

Multi-Layer 구조를 사용한 다중 대역 내장형 칩 안테나

Multi-Band Internal Chip Antenna Using Multi-Layer Substrate for Mobile Handset

조상혁 · 조일훈* · 이인영* · 표성민 · 백정우 · 김영식

Sang-Hyeok Cho · Il-Hoon Cho* · In-Young Lee* · Seongmin Pyo · Jung-Woo Baik · Young-Sik Kim

요 약

본 논문에서는 다층 구조를 이용하여 다중 대역(GSM, DCS, PCS, WCDMA, 2.3 GHz WiMAX)에서 동작하며, 다층 구조이므로 공간 재활용이 가능하여 안테나 크기를 효율적으로 줄일 수 있는 칩 안테나를 제안하였다. 또한, 중간층에 air-gap을 삽입하여 병렬 캐피시턴스 성분을 감소시켜 넓은 대역폭을 얻을 수 있었다. 제안한 안테나는 RO4003 유전체($\epsilon_r=3.4$)를 사용한 다층 구조의 PIFA이고, 안테나 부피는 $22 \times 5.5 \times 4.0 \text{ mm}^3$ 이다. 측정 결과, 안테나 효율 45 % 이상인 대역폭은 low-band에서 80 MHz(880~960 MHz)이며, high-band에서 690 MHz(1,710~2,400 MHz)을 보였으며, 안테나의 고차 모드와 최상위 층의 공진으로 인해 high-band에서 넓은 대역폭을 갖게 되는 것으로 사료된다.

Abstract

In this paper, a chip antenna using multi-layer configuration for multi-band operation, such as GSM, DCS, PCS, WCDMA, and Mobile WiMAX for 2.3 GHz is proposed. This proposed antenna is a PIFA structure with multi-layer configuration fabricated on RO4003 substrate($\epsilon_r=3.4$) and its size is $22 \times 5.5 \times 4.0 \text{ mm}^3$. Multi-layer structure can effectively reduce the size of an antenna from a reuse of air-space and can achieve broad bandwidth due to decrement of parallel capacitances from the insertion air-gap to the middle layer. The proposed antenna has a broadband operation by the high order resonance modes and the resonance at the top layer. The measured bandwidths with over 45 % radiation efficiency are 80 MHz(880~960 MHz) at the lower band and 690 MHz(1,710~2,400 MHz) at the higher band.

Key words : Internal Antenna, Multi-Band Antenna, Mobile Handset, Chip Antenna, Multi-Layer, Air-Gap

I. 서 론

최근 이동 통신 단말기에 사용되는 안테나는 단말기에 요구되는 서비스가 다양해짐에 따라 다중 대역을 커버할 수 있는 성능을 요구한다. 또한, 단말기 디자인의 개선을 위해 내장형 안테나의 사용이 일반화되어 있다. 단말기에 사용되는 안테나는 단말기의

부품 중에서 비교적 큰 편에 속하며, 다중 대역을 커버하는 안테나의 경우 단일 대역 안테나보다 일반적으로 큰 부피를 갖기 때문에 단말기 설계에 큰 영향을 미치게 된다. 최근 단말기의 수요는 슬림 타입의 디자인이 많이 요구되고 있으며, 이에 따라 안테나의 크기가 작아지고 슬림해질 필요가 있다. 일반적으로 안테나를 소형화 시키면 안테나의 이득이 낮아

「이 연구에 참여한 연구자는 2단계 BK21사업 연구비를 지원받았음.」

고려대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea University)

*(주)아모텍 안테나 그룹(Department of Research and Development, AMOTECH)

· 논문 번호 : 20080508-060

· 수정완료일자 : 2008년 7월 7일

질 뿐 아니라 안테나의 입력 저항은 매우 작아지고 병렬 캐패시턴스 성분은 매우 커지게 되므로 동작 대역폭이 좁아지고 효율이 낮아지는 단점을 가진다^[1]. 그동안 칩 안테나를 설계하기 위한 방법으로는 meander 구조와 유전체를 이용하는 방법 등이 사용되어 왔다. 그러나 이 같은 방법들은 어느 정도의 소형화는 가능하나 안테나 효율이 저하되는 단점이 있다. Meander 구조의 경우, 주파수를 낮추기 위해 많이 사용되는 방법이지만 좁은 공간에 과도한 meander 라인이 집약된 구조는 병렬 캐패시턴스 성분이 커지기 때문에 라인간의 적절한 거리를 두고 설계해야 하는 단점을 가지고 있다. 또한, 유전체를 사용할 경우 유전율이 높아짐에 따라 대역폭이 줄어드는 단점을 가지고 있어 안테나를 소형화 하는 데는 한계가 있다. 이러한 한계를 극복하고자 plastic chip을 사용하는 방법^[2]이나 coupled meander line 구조를 이용한 방법^[3] 등이 연구되었다. 그러나 이들 연구는 칩 안테나라 하기에는 크거나, 정해진 대역폭을 만족하지 못하였다.

본 논문에서는 넓은 대역폭과 높은 효율 특성을 가질 수 있도록 다층 구조와 air-gap을 이용한 PIFA (Planar Inverted-F Antenna) 구조를 제안하였다. 제안된 안테나는 총 3개의 다층 구조로 이루어져 있으며, 안테나를 이루는 금속 면(metal plate)이 3개의 면으로 이루어져 있다. 각각의 면은 비아홀(via-hole)로 연결되어 있다. 또한, middle layer에서 차지하는 air-gap의 부피를 4가지로 분류하고, 각각의 반사 손실 측정을 통해 최적화된 안테나 효율과 동작 대역폭을 확보하였다.

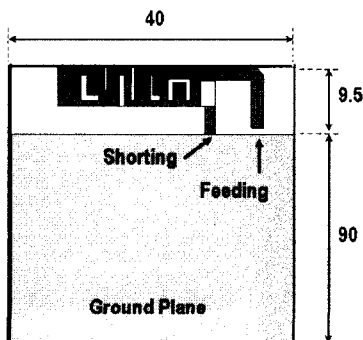


그림 1. 실장된 안테나
Fig. 1. The antenna mounted on the board.

제안된 안테나 설계는 상용 시뮬레이션 툴인 CST MWS^[4]를 사용하여 검토하였으며, 최적화된 안테나는 Agilent社의 E5071B와 무반사실을 사용하여 측정하였다.

II. 안테나 구조 및 설계

본 논문에서 제안한 multi-layer chip antenna는 그림 1에서와 같이 급전부와 단락부로 구성된다. 접지면의 크기는 40×90 mm²로 상대 유전율(ϵ_r) 4.6 및 두께 1 mm인 FR4 기판을 사용하였고, 방사체의 아래 부분은 제거된 형태이다. 그림 2는 프로토타입 multi-layer chip antenna를 이루는 각각의 레이어의 구조를 보여준다. 안테나는 RO4003($\epsilon_r=3.4$) 유전체를 사용한 3개의 레이어로 이루어져 있으며, high-band에서의 대역폭을 늘리기 위해 안테나의 맨 윗면에 슬롯을 삽입하였다. 프로토타입 안테나 크기는 22×5.5 mm²이며, 두께(T_1, T_2, T_3)는 각각 0.8, 1.7, 0.5 mm이다. 프로토타입 안테나의 GSM 대역은 PIFA로 동작하며, high-band인 DCS, PCS, WCDMA 대역은 안테나 전체의 고차 모드 공진과 안테나 맨 윗면의

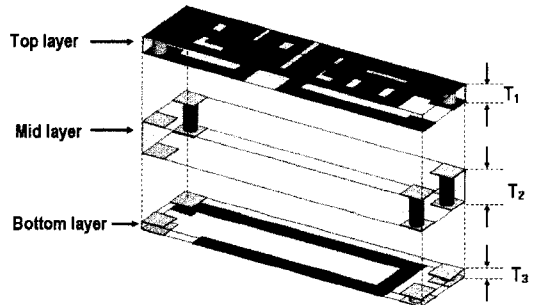


그림 2. 프로토타입 안테나 구조
Fig. 2. Geometry of the prototype antenna structure.

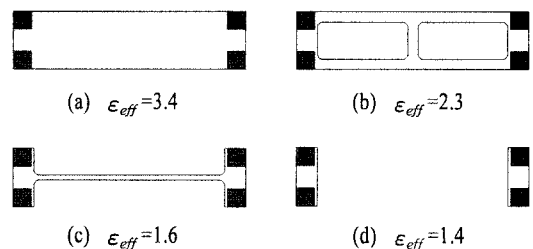


그림 3. 중간층 구조
Fig. 3. Middle layer structure.

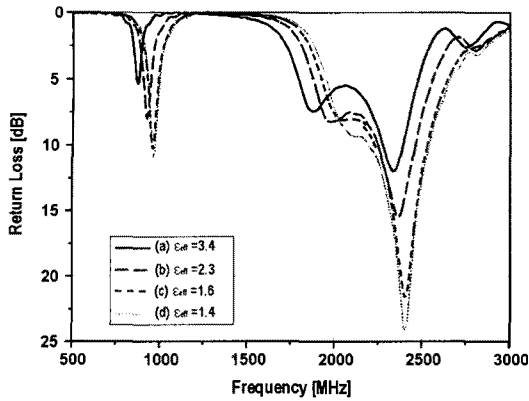


그림 4. 제안한 안테나의 시뮬레이션 반사 손실
Fig. 4. Simulated return losses of the proposed antennas.

독립적인 공진의 합성에 의해 동작한다. 이 때문에 high-band의 임피던스 대역폭이 넓게 나타나지만 GSM 대역을 만족시키지 못하므로 좀 더 넓은 대역폭을 갖도록 안테나의 middle layer의 구조를 그림 3과 같이 (a) $\epsilon_{eff}=3.4$, (b) $\epsilon_{eff}=2.3$, (c) $\epsilon_{eff}=1.6$, (d) $\epsilon_{eff}=1.4$ 로 구분하여 middle layer에서 차지하는 effective permittivity를 줄여 병렬 캐패시턴스를 줄이는 구조로 설계하였다. 시뮬레이션 결과, 그림 4와 같이 병렬 캐패시턴스가 줄어들수록 대역폭이 확장되는 것을 확인할 수 있다. 그림 5는 저주파 대역의 대역폭을 확인하기 위하여 패턴 길이를 조절하여 공진 주파수를 일치시켜 측정된 결과를 비교한 것이며, middle layer의 air-gap이 차지하는 부피에 따라 GSM의 low-band 대역폭이 확장되는 것을 확인할 수 있다. GSM

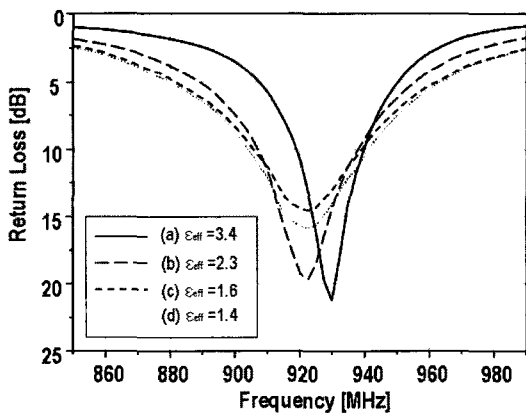


그림 5. 저주파 대역 반사 손실 측정 결과
Fig. 5. Measured return losses at low-band.

대역에서 VSWR 3:1을 만족하는 대역폭은 각각 37, 57, 68, 72 MHz이다. 비교 결과, 동일한 부피에서 유효 유전율이 작을수록 대역폭은 증가하며, 전체가 air-gap인 경우에 비해 35 MHz 증가함을 보였다. 그림 3(d) 구조가 유리하지만 안테나 지지 및 제작 공정을 고려하여 그림 3(c) $\epsilon_{eff}=1.6$ 구조를 본 논문에서는 그림 3(a)와 비교 검토하였다.

III. 제작 및 측정

그림 6은 제안한 multi-layer chip antenna의 3D 구조이며, 표 1은 안테나의 두께이다. 제안한 안테나의 각 레이어의 크기는 top, middle, bottom 레이어 별로 $22 \times 5.5 \times 1.2 \text{ mm}^3$, $22 \times 5.5 \times 2.3 \text{ mm}^3$, $22 \times 5.5 \times 0.5 \text{ mm}^3$ 이며, 안테나 전체 크기는 $22 \times 5.5 \times 4.0 \text{ mm}^3$ 이다. 그림 7은 제안한 안테나($\epsilon_{eff}=1.6$)의 return loss의 측정 결과와 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 급전 방법으로는 50 Ω 동축 케이블을 이용하여 급전하였으며, 그림 8은 제안한 안테나의 유효 유전율에 따

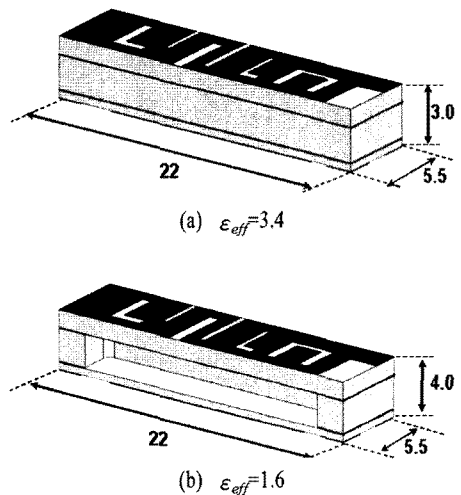


그림 6. 제안한 안테나 구조
Fig. 6. Proposed antenna structure.

표 1. 제안한 안테나 높이
Table 1. Height of the proposed antennas.

| Dimension | $\epsilon_{eff}=3.4$ | $\epsilon_{eff}=1.6$ |
|--------------|----------------------|----------------------|
| Top layer | 0.8 mm | 1.2 mm |
| Middle layer | 1.7 mm | 2.3 mm |
| Bottom layer | 0.5 mm | 0.5 mm |

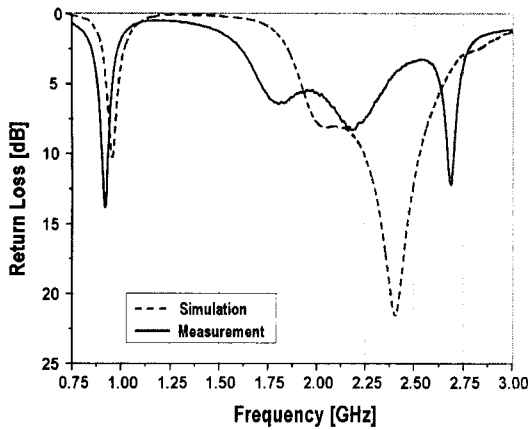


그림 7. 제안한 안테나의 반사 손실($\epsilon_{eff}=1.6$)
 Fig. 7. Return losses of the proposed antenna($\epsilon_{eff}=1.6$).

표 2. 유효 유전율에 따른 안테나 효율
 Table 2. The antenna efficiency for different effective permittivity.

| Freq. [MHz] | $\epsilon_{eff}=3.4$ | | $\epsilon_{eff}=1.6$ | |
|-------------|----------------------|----------------|----------------------|----------------|
| | Peak gain [dBi] | Efficiency [%] | Peak gain [dBi] | Efficiency [%] |
| 880 | -5.02 | 21.14 | -0.78 | 47.84 |
| 925 | 0.30 | 68.90 | 2.10 | 92.32 |
| 960 | -3.50 | 27.54 | -0.10 | 55.75 |
| 1,710 | 2.58 | 54.22 | 2.20 | 47.81 |
| 2,170 | -1.46 | 28.69 | 3.36 | 69.94 |
| 2,550 | -14.89 | 1.10 | -1.24 | 30.24 |

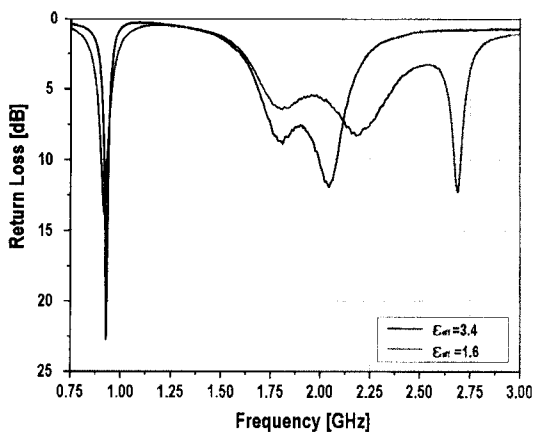


그림 8. 유효 유전율에 따른 반사 손실
 Fig. 8. Return losses for a different effective permittivity.

큰 return loss 측정 결과를 보여준다. 안테나 peak gain 및 방사 패턴은 3D 무반사실에서 측정하였다. Peak gain은 표준 이득 안테나를 사용하여 측정하였으며, 측정된 안테나 co-pol 및 x-pol 방사 패턴으로부터 directivity를 계산하여 이들의 비로부터 안테나 효율을 구하였다. 그림 9는 low-band 및 high-band의 안테나 효율을 구한 결과이며, $\epsilon_{eff}=3.4$ 인 안테나의 안테나 효율이 45 % 이상이 되는 대역폭은 low-band에서 52 MHz(890~942 MHz)이고, high-band에서 490 MHz(1710~2,200 MHz)이다. $\epsilon_{eff}=1.6$ 인 안테나의 효율이 45 % 이상인 대역폭은 low-band에서 80 MHz(880~960 MHz)이고, high-band에서 690 MHz(1,710~2,400 MHz)이다. 측정 결과, $\epsilon_{eff}=3.4$ 인 안테

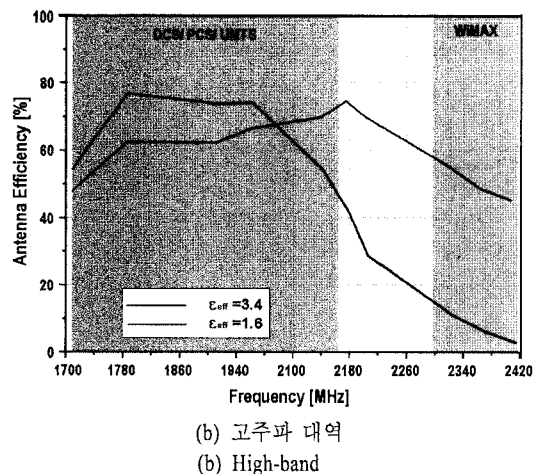
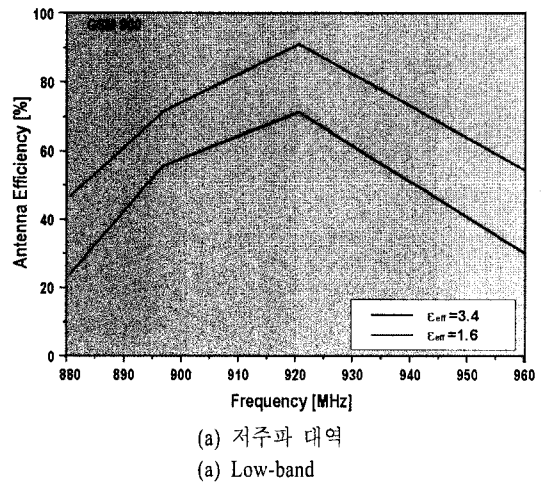
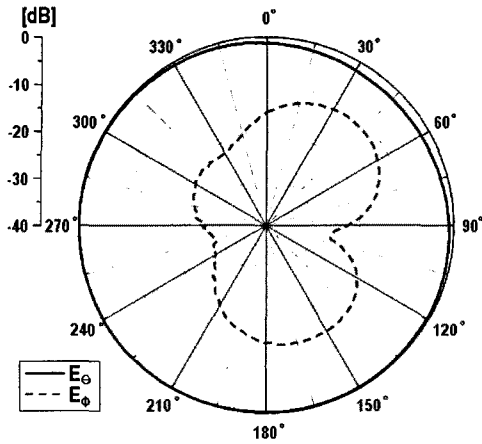
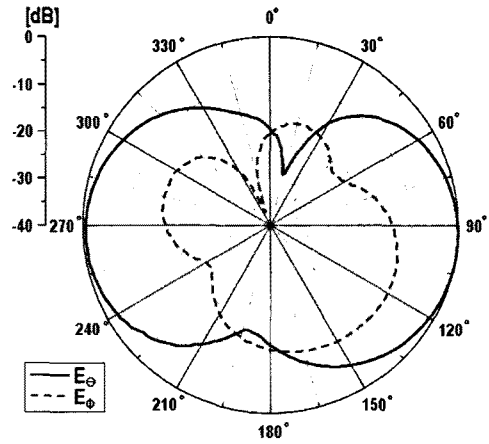


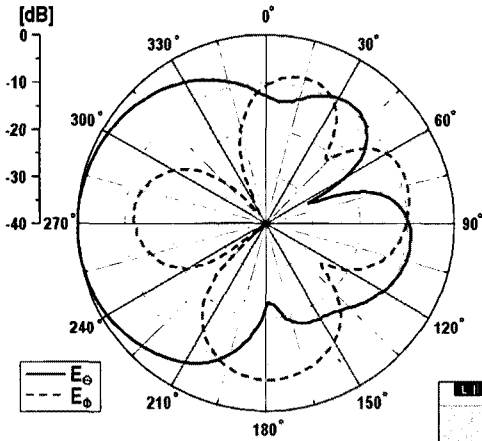
그림 9. 안테나 효율 측정 결과
 Fig. 9. Measured antenna efficiency.



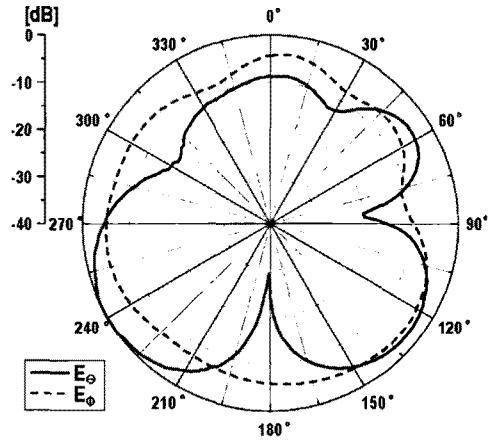
(a) XY-plane at 880 MHz



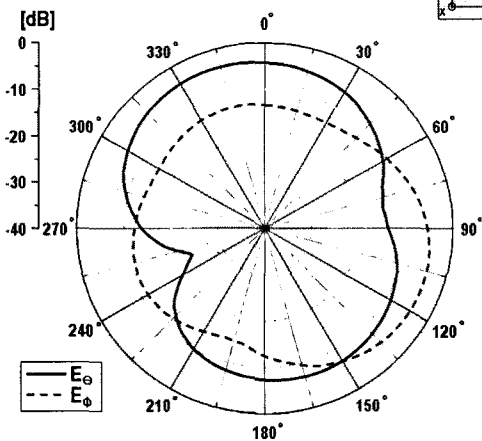
(b) XZ-plane at 880 MHz



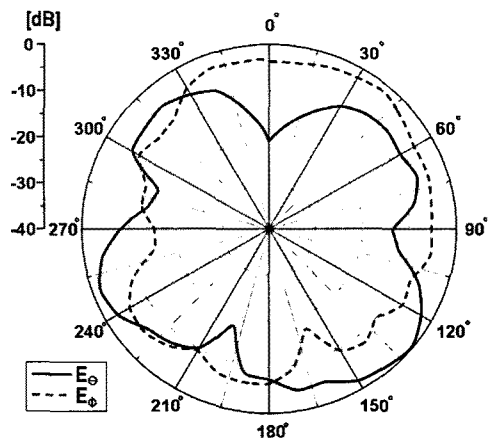
(c) XY-plane at 1,920 MHz



(d) XZ-plane at 1,920 MHz



(e) XY-plane at 2,300 MHz



(f) XZ-plane at 2,300 MHz

그림 10. 제안한 안테나의 방사 패턴 측정 결과 ($\epsilon_{eff}=1.6$)

Fig. 10. Measured radiation patterns of the proposed antenna ($\epsilon_{eff}=1.6$).

나보다 $\epsilon_{eff}=1.6$ 인 안테나의 low-band 대역폭은 약 53 % 늘어났고, high-band의 대역폭 또한, 약 40 % 늘어났다. 이 때, 단말기 안테나가 전기적 소형 안테나라는 가정 하에 McLean의 연구 결과에 따르면 VSWR 4:1을 기준으로 안테나 부피가 33 % 커진다고 해도 동작 대역폭의 증가는 30 %를 넘지 않는다^[5].

즉, 53 %의 대역폭 증가는 air-gap의 증가와 안테나 소자(element) 사이의 간격이 늘어남에 따른 Q 값의 감소로 대역폭이 넓어졌다고 할 수 있다. 즉, 제안한 안테나의 구조는 병렬 캐패시턴스를 줄이기 위해 air-gap의 공간을 늘리고 안테나의 부피를 약 33 % 확장한 것이다. Middle layer air-gap의 비율을 늘리기 위한 방법으로 그림 3의 (c)의 형상으로 설계하여 air-gap이 차지하는 공간을 약 75 %로 늘렸으며, 안테나 사이의 병렬 캐패시턴스를 줄이기 위해 Top 레이어의 두께를 늘렸다. 그 결과, 제안한 안테나의 45 % 이상을 만족하는 안테나 효율 대역폭은 GSM, DCS, PCS, WCDMA, 2.3 GHz Mobile WiMAX 대역을 만족한다. 제안한 안테나 ($\epsilon_{eff}=3.4$ 및 $\epsilon_{eff}=1.6$ 인 안테나) 2가지를 비교했을 때 안테나 부피가 커짐에 따른 효율 증가가 있지만, air-gap이 차지하는 부피의 증가와 안테나 소자 사이의 적절한 거리로 인해 안테나의 동작 대역폭이 더욱 넓어진 것을 확인하였다. 그림 10은 제안된 안테나의 방사 패턴 측정 결과를 보여준다. 측정 결과 GSM 대역에서 전방위성 방사 패턴을 보이고, high-band인 PCS 대역에서 고차 모드에 의한 방사 패턴의 특성을 보인다.

IV. 결 론

본 논문에서는 GSM, DCS, PCS, WCDMA and 2.3 GHz Mobile WiMAX 대역을 만족하는 multi-layer chip antenna 설계하였다. 3개의 레이어로 이루어진

PIFA 구조와 air-gap을 이용하여 소형 칩 안테나의 크기에서 넓은 임피던스 대역폭을 가진다. 최적화된 air-gap을 위해 middle layer 구조를 그림 3의 (c)와 같은 형태로 설계하였으며, high-band에서 넓은 임피던스 대역 특성을 보인다. 측정 결과, 제안한 multi-layer chip antenna는 GSM, DCS, PCS, WCDMA, 2.3 GHz Mobile WiMAX 대역에서 안테나 효율 45 % 이상을 만족한다. 이는 단말기 내부의 손실을 감안하더라도 단말기에 적용하기 위한 조건을 만족한다고 할 수 있다. 따라서 제안한 multi-layer chip antenna는 5개 대역에서 사용이 가능하다.

참 고 문 헌

- [1] A. K. Skrivervik, J. F. Zurcher, O. Staub, and J. R. Mosig, "PCS antenna design: the challenge of miniaturization", *IEEE Antennas and Propag. Mag.*, vol. 43, no. 4, pp. 12-17, Aug. 2001.
- [2] H. C. Tung, S. W. Lu, J. F. Liang, and K. L. Wong, "Internal monopole plastic chip antenna for GSM/DCS/PCS mobile phone", in *Proc. IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 434-437, 2005.
- [3] Y. A. Lee, H. J. Lim, and H. M. Lee, "Triple-band compact chip antenna using coupled meander line structure for mobile RFID/PCS/WiBro", in *Proc. IEEE AP-S Int. Symp. Dig.*, pp. 2649-2652, 2006.
- [4] CST STUDIO SUITES 2006B, Computer Simulation Technologies, Framingham, MA, USA.
- [5] J. S. McLean, "A re-examination of the fundamental limits on the radiating Q of electrically small antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propag.*, vol. 30, no. 4, pp. 672-676, May 1996.

조 상 혁



2005년 2월: 강원대학교 전기전자
통신공학과 (공학사)
2004년 11월~2008년 6월: (주)아
모텍 안테나 그룹 주임연구원
2008년 3월~현재: 고려대학교 전
파통신공학과 석사과정
[주 관심분야] 소형 안테나 설계 및

해석

표 성 민



2002년 2월: 고려대학교 전기전자
전파공학부 (공학사)
2004년 2월: 고려대학교 전파통신
공학과 (공학석사)
2004년 1월~2007년 3월: (주)팬택
& 큐리텔 내수그룹 중앙연구소
전임연구원

2007년 3월~2007년 8월: 고려대학교 정보통신기술연구
소 연구원

2007년 9월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 박사과정
[주 관심분야] Metamaterial, Periodical Structures and Their
Applications for Filter, Antenna, and Waveguide for Com-
munication Systems

조 일 훈



2004년 2월: 순천향대학교 전기전자
통신공학부 (공학사)
2004년 2월~2005년 7월: (주)SB텔
콤 연구원
2005년 8월~2006년 11월: (주)암페
놀 KAE. 연구원
2007년 5월~현재: (주)아모텍 안테

나그룹 전임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

백 정 우



2002년 8월: 금오공과대학교 전자
공학과 (공학사)
2005년 2월: 고려대학교 전파공학
과 (공학석사)
2005년 3월~현재: 고려대학교 전
파통신공학과 박사과정
[주 관심분야] RF Applications of

EBG Structure, Active/Passive Antennas, Array Antenna
and System, RF Filters, and Wave Propagation

이 인 영



1997년 2월: 광운대학교 전파공학
과 (공학사)
1999년 2월: 광운대학교 전파공학
과 (공학석사)
1999년 3월~2005년 8월: (주) KMW
연구소 선임연구원
2006년 1월~현재: (주)아모텍 안

테나그룹 책임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

김 영 식



1978년 3월~1982년 1월: 홍익공업
대학 전자과 조교수
1988년 5월: University of Massa-
chsetts at Amherst (공학박사)
1988년 5월~1989년 2월: Univer-
sity of Massachsetts at Amherst
Post Doc.

1989년 3월~1993년 2월: 한국전자통신연구원 이동통신
연구단 무선기술연구실 실장

1993년 3월~현재: 고려대학교 전파통신공학과 교수
[주 관심분야] RF front-end system