

인덕티브 포스트를 이용한 도파관형 마이크로파  
협대역 대역 통과 필터

A Microwave Narrowband Bandpass Filter  
Using Inductive Post in Rectangular Waveguide

홍 헌진\*, 김 영범\*\*, 박 동철\*

\*충남대학교 전자공학과 \*\*한국표준연구원

ABSTRACT

Narrowband bandpass waveguide filters using inductive post obstacles are designed and constructed to have an equal-ripple bandwidth of 50MHz at a center frequency of 9GHz. Both the triple-post and the single-post configurations are realized and compared. The measured results for both filters show good agreement with the theoretical calculations. When the two filters are compared, the performance of the triple-post filter is better than that of the single-post filter.

I. 서론

구형도파관형 대역통과 필터로는 iris 결합형이 표준형으로 사용되어져 왔다. 그러나 iris 결합형 공진기 필터는 제작을 위해 공진기를 잘라야 하는 불편이 있어서 iris 대신 구형포스트(post)를 이용하는 필터가 사용되기 시작했다. 이러한 포스트 결합형 공진기 필터는 제작이 편리하고 삽입손실면에서도 iris 형 필터 보다 다소간 우수한 것으로 알려지고 있다.

단일포스트 장애물을 이용한 협대역 도파관형 필터는 약 1% 정도의 통과대역을 갖도록 설계 될 수 있으나 1% 미만의 아주 작은 대역폭을 위해서는 단일포스트를 이용할 경우 포스트의 직경이 너무 커지게 되어 Marcuvitz의 Waveguide Handbook[1]에 실려 있는 데이터의 범위를 벗어 나게

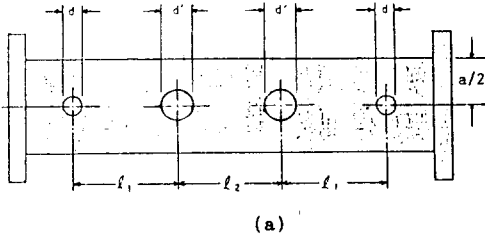
된다. Marcuvitz의 데이터를 이용하기 위하여 Craven과 Lewin은 큰 직경의 단일포스트를 작은 직경의 삼중포스트로 대체 시킬 수 있는 방법을 제시하였고[2,3], Mariani는 실험적으로 보상값(correction factor)을 얻어 삼중포스트 구조를 해석하였으며 이 해석을 토대로 C-밴드에서 삼중포스트를 이용한 도파관형 필터를 제작하였다[4]. 그러나 최근에는 도파관내에서의 포스트의 해석방법을 달리하여 단일포스트를 사용해서도 1% 미만의 대역폭을 갖는 필터를 제작할 수 있도록 데이터가 보완되었다[5].

본 논문에서는 중심주파수 9 GHz, 통과대역 허용 리플 0.1dB, 대역폭 50 MHz(이는 0.56%의 대역폭에 상당), 8.9GHz와 9.1GHz에서 20dB이상의 감쇠를 갖는 구형도파관형 대역통과 필터를 단일포스트와 삼중포스트를 이용해 각각 설계, 제작하고 그 특성을 비교하였다.

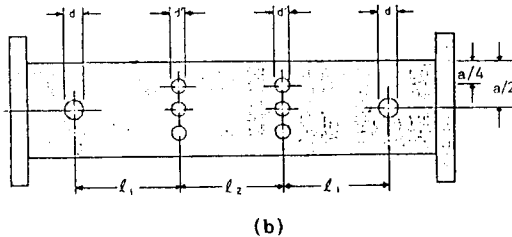
II. 대역통과 필터의 설계

그림 1에 최종적으로 구현될 도파관형 대역통과 필터들이 보여지고 있다. 필터제작에 사용될 도파관은 X-밴드용 WR-90 이며 도파관의 폭  $a = 2.286\text{cm}$ , 도파관의 높이  $b = 1.016\text{cm}$ 이다.

서론의 특성을 만족하는 Chebyshev형 대역통과 필터를 Matthaei[6]의 설계방법에 따라 설계하면 3개의 반파장 공진기가 필요하며 최종적인 필터 회로는 그림 2와 같고 정규화된 X값 및 전송선의 전기적 길이  $\phi$ 는 다음과 같다.



(a)



(b)

그림 1. (a) 단일포스트만을 이용한 대역통과 필터  
(b) 삼중포스트를 이용한 대역통과 필터

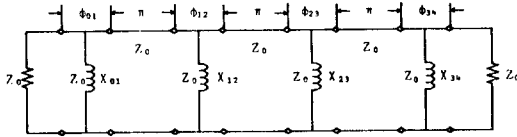


그림 2. 병렬 인덕턴스를 이용한 대역통과 필터의 회로

$$X_{0,1} = X_{3,4} = 0.1369$$

$$X_{1,2} = X_{2,3} = 0.01714$$

$$\phi_{0,1} = -\tan(2X_{0,1}) = \phi_{3,4} = -0.2673$$

$$\phi_{1,2} = -\tan(2X_{1,2}) = \phi_{2,3} = -0.03426$$

1. 단일포스트만을 이용한 대역통과 필터

그림 3에 직경이 유한한 단일포스트의 T-등가회로가 보여지고 있다.  $X_a = X_j, j+1$  이고  $X_b$  는 포스트와 구형도파관 아래, 첫면과의 접합에서 생기는 포스트의 기생 커패시턴스(spurious capacitance)이다.

단일포스트를 그림 1(a)에서와 같이 구형도파관 관내에  $x = a/2$ 의 위치에 놓았을 때 포스트의  $X_a, X_b$  값과 포스트의 직경과의 관계를 그래프로 그려보면 그림 4과 같다.

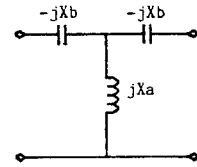


그림 3. 단일포스트의 T-등가회로

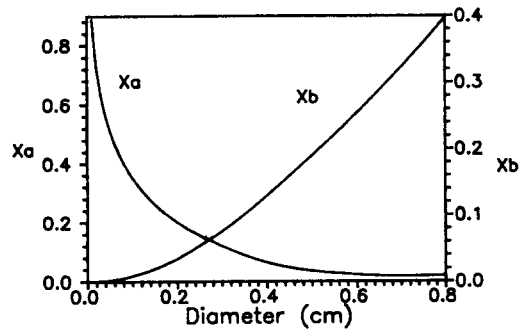
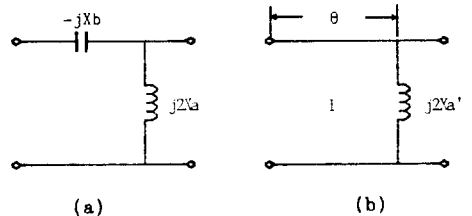


그림 4. 단일포스트의  $X_a, X_b$  값과 직경과의 관계 그래프

앞 절에서  $X_{0,1} = X_{3,4} = 0.1369, X_{1,2} = X_{2,3} = 0.01714$  이었으므로 그림 4로부터 그림 1(a) 포스트의 직경 및 그때의  $X_b$  를 구하면  $d = 0.278\text{cm}, d' = 0.68\text{cm}, X_b = 0.0669, X_b' = 0.3107$  이 된다.



(a)

(b)

그림 5. (a) 단일포스트 T-등가회로의 반쪽  
(b) T-등가회로와 등가인 직접결합 필터 회로의 반쪽

포스트의 커패시턴스를 전기적 길이  $\theta$  로 변환 시키기 위해 그림 5(a)와 (b)를 등가라고 가정하고 각각의 단락, 개방 임피던스를 구하면 아래의 (1), (2)식과 같이 된다.

$$Z_{open} = -jX_b + j2X_a = \frac{j2X_a + j \tan \theta}{1 - 2X_a' \tan \theta} \quad (1)$$

$$Z_{short} = -jX_b = j \tan \theta \quad (2)$$

(2)식을 (1)식에 대입하여  $X_a'$  에 대해 정리하면 (3)식과 같다.

$$X_a' = \frac{X_a}{1 - 2X_a X_b + X_b^2} \approx X_a \quad (3)$$

( ;  $|X_b|, |X_a X_b| \ll 1$  )

(2)식을 다시 쓰면  $\theta = \tan^{-1}(-X_b)$  이므로 단일 포스트의 커패시턴스  $X_b$  및  $X_b'$  에 해당해당되는 전기적 길이  $\theta$  및  $\theta'$  를 구해보면  $\theta = -0.0668$ ,  $\theta' = -0.3012$  (radians) 이 되며 '-' 값은 공진기의 길이를 더 늘려 주어야 함을 의미한다.

### 3. 삼중포스트를 이용한 대역폭과 필터

삼중포스트의 정규화된 병렬 리액턴스  $X_a$  와 직경에 따른  $X_b$  를 각각 (4), (5)식과 같이 간단히 나타낼 수 있다 [3,5].

$$X_a = \frac{a}{4\lambda g} \left[ \ln \frac{a}{12.33d} + 0.0404 \left( \frac{a}{\lambda} \right)^2 \right] + \frac{X_b}{2} \quad (4)$$

$$X_b = k \frac{a}{\lambda g} \left( \frac{\pi d}{a} \right)^2 \quad (5)$$

(5)식에서 k는 포스트간의 결합과 관계된 비례 상수이다. 이 k값은 포스트간의 상호작용(interaction)이 없다고 가정할때 (6)식과 같지만 실제적으로는 포스트간의 상호작용으로 인하여  $k < 2$  가 된다.

$$k = \sin^2\left(\frac{\pi}{4}\right) + \sin^2\left(\frac{\pi}{2}\right) + \sin^2\left(\frac{3\pi}{4}\right) = 2 \quad (6)$$

본 논문에서는 k값을 얻기 위해 직경이 다른 삼중포스트를 몇 쌍 제작해 실험을 통해서 데이터들을 얻어 이를 이용하였다. 그림 6은 삼중포스트의 직경을 변화시켜가며  $k = 2$  로 보고 구한  $X_a$  와 실제 실험을 통해 얻은  $X_a$  와의

관계를 나타내고 있다.

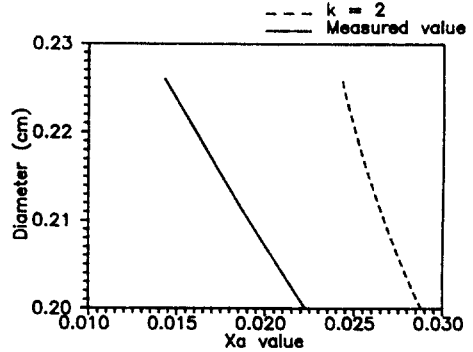


그림 6. k값에 따른  $X_a$  의 값과 삼중포스트 직경과의 관계 그래프

그림 6을 이용해서 삼중포스트의 직경  $d'$  를 구하고  $X_b'$  와 그에 따른 전기적 길이  $\theta'$  를 구하면  $d' = 0.217 \text{ cm}$ ,  $X_b' = 0.06716$ ,  $\theta' = -0.06705$  radians 이 된다.

그림 1(b)에서 앞단과 끝단의 단일포스트의 직경  $d$  는 그림 1(a)에서의  $d$  와 같으므로 앞절에서 구한 값을 그대로 사용하면 된다.

### III. 실험 및 고찰

이제까지 구한 그림 1(a), (b)의 값들을 정리하면 다음과 같다.

표 1. 설계된 필터들의 포스트 직경 및 포스트간의 거리

필터	d	d'	$l_1$	$l_2$
그림 1(a)	0.278	0.68	2.604	2.876
그림 1(b)	0.278	0.217	2.422	2.511

(단위 : cm)

도파관과 포스트는 brass를 재료로 하여 제작되었다. 그림 7과 8은 각각 설계된 필터들의 이론 및 측정된 삽입손실과 반사손실을 보이고 있다. 이론치를 계산하는데는 참고문헌 [6, pp. 245-246]의 brass에 대한 표피깊이를 이용해 unloaded Q(Qu)를 4050으로 하였다

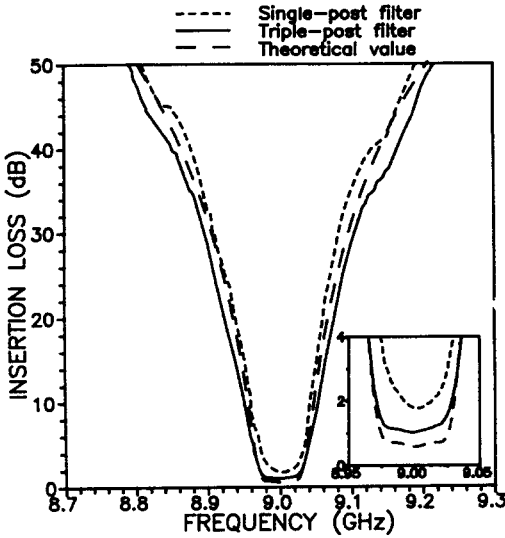


그림 7. 필터의 삽입손실

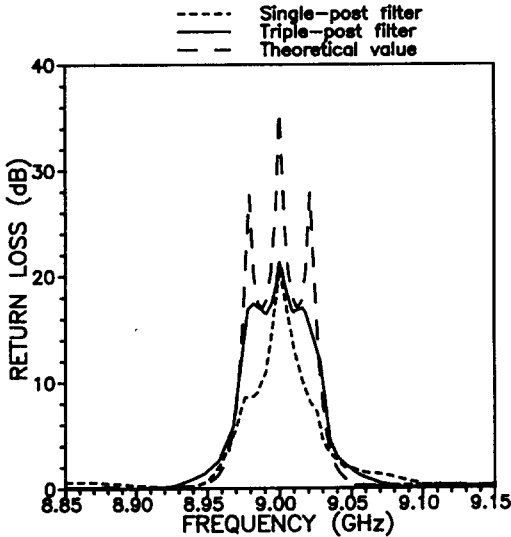


그림 8. 필터의 반사손실

그림 7에서 보듯이 제작된 필터들의 중심주파수는 이론치와 잘 일치하고 있으며 삼중포스트를 이용한 필터의 경우 측정된 3-dB 대역폭은 약 72 MHz로 이론치 68MHz에 비해 약 6% 증가 되었는데 이는 그림 6의 curve fitting으로 인한 오차로 생각된다. 단일포스트만을 이용한 경우에는 Q의 감소로 인한 손실의 증가로 대역폭이 이론치보다

감소함을 볼 수 있다.

그림 7으로부터 삼중포스트를 이용한 필터가 단일포스트만을 이용한 필터보다 삽입손실면에서 약 0.6dB 양호한 것을 알 수 있다. 측정된 삽입손실로부터 계산된 Q값은 삼중포스트를 이용한 필터가 약 2500(이론치의 62%)이고 단일포스트만을 이용한 필터가 약 1400(이론치의 35%)이었다. 이렇게 두 필터의 특성이 차이가 나는 이유는 단일포스트만을 이용한 필터에서는 큰 직경의 단일포스트로 인한 전기적 길이  $\theta'$ 가 커져서 전체적인 공진기의 길이가 삼중포스트를 이용한 필터에 비해 길어 졌기 때문으로 생각된다.

#### IV. 결론

9GHz에서 대역폭이 50MHz인 협대역 대역통과 필터를 단일포스트와 삼중포스트를 이용하여 각각 제작, 실험하였다. 실험결과 삼중포스트를 사용한 필터가 특성이 더 양호한 것을 알 수 있었다. 그림 4에서 단일포스트의 직경이 커질수록 전기적 길이  $\theta'$ 가 크게 증가함을 알 수 있으므로 필터의 대역폭이 더 좁아질수록 두 필터 간의 특성차는 더욱 커질 것을 예상할 수 있다.

#### 참 고 문 헌

- [1] N. Marcuvitz, Ed., Waveguide Handbook, M.I.T. Rad. Lab. Ser., vol.10, New York: McGraw-Hill, 1951, pp.257-262.
- [2] G.Craven and L.Lewin, "Design of microwave filters with quarter-wave couplings," J. IEE, vol.103(B), pp.173-177, 1956.
- [3] L. Lewin, Theory of Waveguides, New York: Wiley, 1975.
- [4] E.A.Mariani, Designing narrow-band triple-post waveguide filters," Microwaves, vol .4, pp.93-97, 1965.
- [5] Y. Leviatan, P. Li, A. T. Adams, and J.Perini, Single-post inductive obstacles in rectangular waveguides," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-31, pp. 806-811, Oct. 1983.
- [6] G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, Microwave Filters, Impedance Matching Networks, and Coupling Structures, Dedham, MA : Artech House, 1980.