

# LTCC를 이용한 GPS와 WLAN 대역통과 여파기

## GPS and Wireless LAN Bandpass Filter based on LTCC

김 영\*, 윤정호\*

Young Kim\*, Jeong-Ho Yun\*

### 요 약

본 논문은 LTCC를 이용하여 구현된 GPS와 WLAN용 대역통과 필터 설계방법을 제안한 것이다. 여기서 구현한 여파기는 버터워스 저역통과 여파기와 CRLH(Composite Right/Left-Handed) 전송선로의 고역통과 특성을 결합한 대역 통과 여파기를 설계하였다. 이렇게 설계된 여파기는 유전율 7.2의 그린쉬트를 이용한 LTCC 공정을 사용하여 1.5 GHz의 GPS와 2.4 GHz의 WLAN 대역의 대역통과 여파기를 제작하였다. 제작된 여파기의 삽입손실 결과는 1.5 GHz GPS대역에서 1.66 dB 또, 2.4 GHz WLAN 대역에서는 3.20 dB를 만족하는 대역통과 특성을 얻었다.

### Abstract

This paper presents a bandpass filter of GPS and WLAN band based on LTCC. The structure of bandpass filter consists of a Butterworth lowpass filter and highpass filter using CRLH (Composite Right/Left-Handed) transmission line. Using green sheet with dielectric constant 7.2, we fabricated the bandpass filter that satisfied GPS and WLAN band characteristics. We are implemented the bandpass filter at center frequency 1.5 GHz (GPS) and 2.4 GHz (WLAN). Its insertion loss are 1.66 dB at GPS and 3.20 dB at WLAN respectively.

Key words : LTCC, GPS, WLAN, CRLH transmission line, Band-pass Filter

### I. 서 론

최근의 무선통신 시스템의 요구사항은 음성과 영상, 데이터등과 GPS (Global Positioning System) 수신 이 가능한 기능을 갖는 다중대역 서비스를 제공하는 것이다. 따라서, 통신 기기 내부에는 여러 형태의 서비스가 가능한 무선통신 부품들이 실장 되어야 한다. 이러한 요구에 대응하여 최근에 저온에서 소결 가능한 유전체의 그린시트에 도체 패턴을 인쇄하여 적층, 소결 시키는 LTCC (Low Temperature Co-fired Ceramic) 기술이 제시되고 있다. 이 LTCC 기술은 저

항, 인덕터 그리고 캐패시터 등의 수동소자를 3차원 적으로 구성할 수 있기 때문에 마이크로파 대역에서 사용 가능한 공진소자 및 유전체 여파기의 칩 화를 실현가능하게 하였다.

LTCC공정을 이용한 필터는 무선 LAN (Local Area Network)을 포함한 다양한 시스템에 적용되는 대역통과 여파기가 보고되고 있다[1]-[5].

본 논문에서는 대역통과 여파기를 구현함에 있어서 CRLH (Composite Right/Left-Handed) 전송선로의 고역통과 특성과 버터워스의 특성을 갖는 저역통과 여파기를 결합한 대역통과 여파기를 설계하였다. 최

\* 금오공과대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Kumoh National Institute of Technology)

· 제1저자 (First Author) : 김 영

· 투고일자 : 2012년 3월 7일

· 심사(수정)일자 : 2012년 3월 8일 (수정일자 : 2012년 4월 20일)

· 게재일자 : 2012년 4월 30일

근 CRLH 전송선로에 대한 연구는 마이크로파 대역의 여파기, 안테나 등에서 다양한 응용 회로를 제시하고 있다[6]-[9]. 여기에서는 CRLH 전송선로를 구성하는 Left-handed(LH) 전송선로의 고역통과 특성을 이용하였다.

따라서, 본 논문에서는 LTCC 적층 구조의 장점을 최대한 활용할 수 있는 여파기 구조를 고려하여 제작하였다. 즉 저역통과 여파기의 인덕터는 상대적으로 캐패시터 보다 여파기에 미치는 영향이 크므로 높은 품질계수 값을 얻을 수 있는 직선 전송선로를 이용하였고, 캐패시터는 가장 단순한 구조인 MIM (Metal-Insulator-Metal) 형태로써 크기를 줄였다. 또한, CRLH 전송선로를 이용한 고역통과 여파기는 MIM 캐패시터와 스파이어럴 인덕터로 구성하여 크기를 줄이도록 설계하였다.

본 논문의 구성은 2장에서는 고역 및 대역통과 여파기의 설계이론에 대한 설명과 시뮬레이션 결과를 나타내었다. 또, 3장에서는 LTCC로 제작된 대역통과 필터의 측정 결과 등을 설명하고 결론은 기존 연구결과와 비교하여 서술할 것이다.

## II. 설계 이론

### 2-1 CRLH 전송선로 특성

LH 전송선로는 직렬 인터디지털 캐패시터와 병렬 단락 스테브로 구현 할 수 있다. 이러한 LH 전송선로에서 직렬 캐패시터에 따른 인덕터 기생성분과 단락 스테브에 따른 캐패시터 기생성분에 의한 영향으로 만들어지는 전송선로를 CRLH 전송선로라고 한다.

그림 1은 집중소자를 이용한 LH 전송 선로 단위 셀의 등가 모델로 그 분산 특성은 ABCD 행렬을 통해 구할 수 있다.

$$\begin{bmatrix} A & B \\ C & D \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{2j\omega L} & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & \frac{1}{j\omega C} \\ 0 & 1 \end{bmatrix} \begin{bmatrix} 1 & 0 \\ \frac{1}{2j\omega L} & 1 \end{bmatrix} \quad (1)$$

$$\cos \beta_L = 1 - \frac{1}{2\omega^2 LC} \quad (2)$$

$$\omega^2 = \frac{1}{2(1 - \cos \beta_L) LC} \quad (3)$$

여기서  $\beta_L$ 은 전송선로 단위 셀의 전달 상수이다. 이렇게 구한 방정식은 고역 통과 특성을 갖으며, 단위 셀을 주기적으로 연결하면  $\beta_L = \pi$ 일 때의 Bragg 주파수는 다음과 같다.

$$f_{BL} = \frac{1}{4\pi\sqrt{LC}} \quad (4)$$

이것은 고역통과 특성의 차단 주파수가 된다. 이 전송선로의 특성 임피던스는 다음과 같다.

$$Z_{oL} = \sqrt{\frac{L}{C}} \quad (5)$$

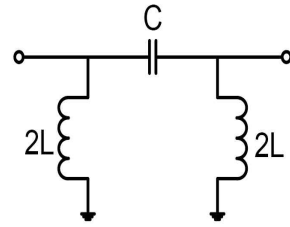


그림 1. LH 전송선로 단위 셀 등가 모델  
Fig. 1. Equivalent circuit of LH transmission line.

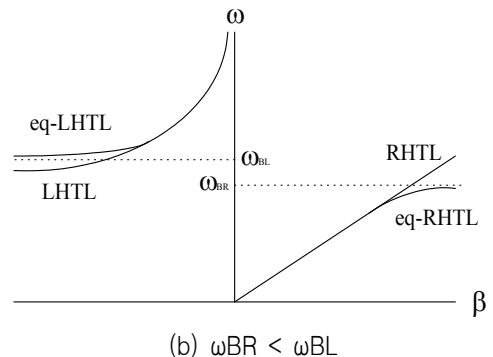
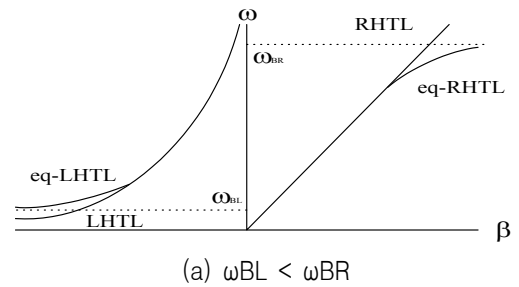


그림 2. LH 전송선로 등가모델의 분산 특성  
Fig. 2. Dispersion diagram of the equivalent model of LH transmission lines.

그림 2는 LH 전송선로의 분산 특성을 나타낸 것으로, LH 전송선로는  $\omega < \omega_{BL}$  일 때  $\beta$  가 허수가 되어 저지대역이 된다. 이 그림에서 보듯이  $\omega_{BL} < \omega_{BR}$  인 경우로 대역통과 특성을 얻을 수 있으며,  $\omega_{BR} < \omega_{BL}$  인 경우로 대역저지 특성을 얻을 수 있다.

2-2 고역통과 여파기 특성

그림 3은 CRLH 고역통과 여파기의 등가회로를 나타낸 것으로, CRLH 단위 셀은 기생성분인 Right-Handed (RH) 성분의 인덕터 (LR1, LR2)과 캐패시터 (CR1, CR2)와 LH 성분의 인덕터(LL1, LL2) 그리고 캐패시터(CL1, CL2)으로 구성되어 있으며, 이러한 CRLH 단위 셀 2개를 직렬 형태로 구성하였다.

그림 4는 그림 3의 회로 레벨에서 설계를 바탕으로 도출된 인덕터와 캐패시터를 반영한 등가회로 값을 기준으로 설계된 LTCC 다층구조의 1.5 GHz CRLH 고역통과 여파기의 패턴을 설계한 도면이고, 이것을 바탕으로 면적과 길이를 변경 하여 2.4 GHz CRLH 고역통과 여파기 다층 구조 도면을 설계한 것이 그림 5 이다. 이 때, 내장형 소자 상하부에 전면 GND를 배치하여 외부의 의한 기생성분 영향을 최소화 하였고, 향후 다층 형태의 모듈기판에 필터 형태로 내장될 시, GND에 의해 격리되어 있는 블록 설계가 가능하므로 회로사이의 간섭효과가 최소화 되는 기판 설계가 되도록 하였다. 설계 시 사용된 소프트웨어는 CST STUDIO SUIT 2008 이다.

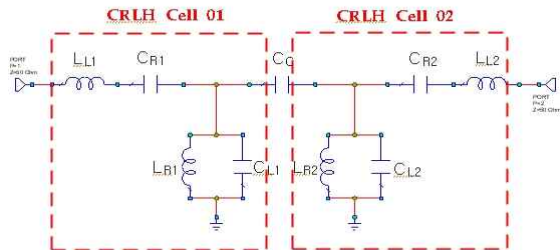
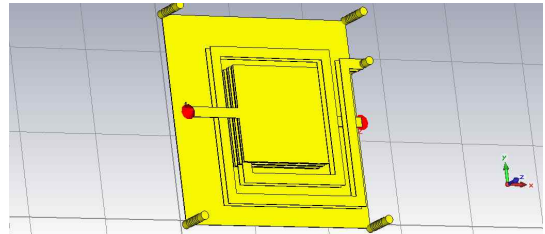
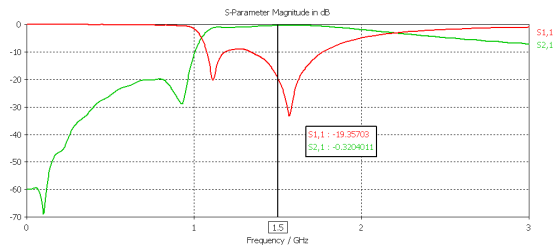


그림 3. CRLH 고역통과 여파기 등가회로  
Fig. 3. Equivalent circuit of CRLH highpass filter.



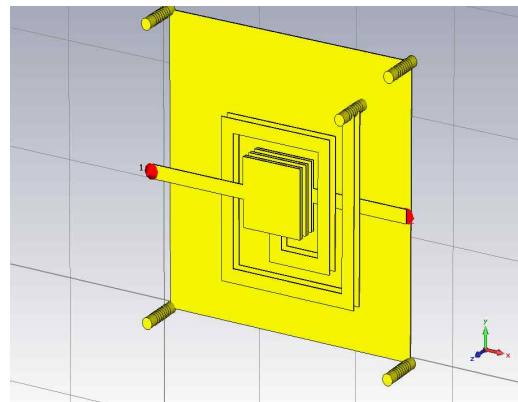
(a) 3D EM 적층 도면  
(a) 3D EM layer structure



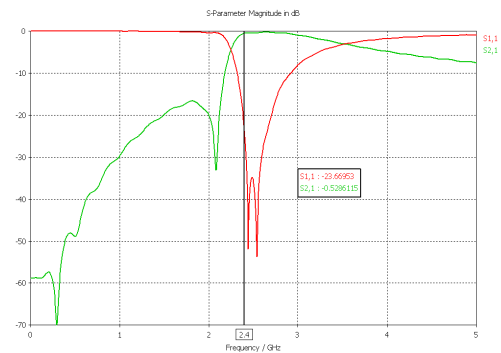
(b) EM 설계 결과

(b) EM simulation results

그림 4. 1.5 GHz GPS 고역통과 여파기  
Fig. 4. 1.5 GHz GPS highpass filter.



(a) 3D EM 적층 도면  
(a) 3D EM layer structure



(b) EM 설계 결과

(b) EM simulation results

그림 5. 2.4 GHz WLAN 고역통과 여파기  
Fig. 5. 2.4 GHz WLAN highpass filter.

2-3 대역통과 여파기 특성

1.5 GHz와 2.4 GHz 적층형 대역통과 여파기를 설계하기 위해 CRLH 단위 셀로 구성된 다층 고역통과 여파기와 삽입 손실 방법에 의해 설계된 저역통과 여파기를 직렬로 결합시켜 GPS와 WLAN에 사용하는 적층형 대역통과 여파기를 구현하였다.

그림 6은 CRLH 고역통과 여파기와 버터워스 저역통과 여파기가 직렬로 결합된 적층형 대역통과 여파기의 등가회로를 나타낸 것이다.

직렬 결합으로 연결되는 저역통과 여파기는 일반적인 삽입손실 법에 의해 구성 소자 값이 결정이 되었고, 소자 값을 바탕으로 10개 레이어의 다층구조로 설계 되었다.

앞 절에 설계된 다층 구조의 CRLH 고역통과 여파기와 삽입손실 법으로 설계된 다층 구조의 저역통과 여파기는 GND로 격리된 상태로 비아를 이용하여 직렬로 연결이 되었고, 전체 19층의 레이어로 적층형 대역통과 여파기를 구성하였다.

그림 7과 8은 설계 도면을 바탕으로 3D EM 설계를 위해 구성된 1.5 GHz, 2.4 GHz대역의 3D EM 구조와 최종 해석한 결과다. 통과대역의 삽입손실 값이 각각 0.25 dB 이하의 결과가 도출되었다.

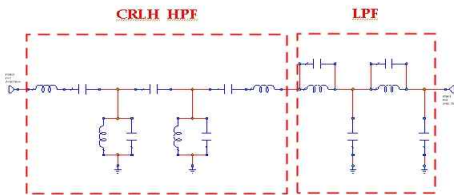
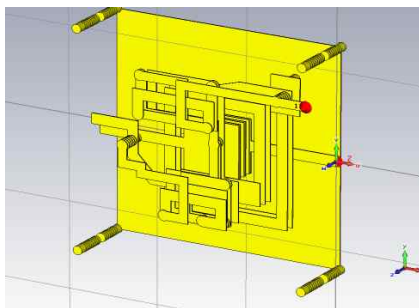
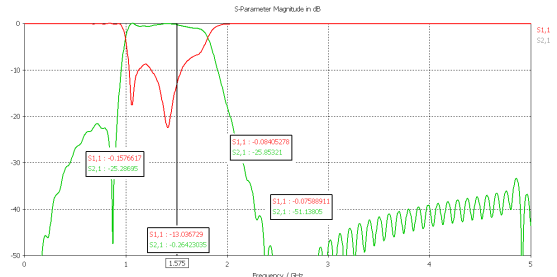


그림 6. 적층형 대역통과 여파기 등가회로  
Fig. 6. Equivalent circuit of LTCC bandpass filter.



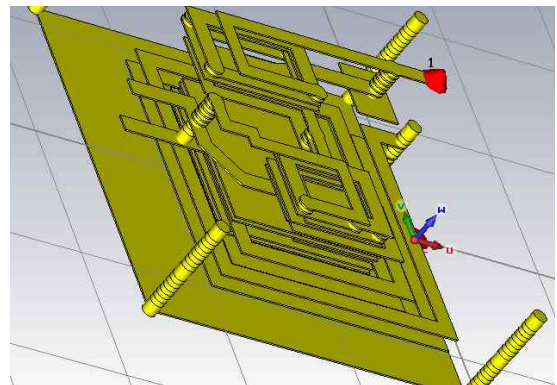
(a) 3D EM 적층 도면  
(a) 3D EM layer structure



(b) EM 설계 결과

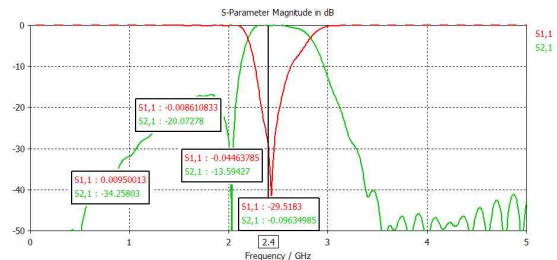
(b) EM simulation results

그림 7. 1.5 GHz GPS 대역통과 여파기  
Fig. 7. 1.5 GHz GPS bandpass filter.



(a) 3D EM 적층 도면

(a) 3D EM layer structure



(b) EM 설계 결과

(b) EM simulation results

그림 8. 2.4 GHz WLAN 대역통과 여파기  
Fig. 8. 2.4 GHz WLAN bandpass filter.

III. LTCC 구조를 이용한 대역통과 여파기 제작 및 실험결과

1.5 GHz와 2.4 GHz의 이중대역 필터를 구현하기 위하여 기존 제품의 크기와 동일하게 설계하는 것이 제품에 적용하여 활용하기가 용이할 것으로 판단하

여 기존 상용화된 제품과 같은 크기(4.5x3.5x1.15 mm<sup>3</sup>)로 설계하였다.

유전율이 7.2인 그린쉬트를 이용한 LTCC 적층 방법을 이용하여 1.5 GHz와 2.4 GHz의 이중대역 필터를 구현하기 위해서 앞 절에서 설계된 두 필터를 한 몸체에 설계가 되도록 하였다.

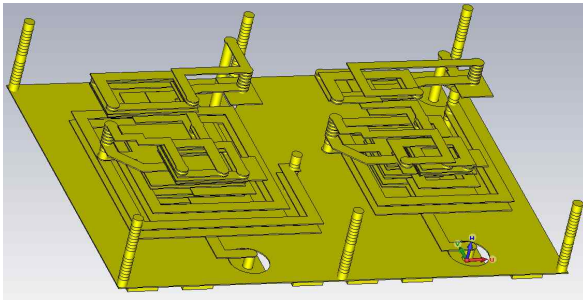


그림 9. 1.5 GHz, 2.4 GHz 적층형 이중대역 대역통과 여파기 도면

Fig. 9. Layout of 1.5 GHz and 2.4 GHz LTCC dual-band bandpass filter.

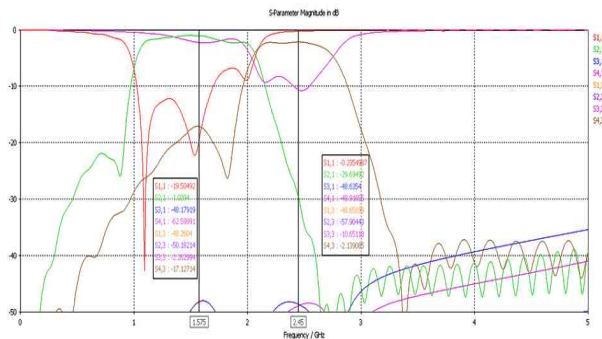


그림 10. 1.5 GHz, 2.4 GHz 적층형 이중대역 대역통과 여파기의 전기적 특성

Fig. 10. Characteristics of 1.5 GHz and 2.4 GHz LTCC dual-band bandpass filter.

그림 9와 같이 동일 레이어에 두 여파기 패턴을 배열하였고, 그 전기적 특성을 시뮬레이션 한 결과를 그림 10에 나타내었다.

기존의 개별적인 필터에 영향이 없도록 최대한 간격을 벌려서 설계를 하였으며, 이러한 과정을 통해서 개별적으로 설계한 필터와 동일한 특성을 얻었다. 이렇게 설계된 여파기를 LTCC 공정을 통하여 제작된 시제품은 그림 11에 나타내었다. 또한 그림 12는 시제품을 테스트 보드에 연결한 도면이다.

여파기의 삽입손실을 측정하기 전에 테스트 보드

를 측정된 값을 보정하여 여파기 시제품을 측정된 결과 1.5 GHz 대역에서는 삽입손실이 1.66 dB, 2.4 GHz 대역에서는 3.20 dB의 전기적인 특성을 얻었다. GPS와 WLAN 대역통과 여파기의 삽입손실과 반사계수 특성은 그림 13에 나타내었다.

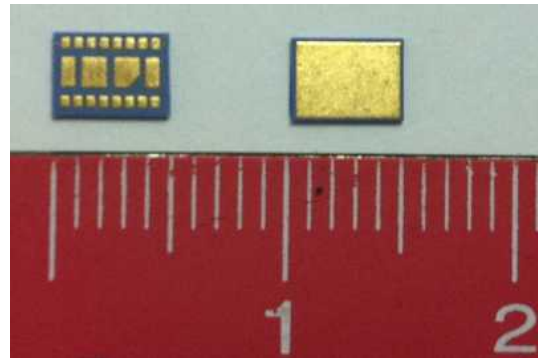


그림 11. LTCC 대역통과 필터 시제품

Fig. 11. Proto-type of LTCC dual-band bandpass filter.

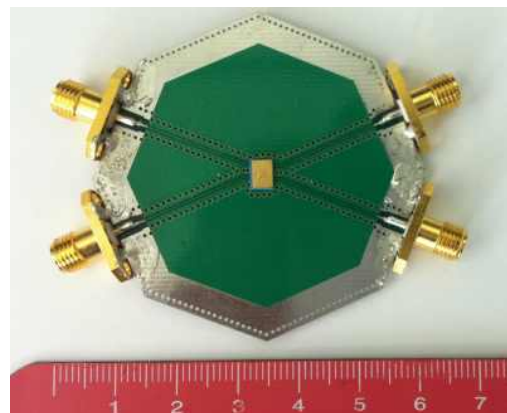


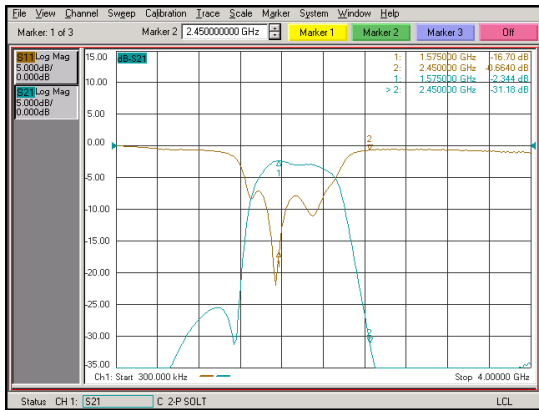
그림 12. LTCC 대역통과 필터 시제품이 테스트 보드에 연결된 도면

Fig. 12. Test board of Proto-type LTCC dual-band bandpass filter.

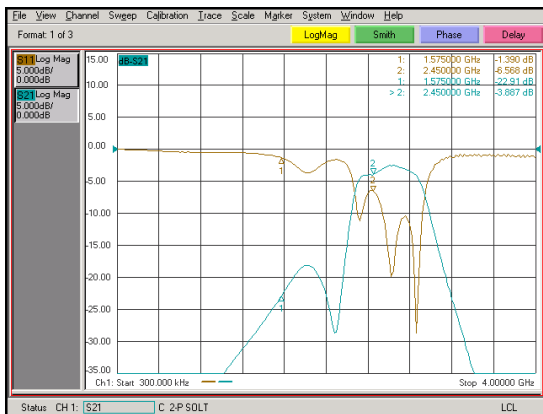
#### IV. 결 론

이 논문은 CRLH 전송선로의 고역통과 특성과 버터워스 저역통과 특성을 결합하여 LTCC 공정을 이용하여 GPS와 WLAN용 대역통과 여파기 설계 및 제작한 논문이다. LTCC 공정을 이용함으로써 다른 회로의 영향을 받지 않고 작은 크기로 구현이 가능하였다. 시제품의 전기적인 특성은 1.5 GHz에서 1.66dB

그리고 2.4 GHz에서 3.20 dB의 삽입손실을 얻었다. 이러한 결과는 기존 논문과 비교해서 삽입손실은 0.5dB 정도 손실이 크고 반사계수는 비슷한 값을 얻었다.



(a) GPS



(b) WLAN

그림 13. LTCC 공정을 이용한 대역통과 여파기 삽입손실과 반사계수 특성

Fig. 13. Insertion loss and Return loss characteristics of LTCC bandpass filter.

본 논문에서 구현된 여파기는 두 대역의 필터를 한 몸체에 구현함으로써 작은 공간을 사용함으로써 점차 크기가 작아지는 이동 단말기에 사용이 가능할 것으로 판단된다.

감사의 글

본 연구는 지식경제 기술혁신사업(10032543)으로부터 지원 받아 수행되었습니다.

참 고 문 헌

- [1] Y. Kim, H. Nam, J. Lee and Y. Lim, "A design of the thin LTCC bandpass filter using parasitic capacitance and embedded small ground plate," *The 21st International Technical Conference on Circuits/System, Computers and Communications, vol. 1*, pp. 165-168, 2006.
- [2] C. W. Tang and S.F. You, "Design methodologies of LTCC bandpass filters, diplexer, and triplexer with transmission zeros," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 54, no. 2*, pp. 717-723, Feb. 2006.
- [3] L.K. Yeung and K.L. Wu, "A compact second-order LTCC bandpass filter with two finite transmission zeros," *IEEE Trans. Microwave Theory & Tech., vol. 51, no. 2*, pp. 337-341, Feb. 2003.
- [4] C.W. Tang and S.F. You, "Using the technology of low temperature co-fired ceramic to design the dual-band bandpass filter," *IEEE Microwave and Wireless Component Letters, vol. 16, no. 7*, pp. 407-409, July. 2006.
- [5] W.S. Tung, Y.C. Chiang, "A new compact LTCC bandpass filter using negative coupling," *IEEE Microwave and Wireless Component Letters, vol. 15, no. 10*, pp. 641-643, Oct. 2003.
- [6] K. Markov, S. Royak, G. Sevskiy, and P. Heide, "A simple LTCC balun for WLAN Applications using left-handed (LH) transmission line (TL)," *Proc. 35th Eur. Microw. Conf., vol. 1*, 2005.
- [7] M. Schüssler, J. Freese and R. Jakoby, "Design of compact planar antennas using LH-transmission lines," *IEEE MTT-S International Microwave Symposium, vol. 1*, pp. 209-212, June 2004.
- [8] C. Caloz and T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials, Transmission Line Theory and Microwave Applications*, New York: Wiley, 2005.
- [9] 박훈, 김근환, 윤경식, 이영철, 박철순, "LTCC 를 이용한 WLAN용 초소형 적층 대역통과 필터 설계," *한국통신학회논문집 Vol. 28, No. 7A*, pp.563-568, 2003.



### 김 영 (金英)



1988년 2월: 서강대학교 전자공학과 (공학석사)

2002년 8월: 서강대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

1988년 1월 ~ 1993년 5월: 이즈텔 시스템즈(주) 연구소 선임연구원

1993년 6월 ~ 1998년 2월: 삼성전자

(주) 정보통신사업본부 선임연구원

1998년 3월 ~ 2003년 2월 : 두원공과대학 정보통신과 조교수

2003년 3월 ~ 현재: 금오공과대학교 전자공학부 부교수

관심분야 : RF 및 Microwave 회로해석 및 설계, 전력 증폭기 및 선형화기 설계

### 윤 정 호 (尹正豪)



2010년 2월 : 금오공과대학교 전자 공학부 졸업 ( 공학사 )

2010년 3월 ~ 2012년 2월 : 금오공과 대학교대학원 전파통신공학과 졸업 (공학석사)

2012년 3월 : 한국도키맥유압공업(주) 기술연구소 근무

관심분야 : Metamaterial, 수동소자 회로 설계, RF 회로 설계