

# Metamaterial 전송선을 이용한 이중 대역 저지 필터

## Dual-Band Stop Filter Using Metamaterial TLs

오 희 석 · 남 상 욱

Hee-Seok Oh · Sang-Wook Nam

### 요 약

본 논문에서는 Metamaterial 전송선을 이용한 이중 대역 저지 필터를 제안하고 제작, 측정하였다. 이는 Wilkinson Power Divider의 형태를 바탕으로, 입력 단자에 신호를 인가하면 동일한 크기와 위상을 갖는 신호로 나뉘진다. 이를 각각의 전송선에서 CRLH(Composite Right/Left-Handed) 구조와 D-CRLH(Dual Composite Right/Left-Handed) 구조를 이용하여 위상 변화를 유도한다. 본 논문에서는 TDMB 주파수 대역인 195 MHz와 DVB-T/H 주파수 대역인 670 MHz 대역에 대해 저지 대역 특성을 유도하였다. 이를 통해 제작한 필터의 크기는 30×15 mm 이며, -10 dB를 기준으로 대역폭을 측정한 결과 각각의 주파수 대역에서 73 %, 50 %의 결과를 얻을 수 있었다.

### Abstract

This paper proposes a dual-bandstop filter, which is based on a metamaterial transmission line using the composite right/left-handed (CRLH) and dual composite right/left-handed (D-CRLH) structures. The metamaterial structure is used for miniaturization and dual-bandstop operation at the TDMB frequency range (195 MHz) and DVB-T/H frequency range (670 MHz). The size of the proposed filter is 30×15 mm, and the -10 dB bandstop fractional bandwidth is approximately 73 % and 50 % at each frequency, respectively.

Key words : Dual-Stop Band Filter, CRLH, D-CRLH, Phase Shift, Out-of-Phase

### I. 서 론

이동 통신 서비스의 다양화에 따라 고속의 데이터 전송과 함께 이동 통신에 적합한 소형화, 다중 대역 서비스에 대한 요구가 커지고 있다. 하지만 통신에 필요한 각종 소자의 크기는 주파수에 따라 공진 구조의 크기나 위상 응답이 정해져 있어 기존의 기술로는 마이크로파 소자의 소형화와 성능 향상 및 다중 주파수 대역에서 동작하는 구조와 같은 여러 가지 특성을 동시에 만족시키기 힘들어진다.

필터는 RF/Microwave 시스템에서 중요한 역할을 담당한다. 필터는 통과 대역 내의 주파수는 전

송하고 차단 대역의 주파수는 감쇠시킴으로써 RF/Microwave 시스템의 어떤 위치에서 주파수 응답을 제어하는데 사용되는 회로망/소자이다. 전형적인 주파수 응답에는 저역 통과(low pass), 고역 통과(high pass), 대역 통과(band pass), 그리고 대역 저지 특성(band stop)이 포함된다. 최근 필터는 RF/Microwave 시스템의 향상과 더불어 보다 좋은 성능과 보다 작은 크기, 그리고 가격 및 무게 등에서 향상되도록 요구되어지고 있다. 이에 개선된 물질과 제작 기술을 바탕으로 HTS(High-Temperature Superconductors), LTCC (Low Temperature Cofired Ceremics), 그리고 MEMS (Micro Electro Mechanic System)등 여러 제작 방법이

「이 연구는 지식경제부 및 정보통신연구진흥원의 IT 핵심기술개발사업의 일환으로 수행하였음.(2006-S018-03, 휴대방송 서비스가 가능한 초소형 안테나 기술 개발)」

서울대학교 전기공학부(School of Electrical Engineering, Seoul National University)

· 논문 번호 : 20081128-10S

· 수정완료일자 : 2009년 2월 16일

연구되어지고 있다<sup>[1],[2]</sup>. 그리고, 최근 Metamaterial을 이용한 필터는 기존의 방법으로 제작된 필터보다 뛰어난 성능을 보여주고 있으며, Metamaterial을 통한 다중 대역의 특성을 필터 제작 방법에 응용할 경우 주파수에 따른 크기의 제한점과 임의의 주파수 대역에서 동작하는 필터를 제작할 수 있다<sup>[3],[4]</sup>. 또한, 위상 변이를 in-phase 및 out-of-phase를 유도함으로써 앞서 열거한 전형적인 필터의 특성을 만족할 수 있다.

II. 본 론

2-1 회로의 구조

본 논문에 제안된 저지 특성 필터의 구조는 그림 1의 Wilkinson power divider 구조를 바탕으로 한다. 1:1 Wilkinson power divider는 입력 포트(port 1)에 신호를 인가하면 신호는 크기와 위상이 동일하게 두 부분으로 나뉘지게 된다. 이에 이중 대역에서 동작하기 위하여 입력 포트와 출력 포트간의 전송선은 그림 2에서와 같이 위 전송선은 CRLH(Composite Right/Left-Handed) 구조를 아래 전송선은 D-CRLH(Dual Composite Right/Left-Handed) 구조를 사용하였다<sup>[5]</sup>. 이는 그림 3에서 알 수 있듯이, D-CRLH 전송선은 저주파에서 직렬 인덕턴스( $L'_R$ )와 병렬 캐패시턴스( $C'_R$ )가 주 성분이 되어 RH(Right-Handed) 특성을 보이게 되며, 주파수가 높아질수록 직렬 캐패시턴스( $C'_L$ )와 병렬 인덕턴스( $L'_L$ )가 주 성분이 되어 전송선은 LH(Left-Handed) 특성을 가지게 된다<sup>[6]</sup>.

반면, CRLH 전송선은 D-CRLH 전송선과 달리 저주파에서 LH 특성을 고주파에서는 RH 특성을 가진다. 이에 따라 CRLH 전송선에서의 위상 변화는 TDMB 주파

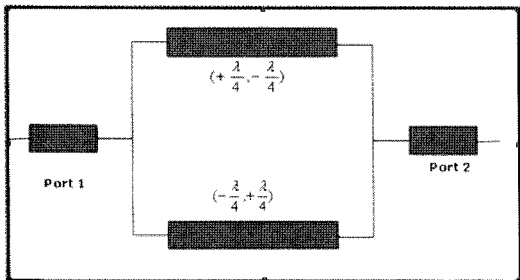
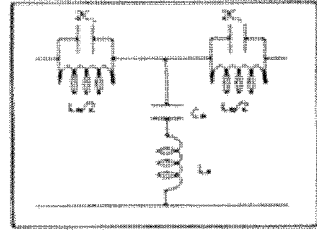
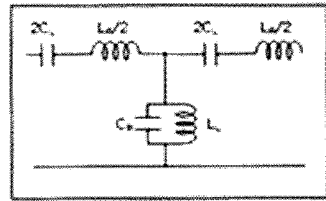


그림 1. 제안된 이중 대역 저지 필터의 구조  
Fig. 1. Structure of the proposed dual-band stop filter.



(a) D-CRLH 전송선의 구조  
(a) Structure of D-CRLH transmission line



(b) CRLH 전송선의 구조  
(b) Structure of CRLH transmission line

그림 2. D-CRLH, CRLH 전송선의 구조(1단위 셀)  
Fig. 2. Structure of transmission line(1 unit cell).

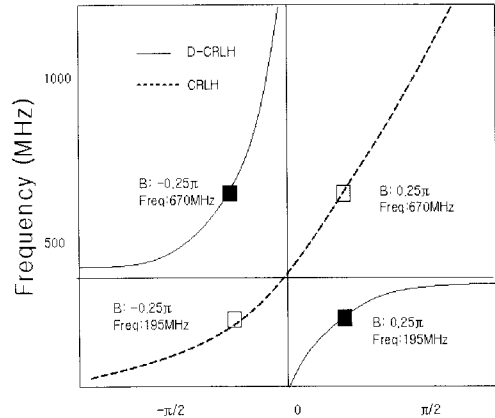


그림 3. CRLH, D-CRLH 전송선의 dispersion graph  
Fig. 3. Dispersion graph of CRLH, D-CRLH transmission line.

수 대역에서( $f_1=195$  MHz)  $-90^\circ$ 의 위상 변화와 DVB-T/H 주파수 대역에서( $f_2=670$  MHz)  $+90^\circ$ 의 위상 변화를 유도할 수 있다. 또한, D-CRLH 전송선에서의 위상 변화는  $f_1$ 에서  $+90^\circ$ , 그리고  $f_2$ 에서  $-90^\circ$ 의 위상 변화를 유도할 수 있다. 이에 두 주파수 대역에서는 out-of-phase가 일어난다. 이는 동일한 크기의 신호와 out-of-phase의 위상 특성을 이용하여 위상

상쇄를 일으키고, 따라서 이중 대역 저지 특성을 만족한다.

밸런스 특성을 갖는 CRLH 전송선의 전파상수와 특성 임피던스는 각각 식 (1) 및 (2)와 같이 표현된다<sup>[6]</sup>.

$$\beta = \omega \sqrt{L_R C_R} - \frac{1}{\omega \sqrt{L_L C_L}} \quad (1)$$

$$Z_c = \sqrt{\frac{Z}{Y}} = \sqrt{\frac{L_R}{C_R}} = \sqrt{\frac{L_L}{C_L}} \quad (2)$$

CRLH 전송선이 임피던스  $Z_i$ 로 정합되고,  $\omega_1$ 과  $\omega_2$ 의 이중대역에서 각각 전송 상수  $\beta_1$ 과  $\beta_2$ 를 갖는 조건은 식 (3) 및 (4)와 같이 주어진다<sup>[6]</sup>.

$$Z_c = Z_i \quad (3)$$

$$\beta(\omega_1) = \beta_1, \beta(\omega_2) = \beta_2 \quad (4)$$

여기서 식 (3)의 매칭 조건은 2개의 방정식으로 나누어지므로 식 (2)에 대입하면 2개의 식을 얻게 되어 총 4개의 방정식을 얻을 수 있다. 이러한 4개의 방정식에 4개의 미지수  $L'_R, C'_L, C'_R, L'_L$ 이 존재하므로 CRLH 전송선 등가회로의 파라미터 값들을 구할 수 있으며, 그 값들은 다음과 같다<sup>[6]</sup>.

$$L_L = \frac{Z_i [1 - (\omega_1 / \omega_2)^2]}{\omega_1 [(\omega_1 / \omega_2) \beta_2 - \beta_1]} \quad (5)$$

$$C_L = \frac{1 - (\omega_1 / \omega_2)^2}{\omega_1 Z_i [(\omega_1 / \omega_2) \beta_2 - \beta_1]} \quad (6)$$

$$L_R = \frac{Z_i [\beta_2 - \beta_1 (\omega_1 / \omega_2)]}{\omega_2 [1 - (\omega_1 / \omega_2)^2]} \quad (7)$$

$$C_R = \frac{\beta_2 - \beta_1 (\omega_1 / \omega_2)}{\omega_2 Z_i [1 - (\omega_1 / \omega_2)^2]} \quad (8)$$

위와 같이 CRLH 전송선을 이용하면 임의의 이중 대역에서 원하는 전송상수를 얻을 수 있다. 또한, 일반적인 CRLH 전송선과 Dual 관계에 있는 D-CRLH 전송선 이론을 이용하게 되면 이중 대역에서 동작하는 필터를 구현할 수 있게 된다. 여기서는 2개의 단위 셀(unit cell)을 'T-type' 형태로 설계하였으며, D-CRLH의 각 소자 값들은 다음과 같으며 표 1에 정리하였다<sup>[6]</sup>.

표 1. 이중 대역 저지 필터 각 소자의 이론값

Table 1. The values of each parameter before optimization.

	$L'_R$	$C'_L$	$C'_R$	$L'_L$
CRLH	18.6 nH	10.4 pF	3.4 pF	52.1 nH
D-CRLH	26 nH	6.8 pF	5.2 pF	37.2 nH

표 2. 이중 대역 저지 필터 각 소자의 값

Table 2. The values of each parameter after optimization.

	$L'_R$	$C'_L$	$C'_R$	$L'_L$
CRLH	15 nH	13 pF	3.9 pF	47 nH
D-CRLH	27 nH	8 pF	6.8 pF	39 nH

$$L_r = \frac{Z_i [(2\beta_1 w_1 / w_2) - 2\beta_2]}{w_2 [1 - (w_1 / w_2)^2]} \quad (9)$$

$$C_r = \frac{(2\beta_1 w_1 / w_2) - 2\beta_2}{w_2 Z_i [1 - (w_1 / w_2)^2]} \quad (10)$$

$$L_l = \frac{Z_i [1 - (w_1 / w_2)^2]}{w_1 [2 \times \beta_1 - (2\beta_2 w_1 / w_2)]} \quad (11)$$

$$C_l = \frac{1 - (w_1 / w_2)^2}{Z_i w_1 [2 \times \beta_1 - (2\beta_2 w_1 / w_2)]} \quad (12)$$

하지만, D-CRLH 전송선을 구현하기 위해서는 항상 right-handed 파트가 기생적으로 생길 수밖에 없으며, 실제 제작을 위한 각 parameter 값을 고려하여 최적화된 값을 도출하면 표 2와 같다.

## 2-2 제작 및 측정

이를 바탕으로 제작된 이중 대역 저지 특성 필터는 그림 4와 같으며, CRLH 전송선 및 D-CRLH 전송선 구조는 각각 2개의 단위 셀(unit-cell)로 구성되어 있다. 유전율 3.66, 높이 0.762 mm인 Duroid-4380 기판과 Murata 1608 크기의 칩 캐패시터와 인덕터를 사용하였으며, 제작된 필터의 크기는 30×15 mm이다. 제작된 이중 대역 저지 특성 필터의 측정 결과는 그림 5와 같으며 표 3에 정리하였다.

모의실험은 Agilent-ADS Simulator의 Murata Library

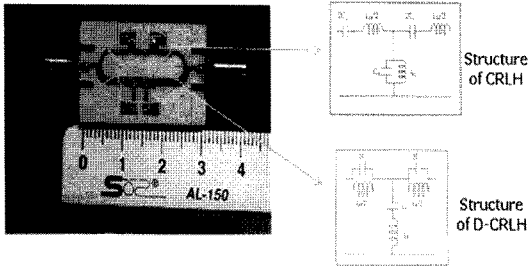


그림 4. 제작된 이중 대역 저지 필터  
Fig. 4. Fabricated dual-band stop filter.

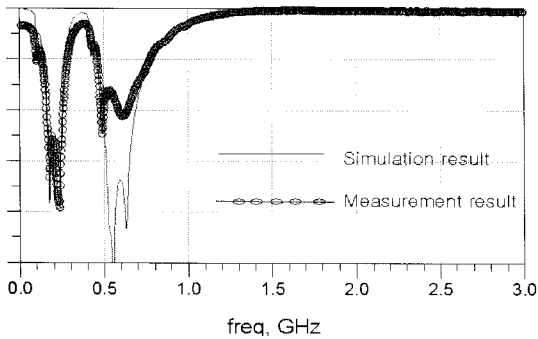


그림 5. 측정 결과  
Fig. 5. Measurement results.

를 이용하였으며  $-10$  dB를 기준으로 설정하였을 경우  $f_1$ 에서는  $143\sim 269$  MHz인 약 61 %의 대역폭을 얻을 수 있으며,  $f_2$ 에서는  $467\sim 781$  MHz인 약 50 %의 대역폭을 얻을 수 있었다. 또한, 중간 대역 통과 (band-pass)는  $-1$  dB를 기준으로  $355\sim 391$  MHz의 대역폭을 얻을 수 있었다. 하지만 실제 측정 결과에서의  $f_1$ 에서는  $132\sim 283$  MHz인 73 %의 대역폭과  $f_2$ 에서는  $460\sim 770$  MHz인 50 %의 대역폭을 얻을 수 있었다. 또한, 중간 대역 통과 영역은 전반적인 소자의 손실로 인해  $-3$  dB가 됨을 확인할 수 있다. 결과의 차이가 발생하는 이유는 칩 커패시터와 인덕터의 reactance 및 susceptance의 손실로 인해 두 전송선의 위상 변이 및 신호의 크기에 영향을 주었을 것으로 보인다. 이로 인한 손실로 두 신호가 합쳐지는 부분에서는 정확한 위상 상쇄가 발생할 수 없기 때문에 차이가 발생한 것으로 해석되어진다. 하지만 전반적으로는 목표로 설정한 주파수 대역에서 대역 저지 특성을 보임을 확인할 수 있었다.

표 3. 모의 실험 결과 및 측정 결과

Table 3. Simulation and measurement results.

Band	Simulation results	Measurement results
	Frequency range( $< -10$ dB)	
TDMB	143~269 MHz	132~283 MHz
DVB-T/H	467~781 MHz	460~770 MHz

### III. 결 론

본 논문에서는 CRLH 전송선 구조와 D-CRLH 전송선 구조를 이용한 이중 대역 저지 특성 필터를 제안하고 제작/측정해 보았다. 설계된 이중 대역 저지 특성 필터는  $-10$  dB를 기준으로  $f_1$ 에서 약 73 %의 대역폭을, 그리고  $f_2$ 에서는 약 50 %의 대역폭을 확인할 수 있었다. 또한, Metamaterial 전송선 구조를 채택함으로써  $30\times 15$  mm 크기의 소형화를 이루었다. 제작된 이중 대역 소자는 휴대 방송 서비스에서 사용되는 주파수들을 사용하여 설계하였으나, 임의의 주파수에서 위상 변이를 유도함으로써 여러 주파수 대역에서 각종 필터의 특성을 만족하는 필터의 설계 및 제작이 가능할 것으로 보인다. 향후 Metamaterial 전송선 구조를 이용한 이중 대역 부품들이 설계되고 상용화가 가능해지면 다중 대역에서 동작하는 마이크로파 대역 소자의 효율 향상 및 소형화, 가격 경쟁력, 경량화 등에 많은 영향을 미칠 수 있을 것이다.

### 참 고 문 헌

- [1] Jia-Shen G. Hong, M. J. Lancaster, *Microstrip Filters for RF/Microwave Applications*, John Wiley & Sons Inc., 2001.
- [2] J. Helszajn, *Microwave Planar Passive Circuits and Filters*, John Wiley & Sons Inc., 1994.
- [3] Cheng-Jung Lee, Kevin M. K. H. Leong, and Tatsuo Itoh, "Metamaterial transmission line based bandstop and bandpass filter designs using broadband pass cancellation", *IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig.*, pp. 935-938, 2006.
- [4] Ih Lin, M. Devincis, C. Caloz, and T. Itoh, "Arbitrary dual-band components using composite right/left-handed transmission lines", *IEEE Trans. Micro-*

*wave Theory & Tech.*, vol. 52, no. 4, pp. 1142-1149, 2004.

- [5] C. Caloz, "Dual composite right/left-handed(D-CRLH) transmission line metamaterial", *IEEE Microwave Wireless Compon Lett.*, vol. 16, pp. 585-587, 2006.

- [6] C. Caloz, T. Itoh, *Electromagnetic Metamaterials, Transmission Line Theory and Microwave Application*, John Wiley & Sons Inc., 2006.

### 오 희 석

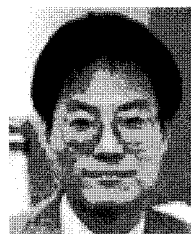


2001년 2월: 공군사관학교 전자공학과 (공학사)

2007년 3월~현재: 서울대학교 전기공학부 (공학석사)

[주 관심분야] Metamaterial, Radar

### 남 상 욱



1981년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1983년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)

1989년: Electrical Engineering at the University of Texas at Austin (공학박사)

1990년~현재: 서울대학교 전기공학부 교수

[주 관심분야] 마이크로파 능동/수동회로 설계, 안테나 및 전파전파, 전자파 수치해석 등