이중 대역 미엔더 안테나의 설계

단일 미엔더 안테나의 이중 대역 공진 특성을 확보하기 위한 방법은 이중 대역의 중심 주파수에 실효 공진 길이가 일치하도록 미엔더 형태의 전류 경로를 다중으로 확보하는 것이다. 따라서, 본 논문에서는 LTCC 공정 기술의 장점을 살리고, 소형화 특성 개선과 서로 다른 실효 공진 길이를 위해 다중 슬릿이 부설된 미엔더 형태의 방사 구조를 0.3mm의 높이(H_1)를 갖는 수직비아홀을 통해 연결하였다. 그림 1에 본 논문에서 제시된 LTCC 이중 대역 칩 안테나의 구조를 나타내었다.

미엔더 방사 구조를 이루는 설계 파라미터는 수직부 ($V_W \times V_L = 1 \times 2mm$)와 수평부 ($h_W \times h_L = 0.4 \times 8mm$)가 동일한 설계 변수로 설계 되었으며, 미



$$V_W \times V_L = 1 \times 2mm, h_W \times h_L = 0.4 \times 8mm$$

$$H_1 = 0.3mm, V_g = 1.2mm, \phi = 0.5mm$$

$$LTCC \text{ Body}(\epsilon_r = 7.8 = 9 \times 15 \times 1.2mm)$$

그림 1. 이중 대역 미엔더 안테나 구조
Fig. 1. Meander antenna structure for dual-band operation.

엔더 방사 소자의 Y-축 방향의 길이(L_Y)는 각각 12mm와 10mm로 아래쪽에 위치한 미엔더 방사 소자의 전체 길이가 위쪽에 위치한 미엔더 방사 소자의 전체 길이보다 길게 설계되었다. 따라서 전류의 실효 공진 길이가 보다 길게 형성된 아래쪽 미엔더 라인이 GPS 설계 중심 주파수(1.575GHz)에, 짧게 형성된 위쪽 미엔더 라인이 K-PCS(1.8GHz) 설계 중심 주파수에 일치하도록 설계 파라미터를 설정하였다. 아래쪽에 위치한 미엔더 방사소자의 급전은 50Ω 마이크로 스트립 선로를 통해 급전되며, 위쪽의 미엔더 방사 소자는 수직 비아홀을 통해 아래쪽 방사 소자와 연결되어 있다. 서로 다른 두개의 미엔더 방사 소자는 FR4 ($\epsilon_r = 4.4$) 기판에 위치한 전체크기가 15×9×1.2mm인 LTCC($\epsilon_r = 7.8$) 내부에 적층되어 있으며, 적층 미엔더 방사 소자간 이격된 설계 변수(H_1)는 0.3mm로 설계되었다.

이와 같은 미엔더 형상의 방사 구조는 수직/수평 부

분을 각각 증가화된 공동 모델(Cavity model)로 해석할 수 있으며, 공동 모델을 이용한 방사계는 자계벽상에 전계 z-성분의 전위를 이용해 계산될 수 있다.^[9]

이와 같은 미엔더 형태의 안테나 구조에서 방사 패턴과 안테나 효율은 방사 소자의 전류 흐름에 크게 의존하고, 미엔더 형태의 수직/수평 방향의 전류 흐름은 안테나 전체 방사 메카니즘을 설명하는 정성적인 정보를 제공한다. 즉, 단일 미엔더 형태의 안테나 구조에서 수평(X) 방향으로의 표면 전류 흐름은 미엔더 구조상 서로 반대 방향으로 형성되어 원거리장에서 서로 상쇄되는 장(field)을 형성하게 되며, 수직(Y) 방향으로의 표면 전류 성분만이 동일한 방향을 형성하여 방사에 주로 기여하게 된다.^[9] 그림 2에서는 단일 미엔더 안테나의 수직/수평 방향의 표면 전류 분포를 나타내었다.

그림 3에서는 본 논문에서 제시된 단일 미엔더 안테나의 수직(Y-축) 방향의 자계 성분의 피크값을 3차원 EM-필드 소프트웨어(CST社-Microwave Studio 4.0)를

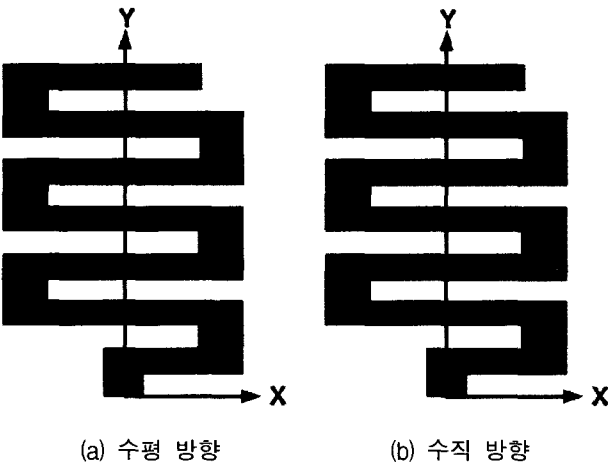


그림 2. 단일 미엔더 안테나의 표면 전류 분포
Fig. 2. Surface current distribution for single meander antenna.

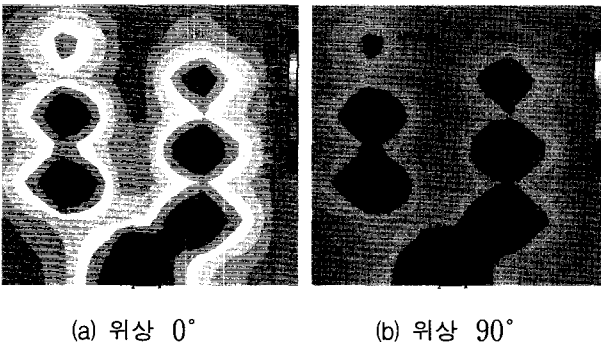


그림 3. 미엔더 안테나 자계의 Y-방향 스칼라 성분
Fig. 3. Scalar contour plot(Y-direction) for magnetic field of meander antenna.

통해 모의 실험한 결과를 나타내었다. 수직 방향으로 형성된 자계 성분은 미엔더 안테나의 수직 부분에서 수평 부분보다 강한 필드를 형성하고 있음을 볼 수 있고, 또한 자계 성분의 크기는 Y-축 방향으로 실효 공진 길이가 증가할수록 약해지며, 기준 위상을 중심으로 동일 방향을 향하고 있음을 확인할 수 있다. 따라서 주어진 좌표계의 수직 방향으로의 전류 흐름이 미엔더 구조에서 방사에 기여하는 주된 성분임을 알 수 있다.

적층된 안테나 구조에서 비아홀을 구성하는 높이의 설계 변수(H_1)는 방사 구조의 상호 커플링 영향으로 설계 중심 주파수와 이중 대역의 주파수 비(FR)를 결정하는 중요한 설계 변수로 작용한다. 비아홀의 높이가 0.11mm에서 0.91mm로 변화할 때 공진 주파수와 주파수 비의 변화를 그림 4에 나타내었다. 비아홀의 높이 변화에 따라 이중 대역의 낮은 주파수 대역(GPS-band)의 공진 주파수 변화는 상대적으로 변화폭이 미약하지만, 높은 주파수(K-PCS) 대역은 비아홀의 높이가 커질수록 공진 주파수가 증가하였다. 이중 대역의 중심 주파수 비(Frequency Ratio)는 비아홀의 높이가 0.11mm에서 0.91mm로 증가 할수록 1.2에서 1.48로 증가하였다. 이와 같이 다중 대역 특성 확보를 위해 LTCC 적층 공정 기술을 적용할 경우, 개별 방사 소자의 실효 공진 길이와 더불어 적층된 높이의 설계 변수가 중심 주파수를 결정하는 중요한 설계 파라미터가 됨을 확인할 수 있다.

그림 5에 개별 설계 중심주파수에서 적층된 미엔더

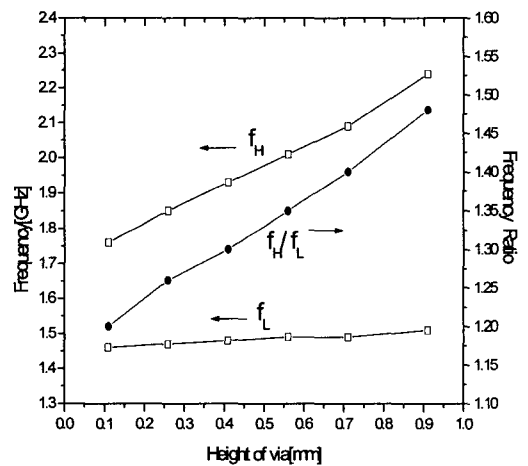


그림 4. 비아홀 높이에 따른 공진 주파수와 주파수 비
Fig. 4. The resonant frequency and frequency ratio as a function of via-hole height.

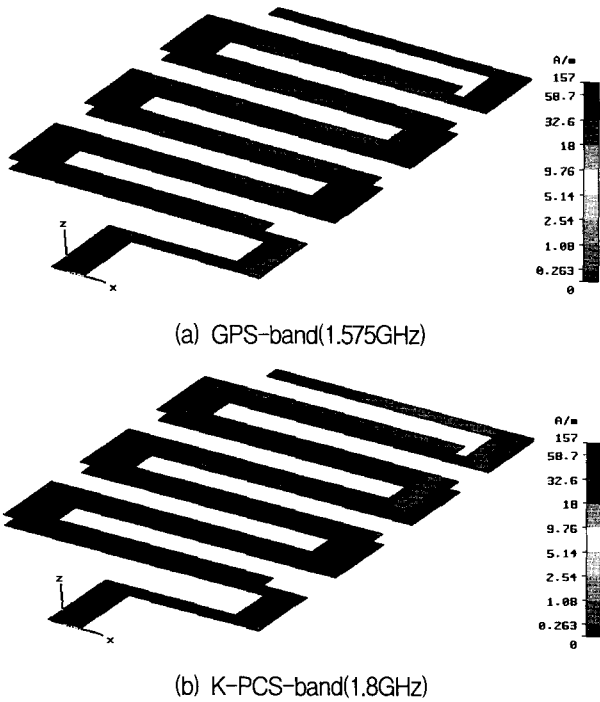


그림 5. 표면 전류의 접선성분 분포
Fig. 5. Tangential component for surface current.

안테나 접선성분의 표면 전류(H-field) 분포를 나타내었다. GPS 설계 중심 주파수(1.575GHz)에서 표면 전류 분포는 적층된 미앤더 안테나의 아래쪽에서 위쪽의 미앤더 라인보다 강한 표면 전류 분포가 확인된다. 반면에 PCS 설계 중심 주파수(1.8GHz) 대역에서 표면 전류 분포는 적층된 위쪽의 미앤더 안테나와 아래쪽에서 동시에 강한 전류 분포를 확인할 수 있다. 따라서 PCS 중심 주파수 대역에서 광대역 특성은 적층된 미앤더 패턴의 기생 효과에 의해 확인 될 수 있으며, 상대적으로 GPS 대역의 공진 특성은 적층된 미앤더 패턴의 커플링 효과가 크게 나타나지 않음을 확인할 수 있다.

2-2 안테나 제작 및 측정

본 논문에서 LTCC 적층 공정을 이용해 제작된 이중대역 칩 안테나와 하부 미앤더 패턴을 그림 6에 나타내었다. LTCC-Body를 구성하는 그린 쉬트는 Dupont사의 DP 9599 계열의 비유전 상수값이 7.8인 재료를 사용하였고, 방사 구조의 패턴 형성은 Tanaka TR 651 계열의 Ag로 도포되어 형성되었다. 적층된 쉬트의 소결과정에서 Sintering은 850 ° 에서 40분 동안 가공되었다. 표 1에 재료 및 소성과정에 대한 규격을 나타내었다.

제작된 이중 대역 미앤더 칩 안테나의 측정된 반사 손실과 모의 실험된 특성을 그림 7에 나타내었다. GPS 대역과 K-PCS 대역에서 측정된 반사 손실 특성은

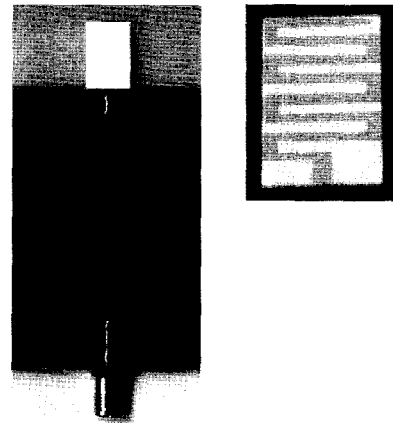


그림 6. 제작된 이중 대역 미앤더 칩 안테나

Fig. 6. Meander chip antenna for dual-band operation.

표 1. 소성 과정 및 재료
Table 1. Sintering profile and material.

항목	규격
Material ($\epsilon_r = 7.8$)	Dupont DP 9599(7.8 ± 0.1)
Electrode	Tanaka TR 651 TS (Ag content 75wt%)
Sintering Profile	850 °C/40min holding
Tcf	-27.3(ppm/°C) Ring resonator 측정

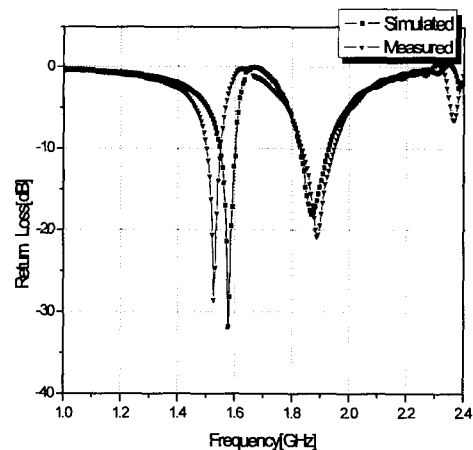


그림 7. 반사 손실의 측정값과 모의 실험
Fig. 7. Comparison of simulated and measured return-loss for proposed antenna.

-29dB와 -20dB를 나타내었고, 임피던스 대역폭은 각각 $VSWR \leq 2$ 기준으로 약 80 MHz와 120MHz로 양호한 특성을 나타내었다.

그러나, 측정된 GPS 중심 주파수는 1.468GHz로 설계된 공진주파수에 비해 상대적으로 100MHz 정도 낮게

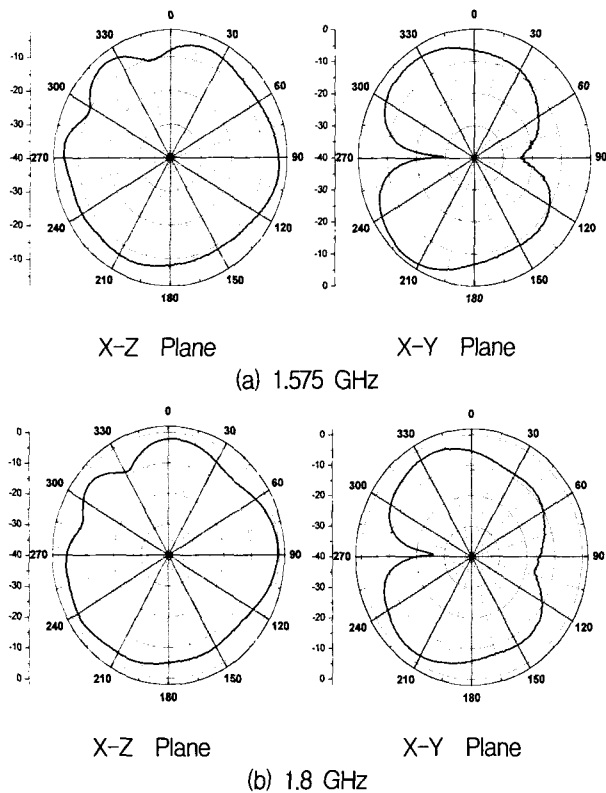


그림 8. 측정된 방사 패턴
 Fig. 8. Measured radiation pattern at the resonant frequency.

측정되었고, K-PCS 대역에서는 1.864GHz로 60MHz 정도 높게 측정되었다. 이와 같은 오차는 LTCC-Body 내부에 적층된 미엔더 방사 구조에서 높이의 설계 변수가 소결과정에서 생기는 수축율의 오차인 것으로 판단된다. 그림 8에서는 제작된 이중 대역 미엔더 칩 안테나를 근거리 장 패턴 측정 장비(NSI社- Near Field system)를 통해 측정된 방사 패턴을 나타내었다. 이중 대역의 공진 주파수에서 측정된 방사패턴에서 X-Z 평면 패턴 일부에서 리플이 발생하지만 전방향으로 등방성 패턴을 보이고 있으며, X-Y 평면상의 패턴은 Y-축 방향으로 놓인 다이폴 패턴과 유사하게 형성됨을 알 수 있다. 주빔 방향의 최대 이득은 2.5dBi와 2.8dBi로 측정되었다. 이와 같이 X-Y 평면에 다이폴 형태의 패턴 형성은 Y-축 방향의 수직 전류 분포에 의한 방사장 형성으로 볼 수 있으며, X-축 방향으로의 전류 분포는 원거리 장(Far-field)에서 서로 상쇄되는 방사장을 형성하고 있음을 볼 수 있다. 또한 적층된 미엔더의 그라운드 영향으로 X-Y 평면의 방사패턴에서 그라운드 부분에서 Null 지점이 상대적으로 크게 형성됨을 확인할 수 있다.

III. 결 론

본 논문에서는 적층된 미엔더 형태의 방사 구조를 통해 GPS 및 K-PCS 대역에서 동작하는 소형 칩 안테나를 제안하였다. LTCC 기반 기술에 의해 Dupont DP 9599 계열의 슈트를 이용해 제작된 안테나의 임피던스 대역폭 특성은 GPS 대역과 PCS 대역에서 각각 VSWR ≤ 2 기준으로 약 80MHz와 120MHz로 양호한 특성을 나타내고 있어 일반적인 칩 안테나의 협대역 특성을 개선할 수 있었다.

이와 같이 LTCC 기반 기술에 의해 칩 안테나를 설계하는 방법은 무선 이동 단말기용 안테나의 소형화에 경쟁력 있는 방법으로 응용될 수 있을 것으로 판단되며, 또한 LTCC 공정상 소결과정을 고려한 설계 변수 결정이나 삼중 대역 이상으로의 확장을 위한 설계 및 실제 단말기에 실장시 안테나의 전기적인 특성 변화에 대한 연구가 향후 계속 연구되어야 할 것이다.

참 고 문 헌

- [1] K. L. Wong and Y. F. Lin, "Microstrip-line-fed compact broadband circular microstrip antenna with chip-resistor loading," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 17, pp. 53-55, Jan., 1998.
- [2] J. H. Lu, C. L. Tag and K. L. Wong, "Slot-coupled compact broadband circular microstrip antenna with chip-resistor and chip-capacitor loadings," *Microwave Opt. Technol. Lett.* vol. 18, pp. 345-349, Aug., 1998.
- [3] P. L. Teng, H. T. Chen, and K. L. Wong, "Multi-frequency planar monopole antenna for GSM-DCS-PCS-WLAN operation," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 36, pp. 350-352, 2003.
- [4] T. Adachi, A. Hirata, and T. Shiozawa, "Folded-loop antennas for handset terminals at the 2.0-GHz band," *Microwave Opt. Technol. Lett.*, vol. 36, pp. 376-378, 2003.
- [5] 김현준, 권세웅, 심성훈, 강조운, 윤석진 외 2명, "이중 공진 소형 칩 Meander 안테나에 관한 연구," *한국 전자과학기술 논문지*, 제 13권, 7호, 2002년 6월.
- [6] Wang Y, Lee ching kwang, "One novel single patch dual frequency planar inveted-F antenna," *Proc. of International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology*, pp. 444-447, 2000.
- [7] N. C. Karmakar, L. C. Heng, and C. B. Teong, "Frequency tuning of a dual-band dual-feed PIFA antenna for future mobile communica-

- tions," Microwave Opt. Technol. Lett. vol, 31, pp. 345-349, 2001.
- [8] B. L. Ooi, and Q. Shen, "A novel E-shaped broadband microstrip patch antenna," Microwave Opt. Technol. Lett, vol. 27, pp. 74-76, 2000.
- [9] Hanyang Y. Wang, and Michael J. Lancaster, "Aperture-Coupled Thin-Film Superconducting Meander Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. 47, no. 5, May 1999.

 저 자 소 개



김 영 두(학생회원)
 2000년 2월 경기대학교
 전자공학과 (공학사)
 2002년 2월 경기대학교
 전자공학과 (공학석사)
 2002년 3월~현재 경기대학교
 전자공학과 박사과정

<주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자, RFID, PBG 구조 해석 >



원 충 호(학생회원)
 2002년 2월 연세대학교 대학원
 (공학석사)
 2002년 3월~현재 경기대학교
 전자공학과 박사과정
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 수동소자>



이 흥 민(정회원)
 1972년 2월 연세대학교
 전자공학과 (공학사)
 1974년 2월 연세대학교
 전자공학과 (공학석사)
 1990년 2월 연세대학교
 전자공학과 (공학박사)

1991년 3월~현재: 경기대학교 전자공학과 교수
 <주관심분야 : 안테나 설계 및 해석, 전파전파, RF수동소자>