

논문 2007-44TC-12-1

# 메타재질 CRLH 구조를 이용한 넓은 차단 대역을 갖는 UHF WLAN용 소형 대역통과 여파기의 설계

( Miniaturized UHF WLAN Bandpass Filter Design for Wide Stopband Using the Metamaterial CRLH Structure )

주 정 호\*, 강 승 택\*\*

( Jeongho Ju and Sungtek Kahng )

## 요 약

본 논문에서는 WLAN(902MHz-928MHz)용 대역통과 여파기의 소형화와 향상된 차단대역 지지특성을 구현하기 위하여, 기존의 Right-Handed 전송선에 Left-Handed 특성을 가미한 복합구조를 이용하여 설계하였다. 대역통과 여파기의 unbalanced형 복합구조의 0차 공진기의 공진점을 사용하고 공진기간의 결합을 간편한 인버터 이론으로써 구현하였다. 제안된 기법의 타당성은 예측특성과 실험결과로써 확인되며, 평행결합 선로형과 같은 기존의 대역통과 여파기 보다 65% 이상 소형화됨을 알 수 있었다.

## Abstract

This paper proposes the design method based on the composite right/left-handed (CRLH) structure to miniaturize and enhance the rejection performance in the stopband. For realization, we used the 0-th order resonance point of the unbalanced case of the CRLH and the simple theory of Inverter. The proposed technique is validated by the performance predictions and experiments, and it is found out that the suggested method enables the size reduction of over 65 % from the conventional filters such as the parallel coupled type.

**Keywords :** Metamaterial, Unbalanced Conditioned CRLH-TL, 0-th order resonance, BPF, Inverter

## I. 서 론

최근 부품을 구현하는데 있어서 마이크로스트립을 이용한 부품기술은 회로상에서 중요한 역할을 하고 있다. 특히 대역통과 여파기를 만드는데 많은 응용이 되고 있다. 일반적인 공진기는 반파장의 구조적 공진을 이용한다. 이러한 반파장 공진기를 이용한 여파기의 크기는 공진 주파수에 의존을 하며 공진 주파수의 체배수 지점에서 불요 공진이 나타나게 되어 대역저지 특성은 나빠진다. 이와 같은 문제점을 극복하기 위하여 메타재질(metamaterial) 전송선을 이용하여 대역통과 여파기

의 크기를 줄이는 방법들이 최근에 소개되어지고 있다<sup>[1~7]</sup>. 그런데 이런 기존의 방법으로는 저지대역 특성을 만족하지 못하고 있다. 본 논문에서는 저지대역 특성은 물론 초소형화를 만족시키기 위해 프로토타입을 제시하고, 이를 기반으로  $\lambda/4$ 보다 훨씬 작은 메타재질 공진기들을 만들고 인버터로써 결합시키는 새로운 설계 기법을 제시하여 UHF WLAN용 대역통과 여파기를 개발하였다. EM 시뮬레이션 결과를 토대로 등가회로를 추출하고 마이크로스트립 일반공정으로 구현하여 설계기법의 타당성을 검증하였다.

## II. 이 론

일반 공진기와 CRLH(Composite right-left handed)

\* 학생회원, \*\* 정회원, 인천대학교 정보통신공학부  
(Dept. of Information & Telecommunication  
Engineering, University of Incheon  
접수일자: 2007년11월28일, 수정완료일: 2007년12월12일

공진기는 위상이  $\pi$ 나 배수가 되는 지점에서 공진이 발생하는 공통점이 있다. 하지만 두 공진기간에는 차이점이 존재한다.

첫 번째는 그림 3과 같이 일반 공진기는  $\beta * l$ 이  $+n\pi$ ( $n=1,2,3...$ )에서 공진이 일어나며 CRLH 공진기는  $\beta * l$ 가 0이나  $\pm n\pi$ ( $n=1,2,3...$ )에서 일어난다. 이런 현상은 크기의 제한으로 생성되는 문제로 기본적으로 CRLH 공진기는  $\lambda/4$  보다 작아 인덕터나 캐패시터로 등가 모델을 꾸밀 수 있으며 LH(Left handed) 전송선에 의하여  $\beta$ 의 값이 음의 값을 가지며 LH 전송선과 RH(Right-handed) 전송선의 상호 영향에 의하여  $\beta$ 의 값이 0를 가진다. 위상도 설계에 따라 일반 전송선과 같은 기울기를 가질 수 있다.

아래 그림 1은 일반 전송선로와 CRLH 전송선로의 분산 다이어그램을 보여 주고 있으며 그림 2는 각각 공진기의 등가 회로를 보여 주고 있다.

분산 다이어그램을 통해 다음과 같은 CRLH 공진기의 성질을 알 수 있다.

$$\omega_R = \frac{1}{\sqrt{L_R C_R}} \tag{1}$$

$$\omega_L = \frac{1}{\sqrt{L_L C_L}} \tag{2}$$

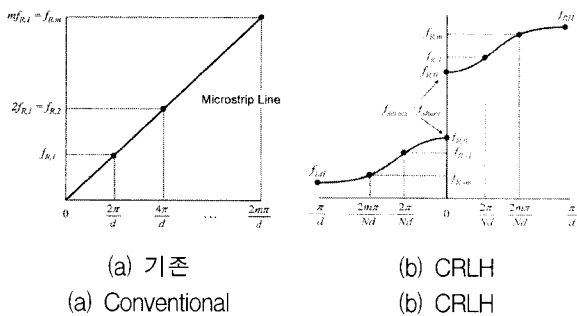


그림 1. 분산 다이어그램  
Fig 1. Dispersion diagram.

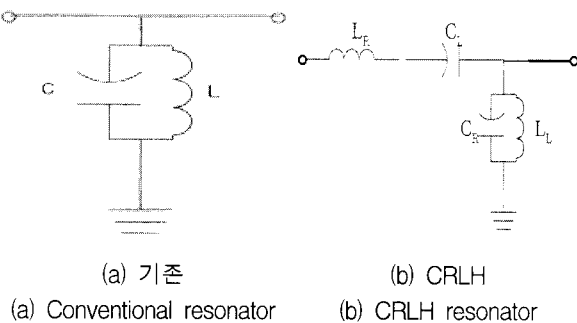


그림 2. 공진회로 모델  
Fig. 2. Resonator circuit model.

$$Z_L = \sqrt{\frac{L_L}{C_L}} \tag{3}$$

$$Z_R = \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} \tag{4}$$

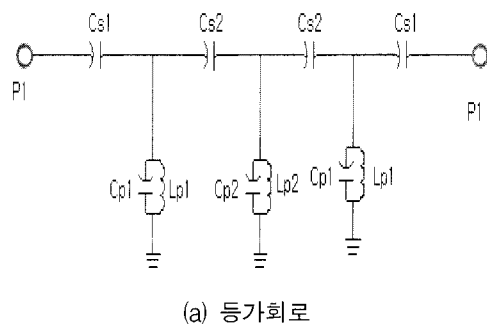
$\omega_{se}$ 와  $\omega_{sh}$ 는 각각 CRLH 공진기의 직렬과 병렬 공진점이다. 마지막으로  $Z_L$ 과  $Z_R$  각각의 모드에서 특성 임피던스이다.

두 번째로 CRLH 공진기는 공진 주파수의 파장 길이인  $\lambda/4$  보다 작다는 조건하에서 L,C 등가회로로 표현 할 수 있다.

### III. 설계 및 결과

#### 3.1 인버터 이론을 이용한 프로토타입 설계

본 절에서는 공진기의 초소형화 이전에, 공진기간의 결합을 집중 소자형 인버터로 표현하고 이 인버터의 값을 직접 변환하기에 용이한 구조로 얻는다. 물론 이것 역시 소형화에 이용되는 것이다. 이를 바탕으로 한 여파기에 적합한 등가회로 처음으로 제시하면서 저지대역 확장 특성이 우수한 방안도 소개한다. 제안된 방식의 타당성은 WLAN(902MHz-928MHz) 대역의 개선된 대



(a) Equivalent circuit of bandpass filter

인버터 여파기	
Cs1	0.45 pF
Cs2	0.08 pF
Cp1	2.73 pF
Cp2	4.16 nH
Lp1	9.3 nH
Lp2	7 nH

(b) 회로 변수값  
(b) Circuit parameter values

그림 3. 대역통과여파기 프로토타입  
Fig. 3. Prototype of the bandpass filter.

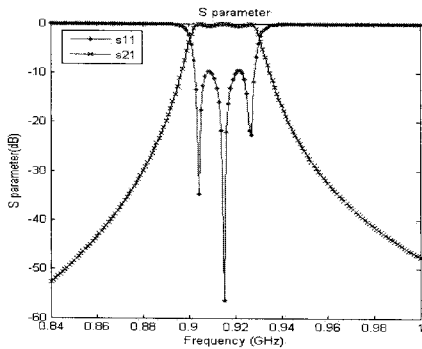


그림 4. 프로토타입의 모의시험 결과  
Fig. 4. Simulation results of the prototype.

역저지 특성을 갖는 소형 대역통과 여파기의 구현을 통해 확인될 것이다.

커패시터가 포함된 J-인버터를 이용하여 설계하였으며 공진기의 공진 주파수는 CRLH 공진기내의 병렬 공진 주파수와 일치하며 대역폭은 WLAN대역인 902MHz-928MHz로 하였다<sup>[8]</sup>.  $C_R$  값의 구현 성을 고려하여 각각  $L_{p1}=9.3nH$ ,  $L_{p2}=7nH$ ,  $L_{p3}=9.3nH$ 로 고정하여 설계하였다. 좋은 스퀘트 특성을 갖기 위해 삽입손실 리플을 0.5dB, 차수는 3차인 체비세프 여파기를 설계한다.

설계된 대역통과 여파기의 프로토타입은 그림 3과 같으며 시뮬레이션 결과는 그림 4와 같다

### 3.2 CRLH 공진기 설계

인버터 이론을 통해 구한 프로토타입 회로는 개방된 CRLH 공진기에서 공진점이 병렬 공진(그림3(a)의 각  $C_p$ 와  $L_p$ 쌍)에서 나타나므로 그림 5와 같이 각각의 공진기에 직렬 공진기를 추가하여 공진기 소형화를 위한 등가의 CRLH 공진기 형태로 변형한다.

$\beta=0$ 에서 공진기는 최대 전계를 가지므로 공진기간의 커플링을 커패시터로 구현할 것이다.

LH 모드의 특성 임피던스가 RH 모드의 특성 임피던스보다 클 때 0차와 1차 모드의 공진점 간격이 커지게

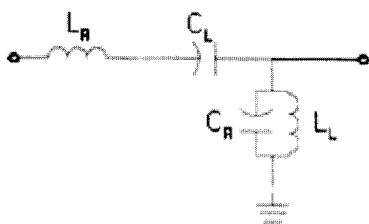


그림 5. CRLH구조의 공진기 구현 모델  
Fig. 5. Implementation of a resonator with a CRLH.

된다<sup>[3]</sup>. 그래서 인버터를 이용해 만든 프로토타입의 공진기를 CRLH 공진기로 변환 시 불균형 구조를 택했으며 LH 모드의 특성 임피던스를 임의 값으로 높게 선택하였다. LH 모드의 특성 임피던스는 RH 모드의 특성 임피던스보다 크게 할 수 있는 변환 과정을 통해 구현하였다.

첫 번째 공진기의 변환 과정은 다음과 같다. 단 변환 조건은  $f_0=1GHz$  이며  $Z_L=140\Omega$ 로 하였다. 식(5)-(7)을 이용하면  $C_L$ 과  $L_R$  값을 구할 수 있다.

$$C_L = \frac{L_L}{(Z_L)^2} \tag{5}$$

$$L_R = \left( \frac{C_R}{C_L} - \frac{1}{\omega_0^2 L_L C_L} \right) / \left( \frac{1}{\omega_0^2 C_R} - \frac{1}{L_L} \right) \tag{6}$$

$$\gamma = \alpha + j\beta = js(\omega) \sqrt{\left( \frac{\omega}{\omega_R} \right)^2 + \left( \frac{\omega_L}{\omega} \right)^2 - \kappa\omega_L^2} \tag{7}$$

$$s(\omega) = \begin{cases} -1 & \text{if } \omega < \min(\omega_{se}, \omega_{sh}) \text{ LH range} \\ +1 & \text{if } \omega > \max(\omega_{se}, \omega_{sh}) \text{ RH range} \end{cases}$$

$L_R$ 의 값은 식 (7)에서  $f_0=1GHz$ ,  $\beta=0$ 으로 등가화 하여 추출 할 수 있다. 식(6)에서 알 수 있듯이  $L_R$ 의 값은  $L_L$ 값이 증가하거나  $C_L$  값이 감소할수록 증가 한다. 두 번째 공진기의 변환 조건은  $f_0=1GHz$  이며  $Z_L=90\Omega$ 로 하였다. 위와 같은 변환과정을 통해 얻은 소자의 값은 표 1과 같다.

두 번째 과정으로  $L_R$  과  $C_R$ 은 CRLH 전송선에서 LH 특성을 구현 할 때 생겨나는 기생 값으로 RH 전송선에 의한 추가적인 구현이 가능하기 때문에 먼저  $C_L$  과  $L_L$ 을 물리적 구현을 한다. 3D 시뮬레이션 시 기판에 사용된 유전율은 10.2 이고 두께는 50mil 이다. 은 식(8)~(9)을 이용하여 스테브 인덕터와 인터디지털 커패시터를 설계 하였다<sup>[10]</sup>.

표 1. CRLH 공진기 회로 변수 값  
Table 1. Circuit parameters of the CRLH resonator.

	CRLH 공진기 1	CRLH 공진기 2
$L_R$	53.38 nH	29.31 nH
$C_L$	0.47 pF	0.86 nF
$C_R$	2.73 pF	4.16 nF
$L_L$	9.3 nH	7 nH

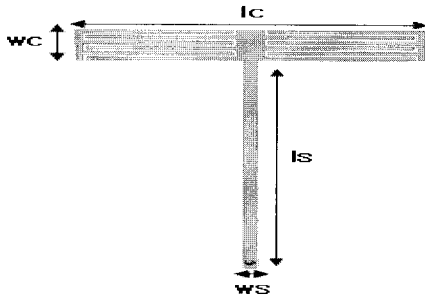


그림 6. CRLH 공진기의 커패시터와 인덕터  
Fig. 6. Capacitor and inductor of CRLH resonator.

$$L_L = \frac{Z_c}{w} \tan(\beta_{eff} l) \quad (nH) \quad (8)$$

$$C_L \approx (\epsilon_r + 1) \ell [(N-3)A_1 + A_2] \quad (pF) \quad (9)$$

$$A_1 = 4.409 \tanh \left[ 0.55 \left( \frac{h}{w} \right)^{0.45} \right] \cdot 10^{-6} \quad (pF/\mu m)$$

$$A_2 = 9.92 \tanh \left[ 0.52 \left( \frac{h}{w} \right)^{0.5} \right] \cdot 10^{-6} \quad (pF/\mu m)$$

설계된 커패시터, 인덕터는 그림 6과 같다

각각의 구현된 물리적 CRLH공진기의 커패시터, 인덕터 길이는 표 2와 같다.

이렇게 설계된 단위 셀은 pi 등가 모델을 통하여 회로 소자 값으로 추출 하였다<sup>[9]</sup>. 단 등가회로 값을 추출할 때 사용된 단위 셀의 수는 10개이다. 추출 되어진 각

표 2. CRLH 공진기의 물리적 치수  
Table 2. Physical dimensions of the CRLH resonators.

	CRLH공진기1 커패시터, 인덕터	CRLH공진기2 커패시터, 인덕터
lc	7.4 mm	12.08 mm
wc	1.8 mm	1.8 mm
ls	15.64 mm	12 mm
ws	0.4 mm	0.4 mm

표 3. CRLH의 회로 변수  
Table 3. Circuit parameters of CRLH.

	CRLH공진기1 커패시터, 인덕터	CRLH공진기1 커패시터, 인덕터
$L_R$	3.48 nH	5.49 nH
$C_L$	0.47 pF	0.82 nF
$C_R$	2.73 pF	4.13 nF
$L_L$	9.31 nH	7 nH

표 3. CRLH의 회로 변수

Table 4. Circuit parameters of CRLH.

	CRLH 공진기 1	CRLH 공진기 2
$L_R$	42 nH	17 nH
$C_L$	0.47 pF	0.82 nF
$C_R$	2.71 pF	4.14 nF
$L_L$	9.31 nH	7 nH

소자의 값과 등가 회로는 표 3과 같다.

CRLH 공진기의 등가회로는 위에서 구한 CRLH공진기의 커패시터, 인덕터의 값에 전송선의 등가 L과 C의 값을 더해 주면 된다. 이렇게 구한 CRLH 공진기 회로 소자 값은 표 4와 같다.

표 4의 CRLH의 회로소자 값을 통하여 첫 번째 공진기는  $f_{cL1}=0.655GHz$ ,  $f_{cR1}=1.924GHz$ ,  $f_{sh1}=1.002GHz$ ,  $f_{se1}=1.132GHz$ 이고 두 번째 공진기는  $f_{cL2}=0.69GHz$ ,  $f_{cR2}=1.643GHz$ ,  $f_{sh2}=0.934GHz$ ,  $f_{se2}=1.348GHz$ 임을 알 수 있다. 1개의 단위 셀을 사용하여 대역통과 여파기를 설계하면 차단 주파수 사이에서는 1개의 공진점만이 존재하므로 차단 주파수 이후 1차 모드의 2차 공진점이 높은 주파수에서 형성되어 대역지지 특성을 개선할 수 있다.

3.4 WLAN용 대역통과 여파기의 해석 및 측정결과  
설계된 WLAN용 CRLH 대역통과 여파기의 구조와에서의 전계강도를 그림 7에서 보인다.

시뮬레이션 한 결과는 다음 그림 8과 같다. 통과대역의 발생하는 두 개의 불요 공진점은 CRLH 공진기들의 1차 모드 공진점을 나타낸다.

기존의 평행결합 선로 대역통과 여파기는 그림 9와 같으며 시뮬레이션 결과는 그림 10과 같다. 기존의 평행결합 선로 대역통과 여파기의 크기는 135mm\*16mm이다. 그림 10의 시뮬레이션 결과에서 알 수 있듯이 반

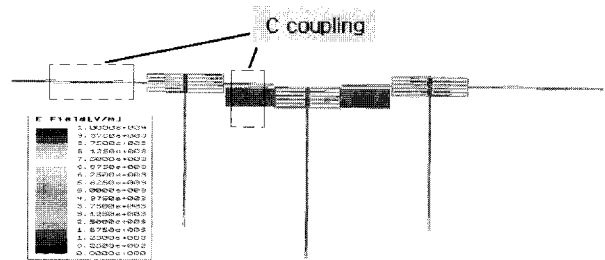


그림 7. CRLH 대역통과 여파기의 전장 분포  
Fig. 7. Field along the CRLH bandpass filter.

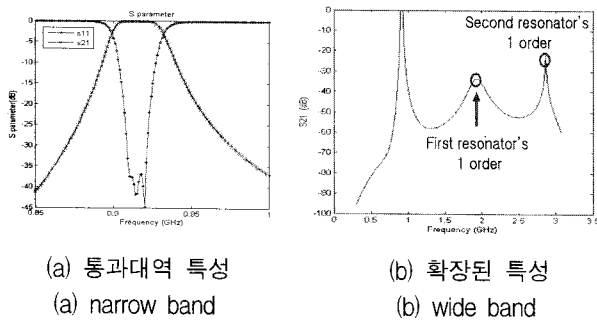


그림 8. CRLH 여파기의 모의 시험 결과  
Fig. 8. Simulation results of CRLH filter.

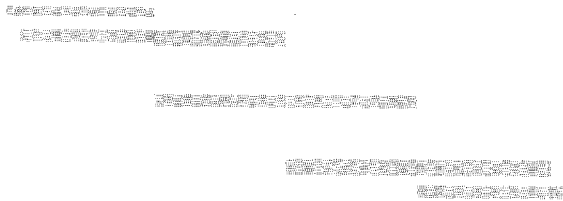


그림 9. 비교용 기존의 평행 결합 선로 여파기  
Fig. 9. Conventional parallel coupled line bandpass filter for comparison.

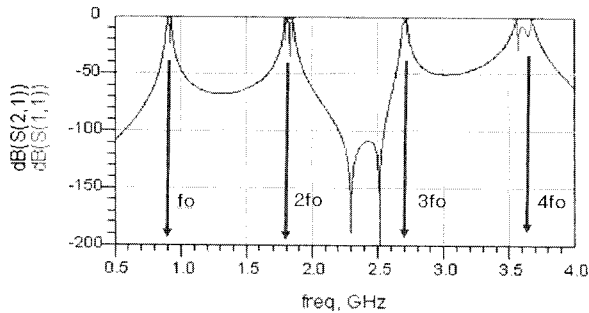


그림 10. 기존의 평행 결합 선로 여파기의 특성  
Fig. 10. Conventional parallel coupled line bandpass filter simulation result.

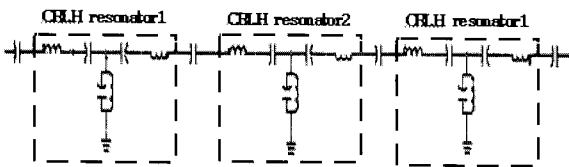
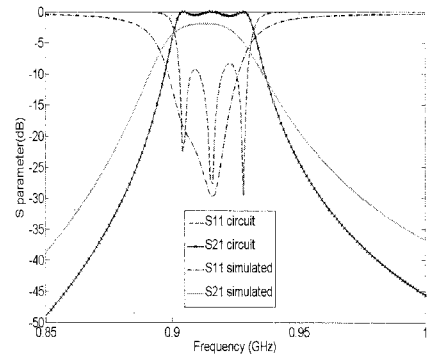


그림 11. CRLH여파기의 등가회로  
Fig. 11. Equivalent Circuit of CRLH filter.

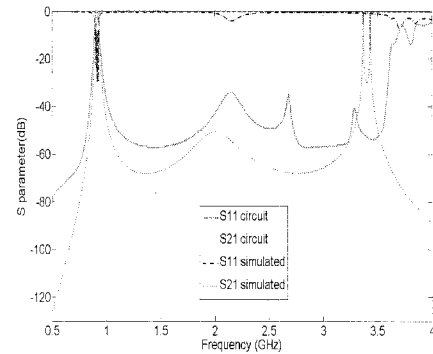
과장 공진기를 사용했기 때문에 체 배수에서 대역통과 특성이 나타나게 되어 대역저지 특성이 나쁘고 CRLH 대역통과 여파기보다 크다는 단점이 있다.

구현된 CRLH 대역통과 여파기에서 추출한 회로 소자 값을 이용한 대역통과 여파기의 등가 회로 그림은 그림 11과 같다.

CRLH 공진기의 등가 회로 소자의 값은 그림 11에



(a) 통과대역 특성  
(a) narrowband results



(b) 확장된 특성  
(b) wideband results

그림 12. 모의 시험 결과의 비교  
Fig. 12. Comparison of simulation results.

나와 있으며 각 공진기 사이에 있는 커패시터의 값은 차례대로 0.55 pF, 0.09 pF, 0.55 pF, 0.09 pF의 값을 갖는다. 실질적인 값을 고려하여 유전체 손실은 0.003, 동박의 두께는 0.03mm, 도전율은 57000000 S/m을 설정하여 시뮬레이션 하였다. 3D 시뮬레이션 값과 등가회로 시뮬레이션 한 값은 그림 12와 같다.

설계된 CRLH 대역통과 여파기는 902MHz-928MHz 통과 대역이 형성됨을 볼 수 있고 대역저지 특성은 3.6GHz까지 -40dB의 차단 특성을 보인다. 2.3GHz 부분에서 불요 공진점이 나타나는 것을 볼 수 있는데 이 지점은 첫 번째 공진기에서 나타는 1차 모드의 공진점이며 3.6 GHz의 불요 공진 점은 두 번째 공진기의 1차 모드 공진 점이다. 하지만 2.3GHz에서 -37dB의 대역저지 특성을 유지하는 것은 2.3GHz 주파수에서 공진기 간의 커플링이 낮기 때문이다. 3.6GHz에서부터는 첫 번째 공진기의 3차 공진점(2차 모드)과 두 번째 공진기의 2차 공진점(1차 모드)이 비슷한 대역에 형성되어 각 공진점의 커플링이 강해져 대역통과 특성을 만든다.

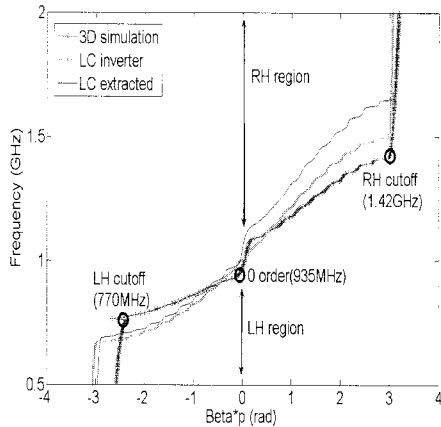


그림 13. CRLH공진기 1번의 분산 다이어그램  
Fig. 13. Dispersion diagram of CRLH resonator 1.

3D 시뮬레이션 한 값과 추출한 LC 등가 회로 그리고 마지막으로 인버터를 통해 설계된 프로토타입의 대역통과 여파기의 CRLH 공진기만의 분산 다이어그램을 그림 13과 같이 비교해서 나타냈다. 대표적인 공진기 1의 특성을 살펴볼 것이다.

공진기의 분산 다이어그램에서 두 번째 공진기의 분산 다이어그램 보다 추출값과 3D 시뮬레이션을 통해 얻은 실험값이 중심 주파수 이후부터 오차가 생기는데 이는 첫 번째 공진기에서 전송선의 길이가 중심 주파수 이후 부터  $\lambda/4$ 보다 길어지게 되어 2개의 L, C 집중 소자로 등가화 하기가 어려워 집중 소자의 값을 전송선의 길이가  $\lambda/4$ 보다 작은 영역에서 추출해서 생기는 오차이다. EM 시뮬레이션 하여 얻은 첫 번째 공진기의  $f_{sh}$ 는 935MHz이고 두 번째 공진기의  $f_{sh}$ 는 920MHz이다. 위의 값들은 프로토타입 대역통과 여파기를 구성하는 각각의 공진 주파수인 999MHz, 932MHz와 다르게 약간의 오차가 난다. 위와 같은 오차가 발생하는 이유는 CRLH 공진기의 0차 공진 모드에서의 커플링을 담당하는 커패시터의 값은 직접적으로 RH 모드의 병렬 커패시터 값에 영향을 미치지 못하고 에지 커플링에 의한 전송선의 유효길이가 길어지는 효과만 나타나므로 공진 주파수에 민감하게 반응하지 못하는 것이다. 이와 같이 공진기간의 커플링을 일으키는 커패시터에 의한 공진 주파수의 이동 정도가 다르기 때문에 인버터 이론을 이용해 설계된 대역 통과 여파기 보다 공진 주파수를 낮게 설정한 것이다. 제작된 CRLH 대역 통과기 여파기의 그림은 그림 14와 같으며 측정 결과는 그림 15와 같다.

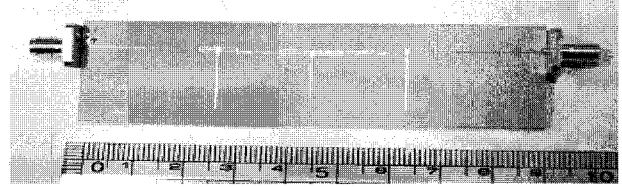
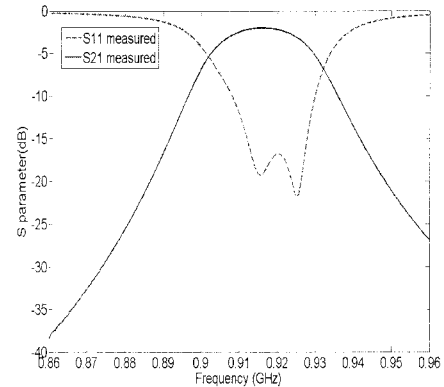
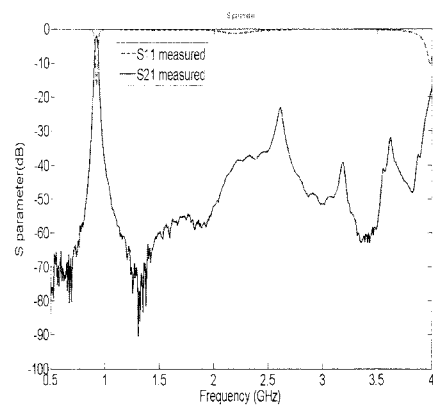


그림 14. 제작된 WLAN 대역통과 여파기  
Fig. 14. Fabricated WLAN bandpass filter.



(a) 통과대역 특성  
(a) narrowband result



(b) 확장된 특성  
(b) wideband result

그림 15. CRLH 여파기의 측정 결과  
Fig. 15. Measured results CRLH filter.

측정결과  $-2\text{dB}$  삽입손실을 가지며  $3\text{dB}$  대역폭은  $902\text{MHz}$ ~ $928\text{MHz}$  였다. 반사 손실은  $-17\text{dB}$  이하로 측정 되었으며  $4\text{GHz}$  까지  $-20\text{dB}$  이하의 대역저지 특성을 보였다. CRLH 공진기를 이용한 대역 통과 여파기의 저지 대역은  $4\text{GHz}$ 까지  $-20\text{dB}$ 이하로  $4\text{GHz}$ 까지 대역저지 특성이 확장 되었다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 인버터 이론을 통한 WLAN용 CRLH

대역 통과 여파기를 설계하였다. 통과 대역은 902MHz-928MHz으로 WLAN 대역을 만족하였으며 반사 손실은 -17dB 이하이며 삽입 손실은 통과 대역 중심 주파수에서 -2dB이다. 설계된 대역 통과 여파기의 크기는 88.48mm\*18.34mm로 기존의 평행결합 선로를 이용한 대역통과 여파기 크기의 65%로 소형화 되었다. 또한 대역 저지 특성도 기존의 평행결합 선로를 이용한 대역 통과 여파기는 체 배수의 주파수에서 통과 대역이 발생하는데 비해 CRLH 공진기를 이용한 대역 통과 여파기의 저지 대역은 최소 -20dB이하의 대역저지 특성을 보이며 4GHz까지 확장 되었다.

참 고 문 헌

[1] Allen. C.A., Leong, K.M.K.H., Itoh, T., "Design of microstrip resonators using balanced and unbalanced composite right/left-handed transmission lines" Microwave Theory and Techniques, IEEE Transactions on Volume 54, Issue 7, pp.3104 - 3112, July 2006.

[2] Jiafeng Zhou, Yi Wang, Lancaster, M.J., "Compact Coplanar Filters Using Resonators with Left-Hand Characteristics" Microwave Conference, 2006. 36th European 10-15, pp.332 - 333, Sept. 2006.

[3] L. Zhu, V. K. Devabhaktuni, and C. Wang, "CAD of Left-handed Transmission Line Bandpass Filters" PIERS ONLINE, VOL. 3, NO. 1, 2007.

[4] J.-X. Niu, X.-L. Zhou, "ANALYSIS OF BALANCED COMPOSITE RIGHT/LEFT HANDED STRUCTURE BASED ON DIFFERENT DIMENSIONS OF COMPLEMENTARY SPLIT RING RESONATORS" Progress In Electromagnetics Research, PIER 74, pp.341-351, 2007.

[5] Jeongho-Ju and Sungtek Kahng, "The Compact UHF CT-Type Bandpass Filter with a mixed Coupling" JOURNAL OF THE KOREA ELECTROMAGNETIC ENGINEERING SOCIETY, VOL. 7, NO. 3, SEP. 2007.

[6] 주정호, 강승택, "UHF 대역통과 여파기" 출원 번호:10-2007-0098085, 출원 일자:2007.09.28

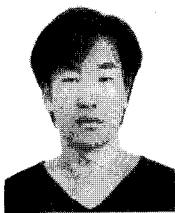
[7] 주정호, 강승택, "초광대역 대역통과 여파기" 출원 번호:10-2007-0097825, 출원 일자:2007.09.28

[8] Hong J.-S., Lancaster M.J., "Microstrip filters for rf/microwave applications", John Wiley&Sons, 2001.

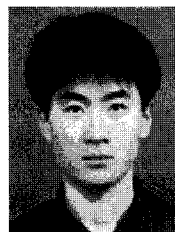
[9] Christophe Caloz, Tatsuo Itoh, "Electromagnetic metamaterials: trnsmission line theory and microwave application", John Wiley&S, 2006.

[10] Jeongho-Ju and Sungtek Kahng, "Design of the Miniaturized UWB BandPass Filter using the 1 Unit of CRLH-TL" JOURNAL OF THE KOREA ELECTROMAGNETIC ENGINEERING SOCIETY, VOL. 18, NO. 12, Dec. 2007.

저 자 소 개



주 정 호(학생회원)  
 2006년 2월 인천대학교 정보통신 공학부 (공학사)  
 2006년 3월~현재 인천대학교 정보통신공학과 석사과정  
 <주관심분야 : Metamaterial, RF 부품소자, 안테나, 필터 등>



강 승 택(정회원)  
 1996년 3월~2000년 2월 한양대학교 전자통신 공학과 (공학박사)  
 2000년 2월~2000년 4월 한양대학교 산업과학 연구소 연구원  
 2000년 4월~2004년 2월 한국전자통신연구원 통신위성개발센터 선임연구원  
 2004년 3월~현재: 인천대학교 정보통신공학과 교수  
 <주관심분야 : 전자파 수치해석 및 응용, EMI/EMC 대책, 초고주파 부품 및 안테나 설계.>