

# CAD에 의한 900MHz대 일체형 유전체 Band Pass Filter 설계

강종윤<sup>o</sup>, 최지원, 윤석진, 김현재, 정형진, 박창엽<sup>\*</sup>

한국과학기술연구원 박막기술연구센터, <sup>\*</sup>연세대학교 전기공학과

## Design for 900MHz Band Monoblock Dielectric Filter by Using CAD

C. Y. Kang, J. W. Choi, S. J. Yoon, H. J. Kim, H. J. Jung, C. Y. Park<sup>\*</sup>

Thin Film Technology Research Center KIST, <sup>\*</sup>Dept. of Electrical Eng. Yonsei Univ.

### Abstract

In this paper, a monoblock dielectric filter for 900MHz band CT-1 is designed by using CAD(Computer Aided Design). Equivalent circuit for monoblock dielectric filter represented by parallel coupled stripline is simulated by using SuperCompact software tool. A Designed filter structure is simulated by using HFSS to optimize result.

### 1. 서 론

이동통신의 송수신 시스템에 사용되는 여러 가지 통신 부품 중 핵심 부품이라고 할 수 있는 대역 통과 필터에 관한 연구는 소형화와 선택도를 높이기 위해 그 어느 때보다 활발히 진행되고 있다[1]. 최근에 각광받고 있는 일체형 유전체 필터는 하나의 블록 내에 복수개의 홀이 존재하고 입출력 단자 및 결합용 단자가 블록내에 존재하는 형태로 이에 대한 등가 회로는 기존의 동축형 유전체 필터의 등가회로와 상당한 차이를 보인다. 따라서 본 연구에서는 일체형 유전체 필터의 등가회로를 완성하고, 이를 기초로 표면실장이 가능한 일체형 유전체 필터의 설계 후 유한 요소법에 바탕을 둔 마이크로파 구조 해석용 HFSS (High Frequency Structure Simulator, HP)를 이용하여 최적의 필터 설계와 등가회로의 타당성을 동시에 검증하고자 한다.

### 2. 일체형 유전체 필터

본 연구에서 설계하고자 하는 일체형 유전체 필터는 2-pole 체비셰프형 대역통과 필터로서 복수개의  $\lambda/4$  TEM 모드 동축형 유전체 공진기를 평배열하여 일체화시킨 구조이다. 이 때 한쪽 단면과 각 축면 그리고 공진기용 구멍에는 전극이 구성되어 있다. 이와 같은 구조에서는 두 개의 공진홀에 흐르는 전류에 따라 두 개의 다른 필드 분포가 존재하는데, 그림 1(a)와 같이 전류의 방향이 같을 경우 이를 우모드라고 하며, 그림 1(b)와 같이 전류의 방향이 다를 경우 이를 기모드라고 한다.

이와 같은 구조에서 결합 계수  $k$ 는 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$k = \frac{2|\omega_c - \omega_o|}{\omega_c + \omega_o} \quad (1)$$

여기서,  $\omega_c = \frac{\pi}{2} \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} l}$ ,  $\omega_o = \frac{\pi}{2} \frac{c}{\sqrt{\epsilon_r} l}$

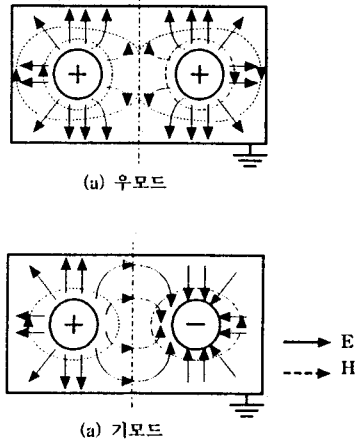


그림 1. 일체형 유전체 필터 블록 내에서의 우모드와 기모드

### 3. 일체형 유전체 필터의 등가회로

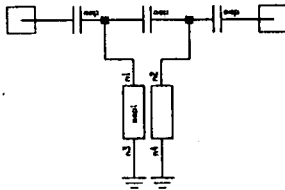
$\lambda/4$  TEM 모드 동축형 유전체 대역 통과 필터의 설계는 삽입 손실법과 J-inverter법 등에 의해 등가회로를 완성한 후 그 등가회로를 토대로 복수개의 동축 인동형 또는 구형 유전체 공진기를 사용하여 외부에 입출력 단자와 결합 단자를 구성한 동축형 유전체 필터를 구현하였다[2]. 또한 대역통과 필터의 감쇠 특성을 향상시키기 위하여 기존 필터의 형태에 캐패시터 또는 인덕터를 유전체 공진기와 직렬 연결함으로써 아래쪽 저지대역 또는 위쪽 저지대역에 감쇠극을 갖도록 하는 많은 연구가 행하여졌다[3]. 그러나 일체형 유전체 필터[4] 경우 공진홀간의 전자기적 결합에 의해 기존의 동축형 공진기를 기본으로 하는 등가회로와는 상당한 차이를 보인다. 본 연구에서 설계하고자 하는 중심주파수 914.5MHz CT-1용 일체형 유전체 필터는 하나의 블록내에 두 개의 공진홀이 존재하는 형태로서 이를 분석하기 위해 parallel coupled stripline으로 필터의 블록을 등가화하였다. 더불어 입출력 단자 공진홀간의 결합을 위하여 캐패시터 또는 인덕터를 결합소자로 사용하였다. 이와 같은 설계를 분석하기 위하여 SuperCompact을 이용하여 회로 시뮬레이션 하였다. 이에 대한 필터의 사양은 표1과 나타내었다.

표 1. CT-1용 대역 통과 필터의 사양

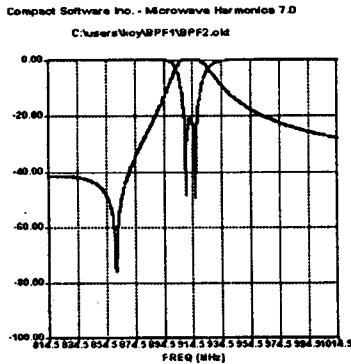
type	Chebyshev type
number of element (N)	2
center frequency ( $f_0$ )	914.5 MHz
3dB bandwidth	20 MHz 이하
insertion loss	3 dB 이하
passband ripple	0.5 dB 이하
attenuation ( $f_0 \pm 44\text{MHz}$ )	24 dB 이상

3.1 캐패시터에 의한 공진홀간의 결합

그림 2(a)과 같이 유전체 필터의 블록을 parallel coupled stripline의 등가회로 하고 공진홀간의 결합을 캐패시터로 구현하였을 경우 그림 2(b)와 같이 아래쪽 저지대역에 감쇠극을 갖는 결과가 나타났다.



(a) 일체형 유전체 필터의 등가회로 (캐패시터에 의한 공진홀간의 결합)

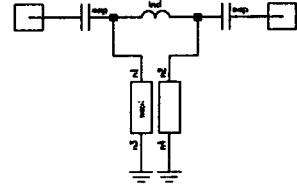


(b) 일체형 유전체 필터의 회로 시뮬레이션 결과 (캐패시터에 의한 공진홀간의 결합)

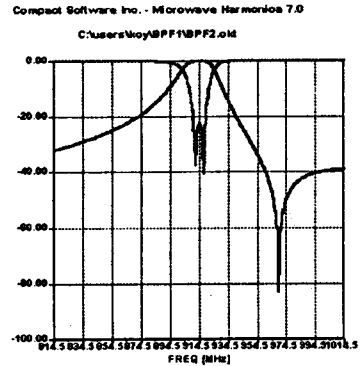
그림 2. 캐패시터에 의해 공진홀간의 결합이 이루어졌을 경우의 일체형 유전체 필터

3.2 인덕터에 의한 공진홀간의 결합

그림 3(a)과 같이 공진홀 간의 결합을 인덕터로 구현하였을 경우 그림 3(b)와 같이 위쪽 저지대역에 감쇠극을 갖는 필터의 특성을 얻을 수 있다.



(a) 일체형 유전체 필터의 등가회로 (인덕터에 의한 공진홀간의 결합)



(b) 일체형 유전체 필터의 회로 시뮬레이션 결과 (인덕터에 의한 공진홀간의 결합)

그림 3. 인덕터에 의해 공진홀간의 결합이 이루어졌을 경우의 일체형 유전체 필터

이와 같이 2-hole 일체형 유전체 필터의 등가회로 설계시 공진홀간의 결합을 캐패시터로 하여 설계 사양을 만족시켰을 경우 중심주파수의 아래쪽 저지대역에( $f_0-50\text{MHz}$  근방) 감쇠극이 형성되었고, 인덕터로 공진홀간의 결합을 이루었을 경우 중심주파수 윗쪽 저지대역에( $f_0+50\text{MHz}$  근방) 감쇠극이 형성되어 감쇠 특성이 향상되었다. 캐패시터로 결합시켰을 경우  $f_0-44\text{MHz}$ 에서 35dB 이상의 감쇠 특성을 나타내었으며, 마찬가지로 인덕터로 결합시켰을 경우로  $f_0+44\text{MHz}$ 에서 35dB 이상의 감쇠 특성을 나타내어 설계 사양 보다 10dB 이상 향상된 결과를 나타내었다.

4. 일체형 유전체 필터의 설계

4.1 설계된 일체형 유전체 대역 통과 필터의 구조

본 연구에서는 parallel coupled stripline을 이용한 등가회로를 기초로 표면 실장용 2-hole 일체형 유전체 필터를 구현하기 위해 그림 4와 같이 본 연구에서는 외부 입출력 단자와의 결합을 위해 표면 실장이 가능하도록 필터의 한 쪽 측면에 도체 일부만이 제거된 형태로 두 개의 포트단을 구성하여 내부 홀과의 용량성 결합을 이루도록 하였다. 이 두 포트단은 형태의 대칭성을 갖게 하기 위해 같은 크기로 설계되었고, 필터 블록내에서 원하지 않는 단면 방향의 전자기파의 상호간섭을 최대한 억제하도록 포트의 간격을 최대한 멀어지도록 배치하여 설계되었다. 따라서 이 두 포트단의 중심은 공진홀의 축 중심과 일치하지 않고 어긋나 있다. 이 두 개의 포트단은 한 측면에 형성되어 있어 제작상의 편이를 도모하였다.

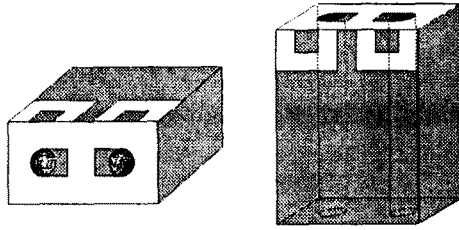


그림 4. 설계된 표면실장용 일체형 유전체 필터

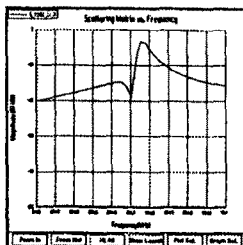
두 개의 공진 홀의 결합을 위해 본 연구에서는 개방단위에 공진홀과 직접적으로 연결되어 있는 진극 패턴을 그림 4와 같이 구성하여 용량성 결합이 가능하게 하였고 설계된 일체형 유전체 필터 설계사양을 표 2에 나타내었다.

표 2. 설계된 일체형 유전체 필터의 사양

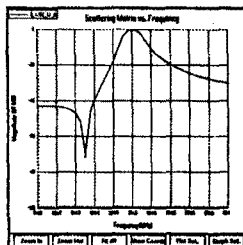
재료의 비유전율 ( $\epsilon_r$ )	86
재료의 유전손실	0.00014
필터의 크기 ( $l \times w \times h$ )	6mm $\times$ 3mm $\times$ 8.77mm
hole의 직경	1mm
port단의 크기	1mm $\times$ 1mm

#### 4.2 HFSS를 이용한 구조 시뮬레이션

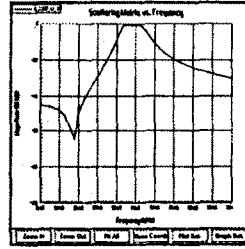
HFSS는 FEM(유한요소법)에 기초한 고주파 구조 시뮬레이터로서, Top-Down 방식에 의해 그래픽적으로 모델링 한다. HFSS를 이용하여 실제 설계한 필터의 구조를 시뮬레이션함으로써 설계된 필터의 특성을 제작하지 않고도 예측하여 제작상의 시간과 비용을 절감할 수 있을 뿐만 아니라, 등가회로 설계시 예기치 못했던 문제들을 발견하여 해결할 수 있다. HFSS상에서 유전체의 유전율은 86, Q 값은 7000으로 재료의 특성을 정하였고, 외부 도체는 완전 도체로 설정하였다. 필터 상부에 공진홀간의 결합을 위해 구현한 진극간의 간격에 따른 전달 특성의 변화를 HFSS를 이용하여 살펴보았으며, 그 결과를 그림 5에 나타내었다. (a)는 결합용 진극이 없을 때의 전달 특성이고, (b), (c), (d)는 용량성 결합용 진극의 간격이 각각 1, 0.8, 0.6mm 일때의 전달 특성이다. 진극 간격이 1mm일 때 실제 사양에 가장 부합된 결과를 나타내었고, 그 이하일 때는 over-coupling이 발생하였다. 또한 진극 간격이 줄어들며 따라 아랫쪽 저지대역에 존재하는 감쇠극이 저주파대로 옮겨 가게 되었다.



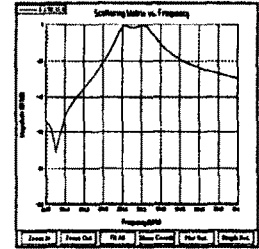
(a)



(b)



(c)



(d)

그림 5. 결합단 진극 간격의 변화에 따른 HFSS 시뮬레이션 결과

#### 5. 결론

중심주파수가 914.5MHz인 CT-1용 일체형 유전체 필터의 설계를 위하여 일체형 유전체 필터를 parallel coupled stripline으로 등가화하여 SuperCompact을 이용하여 회로 시뮬레이션 하였다. 이때, 공진홀간의 결합을 커패시터로 구현하였을 경우 아랫쪽 저지대역에 감쇠극을 가지며, 인덕터로 구현하였을 경우에는 위쪽 저지대역에 감쇠극을 갖는 전달 특성을 나타냄에 따라 감쇠극을 갖는 저지대역에서 현재 상용되는 동축형 유전체 필터에 비해 향상된 감쇠 특성을 나타내었다.

설계된 등가회로를 기초로 표면실장이 가능한 일체형 유전체 필터의 구조를 설계한 후 HFSS를 이용하여 시뮬레이션함으로써 최적의 설계 결과를 얻을 수 있었다. 공진홀간의 용량성 결합을 위해 필터 상부에 설계된 진극 간격이 1mm일 때 설계 사양에 부합되는 결과를 나타내었고, 이 결과는 회로 시뮬레이션과 거의 같은 결과를 나타냄에 따라 실제의 타당성을 보여주었다. 이와 같이 설계된 표면 실장용 일체형 유전체 필터는 동축형에 비해 부품수가 적고, 결합을 위한 외부 공간이 필요 없어 소형이 된다는 특징을 가지고 있다.

#### 참고 문헌

- [1] S.Urabe and T.Nojima, "Developments in Mobile/Portable Telephones and Key Devices for Miniaturization", *IEICE TRANSELECTRON.*, VOL.E79-C, NO.5 pp.600-605 MAY 1996
- [2] G.L.Matthaei, L.Young, and E.M.T.Jones, *Microwave Filters, Impedance-Matching Networks, and Coupling Structures*. New York:McGraw-Hill, 1964
- [3] T.Nishikawa, "RF Front End Circuit Components Miniaturized Using Dielectric Resonators for Cellular Portable Telephones", *IEICE TRANSACTIONS.*, VOL.E74, NO.6 pp.1556-1562 JUNE 1991
- [4] K.washino, T.Nishikawa, Y.Ishikawa, and K.Tsunoda, "800MHZ Band Elliptic Function Type Bandpass Filter Using High K Monoblock Ceramics", *IEEE Denshi Tokyo*, 25, pp.117-120 1986