

# Balun-BPF 의 출력특성 개선에 대한 연구

## A Study on Characteristic Improvement of Balun-BPF

강성준, 황희용  
(Seong-Jun Kang and Hee-Yong Hwang)

**Abstract :** In this paper, we studied on characteristic improvement of Balun-BPF using dual-mode ring resonators. The simulated Balun-BPF shows bandwidth of 150MHz at center frequency of 2.45GHz, 4-pole characteristic, return loss of 15dB and symmetrical output characteristic.

**Keywords:** Balun-BPF, dual-mode

### I. 서론

현재 전기전자 산업의 발전과 더불어 무선통신 시스템을 이용한 정보통신기술 및 통신 산업의 급속한 성장은 우리를 다양하고 다형화 된 정보의 혜택 아래 삶의 질을 급속도로 개선시키는데 지대한 일조를 하고 있다. 그러나 무선통신 시스템은 주파수라는 한정된 자원을 사용하기 때문에 주파수 자원의 효율적인 관리를 위한 규제나 방안이 필요하고, 또한 무선통신 시스템의 소형화와 저가격 추세로 인하여 RF 및 초고주파 필터의 설계 및 제작 기술에 대한 연구가 활발히 진행 중이다. 초고주파 필터의 성능 개선과 소형화 및 저가격화 실현은 주파수 자원의 효율적인 사용과 무선통신 시스템의 성능 향상 및 생산 원가 절감 등을 통한 제품가치의 증대 등과 같은 부대적인 효과 창출을 도모할 수 있게 한다. 현재 다양한 무선 데이터 서비스용 모듈의 저가격화가 급속히 진행되면서 홈 네트워킹을 비롯한 다양한 가전정보 장치 및 부품의 상용화를 목전에 두고 있는 시점에서 무선통신 서비스시장에서의 기술 선점을 통한 국가 경쟁력의 제고를 위해서는 초고주파대 무선 부품 기술 분야의 원천기술과 응용 기술의 선행 개발이 지속적으로 이루어져야 한다[1].

무선 통신의 중요 소자인 초고주파 대역통과 여파기는 특정 대역의 주파수 성분만을 골라내기 위한 회로 또는 구조물로서 등가 회로적으로 L과 C의 조합으로 구성이 가능하며, 대역 혹은 통과대역 파형 혹은 구현방법 등의 분류기준에 따라 다양한 종류의 필터가 존재한다[2]. 특정 대역의 주파수 성분만을 골라내는 대역통과여파기(Band Pass Filter:BPF)가 가장 널리 사용된다.

BPF의 설계에는 분포 소자형과 집중 소자형의 다양한 공진기들이 사용되는데, 그 중에서 링-공진기는 단일 공진기로서 간단한 패치, 슬롯 혹은 노치와 같은 불연속성을 줌으로 인해 쉽게 2개의 공진기와 같은 역할을 하는 이중모드로 동작시키기에 편리하여 널리 사용된다.[3][4]

통신 기술 발달과 함께 무선 통신 소자 및 기기들의 소형

화, 경량화 등도 동시에 급속히 진행되고 있다. 무선기기의 사용량이 증대함에 따라서 여러 전파원의 증가하여 통신상의 잡음요인들이 점점 증가하고 있다. 이에 최근에는 무선 통신 시스템을 구성하는 소자들에 대해 기본적으로 잡음이나 고조파에 대한 저항성이 요구되고 있다. 이러한 요구에 발맞춰서 최근 무선 통신 시스템에는 잡음과 고조파 제거에 용이한 평형 신호를 사용하는 증폭기나 믹서 등과 같은 평형 신호 소자들의 중요성이 커짐에 따라 이에 대한 연구도 늘어나고 있다. 그러나 필터, 안테나 등과 같은 장치들은 불평형 신호를 필요로 하기 때문에 불평형 신호와 평형 신호가 동시에 쓰이게 된다. 그래서 두 신호의 중간 변환 역할로 발룬을 사용하고 있다. 이에 따라서 발룬은 최근의 불평형 신호와 평형 신호를 사용하는 무선 통신 시스템에서 기본적으로 사용되는 소자가 되었다. 보통 발룬은 통신 모듈 상에서 안테나와 저잡음 증폭기 사이에서 대역통과필터와 함께 쓰이며, 대역통과필터의 앞이나 뒤에 연속으로 연결되어 이 필터와 함께 입·출력 신호의 불평형·평형 변환과 필터링을 함께 수행한다. 따라서 이 두 가지 소자인 대역통과필터와 발룬을 하나의 소자로 합성하게 되면 무선 통신 시스템상의 면적, 크기 등에서 이점을 있다[5][6]. 본 논문에서는 참고논문[6]에 제시된 Balun-BPF의 특성연구를 통하여, Balun-BPF 통과대역의 특성향상을 위한 방법을 연구한다.

### II. 이중모드 링-공진기

#### 2.1 링 공진기 구조 해석

그림 8은 두 선로 간 임피던스의 차이를 이용하여 이중모드로 동작하는 링-공진기의 구조이다. 링-공진기는  $Y_1$  선로와  $Y_2$  선로의 병렬연결 구조로 이루어진다.

강성준 : 강원대학교 전기전자공학과 대학원

황희용 : 강원대학교 전기전자공학과 교수

(sjkang@kangwon.ac.kr, hyhwang@kangwon.ac.kr)

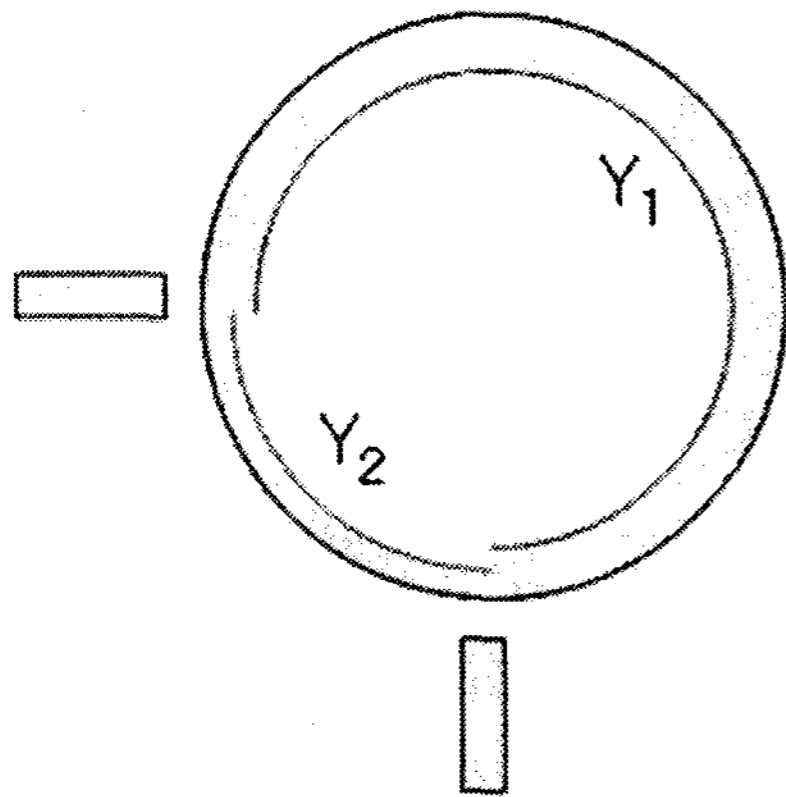


그림 1. 이중모드 링-공진기의 구조  
Fig. 1. The structure of dual mode ring-resonator.

링-공진기가 대역통과 여파기로 동작하기 위해서는 그림 9와 같이 링-공진기의 등가회로 부분과 일반적인 대역통과 여파기의 등가회로 부분이 같아야 한다. 그림 9의 윗부분은 그림 8의 링-공진기의 구조를 등가적으로 나타낸 것이고, 아랫부분은 일반적인 인버터를 이용한 대역통과 여파기의 등가회로를 나타낸다.

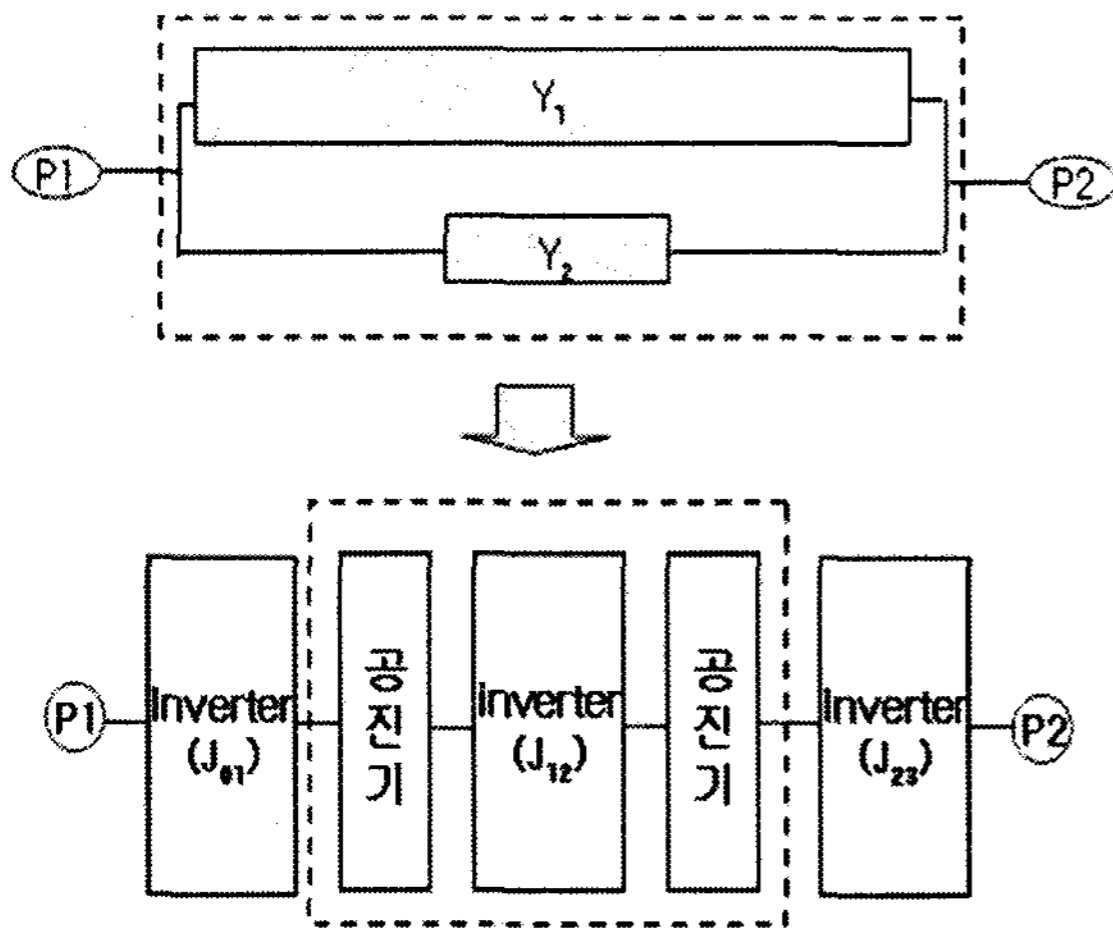


그림 2. 이중모드 링-공진기의 일반적인 대역통과 여파기로 변환  
Fig. 2. The conversion from dual mode ring-resonator to general BPF

링-공진기의 해석방법에는 링-공진기를 전송선로로 보고 구조를 해석하는 방법과 우수모드와 기수모드로 나누어 해석하는 방법 등이 있다. 본 논문에서는 링-공진기를 전송선로로 보고 구조를 해석하는 방법을 사용하였다. 그림 1의 링-공진기의 구조는 Y1 선로와 Y2 선로의 병렬 연결된 구조로 볼 수 있기 때문에 Y1 선로와 Y2 선로를 각각 ABCD 파라미터로 나타낸 후 Y 파라미터로 변환하여 더하면 전체의 구조식을 구할 수 있다. Y1 선로와 Y2 선로를 ABCD 파라미터로 나타내면 정리 1과 같다. Y1의 ABCD 파라미터와 Y2의 ABCD 파라미터를 결합하기 위하여 정리 2를 이용하여 Y파라미터로 변환하면 정리 3과 같이 되고 링 공진기 전체의 Y파라미터는 정

리 4와 같이 된다.[7]

정리 1: Y1선로와 Y2선로의 ABCD-파라미터

$$ABCD_{Y_1} = \begin{bmatrix} \cos \theta_1 & jZ_1 \sin \theta_1 \\ jY_1 \sin \theta_1 & \cos \theta_1 \end{bmatrix}$$

$$ABCD_{Y_2} = \begin{bmatrix} \cos \theta_2 & jZ_2 \sin \theta_2 \\ jY_2 \sin \theta_2 & \cos \theta_2 \end{bmatrix} \quad (1)$$

정리 2: ABCD-파라미터의 Y-파라미터로의 변환

$$\begin{bmatrix} Y_{11} & Y_{12} \\ Y_{21} & Y_{22} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \frac{D}{B} & \frac{BC - AD}{B} \\ -\frac{1}{B} & \frac{A}{B} \end{bmatrix} \quad (2)$$

정리 3: ABCD-파라미터의 Y-파라미터로의 변환

$$Y_{Y_1} = \begin{bmatrix} -jY_1 \cot \theta_1 & jY_1 \csc \theta_1 \\ jY_1 \csc \theta_1 & -jY_1 \cot \theta_1 \end{bmatrix}$$

$$Y_{Y_2} = \begin{bmatrix} -jY_2 \cot \theta_2 & jY_2 \csc \theta_2 \\ jY_2 \csc \theta_2 & -jY_2 \cot \theta_2 \end{bmatrix} \quad (3)$$

정리 4: 링-공진기의 전체 Y-파라미터

$$Y_T = \begin{bmatrix} -j(Y_1 \cot \theta_1 + Y_2 \cot \theta_2) & j(Y_1 \csc \theta_1 + Y_2 \csc \theta_2) \\ j(Y_1 \csc \theta_1 + Y_2 \csc \theta_2) & -j(Y_1 \cot \theta_1 + Y_2 \cot \theta_2) \end{bmatrix} \quad (4)$$

Y 파라미터를 π형 등가회로로 나타내면 그림 3과 같이 된다. 여기서 -Y12 부분은 필터의 J12(그림 2:2단 필터의 중간단 인버터 값) 부분에 해당하게 된다. 정리 4에서 구한 관계식을 이용하면 J01의 관계식을 정리 5와 같이 구할 수 있다.

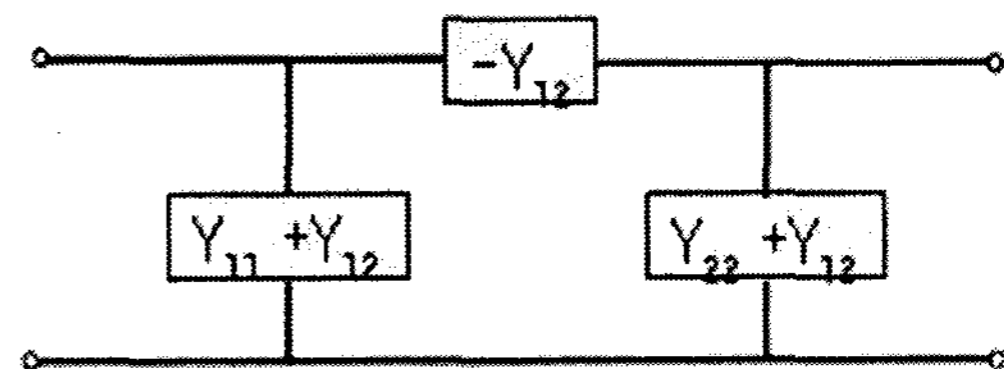


그림 3. Y-파라미터의 π형 등가회로  
Fig. 3. The π type equivalent circuit of y-parameter

정리 5: 중간단 인버터 J12의 값

$$J_{12} = -(Y_1 \csc \theta_1 + Y_2 \csc \theta_2) = Y_1 - Y_2 \quad (5)$$

두 선로의 어드미턴스의 차가 J12의 값이 된다.

2.2 2단 링 BPF의 설계

중심주파수 2.45 GHz, 대역폭 24.99MHz (1.02%), ripple 0.01dB의 2단 체비셰프 대역통과 여파기를 설계한다. 임의로  $Y_1=0.10761$ ,  $Y_2=0.1$ 로 하면 정리 5를 이용하여  $J_{12}$ 의 값을 알 수 있다. 또한 대역통과 여파기의 중간단 인버터 관계식 정리 6을 이용하면 앞에서 구한  $J_{12}$ 를 이용하여  $b$ 값을 구할 수 있다(2단 대역통과 여파기의  $b_1$ ,  $b_2$ 의 값은 같기 때문이다.). 여기서 구한  $b$ 값을 초단 인버터의 관계식 정리 7을 이용하여 초단 인버터의 값을 구할 수 있다. 표 1은 정리 6과 7을 이용하여 구한 인버터 값들이다.[8]

정리 6: 중간단 인버터  $J_{12}$ 의 관계식

$$J_{12} = \bar{w} \sqrt{\frac{b_1 b_2}{g_1 g_2}} \quad (6)$$

정리 7: 초단 인버터  $J_{01}$ 의 관계식

$$J_{01} = \sqrt{\frac{\bar{w} G_0 b_1}{g_0 g_1}} \quad (7)$$

표 1. 2단 대역통과 여파기 설계 파라미터.

Table 1. Design parameters of 2-pole BPF.

	$J_{01}$	$J_{12}$	$J_{23}$
값	0.012	0.00761	0.012

정리 8을 이용하여 초단 인버터의 크기를 정하고, 정리 9를 이용하여  $C_{01}$ 의 값을 변환해 준다.

$$C_{01}^e = \frac{C_{01}}{1 + \left(\frac{\omega_0 C_{01}}{G_A}\right)^2} \quad (8)$$

$$C_{01}' = \frac{J_{01}}{\omega_0 \sqrt{1 - \left(\frac{J_{01}}{G_a}\right)^2}} \quad (9)$$

각 단의 인버터는 그림 4와 같이 처리 할 수 있다.  $C_{01}$ 은 그림 1에서와 같이 용량성 결합으로 구현이 가능하다.  $-C_e$ 는 인버터의 동작을 위해서는 존재해야하는 부분이지만 (-)의 부분은 실제로 존재하지 않는 부분이기 때문에 공진기에  $C_e$ 를 더해줌으로서  $-C_e$ 의 구현이 가능하다. 그림 4는 인버터를 이용한 2단 대역통과 여파기의 표준 회로로의 변환 과정을 나타낸다.

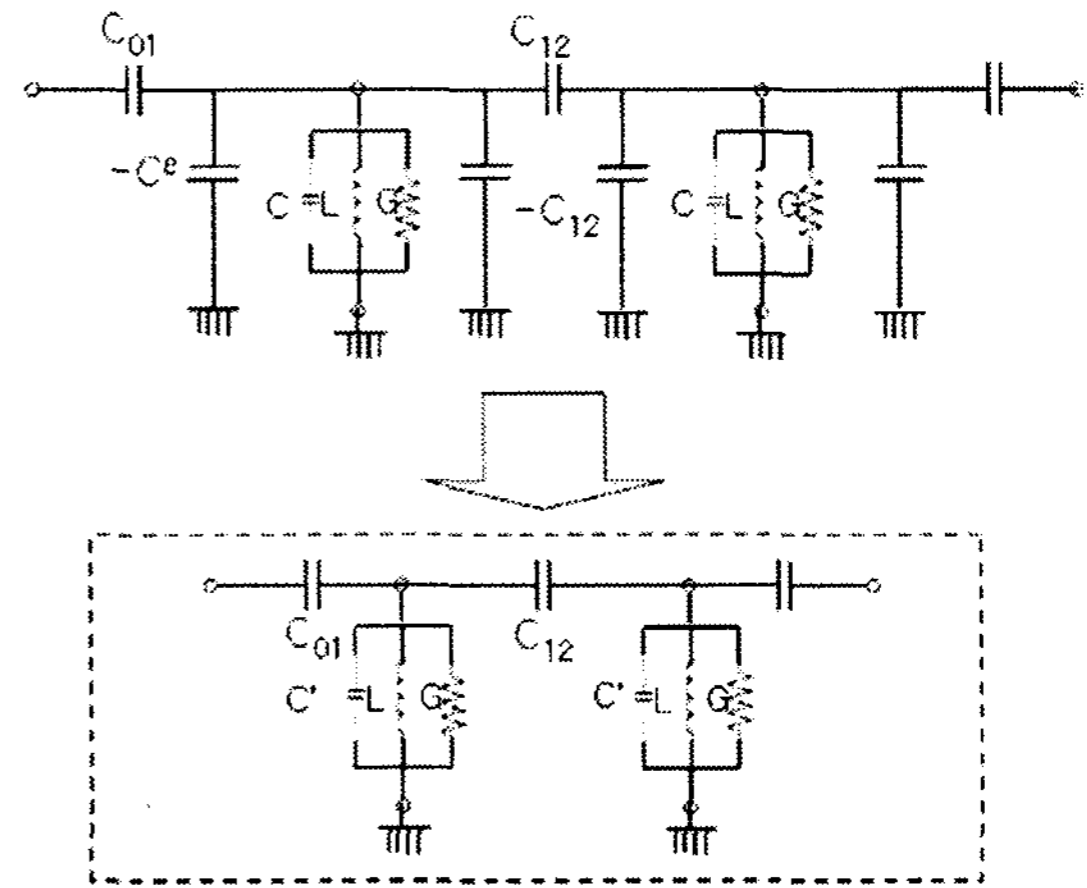


그림 4. 인버터를 이용한 2단 BPF의 표준 회로로의 변환과정. Fig. 3. Transformation to standard circuit of 2-pole BPF including inverters.

위에서 구한 값들을 이용하여 이상적인 선로를 이용하여 필터를 설계하였다. 그림 5는 설계값들을 이용하여 시뮬레이션한 회로도이고 그림 6은 시뮬레이션 결과이다. 계산된 수치들은 집중소자를 이용하여 설계하는 식이기 때문에 전송선로를 이용하여 대역통과 여파기를 설계하는 과정에서 약간의 오차가 발생하였으나 설계한 값과 거의 일치하는 특성을 보였다.

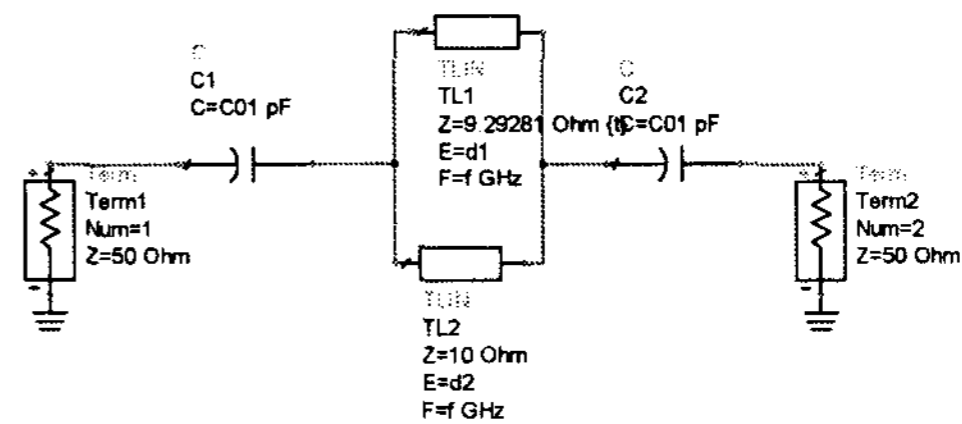


그림 5. 이상적인 선로를 이용한 대역통과 여파기 회로도. Fig. 5. The 2-pole BPF schematic using ideal line.

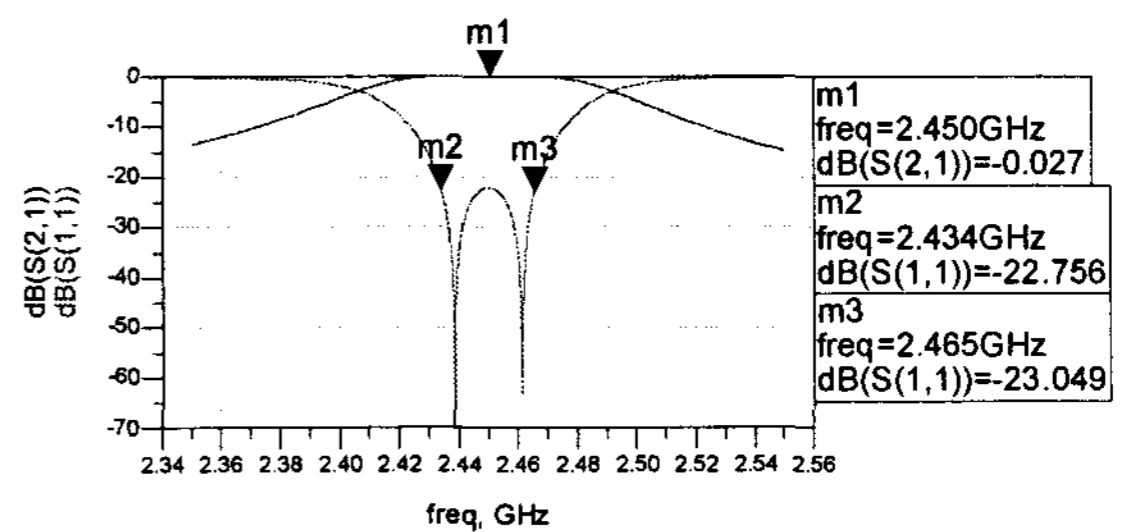


그림 6. 그림 4의 시뮬레이션 결과. Fig. 6. The simulation result of figure 4.

2.3 감쇄극의 형성

감쇄극 형성의 조건을 알아보기 위하여, 정리 4에서 구한 전체 Y-파라미터를 이용하여 S-파라미터로 변환 한다. 감쇄극은  $S_{21}$ 의 값이 0임을 의미하기 때문에  $S_{21}$ 은 0으로 하고 수식을 정리 하면 정리 10과 같은 수식을 얻게 된다. 정리

10과 같이  $Y_1$ 이  $Y_2$ 보다 작을 때에만 감쇄극이 형성되게 된다.  
정리 10: 감쇄극 형성의 조건

$$0 \leq \frac{Y_1}{Y_2} \leq 1 \quad (10)$$

그림 7은 그림 5의 회로도에서 수식 10의 감쇄극 형성조건에 맞추어  $Y_1$ ,  $Y_2$ 의 수치를 바꾸어 시뮬레이션 한 결과이다. 통과대역의 양 옆으로 감쇄극이 형성된다.

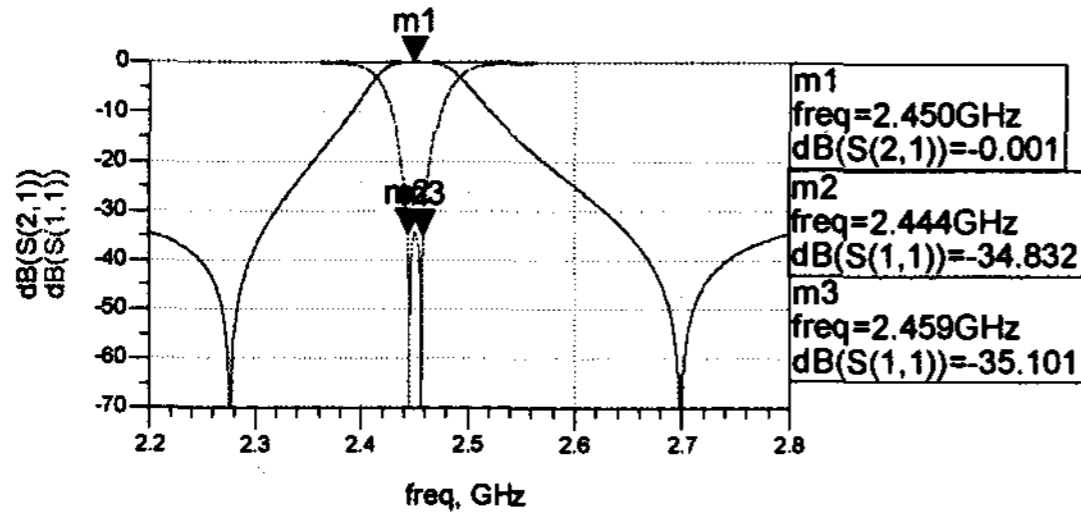


그림 7.  $Y_1 < Y_2$  때의 시뮬레이션 결과  
Fig. 7. The simulation result in  $Y_1 < Y_2$

### III. 구조변환

그림 8은 위에서 설계한 구조의 링-공진기의 출력 특성을 향상시키기 위하여 링-공진기를 gap-coupling을 이용하여 결합한 모습이다. 기존의 출력 port에서 180° 떨어진 곳에 port를 하나 추가하여 Balun으로 동작하도록 설계하였다.

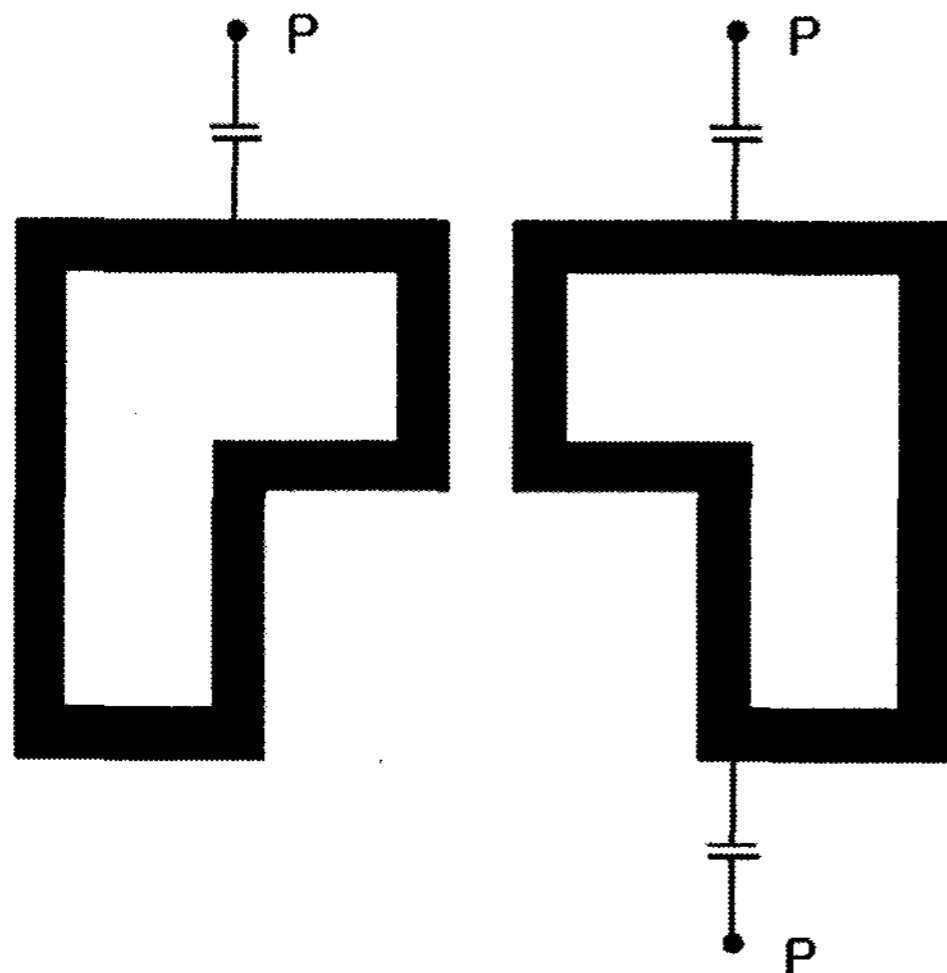


그림 8. 결합된 링-공진기 회로도  
Fig. 8. The schematic of coupled ring-resonators.

그림 9는 그림 8의 회로도를 이용하여 시뮬레이션 한 결과이다. Cross-coupling이 발생하여 통과 대역 양 옆으로 감쇄극이 가깝게 위치하였지만, 4단 대역통과 여파기의 특성을 보였으며, skirt 특성도 향상되었다. 출력 port간에 대칭적인 출력 특성을 보여 balun의 조건을 만족하였다. 반사 손실은 통과 대역전체 적으로 15dB의 특성을 보였다.

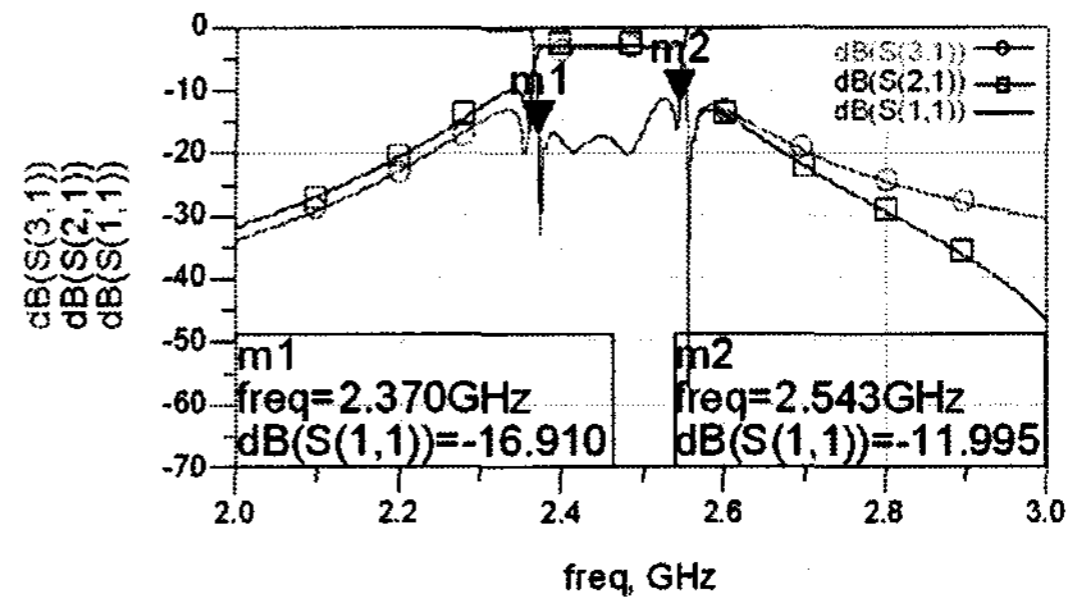


그림 9. 결합된 링의 시뮬레이션 결과.  
Fig. 9. The simulation result of coupled ring-resonators.

### IV. 결론

본 논문에서는 Balun-BPF의 성능을 향상을 위한 연구로 두 개의 이중모드 링-공진기를 결합하였다. 4단 필터의 특성을 통하여 향상된 skirt 특성을 보였다. 또한, 기존 Balun-BPF의 출력의 감쇄극 비대칭성을 보완할 수 있었다. 향후, 출력 특성의 보완과 실제제작을 통하여 시뮬레이션 된 수치와 비교가 필요하다.

### 참고문헌

- [1] 박준석, 장병준, 오하령, 임재봉, 조홍구, “이동통신 단말기용 초소형 필터연구 동향”, *한국전자과학회논문지*, 제16권, 제4호, pp24-37, 2005.10.
- [2] 김동일, 김보영, 이서, “링 공진기를 사용한 대역통과 필터의 설계에 관한 연구”, *한국전자과학회논문지*, 제15권, 제6호, pp.533-539, 2004.6.
- [3] 최성수, 박동철, “소형화된 이중모드 마이크로스트립 링 공진기를 이용한 대역통과 필터”, *마이크로파 및 전파 전파 학술대회 논문집*, Vol.29 No.1, pp.315-318, 2006.5.
- [4] Michiaki Matsuo, Hiroyuki Yabuki, and Mitsuo Makimoto, “Dual-Mode Stepped-Impedance Ring Resonator for Bandpass Filter Applications”, *Ieee transaction on microwave theory and techniques*, VOL.49, NO.7, july 2001.
- [5] N. Marchand, “Transmission line conversion transformers,” *Electronics*, Vol. 17, pp. 140-145, Dec. 1944. Intel Corporations, Intel StrongArm SA-1110 Microprocessor Developer's Manual, June, 2000.
- [6] 정을영, 황희용, “이중모드 링 공진기를 이용한 Balun-BPF의 설계,” *한국전자과학회논문지* 제17권 제12호, pp. 1206-1211, 2006.12.
- [7] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, John Wiley & Sons, Inc. 2005.
- [8] G. Matthaei, e.t.al., *Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures*, Artech House, pp. 429-434, 1980.