

기생 성분을 고려한 Wi-Fi와 WiMAX용 LTCC 무선 전단부 모듈의 구현

Implementation of an LTCC RF Front-End Module Considering Parasitic Elements for Wi-Fi and WiMAX Applications

김동호*** · 백경훈* · 김동수* · 유종인* · 김준철* · 박종철* · 박종대**

Dong-Ho Kim*** · Gyung-Hoon Baek* · Dongsu Kim* · Jong-In Ryu* ·
Jun-Chul Kim* · Jong-Chul Park* · Chong-Dae Park**

요 약

본 논문에서는 저온 동시 소성 세라믹(Low Temperature Co-fired Ceramic: LTCC) 기술을 이용하여 Wi-Fi와 WiMAX에 적용할 수 있는 무선 전단부(RF front-end) 모듈을 구현하였다. 무선 전단부 모듈은 3개의 LTCC 대역 통과 여파기와 FBAR 여파기, embedded된 정합 회로, Wi-Fi와 WiMAX 모드 선택용 SPDT 스위치, 송·수신 선택용 SPDT 스위치 그리고 대역 선택용 SP4T 스위치로 구성되어 있다. 모드 선택용 SPDT 스위치의 DC block 커패시터를 실장하기 위한 패드 패턴에서 LTCC의 적층 구조의 특성으로 인해 0.2~0.3 pF의 값을 가지는 기생 성분이 생기게 된다. 이러한 기생 성분은 설계된 회로의 매칭을 틀어지게 만들어 결과적으로 모듈의 전기적 성능을 저하시킨다. 따라서 기생 커패시터 성분에 상응하는 칩 인덕터를 DC block 커패시터 패드 패턴과 병렬로 달아서 기생 성분을 상쇄하여 모듈의 특성을 최적화하였다. 제작된 무선 전단부 모듈은 내부 접지(inner GND) 3개 층을 포함한 12층으로 설계되었으며, 크기는 6.0 mm×6.0 mm×0.728 mm이다.

Abstract

In this paper, a compact RF Front-end module for Wireless Fidelity(Wi-Fi) and Worldwide Interoperability for Microwave Access(WiMAX) applications is realized by low temperature co-fired ceramic(LTCC) technology. The RF Front-end module is composed of three LTCC band-pass filters, a Film Bulk Acoustic Resonator(FBAR) filter, fully embedded matching circuits, an SPDT switch for mode selection, an SPDT switch for Tx/Rx selection, and an SP4T switch for band selection. The parasitic elements of 0.2~0.3 pF are generated by the structure of stacking in the top pad pattern for DC block capacitor of SPDT switch for mode selection. These kinds of parasitic elements break the matching characteristic, and thus, the overall electrical performance of the module is degraded. In order to compensate it, we insert a parallel lumped-element inductor on capacitor pad pattern for DC block, so that we obtain the optimized performance of the RF Front-end module. The fabricated RF front-end module has 12 layers including three inner grounds and it occupies less than 6.0 mm×6.0 mm×0.728 mm.

Key words : Low Temperature Co-Fired Ceramic(LTCC), RF Front-End Module, Wi-Fi, WiMAX

I. 서 론

정보화 사회의 발전과 함께 무선 통신 시스템에

*전자부품연구원(Korea Electronics Technology Institute)

**명지대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Myongji University)

· 논문 번호 : 20091113-135

· 교신저자 : 김동호(e-mail : k-dongho@mju.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 3월 17일

대한 관심이 커지고, 무선 통신 시스템의 기능도 기존의 음성, 영상, 데이터 통신에서 블루투스, DMB, GPS 등 다양한 기능의 서비스를 포함하게 변하고 있다. 무선 통신 시장의 변화는 통신 기기의 다기능화와 소형화, 경량화를 요구하고, 이에 따라 무선 통신 시스템에 사용되는 통신 부품의 소형화와 집적화, 고주파화 그리고 모듈화는 매우 중요한 기술요소로 부각되고 있고, 이에 관한 연구가 활발히 이루어지고 있다.

LTCC 기술은 기존의 다층 PCB 기술이나 MCM (Multi-Chip Module) 기술에 비해 우수한 배선 밀도와 전기적인 특성을 갖는다. 또한, LTCC를 이용한 MLP(Multi-Layer Process) 기술은 적층 구조 설계와 SiP(System-in-Package) 구조에 적합하여, 이 기술을 이용한 다이플렉서^[1]나 트리플렉서^[2]와 같은 소형 소자 개발 및 무선 전단부 모듈화^{[3]-[4]} 연구가 활발히 이루어지고 있다.

본 논문은 최근 무선 이동 통신 시장에서 비중이 커지고 있는 Wi-Fi와 WiMAX에 적용이 가능한 무선 전단부 모듈을 LTCC 기술을 적용하여 설계 및 구현하였다. LTCC 기술은 적층 구조로서 인덕터와 커패시터를 내부에 실장하기에 매우 적합한 기술로서 외부 간섭에 대한 영향을 최소화 할 수 있는 장점이 있지만, 내부에 소자를 구현할 때는 적층 구조의 특성과 함께 내부 접지 층과 신호 선로 간의 커플링으로 인해 필연적으로 기생 커패시터 성분이 발생하게 된다. 일반적으로 기생 커패시터 성분은 설계된 소자나 모듈의 전기적인 성능을 저하시키기 때문에 소자나 모듈을 설계할 때에는 내부 패턴에 의해서 발생하는 기생 커패시터 성분을 고려하여 설계를 하지만, 모듈 위에 스위치나 DC block 커패시터 등의 칩이나 소자를 실장하거나 이를 실장하기 위한 패드 패턴에서 발생하는 기생 커패시터 성분은 예상하거나 고려하기가 어렵다. 따라서 본 논문에서는 외부 소자나 외부 패턴에 의해 발생하는 기생 커패시터 성분으로 인해 설계된 모듈의 전기적인 성능이 저하되는 것을 해결하고자 기생 커패시터 성분에 상응하는 인덕터 소자를 이용하여 기생 성분을 상쇄시켜 모듈의 최종 특성을 향상시켰다.

그림 1은 본 논문에서 구현한 무선 전단부 모듈의 구조이다. 모듈은 두 개의 SPDT 스위치, 한 개의

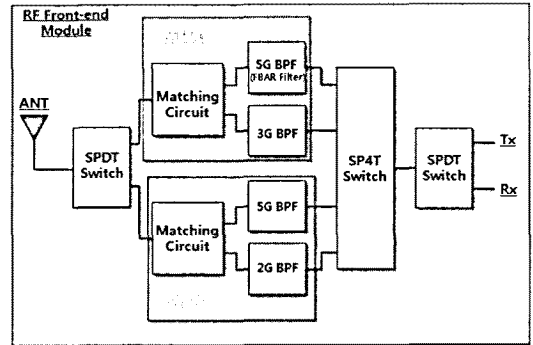


그림 1. Wi-Fi와 WiMAX용 무선 전단부 모듈 구조도
Fig. 1. Block diagram of RF front-end module for Wi-Fi and WiMAX.

SP4T 스위치, 세 개의 LTCC 대역 통과 여파기와 한 개의 FBAR 여파기, 그리고 두 개의 다이플렉서 형태의 매칭 회로로 구성되어 있다. 특히, WiMAX 5 GHz 대역의 경우는 5.725~5.825 GHz의 협대역 특성을 만족시키기 위해 FBAR 여파기를 사용하였다.

II. Comblin 구조의 대역 통과 여파기 제작

본 논문에서 구현한 LTCC 대역 통과 여파기는 그림 2(a)와 같이 Comblin 구조를 가지는 여파기로서 두 개의 공진기 및 교차 결합(cross-coupled) 커패시터 C와 공진기간 커플링으로 구성되어 있다. 공진기는 병렬 커패시터 C_p 와 한 쪽이 단락되어 있는 선로로 구성되어 있다. Comblin 구조 여파기는 교차 결합 커패시터와 병렬 커패시터를 이용하여 신호의 전기적 파장과 커플링을 조절함으로써 여파기의 물리적인 크기 변화 없이 대역과 특성을 선택하고, 높은 주파수에서도 전기적인 특성이 우수한 장점을 가진다^{[5]-[7]}. 이러한 장점으로 인해 Comblin 구조 여파기를 이용한 무선 전단부 모듈화^[8]나 Comblin 구조를 응용한 여파기^[9]에 관한 연구도 많이 이루어지고 있다.

그림 2(b)는 설계된 대역 통과 여파기의 각 층별 구조를 나타내고 있다. 설계된 Comblin 대역 통과 여파기는 내부 접지 2층을 포함하여 5층으로 구현되었다.

설계된 Wi-Fi 2 GHz 대역 통과 여파기의 소자 값은 $C=6.02$ pF, $C_{p1}=C_{p2}=4.86$ pF, 공진기 선로 길이=2.25 mm, 결합 공진기 간격=0.4 mm이고, Wi-Fi 5

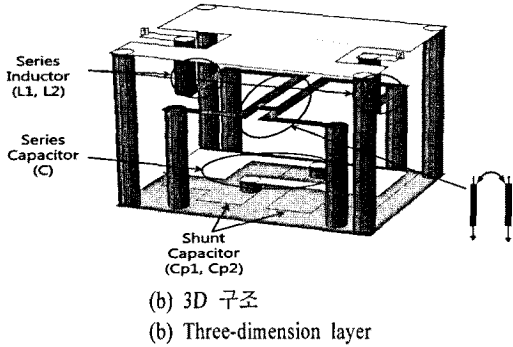
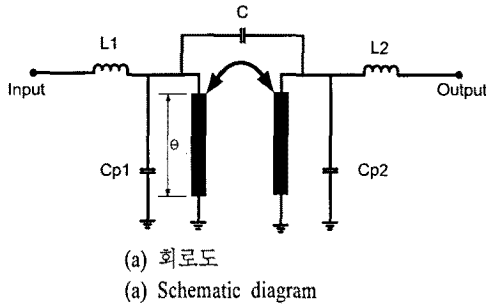


그림 2. Combine 대역 통과 여파기
Fig. 2. Combline BPF.

GHz 여파기의 소자 값은 $C=2.34$ pF, $C_{P1}=C_{P2}=1.5$ pF, 공진기 선로 길이= 1.05 mm, 결합 공진기 간격=0.5 mm이다. 그리고 WiMAX 3 GHz 여파기의 소자 값은 $C=5.18$ pF, $C_{P1}=C_{P2}=2.9$ pF, 공진기 선로 길이=1.65 mm, 결합 공진기 간격=0.2 mm이다. Wi-Fi 2 GHz, 5 GHz 그리고 WiMAX 3 GHz 대역 통과 여파기의 크기는 2.3 mm×1.45 mm, 1.9 mm×1.05 mm, 1.9 mm×1.25 mm이며, 두께는 모두 264 μm이다.

Wi-Fi와 WiMAX 대역에 사용될 대역 통과 여파기의 EM 시뮬레이션과 측정치 특성은 그림 3과 같고, 결과는 표 1에 나타내었다. 제작된 대역 통과 여파기는 적은 삽입 손실과 상대 대역에서의 감쇄 특성은 우수하면서 정합 회로는 간단하게 하기 위해 영점(zero-point)을 통과 대역의 아래에 위치하게 하였다. 현재 상용되는 칩 형태의 Wi-Fi와 WiMAX 대역 통과 여파기는 일반적으로 2.0 mm×1.0 mm의 크기와 1.5 dB에서 2 dB 정도의 삽입 손실 특성을 가지는데^[10], 본 논문에서 구현한 Wi-Fi와 WiMAX 대역의 여파기 특성은 상용되고 있는 대역 통과 여파기와 비교했을 때 크기는 비슷하며, 삽입 손실은 더

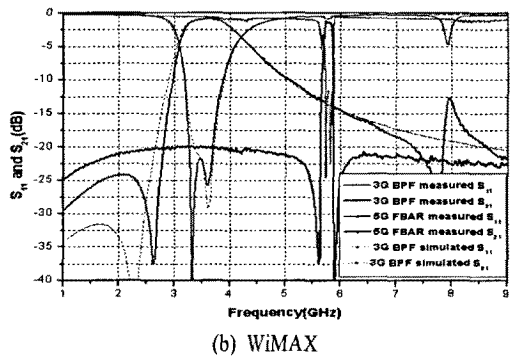
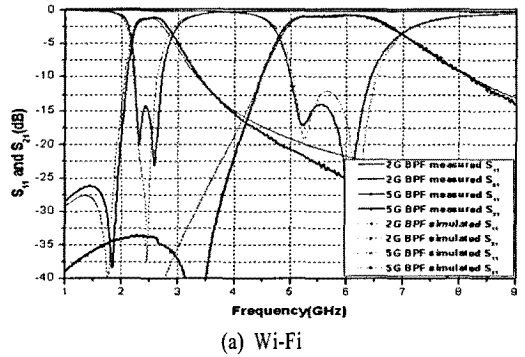


그림 3. 대역 통과 여파기의 측정값과 시뮬레이션값 비교

Fig. 3. Measured and simulated BPF performance.

표 1. BPF 시뮬레이션과 측정 결과

Table 1. Summary of simulated and measured BPF.

		Wi-Fi		WiMAX	
		2.4~2.5	5.15~5.85	3.4~3.6	5.725~5.825
Max.	Sim.	1.18	1.17	0.97	
	I.L.(dB) Mea.	1.40	1.10	1.05	1.60
Min.	Sim.	23.2	12.0	20.9	
	R.L.(dB) Mea.	14.2	14.0	21.8	11.5
Min.	Sim.	20.2 @ 5.5 GHz	47.9 @ 2.45 GHz	13.8 @ 5.8 GHz	
	Mea.	23.0 @ 5.5 GHz	33.6 @ 2.45 GHz	13.7 @ 5.8 GHz	20.0 @ 3.5 GHz

좋은 결과를 보이고 있다.

WiMAX 5 GHz 대역은 5.725~5.825 GHz로 FBAR 여파기를 사용하였다. FBAR는 두 개의 금속 전극 사이에 얇은 질화 알루미늄(AIN)을 삽입하여 압전 현상을 발생시킴으로써 일정한 주파수 대역에서 공진을 발생시켜 이를 여파기화 한 소자이다. FBAR

여파기의 삽입 손실은 1.6 dB 이하이고, 반사 손실은 11.5 dB 이상이며, 크기는 1.0 mm×1.0 mm×0.7 mm 이다.

LTCC 제작에 사용한 시트는 헤라우스(Heraeus)사의 무연 파우더를 테이프 캐스팅(tape casting)하여 제작한 그린 시트로 유전율은 9.0, loss tangent는 0.005, 시트의 두께는 40 μm이고, 소성 후 시트의 두께는 22 μm이다. 시트의 각 층과 층을 연결하기 위한 미세홀(via diameter)은 150 μm이고, 전극 패턴을 위한 페이스트는 Ag 페이스트를 사용하였다.

III. Wi-Fi와 WiMAX용 정합 회로

II장에서 구현한 대역 통과 여파기를 사용하여 Wi-Fi와 WiMAX에 사용할 무선 전단부 모듈을 설계하기 위해 각각의 대역 통과 여파기를 저역 통과 여파기와 고역 통과 여파기로 이루어진 다이플렉서 구조를 가진 매칭 회로로 연결하고, 공액 정합(conjugate matching)을 하였다. 공액 정합은 회로의 최대 전력 전송과 작은 손실 그리고 상대 대역에서의 감쇄 특성이 좋다는 장점이 있다.

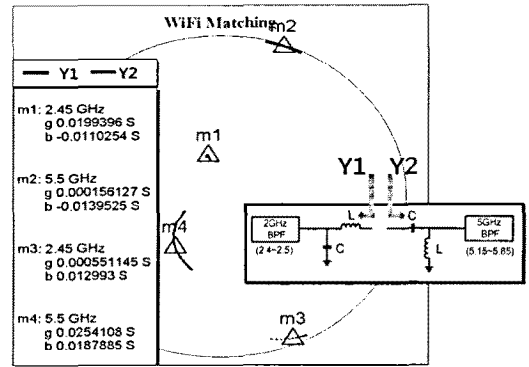
공액 정합을 하기 위해 Wi-Fi 2 GHz 대역과 5 GHz 대역, WiMAX 3 GHz 대역과 5 GHz 대역의 각 어드미턴스를 식 (1)과 같이 나타내고, 이를 그림 4에 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 Y_{Wi-Fi\ 2G} &= G_{Wi-Fi\ 2G} + jB_{Wi-Fi\ 2G} \\
 Y_{Wi-Fi\ 5G} &= G_{Wi-Fi\ 5G} + jB_{Wi-Fi\ 5G} \\
 Y_{WiMAX\ 3G} &= G_{WiMAX\ 3G} + jB_{WiMAX\ 3G} \\
 Y_{WiMAX\ 5G} &= G_{WiMAX\ 5G} + jB_{WiMAX\ 5G} \quad (1)
 \end{aligned}$$

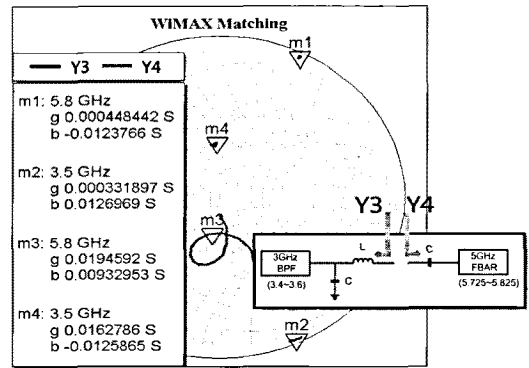
공액 정합이 되기 위한 조건은 Wi-Fi 대역에서 2 GHz 대역과 5 GHz 대역, WiMAX 대역에서 3 GHz 대역과 5 GHz 대역의 허수값이 서로 상쇄되어야 하는데, 이를 식 (2)와 같이 나타내었다.

$$\begin{aligned}
 B_{Wi-Fi\ 2G} + B_{Wi-Fi\ 5G} &\approx 0 \\
 B_{WiMAX\ 3G} + B_{WiMAX\ 5G} &\approx 0 \quad (2)
 \end{aligned}$$

그림 4(a)를 보면, Wi-Fi 2 GHz 대역의 입력 어드미턴스 실수값은 2.45 GHz에서 0.0199로 0.02에 근접하고 있으므로 50 Ω 매칭이 되었음을 확인할 수 있으며, 허수값 -0.011은 5 GHz 대역의 어드미턴스



(a) Wi-Fi의 매칭 특성
(a) Wi-Fi matching circuit



(b) WiMAX의 매칭 특성
(b) WiMAX matching circuit

그림 4. 매칭 회로의 공액 정합 특성
Fig. 4. Conjugated matching for matching circuits.

허수값 중에서 2.45 GHz에서의 허수값 0.0129와 합이 0.0019가 되므로, 식 (2)와 같이 0에 가까워져 공액 정합이 됨을 보여주고 있다. 또한 5 GHz 대역의 어드미턴스를 보면, 5.5 GHz에서의 어드미턴스 허수값은 0.0187이고, 2 GHz 대역의 어드미턴스 허수값 중에서 5.5 GHz에서의 허수값은 -0.0139로 2 GHz 대역과 마찬가지로 공액 정합됨을 확인할 수 있다. 같은 방법으로 그림 4(b)를 확인해 보면 WiMAX의 3.5 GHz에서의 어드미턴스 허수값은 각각 -0.0125와 0.0126이고, 5.8 GHz에서의 허수값은 0.0093과 -0.0123으로 두 대역의 허수값이 0에 가까워져 Wi-Fi 대역과 같이 서로 공액 정합이 됨을 확인할 수 있다. Wi-Fi와 WiMAX의 입력 어드미턴스는 표 2에 정리하였다.

표 2. Wi-Fi와 WiMAX용 매칭 회로의 입력 어드미턴스

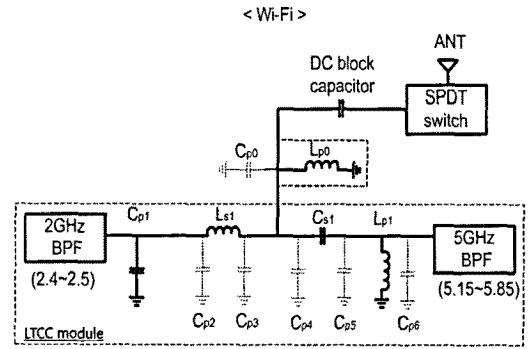
Table 2. Admittance of matching circuit for Wi-Fi and WiMAX.

Application		Admittance(Y)	
		Conductance(G)	Susceptance(B)
Wi-Fi	2G band	0.0199 @2.45 GHz	-0.011 @2.45 GHz
		0.00015 @5.5 GHz	-0.0139 @5.5 GHz
	5G band	0.0254 @5.5 GHz	0.0187 @5.5 GHz
		0.00055 @2.45 GHz	0.0129 @2.45 GHz
Wi-MAX	3G band	0.0162 @3.5 GHz	-0.0125 @3.5 GHz
		0.00044 @5.8 GHz	-0.0123@5.8 GHz
	5G band	0.0194 @5.8 GHz	0.0093 @5.8 GHz
		0.00033 @3.5 GHz	0.0126 @3.5 GHz

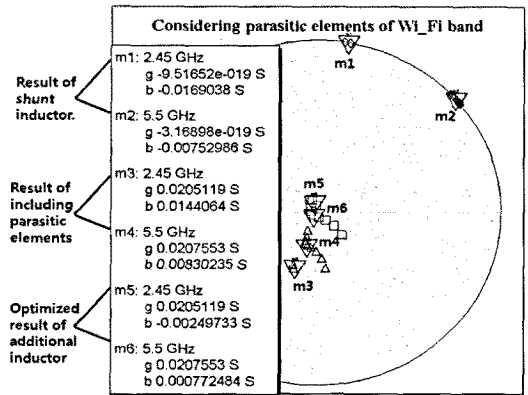
IV. 기생 성분을 고려한 최적화된 무선 전단부 모듈

제안된 무선 전단부 모듈은 II장, III장에서 설계된 LTCC 대역 통과 여파기와 FBAR 여파기, 매칭 회로, 2개의 NEC사의 SPDT 스위치 그리고 Hitrite사의 SP4T 스위치로 구성되어 있다. SPDT 스위치의 삽입 손실은 6 GHz에서 0.8 dB이고, SP4T 스위치의 삽입 손실은 8 GHz에서 1.9 dB이다.

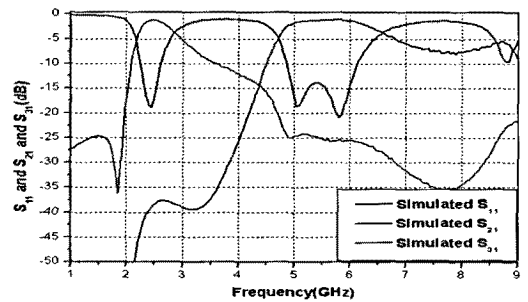
그림 5는 Wi-Fi 대역의 기생 성분을 고려한 최적화 과정을 나타내고 있다. 그림 5(a)는 III장에서 구현한 공액 정합 회로에 LTCC 기술을 적용하여 구현할 때 내부 접지 층과 신호 선로 간의 커플링으로 인해 필연적으로 발생하는 기생 성분을 고려한 회로로써 점선으로 표현한 C_{p1} (C_{p0} , $C_{p2} \sim C_{p6}$)는 인덕터와 커패시터의 적층 구조에 의해 생긴 기생 성분으로 대략 0.2~0.3 pF의 값을 가진다. 먼저 C_{p0} 은 Top면에 Wi-Fi와 WiMAX 선택용 SPDT 스위치에 필요한 DC block 커패시터를 실장하기 위한 패드 패턴에 의해 발생하는 기생 성분으로 0.2 pF의 값을 가진다. 기생 커패시터 성분 중 C_{p2} 는 저역 통과 여파기의 병렬 커패시터 C_{p1} 에 포함시킬 수 있고, C_{p5} , C_{p6} 은 5 GHz 대역의 반사 손실 특성을 감쇄시키긴 하나, 그 결과가 전체적인 회로의 특성에는 큰 영향을 미치지 않는다. 그러나 C_{p3} , C_{p4} , 그리고 Top 면의 패드 패턴에 의해 생긴 C_{p0}



(a) 제안된 Wi-Fi 회로
(a) Schematic diagram of the Wi-Fi band



(b) 기생 성분을 고려한 S11 특성
(b) Characteristic of S11 including parasitic elements



(c) 인덕터를 추가한 최적화된 결과
(c) Optimized result of additional inductor

그림 5. 기생 성분을 고려한 Wi-Fi 대역
Fig. 5. Considering parasitic elements of Wi-Fi band.

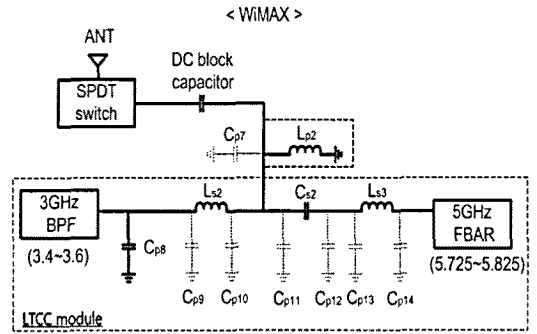
는 매칭과 모듈의 전기적인 특성에 많은 영향을 미치기 때문에 반드시 제거를 해야만 한다. 따라서 이제 세 개의 기생 커패시터 성분을 제거하기 위해 III장에서 사용한 공액 정합 방법을 이용하여, 식 (2)와 같은 방법으로 세 개의 기생 성분에 상응하는 3.8 nH

인덕터 L_{P0} 를 그림 5(a)와 같이 C_{P3} , C_{P4} , C_{P0} 와 병렬이 되도록 연결하여 기생 커패시터 성분 값이 상쇄되도록 하였다. 그림 5(b)는 그림 5(a)의 회로를 안테나 포트에서 바라본 S_{11} 특성으로 2.45 GHz와 5.5 GHz에서 인덕터 L_{P0} 를 제외한 나머지 기생 성분을 포함한 회로의 어드미턴스 허수값이 0.014와 0.008이고, 3.8 nH 인덕터의 어드미턴스 허수값은 2.45 GHz와 5.5 GHz에서 -0.0169 와 -0.0075 로 기생 성분을 포함한 회로의 어드미턴스 값과 상쇄되는 값을 가지고 있다. 이렇게 서로 상쇄를 시키면 어드미턴스의 허수값은 -0.002 와 0.0007 로 0에 가까워지는 것을 확인할 수 있고, 실수값은 0.02에 근접하고 있으므로 결과적으로 기생 성분이 공액 정합 방법과 같이 서로 상쇄되어 매칭이 잘 되었음을 확인할 수 있다. 그림 5(c)는 기생 성분을 고려한 최적화된 회로의 결과이다.

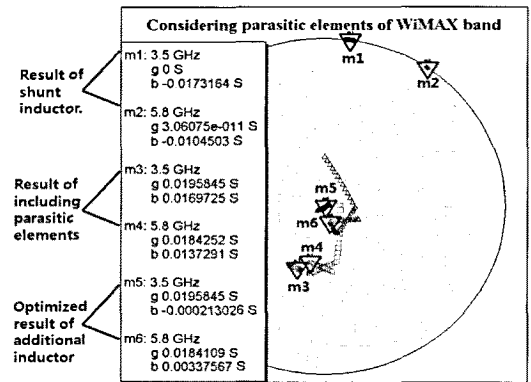
그림 6은 Wi-Fi 대역과 같이 WiMAX 대역의 기생 성분을 고려한 최적화된 과정을 보여준다. WiMAX 대역의 회로는 그림 6(a)와 같이 2차의 기본적인 저역 통과 여파기에 3 GHz 대역 통과 여파기가 연결되고, 1차의 고역 통과 여파기에 5 GHz FBAR 여파기가 연결되는데, 이때 고역 통과 여파기의 직렬 커패시터와 FBAR 여파기가 연결되기 위한 전송 선로 L_{S3} 가 필요하다. WiMAX 대역의 최적화 과정은 Wi-Fi 대역과 같은 방법으로 그림 6에서 설명하고 있다.

그림 5(c)와 그림 6(c)의 기생 성분을 고려한 EM 시뮬레이션 결과를 보면 Wi-Fi의 2 GHz 대역의 삽입 손실은 1.37 dB 이하이고, 반사 손실은 16.8 dB 이상, 상대 대역에서의 감쇄 특성은 24.2 dB이다. 그리고 5 GHz 대역의 삽입 손실은 1.45 dB 이하이고, 반사 손실은 13.9 dB 이상, 상대 대역에서의 감쇄 특성은 38.3 dB이다. WiMAX의 3 GHz 대역과 5 GHz 대역의 삽입 손실과 반사 손실은 각각 1.38 dB와 2.7 dB 이하와 26.9 dB와 10.9 dB 이상이고, 상대 대역의 감쇄 특성은 22.1 dB와 28.7 dB의 특성을 나타내었다.

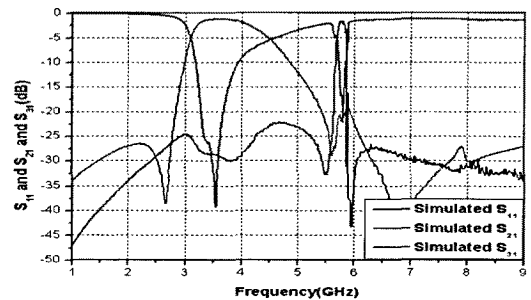
그림 7(a)는 제안된 무선 전단부 모듈의 3D 구조로서, Top면에 스위치와 DC block 커패시터 그리고 FBAR 여파기를 실장하기 위한 패드면이 있다. 설계된 무선 전단부 모듈은 내부 접지 3층을 포함하여 총 12층이고, 두께는 572 μm 이다. 그림 7(b)는 제작된 샘플 사진으로 크기는 6.0 mm \times 6.0 mm이다.



(a) 제안된 Wi-Fi 회로
(a) Schematic diagram of the Wi-Fi band



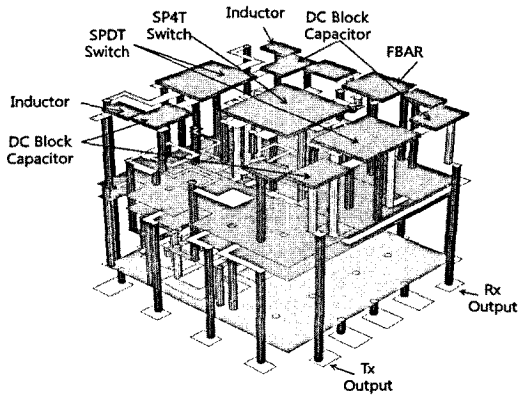
(b) 기생 성분을 고려한 S_{11} 특성
(b) Characteristic of S_{11} including parasitic elements



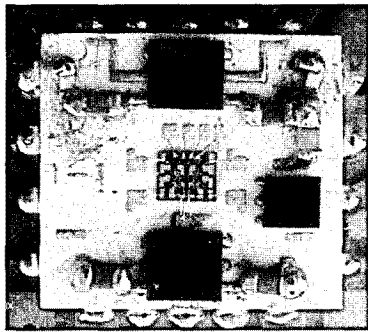
(c) 인덕터를 추가한 최적화된 결과
(c) Optimized result of additional inductor

그림 6. 기생 성분을 고려한 WiMAX 대역
Fig. 6. Considering parasitic elements of WiMAX band.

그림 8은 회로망 분석기(vector network analyzer) N5230A를 사용하여 측정된 결과이다. Wi-Fi의 2 GHz 대역의 삽입 손실은 4.8 dB 이하이고, 반사 손실은 11.7 dB 이상이다. 그리고 5 GHz 대역의 삽입 손실은 5.1 dB 이하이고, 반사 손실은 12.7 dB 이상이다. WiMAX의 3 GHz 대역과 5 GHz 대역의 삽입



(a) 3D 구조
(a) Three-dimension layer



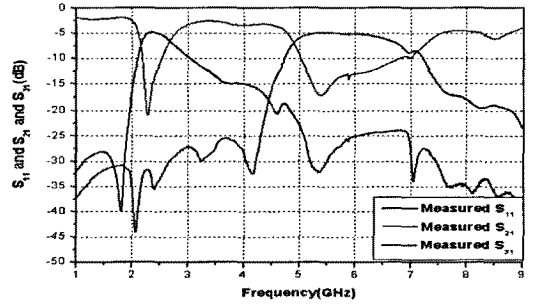
(b) 제작된 샘플 사진
(b) Photograph

그림 7. 무선 전단부 모듈
Fig. 7. RF front-end module.

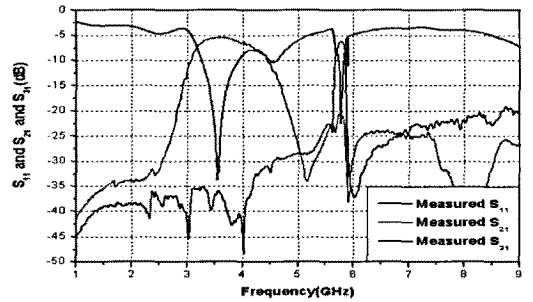
표 3. 무선 전단부 모듈 시뮬레이션과 측정 결과
Table 3. Summary of simulated and measured RF front-end module.

		Wi-Fi		WiMAX	
		2.4~2.5	5.15~5.85	3.4~3.6	5.725~5.825
Max. I.L.(dB)	Sim.	1.37	1.45	1.38	2.7
	Mea.	4.80	5.10	5.20	6.7
Min. R.L.(dB)	Sim.	16.8	13.9	26.9	10.9
	Mea.	11.7	12.7	15.6	10.5
Min. Att.(dB)	Sim.	24.2 @ 5.5 GHz	38.3 @ 2.45 GHz	22.1 @ 5.8 GHz	28.7 @ 3.5 GHz
	Mea.	29.8 @ 5.5 GHz	34.3 @ 2.45 GHz	21.0 @ 5.8 GHz	36.8 @ 3.5 GHz

손실과 반사 손실은 각각 5.2 dB와 6.7 dB 이하 및 15.6 dB와 10.5 dB 이상이다. 측정 결과는 SPDT 스



(a) Wi-Fi 대역
(a) Wi-Fi band



(b) WiMAX 대역
(b) WiMAX band

그림 8. 무선 전단부 모듈의 측정 결과
Fig. 8. Measured performance of the RF front-end module.

위치 2개와 SP4T 스위치의 손실이 모두 포함된 결과로 3개 스위치의 삽입 손실 합이 3.5 dB임을 감안하면 측정 결과와 시뮬레이션 결과가 유사함을 확인할 수 있다. 측정된 결과는 표 3에 정리하였다.

V. 결 론

본 논문은 LTCC 기술을 이용하여 Wi-Fi 대역과 WiMAX 대역용 무선 전단부 모듈을 구현하였다. 일반적으로 LTCC 기술을 이용하여 적층 구조로 회로를 구현하면 LTCC 구조의 특성상 기생 커패시터 성분이 필연적으로 발생하게 되는데, 이는 설계된 소자나 모듈의 전기적인 특성을 저하시키게 된다. 따라서 본 연구에서는 LTCC의 구조적인 특성으로 인해 필연적으로 발생하는 기생 성분을 이에 상응하는 소자를 달아서 공액 정합함으로써 서로 상쇄시켜 모듈의 특성을 최적화하였다. 전반적으로 시뮬레이션과 측정치가 유사한 결과를 보이고 있으며, 측정된

결과를 보면 각 대역에서의 삽입 손실과 반사 손실 그리고 상대 대역에서의 감쇄 특성 모두 우수한 결과를 나타내었다. 제작된 샘플의 크기는 6.0 mm×6.0 mm×0.728 mm로, 이는 현재 무선 통신 시스템에 사용되는 통신 부품의 소형화와 모듈화에 관한 연구에 도움이 될 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

- [1] Andriy Yatsenko, Denys Orlenko, Sergiy Sakhnenko, Georgiy Sevskiy, and Patric Heide, "A small-size high-rejection LTCC diplexer for WLAN applications based on a new dual-band bandpass filter", *IEEE/MTT-S International Microwave Symposium*, pp. 2113-2116, Jun. 2007.
- [2] Dongsu Kim, Dong Ho Kim, Chong Dae Park, Jong In Ryu, Jun Chul Kim, and Nam Kee Kang, "LTCC-based triplexers for WiMAX front-end modules", *Advanced Packaging and Systems Symposium, EDAPS*, pp. 190-193, Dec. 2008.
- [3] Andriy Yatsenko, Wai San Wong, Johann Heyen, Martin Nalezinski, Georgiy Sevskiy, Martin Vossiek, and Patric Heide, "System-in-package solutions for WiMAX applications based on LTCC technology", *Radio and Wireless Symposium*, pp. 470-473, Jan. 2009.
- [4] Andriy Yatsenko, Johann Heyen, Sergiy Sakhnenko, Borys Vorotnikov, and Patric Heide, "Highly-integrated dual-band front-end module for WLAN and WiMAX applications based on LTCC technology", *IEEE MTT-S International Microwave Symposium Digest*, pp. 13-16, Jun. 2008.
- [5] 안순영, 이영신, 방규석, 김경철, 강남기, 송희석, "Comblin 구조를 이용한 적층 LTCC 대역 통과 필터의 설계 및 제작", *한국전기전자재료학회 2003년도 하계학술대회논문집*, 4(2), pp. 628-631, 2003년 7월.
- [6] 임옥근, 김용준, "LTCC 기술을 이용한 집적형 컴라인 대역 통과 여파기", *Journal of the Microelectronics & Packaging Society*, vol. 11, no. 1, pp. 1-76, 2004.
- [7] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks and Coupling Structures*, McGraw Hill, pp. 497-506, 1964.
- [8] Ching-Wen Tang, Sheng-Fu You, "Design methodologies of LTCC bandpass filters, diplexer, and triplexer with transmission zeros", *Microwave Theory and Tech.*, vol. 54, no. 2, pp. 717-723, 2006.
- [9] Lap K. Yeung, Ke-Li Wu, and Yuanxun E. Wang, "Low-temperature cofired ceramic LC filter for RF applications", *IEEE Microwave Magazine*, vol. 9, pp. 118-128, Oct. 2008.
- [10] www.digikey.com

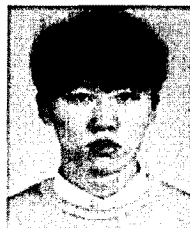
김 동 호



2004년 8월: 명지대학교 전자공학과 (공학사)
 2006년 8월: 명지대학교 전자공학과 (공학석사)
 2006년 9월~현재: 명지대학교 전자공학과 박사과정
 2006년 9월~현재: 전자부품연구원 위촉연구원

[주 관심분야] LTCC, System on Package, RF FEM, RF 수동소자

백 경 훈



2008년 8월: 명지대학교 전자공학과 (공학사)
 2008년 8월~현재: 전자부품연구원 위촉연구원
 [주 관심분야] LTCC, 필터, RF 수동소자

김 동 수



1997년: 경북대학교 전자공학과 (공학사)
1999년: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2001년: 미국 Georgia Institute of Tech. ECE (공학석사)
2004년: 미국 Georgia Institute of Tech. ECE (공학박사)

2004년~현재: 전자부품연구원 시스템패키징연구센터 선임연구원
[주 관심분야] RF 수동 소자, 안테나, System on Package, Ferroelectric Tunable Device, GaN 증폭기 등

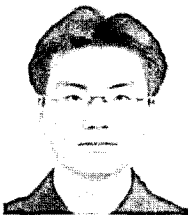
박 종 철



1980년: 서울대학교 금속공학과 (공학사)
1982년: 서울대학교 금속공학과 (공학석사)
1991년: 서울대학교 금속공학과 (공학박사)
1983년~1992년: 한국과학기술연구원(KIST) 재료설계연구실 선임연구원

1992년~현재: 전자부품연구원 시스템패키징연구센터 센터장
[주 관심분야] System on Package, RF 수동부품, Embedded Passive 등

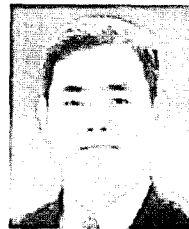
유 종 인



1988년: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
2000년: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
2000년~2002년: 에이스테크놀로지 연구원
2002년~2005년: 삼성전자 선임연구원

2006년~현재: 전자부품연구원 시스템패키징연구센터 선임연구원
[주 관심분야] RF 능/수동 소자, RF System, System on Package, Embedded Components 등

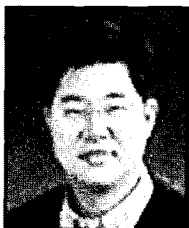
박 종 대



1983년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)
1985년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)
1992년 12월: Arizona State Univ. 전자공학과 (공학박사)
1986년 9월~1987년 6월: 한국통신 연구소 전임연구원

1993년 1월~1996년 8월: 한국통신연구소 선임연구원
1996년 9월~현재: 명지대학교 전자공학과 정교수
[주 관심분야] UWB, 광대역 수동/능동소자, RFIC, 마이크로웨이브 포토닉스

김 준 철



1991년: 서강대학교 물리학과 (이학박사)
1993년: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년: 서강대학교 전자공학과 (공학박사)
1997년~현재: 전자부품연구원 시스템패키징연구센터 수석연구원

[주 관심분야] RF 수동 소자, 필터, System on Package 등