

LTCC 공법을 사용한 Cellular/SDMB 안테나-다이플렉서 모듈

Antenna-Diplexer Module for Cellular/SDMB Band Using LTCC Technology

하 정 욱 · 장 기 훈 · 윤 영 중

Jeung Uk Ha · Kihun Chang · Young Joong Yoon

요 약

본 논문은 Cellular 대역과 SDMB(Satellite Digital Multimedia Broadcasting) 대역에서 동작하는 무선 통신 시스템을 위한 송수신 전치단의 소형 안테나-다이플렉서 모듈을 설계하고 구현하는 방법을 제안한다. 제안된 모듈은 이중 공진 안테나와 다이플렉서로 구성되고, 저 손실과 소형화를 동시에 달성하기 위해 다층의 LTCC(Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술을 이용하여 제작되었다. 이중 공진 안테나는 소형화를 위해 미앤더 라인을 사용하였고, 임피던스 매칭을 쉽게 이루기 위해 IFA(Inverted-F Antenna) 구조를 응용하여 설계하였으며, 간단한 구조를 지니면서 사양을 만족하는 이득과 대역폭을 갖는다. 다이플렉서는 저역 통과 필터 및 고역 통과 필터를 결합하여 설계되었고, 이들 사이의 상호 간섭을 줄임으로써 높은 격리도를 얻을 수 있었다. 제작된 모듈의 크기는 27.5×12.0×2.2 mm이고, 813~902 MHz, 2,586~2,655 MHz의 동작 주파수 대역과 -1.96 dBi(cellular band), -5.43 dBi(SDMB band)의 이득이 측정되었다. 주파수 응답 특성과 방사 특성이 분석되었다.

Abstract

This paper presents an integrated packaging antenna-diplexer module for wireless communication systems in the Cellular and SDMB band. The design and the realization of the proposed one are experimentally analyzed and discussed. It consists of a dual-resonance antenna and a diplexer with a multi-layer LTCC($\epsilon_r=7.8$, $\tan \delta=0.0043$) technology with integration capability and low loss. The dual-resonance antenna of the proposed module has the meander line structure for size reduction and has the shorting structure of an inverted F antenna to achieve good impedance matching. The diplexer of the proposed module was designed with the combination of low pass filter(LPF) and high pass filter(HPF). Decreasing the mutual interference between them provides a high isolation characteristic. The proposed antenna-diplexer module with dimensions of 27.5×12.0×2.2 mm operates within a range from 813 MHz to 902 MHz for the cellular band and from 2,586 MHz to 2,655 MHz for the SDMB band. And the measured gain of the fabricated module is -1.96 dBi for Cellular band and -5.43 dBi for SDMB band. The parameters for the antenna-diplexer module are investigated and the several performances are discussed.

Key words : LTCC, Cellular/SDMB, Module, Diplexer, Antenna

I. 서 론

현재 국내 이동 통신 시장이 급격히 발전하면서 개인 이동 통신 단말기의 멀티 미디어화가 진행 중

이다. 이에 맞추어 이동 통신 단말기는 휴대 이동이라는 특수성으로 인해 단말기의 성능 이외에도 소형/경량화 방향으로 발전하고 있다. 최근 부각되는 이동 통신 서비스를 보면 높은 화질의 데이터 서비스를

연세대학교 전기전자공학과(Department of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

· 논문 번호 : 20070608-059

· 수정완료일자 : 2007년 7월 18일

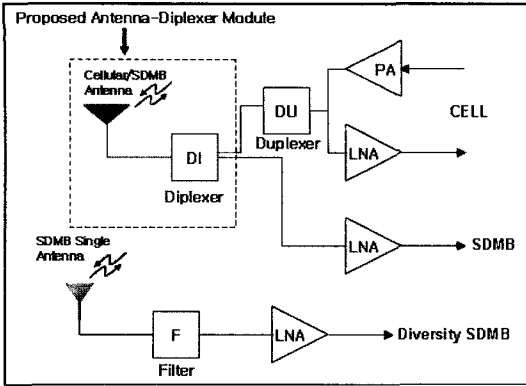


그림 1. Cellular/SDMB RF 구성도
Fig. 1. RF block diagram for cellular/SDMB.

요구하는 SDMB 서비스가 등장하여 이동 통신 단말기에 구현되고 있다. 이는 사업자의 추진에 따라 상용 서비스되고 있는 이동 통신 단말기에 구현되어야 할 것이다. SDMB 단말기 구성은 그림 1과 같이 850 MHz의 cellular 대역과 2.64 GHz의 SDMB 대역을 수신한다.

이 두 대역을 사용하기 위해서는 2개 이상의 안테나가 필요하게 되어 공간 및 비용이 증가하는 단점이 있다. 특히 SDMB 수신을 개선하기 위해 다이버시티 구성이 요구되기 때문에 SDMB 수신부에는 안테나를 포함한 RF 단이 2개 이상 필요하게 된다. 이러한 단말기 시스템에서는 가능한 초소형화 및 초경량화 특성을 가지면서 다양한 성능과 기능 등을 수행할 수 있는 RF 전치단이 요구된다. 따라서 본 연구에서는 SDMB 단말기 구현에 있어 공간 및 비용이 증가하는 문제를 해결하기 위해 그림 1과 같이 가장 큰 공간을 차지하는 cellular/SDMB 이중 공진 안테나와 다이플렉서의 집적화를 통해 소형의 RF 전치단에 대한 연구를 제시한다. 현재 RF 부품의 소형화를 위해 SoC, SiP와 같은 집적화 연구가 활발히 진행되고 있으며^{[1],[2]}, 이런 기술은 단말기의 소형화 및 저가화 실현을 위해 RF 모듈에 대한 단일 패키지 솔루션을 제공한다. 그리고 완전한 집적화 솔루션을 구현하기 위하여 LTCC, MCM(Multi Chip Module) 및 MLO(Multi Layer Organic) 등의 고집적 다층 패키징 기술에 대한 연구가 활발하며^{[3]~[5]}. 이 중 LTCC는 저가격, 안정도 및 저 손실 특성 때문에 RF 송수신기를 위한 산업계의 표준 패키지가 되어왔다. 현

재 LTCC 기술을 이용한 고주파 대역 필터, VCO, 능동 소자 등 통신용 송수신기에 대한 많은 연구가 진행되었으나^{[6],[7]}, 안테나와 수동 소자의 연결을 고려한 패키징 연구는 미흡한 상태이다. 또한, LTCC 패키징용 안테나는 높은 유전 상수의 물질을 사용하기 때문에 원하는 대역폭을 얻기 쉽지 않다. 따라서 본 연구에서는 이중 공진 안테나와 다이플렉서 집적화 개발에 있어서 안테나의 대역폭과 방사 효율 증가를 위해 다이플렉서와 안테나를 효율적으로 집적화할 수 있는 소형의 이중 공진 안테나 구조를 제안한다.

II. 설 계

본 장에서는 cellular 대역과 SDMB 대역 구현을 위해 필요한 이중 공진 안테나와 다이플렉서를 하나의 모듈로 만들기 위해 안테나의 최적의 공간 배치 및 소형화를 위한 구조를 제안하고, 다이플렉서 구조에 대해 제안한다.

2-1 다이플렉서 설계와 특성

이동체간의 상호 음성 신호 통신뿐만 아니라 데이터 통신 등에 광범위하게 응용 가능한 cellular/SDMB 방식의 대역을 분기하기 위해 이용되는 다이플렉서의 설계 사양은 표 1과 같고, 상용화 제품 사양을 만족한다.

표 1의 사양을 만족하는 다이플렉서는 LPF 및 HPF를 결합하여 설계되는데, 다이플렉서 자체 설계에 앞서, 이들 사이의 상호 간섭을 최소화하여 결합함으로써 적층형 다이플렉서를 설계한다. 주어진 사양에 따라 단수를 결정하여야 하는데, 단수가 증가하면 크기가 증가하는 단점이 있으므로 본 논문에서

표 1. 이중 대역 cellular/SDMB 다이플렉서 사양
Table 1. Design specification of diplexer for cellular/SDMB band.

	Cellular Band	SDMB Band
중심 주파수(MHz)	850	2642.5
통과 대역(MHz)	824~894	2,630~2,655
삽입 손실	0.5 dB	0.5 dB
반사 손실	-10 dB min	-10 dB min
감쇠 특성	-25 dB @ SDMB band	-25 dB @ Cellular band

는 각각 체비셰프형 4단 형태로 동일하게 결정하고, 감쇠극을 이용하여 저지 대역에서의 감쇠 특성을 향상시킴으로써 cellular/SDMB 대역 분리에 적합한 다이플렉서를 설계하고자 한다. 그림 2와 표 2는 각각 이와 같이 설계된 다이플렉서의 등가 회로 및 각 소자의 설계값이다.

그림 3과 그림 4는 각각 회로와 3D 시뮬레이터에 의한 주파수 특성이다. 또한, 각 인덕턴스 및 캐패시턴스를 변화시키면서 주파수 특성을 해석하여 이를 프로토타입 및 구조를 설계하는데 활용하였다. 다이플렉서는 각 필터가 병렬 연결되므로 그 입력 어드미턴스는 각 필터의 입력 어드미턴스의 합으로 표현

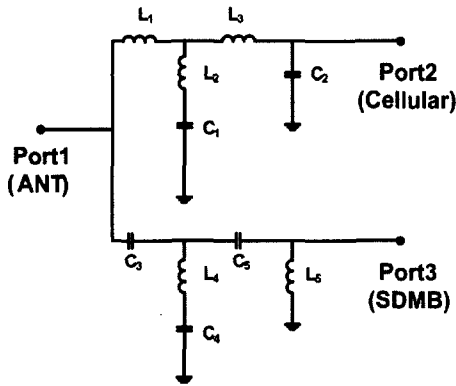


그림 2. 제안된 cellular/SDMB 대역 다이플렉서 등가 회로
Fig. 2. The proposed equivalent circuit of diplexer for cellular/SDMB band.

표 2. 다이플렉서의 등가 회로 수치 분석
Table 2. Equivalent circuit data of diplexer.

	Cellular(LPF)	SDMB(HPF)
통과 대역(MHz)	825~894	2,630~2,655
통과 대역 리플	0.35 dB max	0.15 dB max
감쇠극(MHz)	1,000	2,550
$L_1=L_3$	5.1 nH	
L_2	1.9 nH	
L_4		4.8 nH
L_5		5.0 nH
C_1	1.9 pF	
C_2	2.2 pF	
$C_3=C_5$		1.9 pF
C_4		6.5 pF

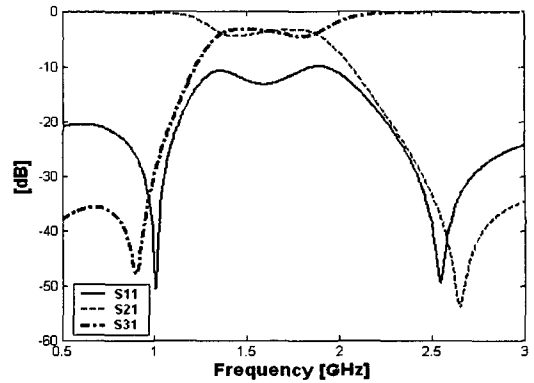


그림 3. 다이플렉서 등가 회로의 주파수 전달 특성
Fig. 3. S-parameter characteristics of diplexer by equivalent circuit.

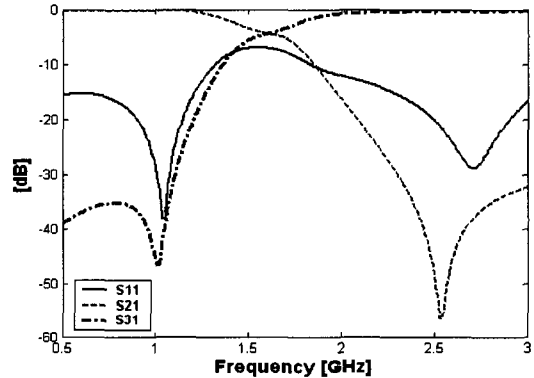


그림 4. 3D 시뮬레이터에 의한 다이플렉서의 주파수 전달 특성
Fig. 4. S-parameter characteristics of diplexer by simulation.

된다. 다이플렉서가 최적의 특성을 가지기 위해서 복소 공액 정합이 필요하므로 정규화 된 어드미턴스는 각 주파수 대역에서 1.0에 근접해 있어야 하며, 서셉턴스는 각 주파수 대역에서 서로 상쇄되어 0이 되어야 한다.

프로토타입을 근거로 설계된 cellular/SDMB 다이플렉서는 그림 5와 같다. 5.5×3.5×1.2 mm로 설정하였고, 다이플렉서의 하부에 cellular용 단자, SDMB용 단자 및 안테나단 포트를 구현하였다. 인덕터는 면적 감소와 기생 캐패시턴스 억제를 위해서 스파이럴 구조를 사용하였으며, 이중 접지면 구조에서 자기 공진 주파수를 높이는 방법으로 중앙에 위치시켰다^[8]. 그리고 병렬 캐패시터의 한쪽 면을 접지면으로

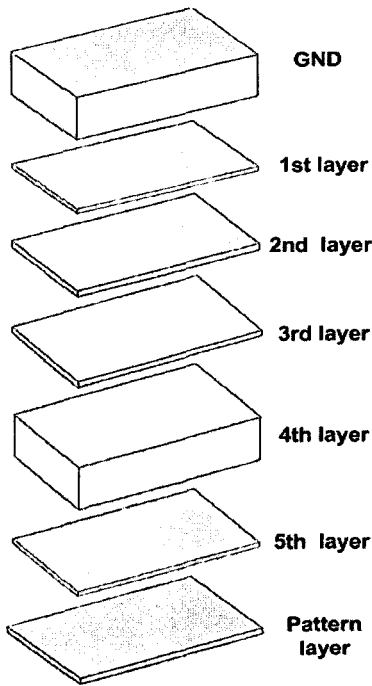


그림 5. 제안된 다이플렉서 적층형 구조 설계
Fig. 5. Stacking structure of the proposed diplexer.

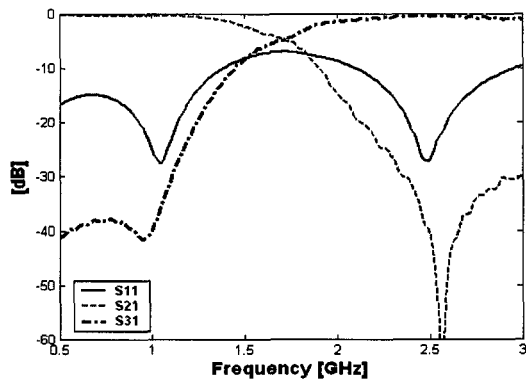


그림 6. 측정된 다이플렉서의 주파수 전달 특성
Fig. 6. Measured S-parameter characteristics of diplexer.

대체하여 캐패시터의 크기를 줄였다. LTCC 소재가 다이싱 될 때 발생하는 휨 현상을 줄이기 위해서 상부에 있는 접지면의 외곽 영역의 일부 도체는 제거되었다.

최종 설계된 다이플렉서의 해석 결과는 그림 6과 같다. SDMB 통과 대역에서의 저지 특성은 감쇠극의 존재로 35 dB 이상으로 향상됨을 보였고, 반사 손실

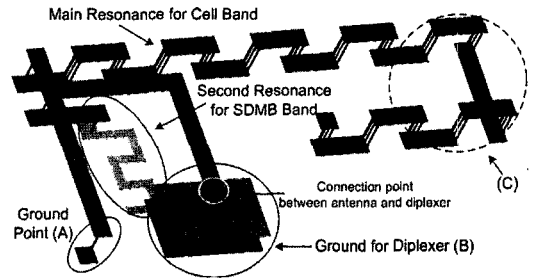


그림 7. 안테나-다이플렉서 모듈의 구조
Fig. 7. 3-dimension geometry of the integrated antenna-diplexer module.

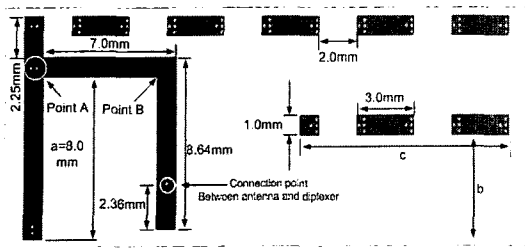
은 10 dB 이상을 가지므로 주어진 cellular 설계 사양을 만족하였다. 그리고 SDMB 고역 통과 필터의 경우, 1 GHz에 감쇠극이 존재하여 cellular 통과 대역에서의 저지 특성이 40 dB 이상이었고, 반사 손실은 20 dB 이상을 가지므로 주어진 SDMB 사양을 만족하였다.

2-2 안테나 설계와 특성

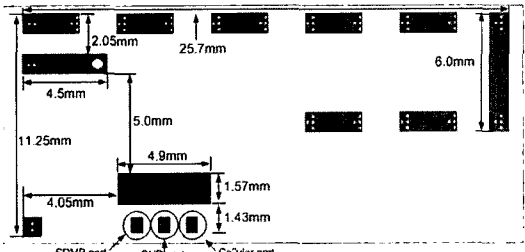
그림 7은 제안된 안테나-다이플렉서 모듈의 전체 구조를 나타낸다. 가장 큰 면적을 차지하는 cellular 대역의 주 공진 부분과 왼쪽에 SDMB 대역 공진을 위해 추가한 부분을 볼 수 있다. 그리고 좌측 하단을 보면 안테나와 접지 면을 연결하기 위한 접지 구조(그림 7(a))를 볼 수 있는데, 이는 IFA 구조와 같이 안테나의 임피던스 정합을 위해 사용하였다. 또 아래 접지 부분(그림 7(b))은 다이플렉서가 들어있는 위치를 나타낸다. 그리고 접지 부분 상단(그림 7(b))에 구멍을 뚫어 안테나와 다이플렉서를 연결하였으며, 이는 그림 7 중간에 표시하였다.

본 실험에 사용된 지그는 접지면의 크기가 40×60×0.5 mm인 RO4003C($\epsilon_r=3.38$) 기판으로 설정하여 휴대 단말기의 일반적인 크기를 반영하였고, 방사 소자는 유전율 7.8의 그린 시트를 사용하는 LT-CC 공정을 이용하여 제작하였다.

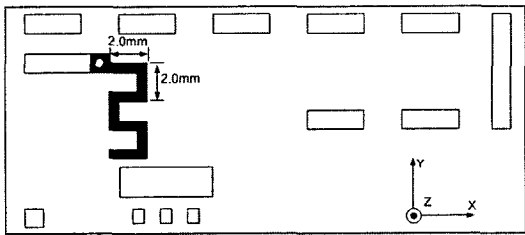
그림 8은 cellular 대역과 SDMB 대역 공진을 위한 안테나의 세부 구조와 상세 수치를 나타낸다. 안테나의 구조는 LTCC의 Layer 1, Layer 2와 상하층 비아를 사용하였고, SDMB 공진을 위해 지그 영역의 일부를 이용하였다. 그림 8(c)에서 볼 수 있듯이 SDMB 안테나 구조는 다이플렉서용 접지면과 접지점(그림



(a) Layer 1
(a) Layer 1



(b) Layer 2
(b) Layer 2



(c) 지그 영역
(c) Bottom layer

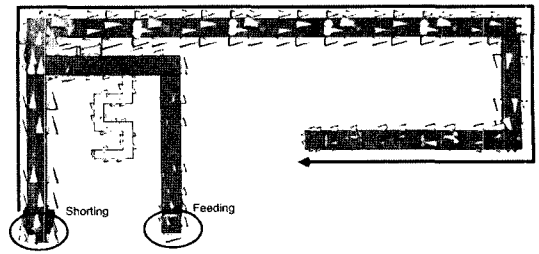


(d) 측면도
(d) Side view

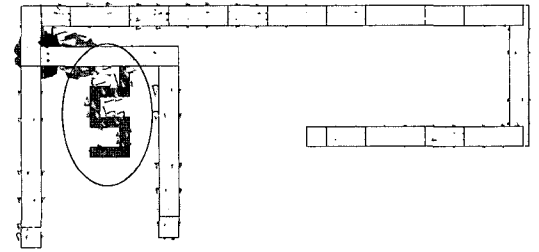
그림 8. 안테나-다이플렉서 모듈의 정면도와 측면도
Fig. 8. Top and side view of the integrated antenna-diplexer module.

7(a)에 인접해 있다. 이로 인해 이득 성능의 저하가 발생하였고, 이들과 최대한 거리를 두어 이득 성능을 향상시키기 위해 지그 면을 이용하였다.

Cellular 대역 안테나의 형태는 가로로 길고 세로로 짧은 일반적인 휴대폰 안테나 형태가 되도록 하였고, 안테나의 정합을 위해 IFA 형태의 접지 구조를 사용하였다. 이는 그림 7의 접지점 위치(A)를 통



(a) Cellular 대역
(a) Cellular band



(b) SDMB 대역
(b) SDMB band

그림 9. 안테나 전류 분포

Fig. 9. Current distributions of antenna.

해 확인할 수 있다. 그리고 소형화를 위해 상층과 하층을 비아로 연결한 3차원 미앤더 형태를 적용하였고, 안테나 끝부분(그림 7(c)에 안쪽으로 접는 형태)를 사용하였다. 공진형 안테나에서 안테나의 끝부분에는 전류가 적게 흘러 방사에 미치는 영향이 적다. 따라서 그림 7(c)와 같이 접는 형태로 구성하여도 기존 구조와 전류 교차로 인한 안테나의 방사 효율 감소가 적다. 이와 같은 원리를 이용하여 안테나를 소형화하였다.

그림 9는 안테나의 전류 분포를 정면으로 바라본 그림이다. Cellular 공진부의 전류 분포는 그림 9(a)와 같이 화살표를 통해 확인할 수 있으며, 안테나의 길이는 총 길이는 82.8 mm이고 이는 거의 $\lambda/4$ 의 길이와 같다. 전류의 흐름을 보면 일반적인 IFA 구조와 같이 접지점에서 가장 큰 값을 보이고 안테나의 종단점으로 갈수록 전류가 줄어드는 형태를 갖는다. 그리고 그림 9(b)를 보면 (a)와는 달리 cellular 대역에서 공진하던 부분에는 전류가 거의 흐르지 않으며, cellular 대역과 독립적인 공진 형태를 갖는다는 것을 나타낸다. 그리고 SDMB 공진을 위해 만든 기생 부분(그림 9(b) 표시)에 전류가 집중되는 것을 볼 수

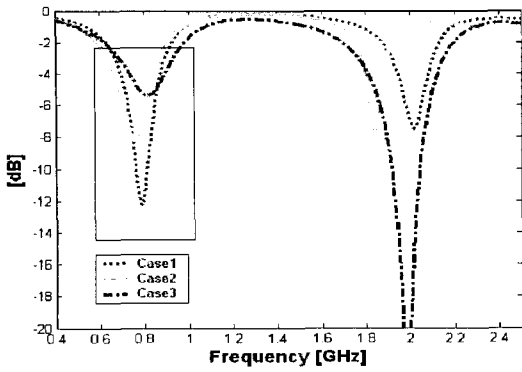


그림 10. 접지점 위치에 따른 반사 손실 특성 변화
Fig. 10. Variance of the return loss according to the variance of ground point.

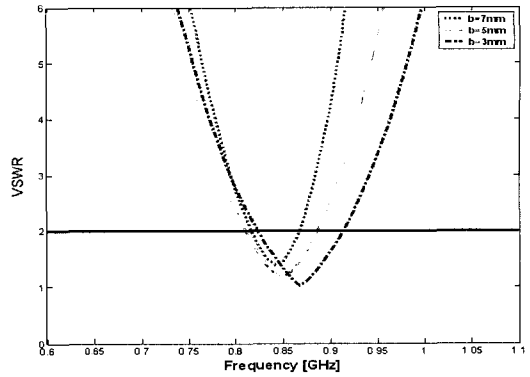


그림 12. 길이 b 변화에 따른 VSWR 특성 변화
Fig. 12. Variance of impedance according to the variance of length b .

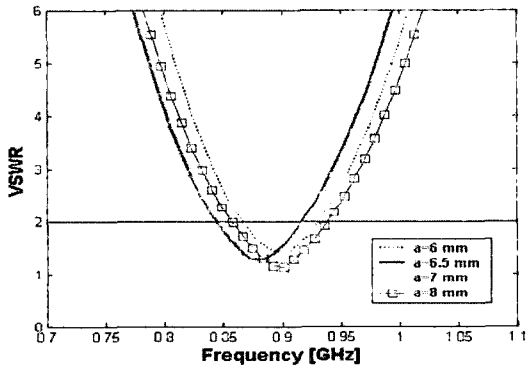


그림 11. 길이 a 변화에 따른 VSWR 특성 변화
Fig. 11. Variance of impedance according to the variance of length a .

있고 이 부분에 의해 공진이 이루어지는 것을 알 수 있다.

접지 핀의 위치에 따른 특성은 그림 10에서 확인할 수 있다. 이를 위해 그림 8(a)에서 접지 핀의 위치 (Point A)를 변화시켜 안테나의 임피던스 변화를 확인하였다. 여기서 Case 1은 그림 8(a)의 현재 상태를 나타내며 Case 2는 Point B로 접지점을 옮긴 경우고 Case 3는 접지점을 제거한 경우이다. 그림 10의 결과를 보면 일반적인 IFA 안테나와 마찬가지로 접지점의 위치가 안테나 정합의 수단으로 활용될 수 있음을 확인할 수 있다.

그림 11은 그림 8(a)에서 길이 a 의 변화에 따른 대역폭 변화를 관찰한 것이다. 단, 길이 a 변화에 의해 생기는 공진 주파수의 변화는 안테나 종단의 길이를

표 3. 길이 b 변화에 따른 대역폭 및 안테나 길이
Table 3. Bandwidth and antenna length by length b .

	$b=7$ mm	$b=5$ mm	$b=3$ mm
대역폭	51 MHz (816 ~ 865 MHz)	76 MHz (810 ~ 886 MHz)	90 MHz (823 ~ 913 MHz)
안테나 총길이	89.37 mm	82.80 mm	73.95 mm
c	15.75 mm	10.75 mm	5.75 mm

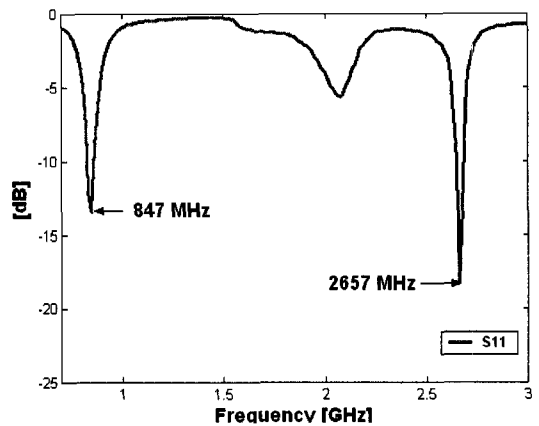


그림 13. 제안된 안테나의 반사 손실 특성
Fig. 13. Return loss characteristics of the proposed antenna.

조절하여 일치하도록 하였다. 결과를 보면 $a=8$ mm 일 때 가장 넓은 대역폭을 갖는 것을 볼 수 있다. 이는 급전부와 안테나부의 연결 부분을 최대한 지그

접지면으로부터 멀게 할 때 대역폭이 넓어진다는 것을 알 수 있었다.

그림 12와 표 3은 그림 8(a)에서 길이 b 를 조절하였을 때의 특성 변화를 관찰한 것이다. 길이 b 의 변화에 따른 특성 변화를 보기 위해 안테나 길이를 조절하여 공진 주파수를 갖게 맞추었다.

길이 b 를 2 mm씩 줄여 접지면에 근접시킬수록 대역폭은 약 15 MHz씩 증가한다. 그리고 안테나 종단이 접지면에 근접할수록 안테나의 길이가 짧아짐을 볼 수 있다. 따라서 본 안테나 구조에서는 b 의 길이를 줄여 안테나 종단을 접지면에 근접시켜 대역폭을 확보할 수 있다. 본 실험에서는 $b=5$ mm일 때를 이용하여 실험을 진행하였다. 그 이유는 $b=5$ mm인 경우에도 원하는 대역폭을 얻을 수 있었고, 향후 그 위치에 듀플렉서와 SDMB 안테나를 놓아 SDMB 다이버시티 안테나의 구현을 목표로 하기 때문이다.

이상에서 확인한 안테나의 특성을 고려하여 최적화된 안테나를 설계하였으며, 이를 이용한 안테나의 반사 손실 특성은 그림 13에 나타난다. 공진 주파수는 847 MHz와 2,657 MHz이고, VSWR 3:1 기준으로

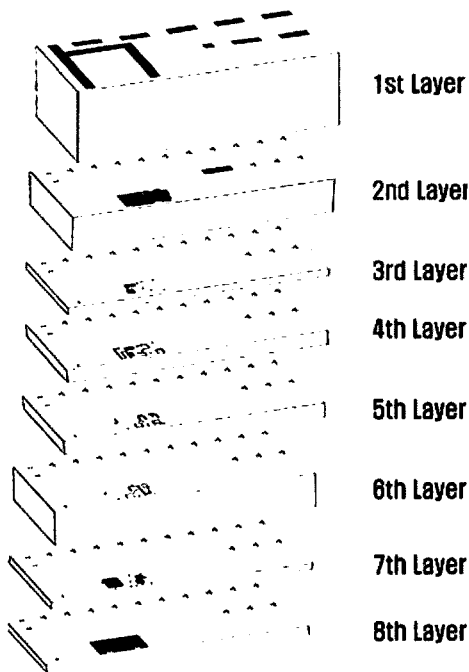


그림 14. 적층형 안테나-다이플렉서 모듈의 구조
Fig. 14. Stacking structure of antenna-duplexer module.

대역폭은 각각 72 MHz(808~880 MHz)와 66 MHz(2,625~2,691 MHz)이다. 이 결과를 바탕으로 다음 절에서 다이플렉서와 안테나의 복합 모듈을 제시한다.

2-3 집적화 설계 및 제작

앞서 제안된 안테나를 LTCC 공법을 이용하여 다이플렉서와 결합시켰다. 그림 7(b)는 급전부에 상/하면을 접지면으로 구성한 것이다. 이 부분은 안테나와 다이플렉서를 합치기 위해 안테나 설계시 미리 고려한 부분이다. 이 접지면 공간에 미리 설계한 다이플렉서를 넣고 함께 제작하였다.

다이플렉서와 안테나가 합쳐진 상세 구조도는 그림 14에서 볼 수 있다. 두께가 36 μ m, 55 μ m, 71 μ m, 98 μ m, 134 μ m인 그린 시트로 8개의 층과 층간 비아를 구성하였다. 그림 14의 1층, 2층, 8층은 안테나를 위해 형성된 전극이고 나머지 층은 다이플렉서를 위한 부분이다.

앞 절에서 제시한 다이플렉서를 안테나-다이플렉서 모듈에 적용하기 위해 급전 구조의 형태를 변경하였다. 안테나 연결을 위해 다이플렉서의 안테나 포트를 상단에 위치시키고 다이플렉서 상판 접지면에 구멍을 뚫어 안테나 급전부와 연결하였다. 시뮬레이션을 통해 확인한 결과, 급전 구조 변경에 따른 다이플렉서의 특성 변화는 거의 없었고, 접지면 구멍에 따른 영향도 거의 없었다.

그림 15는 제작된 안테나의 S 파라미터 측정 결과

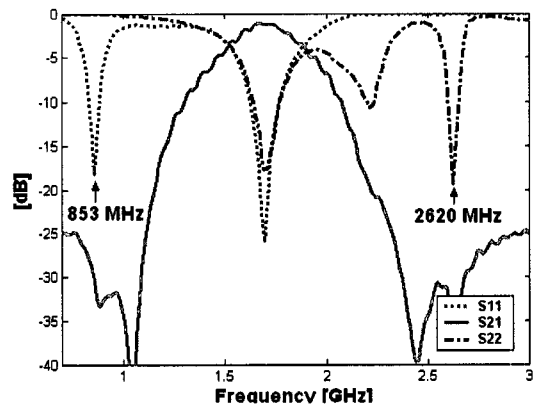


그림 15. 제안된 모듈 측정 결과
Fig. 15. Measurement result of proposed antenna-duplexer module.

이다. 여기서 포트 1은 Cellular 대역이며, 포트 2는 SDMB 포트를 나타낸다. Cellular 대역 중심 주파수가 854 MHz, SDMB 대역 중심 주파수가 2,620 MHz 이고, 대역폭은 VSWR 3:1 기준으로 각각 89 MHz (813~902 MHz), 79 MHz(2,586~2,665 MHz)이다. 이는 안테나와 다이플렉서의 삽입 손실이 합쳐진 결과이고, 단일 안테나보다 약 10 MHz 정도 넓은 특성을 볼 수 있었다. 그 이유는 다이플렉서 적용시 내부의 인덕터와 캐패시터를 통한 임피던스 정합으로 인하여 대역폭 변화가 생긴 것으로 판단된다. 그리고 그림 15의 1,695 MHz의 주파수에서 S_{11} 과 S_{22} 의 반사 손실은 15 dB 이상인 것을 볼 수 있다. 이는 실제 안테나 방사를 의미하는 것이 아니고, 두 포트간이 서로 연결되어 있는 것처럼 신호가 전달되는 것을 나타내며 S_{21} 이 높은 것을 통해 확인할 수 있다. 두 포트 간 격리도 또한 다이플렉서와 유사한 특성을 가지며 cellular 대역과 SDMB 대역에서 각각 25 dB 이상을 보였다.

그림 16은 cellular 대역과 SDMB 대역의 3차원 방사 패턴을 측정된 결과이다. 수직 편파와 수평 편파의 합으로 표현하였으며, 방사 패턴은 그림 8에서 표시된 X, Y, Z 방향을 기준으로 한다. Cellular 대역의 경우 ZX 평면에서 무지향성의 특성을 나타내었으며 이득은 평균 -1.96 dBi이다. SDMB 대역의 경우 ZX 평면에서 null 점이 있으며, 평균 이득은 평균 -5.43 dBi이다. 그림 17은 cellular 대역의 2D 방사 패턴이다.

그림 18은 실제 제작된 안테나-다이플렉서 모듈의 외형도이며, 크기는 $27.5 \times 12.0 \times 2.2$ mm이다.

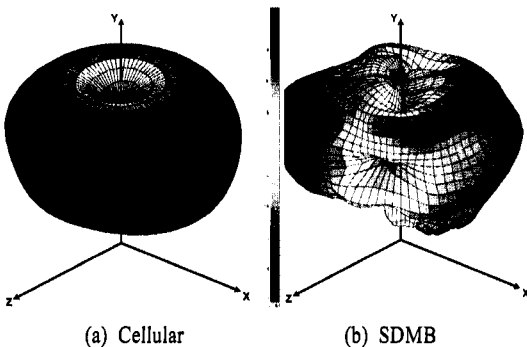


그림 16. Cellular 대역과 SDMB 대역 3D 방사 패턴
Fig. 16. 3D radiation pattern(Cellular & SDMB).

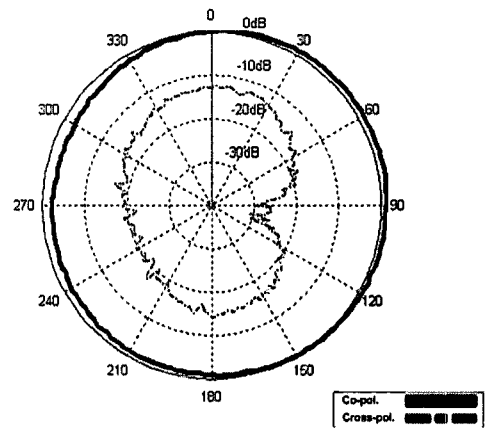
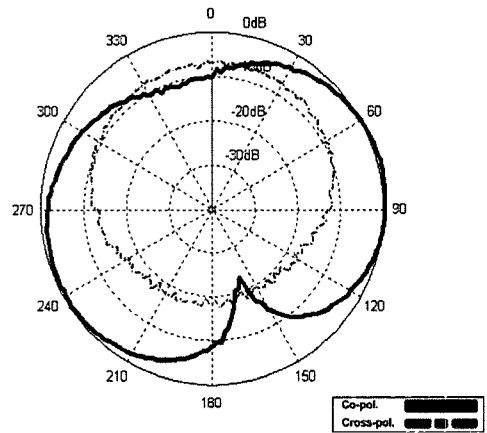
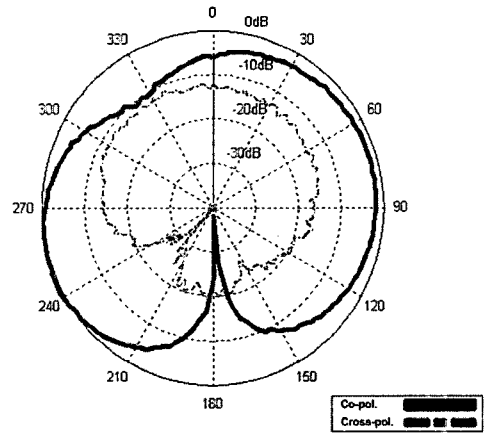


그림 17. Cellular 대역 2D 방사 패턴
Fig. 17. 2D radiation pattern(Cellular band).

참 고 문 헌

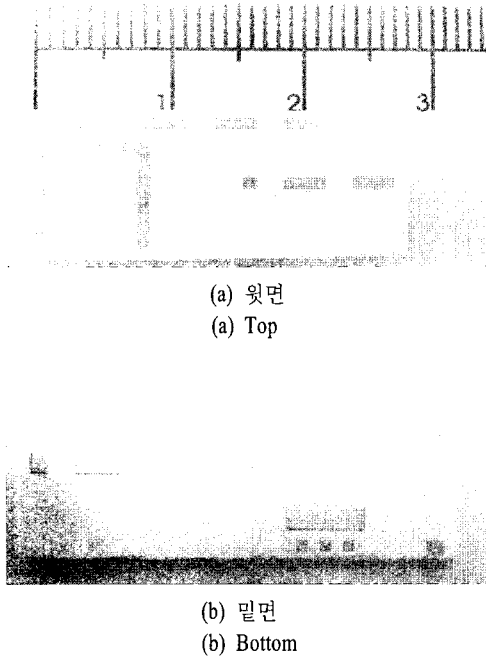


그림 18. 안테나-다이플렉서 모듈의 외형도
Fig. 18. Shape of antenna-diplexer module.

III. 결 론

본 논문은 SDMB 서비스가 가능한 이동 통신 단말기에 사용할 수 있는 안테나-다이플렉서 모듈의 구조를 제안하였다. 소형의 고집적 모듈을 구현하기 위해 LTCC 기술을 이용하여 단말기의 공간을 가장 많이 차지하는 안테나를 소형화하고 LTCC 기판 내부에 필터를 구현함으로써 전체 크기를 획기적으로 줄일 수 있었다. 대역폭은 cellular 대역에서 89 MHz, SDMB 대역에서 79 MHz로써 서비스 대역폭을 만족하였다. 이득은 cellular 대역에서 평균 -1.96 dBi, SDMB 대역에서 평균 -5.43 dBi로써 이동 통신 단말기에 적용 가능한 주파수 응답 특성과 방사 특성을 보였다. 따라서 본 논문에서 제안된 모듈은 향후 안테나와 추가 수동 소자를 하나의 모듈로 집적화하는 연구에 중요한 자료가 될 것으로 기대된다.

[1] Young Chul Lee et al., "Monolithic LTCC SIP transmitter for 60 GHz wireless communication terminals", *IEEE International Microwave Symposium*, pp. 1015-1018, Jun. 2005.

[2] S. Pinel, C. -H. Lee, S. -W. Yoon, S. Nuttinck, K. Lim, and J. Laskar, "Embedded IC packaging technology for ultra-thin and highly compact RF module", *Electronic Components and Technology Conference*, pp. 24-29, 2003.

[3] B. Hunt, L. Devlin, "LTCC for RF modules", *Packaging and Interconnects at Microwave and mm-Wave Frequencies, IEE Seminar*, pp. 5/1-5/5, 2000.

[4] R. Lucero, W. Qutteneh, A. Pavio, D. Meyer, and J. Estes, "Design of an LTCC switch diplexer front-end module for GSM/DCS/PCS application", *IEEE Radio Frequency Integrated Circuits Symposium*, pp. 213-216, 2001.

[5] J. Estes, R. Kommrushch, and Rong Fong Huang, "Integration of a receiver front-end in multilayer ceramic integrated circuit(MCIC) technology", *Wireless Communications Conference*, pp. 165-169, 1997.

[6] C. H. Lee, S. Chakraborty, A. Sutono, S. Yoo, D. Heo, and J. Laskar, "Broadband Highly Integrated LTCC Front-END Module for IEEE 802.11a WLAN Application", *IEEE International Microwave Symposium*, pp. 1045-1048, 2002.

[7] 고정호, 이상노, 육종관, 박한규, "이종적층 LTCC 기술을 이용한 GSM 대역 BPF 설계", *한국전자파학회논문지*, 14(9), pp. 931-935, 2003년 9월.

[8] 심성훈, 강종윤, 최지원, 윤영중, 윤석진, 김현재, "접지면에 의한 LTCC 인덕터의 특성 변화에 대한 연구", *한국세라믹학회 춘계학술대회*, 2003년.

하 정 욱



1994년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1996년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)
1996년 1월~현재: LG전자 단말연구소 책임연구원
2001년 8월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 능동 위상 배열 시스템

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)
1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위성통신기술 연구단

1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수

[주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC

장 기 훈



2002년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학사)
2004년 8월: 연세대학교 전기전자공학과 (공학석사)
2004년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 마이크로파 소자 및 안테나