

## MDR장비용 협대역 도파관형 대역통과 여파기의 설계

正會員 林在鳳\*, 朴准奭\*, 金哲東\*\*

## Design of Narrow-band Waveguide Bandpass Filters for the MDR System

Jae-Bong Lim\*, Jun-Seok Park\*, Chul-Dong Kim\*\* Regular Members

## 要 約

본 논문에서는 우수한 양산성과 양호한 온도특성을 감안하여 단일 E-평면구조를 사용, 통과대역 보정법에 의한 여파기 합성설계방법을 사용하여 MDR장비용 협대역 도파관형 대역통과 여파기를 개발하였다. MDR 장비용 대역통과 여파기의 감쇄특성을 만족시키기 위해서는 6단 구조로 설계, 제작 하고, 전체길이를 줄이기 위해서 출력단의 마지막 공진기와 Waveguide-to-Coaxial Adaptor 부분을 직렬 Capacitance 결합구조로 사용함으로써 공진기 1단의 길이를 줄여 여파기의 전체 길이를 짧게 구현하였다.

대역통과 여파기의 양호한 온도특성을 위하여 Invar 도파관으로 중심주파수가 3.66GHz와 3.98GHz인 6단 대역통과 여파기를 설계, 제작하여 특성을 측정하였다. 그 결과 제작된 도파관형 대역통과 여파기의 통과대역내에서 약 0.7~0.8dB의 삽입손실 특성과 통과대역 진역에 걸쳐서 22dB이상의 우수한 반사손실을 얻었고, 온도를 0C°에서 상온을 거쳐 55C°까지 변화시켰을 때 중심주파수가 최대  $\pm 0.4$ MHz 정도 이동하는 결과를 얻었다.

## ABSTRACT

In this paper, narrow-band waveguide bandpass filters for MDR system have been developed using the single E-plane structures which are considered for the good yield and the good temperature characteristics. We have reduced the 1-section of the bandpass filters by replacing the waveguide-to-coaxial adaptor with the series capacitance coupling structure.

The 6-section invar waveguide bandpass filters have been designed at center frequencies of 3.66GHz and 3.98GHz, respectively, for the good temperature characteristics.

The measured insertion losses are about 0.8dB and the maximum frequency drift is within  $\pm 0.4$ MHz in the temperature range of 0C° to 55C°.

\*국민대학교 공과대학 전자공학과

\*\*삼성전자 통신연구소

論文番號 : 95332-0922

接受日字 : 1995年 9月 22日

## 1. 서 론

MDR(Microwave Digital Relay)시스템과 같은 마이크로파대 통신장비에는 대단히 좁은 대역폭을 갖는 저손실 도파관형 대역통과 여파기가 필요하다.<sup>(1)</sup>

본 연구에서 MDR 장비용 대역통과 여파기의 구조로 사용한 단일 E-평면구조<sup>(2)</sup>는 최근 밀리미터파 대역에서 협대역 도파관형 대역통과 여파기의 구조로 사용되는 인덕티브 창 구조와 동일하게 반사계수의 조정이 불연속 구조의 횡방향으로 이루어져 대역폭이 좁아짐으로써 요구되는 큰불연속의 정도를 충족시켜줄 뿐만 아니라, 통과대역 일탈현상이 작은 잇점을 갖고,<sup>(1,2,3,4)</sup> 우수한 양산성과 양호한 온도특성을 감안한 협대역 대역통과 여파기를 제작하기 위한 적합한 구조이다.<sup>(5,6,7)</sup>

MDR 장비에 사용하기 위한 대역통과 여파기의 입출력 포트는 입력포트는 CMR-229 도파관 Flange가 되어야하고, 출력포트는 동축 콘넥터로 구성해 주어야 한다. 그리고 MDR 장비용 대역통과 여파기의 감쇄특성을 만족시키기 위해서는 6단 구조로 설계제작되어야 하고, 전체길이를 줄이기 위해서 출력단의 마지막 공진기와 Waveguide-to-Coaxial Adaptor 부분을 직렬

Capacitance 결합구조를 사용함으로써 공진기 1단의 길이를 줄여줄 수 있고 출력포트를 Coaxial형태로 구현할 수 있도록 하여 여파기의 전체 길이를 짧게 구현하였다.

본 연구에서는, 여파기 해석방법으로 모든 연산이 실수로 처리되어 비교적 간단한 Rayleigh-Ritz 변분해석법을 사용하여 단일 E-평면구조를 해석하였고,<sup>(1-9)</sup> 여파기 설계과정으로 Levy의 이론을 적용하여, K-인버트의 실제 특성이 불연속 구조뿐만 아니라, 주파수에 따라 변화하기 때문에 발생하는 통과대역 일탈현상을 보정하기 위한 방법으로 통과대역 보정법<sup>(7)</sup>에 의한 여파기의 합성 설계방법을 적용하여 협대역 저손실 도파관형 대역통과 여파기를 설계하기 위한 CAD 프로그램을 개발하여 사용하였다.

MDR 장비용 대역통과 여파기 상용화 제품 개발을 위해 입력포트는 CMR-229 도파관 Flange를 사용하고, 출력포트는 Coaxial connector로 구성하여, Invar 도파관으로 중심주파수가 각각 3.66GHz, 3.98GHz인 6단 대역통과 여파기를 본 연구에서 개발한 CAD Tool을 사용하여 표.1의 설계목표에 맞추어 설계 제작하여 주어진 설계사양을 만족하는 여파기를 개

표 1. 설계 목표  
Table 1. Design goals

1. Operation Frequency Range	: 3.6 - 4.2 GHz
2. Pass Bandwidth	: $\geq 28$ MHz ( $\pm 14.0$ MHz )
3. Ripple in Pass Band	: $\leq 0.1$ dB
4. 3dB Bandwidth	: $\leq 34$ MHz ( $\pm 17.0$ MHz )
5. 12dB Bandwidth	: $\leq 40$ MHz ( $\pm 20.0$ MHz )
6. Insertion Loss (in Pass Band)	: $\leq 1.0$ dB ( MAX )
7. In/Out Return Loss (in Pass Band)	: 20 dB
8. Rejection	: $< -50$ dB ( $F_0 \pm 40$ MHz )
9. Rejection	: $< -78$ dB ( $F_0 \pm 80$ MHz )
10. Relative Group Delay (in Pass Band)	: $< 25$ ns
11. Group Delay (in 3dB Pass Band)	: $< 40$ ns
12. Input Power Handling Capacity (CW)	: 10 W
13. Input Connector	: SMA ( F )
14. Output Connector	: W/G ( Type : CMR - 229 )
15. Filter Type	: Tubular
16. Size ( W x H x L )	: 55 x 45 x 330 ( mm ) [MAX]
17. Fiter Curve Drift by Temperature	: $< 1$ MHz !!! Very Important
18. Operating Temperature	: 0 - +50℃

발 완료하였다.

## II. MDR 장비용 대역통과 여파기의 설계이론

일반적인 도파관형 대역통과 여파기의 입출력 포트는 입력포트는 CMR-229 도파관 Flange가 사용되고, 그림 1.과 같은 형태이나 본 연구에서 개발하려는 MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기의 출력포트는 Coaxial connector로 구성되어야 한다.

그리고 국내에서 운용되고 있는 MDR 장비에 사용되는 대역통과 여파기의 감쇄특성을 만족시키기 위해서는 6단 구조로 설계 제작되어야 한다. 본 논문에서는 여파기 전체길이를 줄이기 위해서 출력단의 마지막 공진기와 Waveguide-to-Coaxial Adaptor 부분을 그림 2.과 같은 등가회로로 나타나는 직렬 Capacitance 결합구조로 사용함으로써 여파기의 공진기 1단의 길이를 줄여줄 수 있고, 출력포트를 Coaxial형태로 구현할 수 있도록 하여 여파기의 전체길이를 짧게 구현할 수 있는 그림 4.과 같은 대역통과 여파기의 최종 등가회로를 제안하였

다.<sup>[5][11]</sup> 즉 E-평면구조 대신에 capacitive post를 붙인 속 구조로 사용함으로써 Rhodes의 설계공식에서 결정된 맨 마지막 단의 인버터를 직렬 capacitance로 구현하는 것으로 이때의 인버터는 그림 3.에 나타낸 식으로 주어지는 인버터의 양단의 전송선로의 길이를 갖는다.<sup>[10]</sup>

이러한 직렬 capacitance로 구현한 인버터의 전송선로의 길이는 T-등가회로로 구현한 인버터의 전송선로의 길이보다 더 큰 음의 값을 갖는다.<sup>[10]</sup> 예를 들어 중심주파수가 3.9GHz이고, 28MHz의 대역폭을 갖는 6단 대역통과 여파기의 마지막단의 K-인버터의 특성 임피던스 값은 0.187279로 결정이 되는데, 이를 T-등가회로를 갖는 단일 E-평면구조로 구현을 하면 인버터 양단의 전송선로의 길이는 -0.0819462(rad)정도가 되고, 반면 직렬 Capacitance와  $\frac{\lambda}{4}$ 의 short stub로 등가화되는 용량성 결합구조인 Waveguide-to-Coaxial Transition를 사용하여 구현하면 인버터 양단의 전송선로의 길이는 -2.77132386(rad)로 된다. 따라서 여파기 마지막단의 K-인버터를 단일 E-평면구조로 구현하면 대역통과 여파기의 마지막단 공진기의 길이는 약

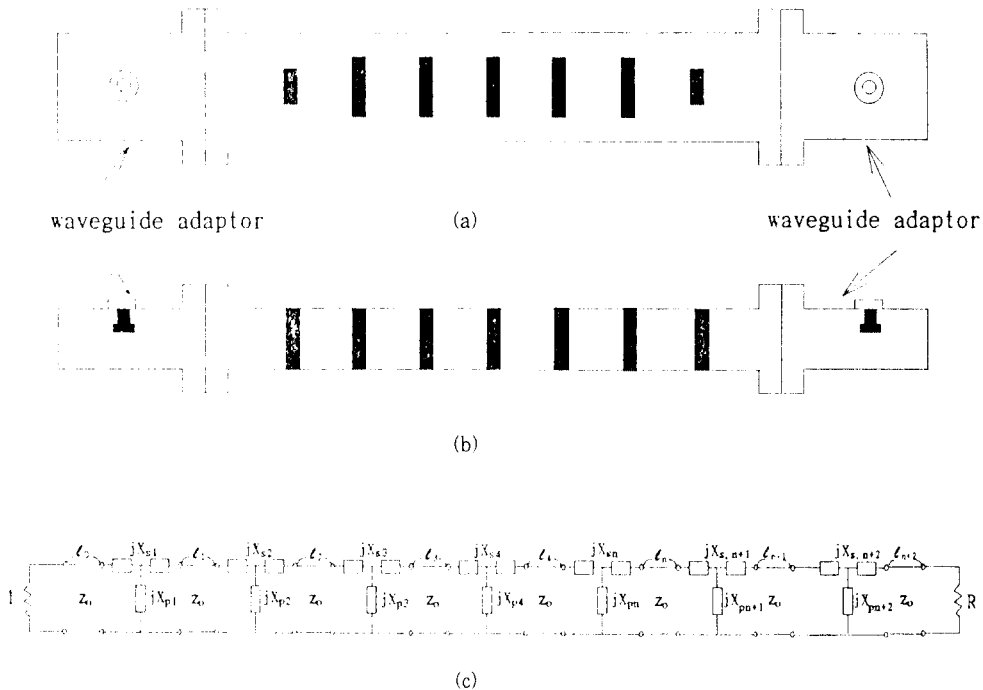


그림 1. 일반적인 단일 E-평면형 대역통과 여파기와 여파기 전체의 등가회로  
 Fig. 1. The general single E- plane bandpass filter and it's equivalent circuit

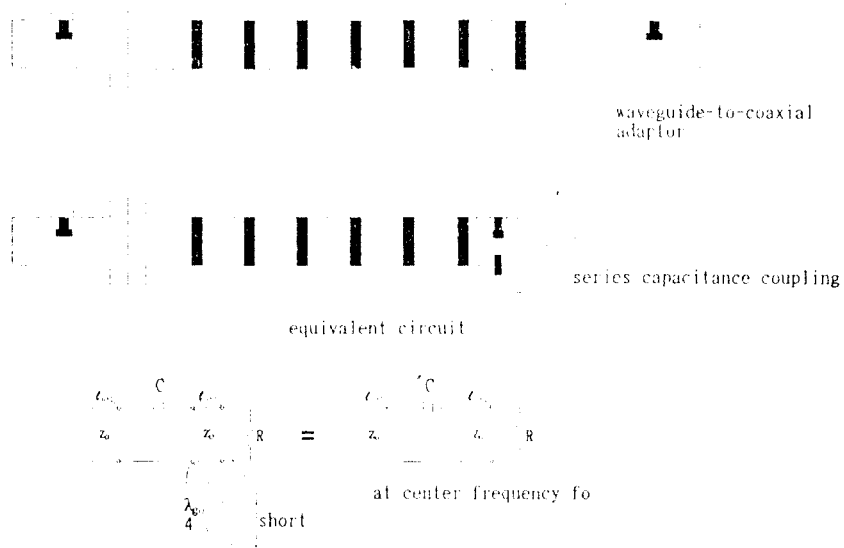
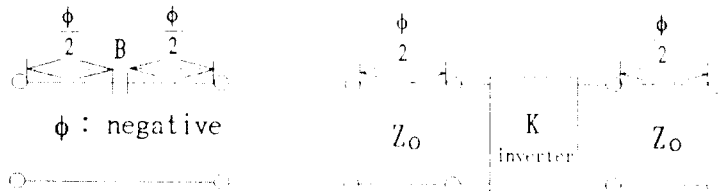


그림 2. 출력단을 직렬 capacitance 결합 구조로 구현한 단일 E-평면형 대역통과 여파기와 출력단의 직렬 capacitance 동가회로  
 Fig. 2. The single E-plane bandpass filter with the series capacitance coupling structure and the output's series capacitance equivalent circuit



$$\phi = -\tan^{-1} \frac{2B}{Y_c} \text{ radians}$$

or

$$\left| \frac{\phi}{2} \right| = \tan^{-1} \left( \frac{-1}{K_{07}} \right) \text{ radians}$$

그림 3. 직렬 capacitance로 구현한 인버터와 전송선로의 전기각  
 Fig. 3. Inverter with the series capacitance and electrical length of the transmission line

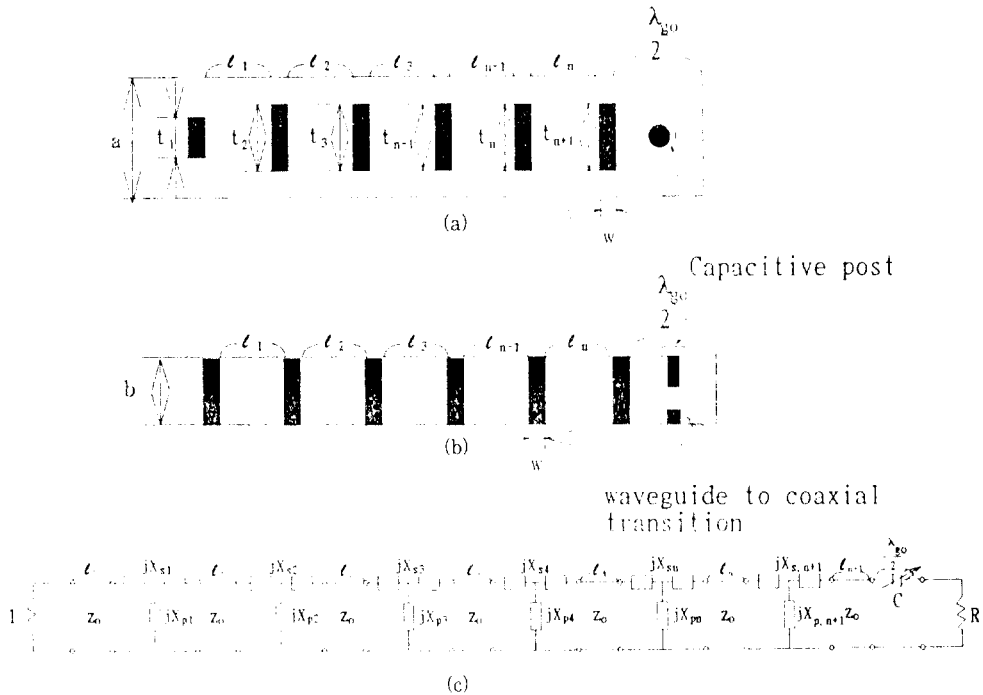


그림 4. (a) 최종 대역통과 여파기의 상측도 (b) 최종 대역통과 여파기의 측면도 (c) 최종 대역통과 여파기의 등가회로  
 Fig. 4. (a) Top view of the final bandpass filter (b) Side view of the final bandpass filter (c) Equivalent circuit of the final bandpass filter

반파장의 길이를 갖는 반면, 비록 협대역의 특성을 갖지만 용량성 결합구조의 Waveguide-to-Coaxial Transition 사용하여 구현하면

$$\begin{aligned}
 l_n &= \frac{\pi + (\phi_{s1} + \phi_{c1})}{2\pi} \cdot \lambda_{g0} \\
 &= \frac{\pi + (-0.0409731 - 1.38566188)}{2\pi} \cdot 102.5345 \\
 &= 27.98617727mm
 \end{aligned}$$

로 약  $\frac{\lambda_{g0}}{4}$ 가 되어 공진기의 길이가 대략 반으로 줄어든다. 그리고 대역통과 여파기의 맨 마지막단 K-인버터의 특성임피던스값을 이러한 용량성 결합구조를 사용하여 실험적인 미세조정에 의하여 구현하였다. 따라서 여파기의 맨 마지막단의 공진기의 길이는 크게 줄어들어 여파기의 전체길이가 짧아진다. 그리고 본 논문의 MDR장비용 대역통과 여파기의 맨 마지막단은 설계된 일반적인 단일 E-평면형 대역통과 여파기<sup>(2)</sup>의 첫수에서 맨 마지막단을 직렬 capacitance의 등가 모델의 형태를 갖는

tuning post 형태의 Waveguide-to-Coaxial Adaptor로 구현하고 이때의 그림 3.에 나타낸 식으로부터 인버터의 전송선로의 길이를 결정하여 최종 설계한다.

### III. MDR 장비용 대역통과 여파기의 설계 및 제작 실험 결과

#### 1. MDR 장비용 대역통과 여파기의 설계

본 논문에서 개발된 CAD 프로그램으로 국내에서 운용되고 있는 MDR(Microwave Digital Relay)장비의 중요한 부품중의 하나인 도파관형 협대역 대역통과 여파기를 단일 E-평면구조로 WR-229를 사용하여 28MHz의 대역폭을 갖는 6단 대역통과 여파기를 여파기 전체 길이를 줄이기 위하여 그림 5.과 같은 capacitive 튜닝 스크루가 있어 공진주파수를 낮출 수 있는 공진기 구조를 사용하여 실제 중심주파수 보다 높은 주파수에서 설계하고, 판재는 대역통과 여파기의 통과대역내

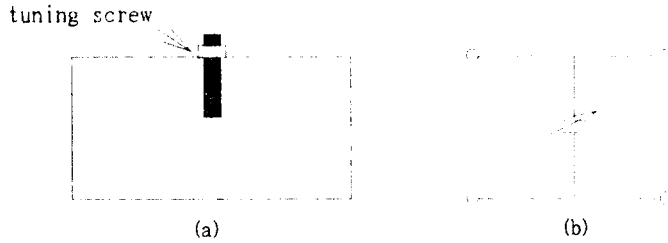


그림 5. Tuning screw가 있는 공진기와 그 등가회로  
Fig. 5. The resonator with tuning screw and it's equivalent circuit

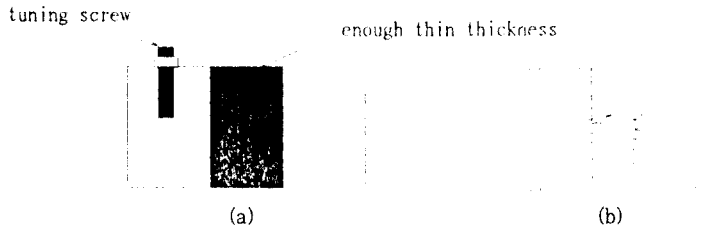


그림 6. Tuning screw가 있는 단일 E-평면 불연속 구조와 그 등가회로  
Fig. 6. The single E-plane discontinuity with tuning screw and it's equivalent circuit

에서의 반사손실을 고려하여 그림 6.과 같은 구조로 사용 중심주파수에서 설계하였다.<sup>(5)</sup>

본 논문에서는 3.66GHz, 3.98GHz대의 MDR 장비용 대역통과 여파기를 원래의 여파기의 사양인 28MHz의 대역폭을 갖도록하여 설계, 제작하여 미세조정을 거쳐 측정하면 설계시의 대역폭보다 약 4MHz정도 넓어지는데 이것을 고려하여 실제 대역폭보다 좁은 24MHz의 대역폭을 갖도록하여 설계하고, 0.001dB의 리플수준을 갖도록하여 각각 공진기는 4.36GHz, 4.58GHz 불연속구조인 판재는 3.66GHz, 3.98GHz에서 설계하였다. 그리고 반사손실특성과 저지대역에서의 삽입손실특성을 개선시키기 위해서 신호의 결합량을 줄이기 위한 개선책으로 3.66GHz의 도파관 여파기의 초단 판재의 폭을 설계치 보다 1mm 넓게하고, 3.98GHz대는 초단과 둘째단의 판재의 폭을 1mm씩 넓게 설계하였다.

## 2. MDR 장비용 대역통과 여파기의 제작

본 논문에서는 대역통과 여파기에 대한 온도특성을 만족하기 위해서 도파관은 온도팽창 계수는 20 - 100℃의

동작온도 범위에서  $1.5\mu\text{m}/\text{m} \cdot \text{℃}$ 이고, 구리의 함량은 최대 0.1%인 Invar의 일종인 INCO Alloy International사의 NILO alloy 36을 사용하였다.<sup>(12)</sup>

본 논문의 단일 E-평면 구조를 이용한 3.66, 3.98GHz대 MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기의 제작과정은 도파관 구조의 장해석과 여파기 합성 이론전개에 의한 설계과정에 의해 설계된 여파기를 가공하기 위한 Maching과 Brazing 과정, Brazing과정으로 인한 산화막제거 과정, 그리고 차단되어 Brazing된 여파기의 손실특성을 개선시키기 위한 도금과정으로 나눌 수 있다. Copper를 사용한 도파관의 Brazing은 어려운 문제점이 없으나, Invar를 사용할 경우에는 약 850℃의 온도에서 도파관 전체에 온도가 고르게 가해지지 않으면 도파관 몸체에 Crack이 발생하고, 산화가 심하게 일어나 은도금 과정에도 영향을 미치게 된다.

도파관 튜브와 창판재, Flange의 접합면에 은봉과 같은 접합물질이 매우 균일하게 침투하여 접합면의 상태가 매끄러워야 은도금 상태가 좋아지고 양호한 전기적인

특성을 얻을 수 있는데, Invar는 Copper와는 달리 Conductivity가 나쁘기 때문에 Brazing이 매끄럽게 이루어져야만 다음단계인 온도공정에서 제대로 이루어질 수 있고, Brazing이 제대로 이루어질 수 있도록 기계적인 구조를 여러번 수정하여 개선하였다. 그리고 산소용접시 도파관 전체에 고르게 온도가 가열되어야 Crack이 일어나지 않고, 산화의 정도가 적을때 Brazing공정전에 도파관 전체에 Flux를 고르게 바른 후 Brazing을 하여 산화물층을 크게 개선할 수 있음을 반복적인 제작실험을 통하여 알 수 있었다. Invar를 사용한 도파관의 Brazing은 도파관 전체에 균일한 온도 분포를 위해서는 산소용접으로는 공정상의 한계를 갖고, 이를 해결하기 위한 방법으로 전소나 알핀의 분위기에서 Brazing공정을 수행하면 도파관 전체에 균일하게 온도가 가해지므로 산화의 정도도 적고, Crack이 발생할 확률도 감소한다.

또한 마이크로파 대역에서 전기적인 우수한 특성을 얻을 수 있도록 해주는 진문적인 온도급 업체가 없는 형편이고 신진국 수준과는 거리가 있어, 여러 경로를 통하여 온도급에 다양한 경험을 가지고 있는 업체에 제작된 도파관 여파기의 온도급을 반복적으로 의뢰하여 제작하였다.

### 3. MDR 장비용 대역통과 여파기의 미세조정 실험 결과

본 논문에서 개발된 MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기 설계용 CAD 프로그램으로 3.66GHz, 3.98GHz대 도파관형 여파기를 설계하고, 각각 6set, 4set 전체 10개를 제작하여 각각 미세조정과정을 거치고 특성을 측정하여 표 2.에 나타내었다. 그 결과 제작된 10개의 도파관형 대역통과 여파기의 통과대역내에서 약 0.7-0.8dB의 삽입손실 특성을 얻었고, 통과대역 전역에 걸쳐서 22dB이상의 우수한 반사손실을 얻을 수 있었다. 그리고 중심주파수에서 80MHz 떨어진 지점에서는 약 87dB 이상, 중심주파수에서 40MHz 떨어진 지점에서는 약 60dB 이상, 20MHz 떨어진 지점에서는 약 12dB 이상의 양호한 저지대역에서의 감쇠특성을 얻을 수 있었고, 통과대역 내에서 40ns 미만의 군지연특성을 얻었다.

### 4. MDR 장비용 대역통과 여파기의 온도특성 결과

본 논문에서 설계 제작되어 미세조정과정을 거친 여파기의 온도특성 실험을 하였다. 주파수의 안정도가 특히 강조되는 첩대역 대역통과 여파기에는 주파수의 안정도를 위해서 Capacitive Screw가 자주 사용되고, 이때 공진주파수 및 대역통과 여파기의 주파수 특성들이 주로 이러한 Capacitive Screw와 도파관 밀면사이의 거리

표 2. 도파관형 대역통과 여파기의 특성 측정 결과  
Table 2. Measured characteristics of the waveguide bandpass filters

CENTER FREQ. $F_0$ (GHz)	S. N.	INSERTION LOSS (dB)	RETURN LOSS (dB)	REJECTION $F_0 \pm 20\text{MHz}$ (dB)	REJECTION $F_0 \pm 40\text{MHz}$ (dB)	GROUP DELAY in 3dB P. B (ns)
3.98	001	-0.7985	-22.5	-12.630, 13.007	-53.883, -53.004	35.781
	002	-0.8295	-22.0	-12.488, -13.323	-53.367, -53.561	36.796
	003	-0.7869	-22.8	-12.372, -13.437	-53.826, -54.012	39.696
	004	-0.852	-21.0	13.350, -14.496	-53.225, -53.727	33.213
3.66	001	-0.7524	-22.5	-12.313, 12.541	-53.930, -52.033	35.272
	002	-0.7530	-23.0	-12.523, 12.371	-54.613, -52.545	38.375
	003	0.7983	-25.0	-12.657, -12.585	-53.760, -52.369	38.401
	004	-0.7340	-22.	12.290, -12.466	-54.137, -53.432	37.993
	005	-0.7380	-22.0	-12.397, -12.724	-52.990, -51.881	38.706
	006	-0.7631	-23.5	-12.616, -12.812	-53.756, -53.008	37.153

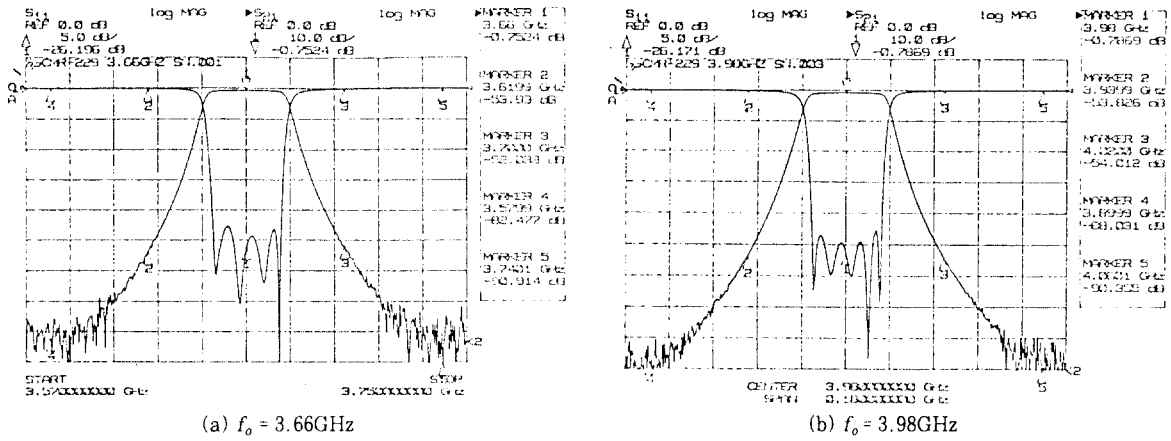


그림 7. MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기의 측정된 주파수 응답특성  
 Fig. 7. Measured frequency response of the waveguide bandpass filters

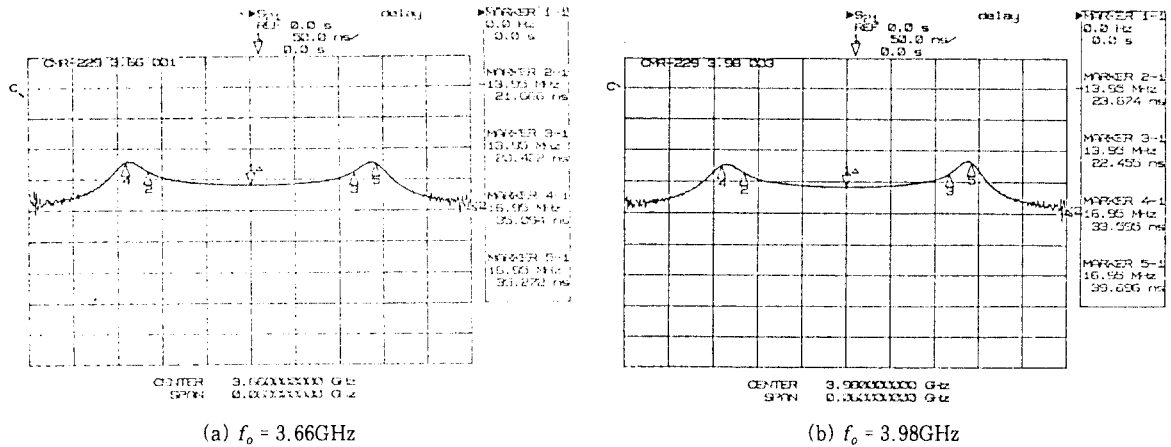


그림 8. MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기의 측정된 군지연 특성  
 Fig. 8. Measured group delay characteristic of the waveguide bandpass filters

와 전체 도파관 칩수에 따라 변화하는데, 주파수 안정도에 대한 이러한 요인들과의 관계는 상당히 복잡하고 정확히 계산하기도 상당히 어렵다. 그러나 Resonator와 Coupling Screw를 도파관의 재질과 같은 Invar로 제작하여 사용하면, 공진기의 공진주파수와 여파기의 대역폭에 도파관의 재질과 온도팽창 계수가 다른 재질로 제

작하였을 경우보다 비교적 큰 영향을 주는 것으로 알려져 있다.<sup>[13]</sup> 본 논문에서는 이러한 Capacitive Screw의 온도보상을 위하여 screw의 재질로 시중에서 구입한 Invar, Brass를 사용하여 중심주파수 변화량을 실험 측정하여 비교하였다. 그리고 알루미늄과 동 또한 자주 screw로 사용되는데, 이것들은 비교적 큰 열팽창 계수



표 3 Screw에 따른 온도 특성  
Table 3. Temperature characteristic with screw

Resonator Screw	Brass	Brass	Invar	Invar
Coupling Screw	Brans	Invar	Invar	Brass
freq. shift $\Delta f_0$ (MHz)	1.05MHz	1.1MHz	1.6MHz	2.2MHz

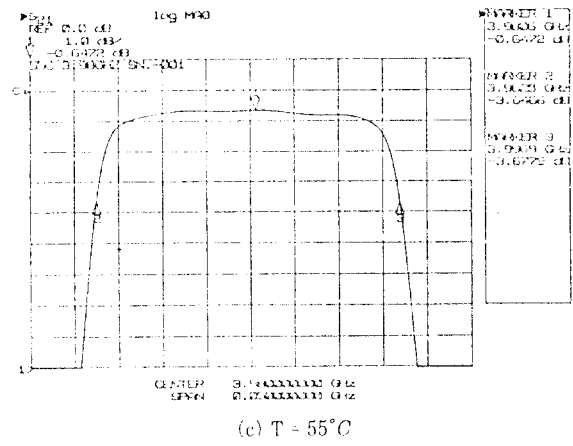
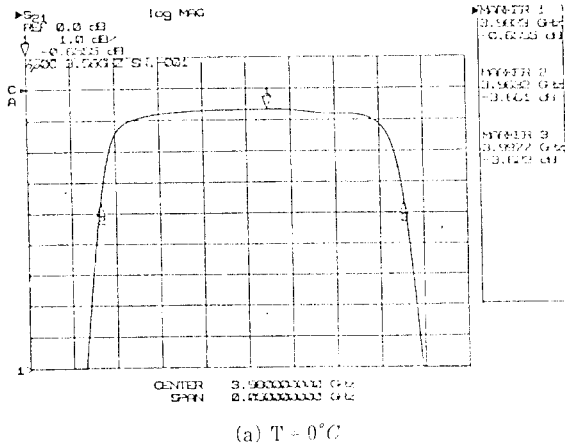
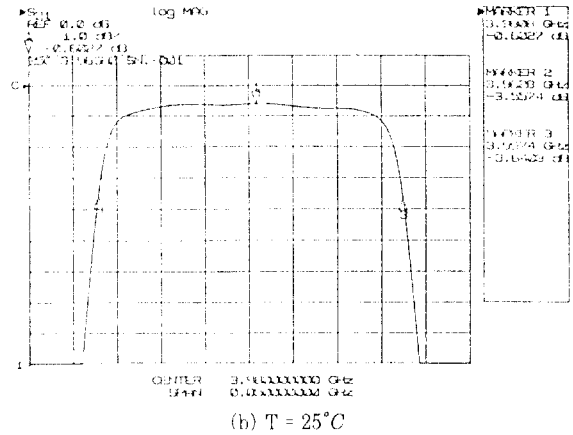


그림 9. 대역통과 여파기의 온도 특성(3.98GHz)  
Fig. 9. Measured temperature characteristics of the waveguide bandpass filters

표 4 온도특성  
Table 4. Temperature characteristic

Serial No.	Temp.	3.66				3.98					
		001		006		001		004			
		F <sub>1</sub> (GHz)	F <sub>2</sub> (GHz)	F <sub>1</sub> (GHz)	F <sub>2</sub> (GHz)	F <sub>1</sub> (GHz)	F <sub>2</sub> (GHz)	F <sub>1</sub> (GHz)	F <sub>2</sub> (GHz)		
	0°C	3.643	3.6772	3.6434	3.6768	3.96632	3.9977	3.9639	3.9968		
		F <sub>0</sub> (GHz)		3.6601(+0.4MHz)		3.6601(-0.05MHz)		3.998045(+0.35MHz)		3.98035(+0.35MHz)	
	25°C	3.643	3.6771	3.6435	3.6768	3.9628	3.9974	3.9635	3.9965		
		F <sub>0</sub> (GHz)		0.66005		0.66015		0.9801		0.9800	
	55°C	3.6428	3.6768	3.6437	0.677	0.9625	3.9969	3.9631	3.9960		
		F <sub>0</sub> (GHz)		3.6598(-0.2MHz)		3.66035(+0.25MHz)		3.9797(-0.40MHz)		3.97955(-0.45MHz)	
$\Delta F_0(0-55^\circ C)$		0.65 MHz		0.30 MHz		0.75 MHz		0.80 MHz			

를 갖고, 또한 온도공정이 어렵고 미세조정시에 마모의 우려가 있어 Resonator와 Coupling Screw를 Invar와 Brass를 사용한 4가지 경우에 대하여 데이터를 비교, 분석하였다. 그결과 도파관이 Invar로 제작되었을때 Resonator와 Coupling Screw는 모두 도파관 재질과는 열팽창 계수가 다른 Brass로 제작하여 사용하였을때 55℃의 온도변화에 대해서 1MHz이내의 중심주파수변화를 갖는 양호한 온도보상 효과를 얻을 수 있었다.

그리고 제작되어 미세조정 되어진 MDR 장비용 3.66GHz과 3.98GHz대 도파관형 대역통과 여파기를 각각 2개씩 4개의 sample을 취해 chamber에서 0°C에서 상온을 거쳐 55°C 까지 온도를 변화시켜 가면서 특성변화를 측정하여 표 4.에 나타내었다. 그 결과 온도 변화에 따른 도파관형 대역통과 여파기의 중심주파수의 변화는 최대 ±0.4MHz로 온도특성 사양을 만족하였다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 현재 국내에서 운용중인 MDR(Microwave Digital Relay)장비의 핵심 부품중의 하나인 도파관형 협대역 대역통과 여파기의 국산화를 목표로 양호한 온도특성과 인덕티브 창 구조의 제작상의 단점을 보완하기 위해 단일 E-평면구조를 제안하고, 변분법을 이용하여 여파기 구조를 해석, 통과대역 보정법에 의한 여파기 합성설계이론을 적용하여 단일 E-평면형 대역통과 여파기 설계용 CAD 프로그램을 개발하였다.

개발된 프로그램으로 국내에서 운용되고 있는 MDR(Microwave Digital Relay)장비의 중요한 부품중의 하나인 사용주파수가 3.60GHz ~ 4.2GHz이고 대역폭이 28MHz인 3.66GHz, 3.98GHz대의 도파관형 협대역 대역통과 여파기를 단일 E-평면구조로 WR-229를 사용하고, 입력단 flange는 CMR-229를 사용하고, 출력단은 Waveguide-to-Coaxial Adaptor구조로 미세조정시 통과대역폭이 약간 넓어지는 것을 고려하여 실제 대역폭보다 4MHz 좁은 24MHz의 대역폭을 갖도록하여 6단 0.001dB equi-ripple특성으로 설계하고, 여파기의 전체길이를 줄이기 위해서 공진기는 실제 중심주파수 보다 높은 4.36GHz, 4.58GHz의 중심주파수에서 설계하고, 창

판재는 대역통과 여파기의 통과대역내에서의 반사손실을 고려하여 사용 중심주파수인 3.66GHz, 3.98GHz에서 설계하였다. 설계된 도파관형 대역통과 여파기를 온도특성을 감안하여 Invar를 사용하여 튜닝 구조로 제작하고 온도급 처리를 하고, 그 특성을 미세조정과정을 거쳐 실제 중심주파수인 3.66GHz, 3.98GHz가 되도록 중심주파수를 낮추고 대역폭이 28MHz가 되도록 조정하였다. 그 결과 제작된 10개의 도파관형 대역통과 여파기의 통과대역내에서 약 0.7-0.8dB의 삽입손실 특성을 얻었고, 통과대역 전역에 걸쳐서 22dB이상의 우수한 반사손실을 얻을 수 있었다. 그리고 중심주파수에서 80MHz 떨어진 지점에서는 약 87dB 이상, 중심주파수에서 40MHz 떨어진 지점에서는 약 60dB 이상, 20MHz 떨어진 지점에서는 12dB이상의 양호한 저지대역에서의 감쇠특성을 얻을 수 있었고, 통과대역 내에서 40nS 미만의 군지연특성을 얻었다.

그리고 제작되어 미세조정 되어진 10개의 MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기를 4개의 sample을 취해 chamber에서 0°C에서 상온을 거쳐 55°C까지 온도를 변화시켜 가면서 특성변화를 측정하였다. 그 결과 온도 변화에 따른 도파관형 대역통과 여파기의 중심주파수 변화는 최대 ±0.4MHz로 온도특성 사양을 모두 만족하였다.

본 논문의 결과는 기존의 수입제품에 상응하는 특성을 나타낸다. 그리고 슬롯이 파진 도파관에 미리 제안된 E-평면판을 끼워넣어 기존의 MDR 장비용 도파관형 대역통과 여파기의 구조로 사용되는 Inductive 창 구조나 Inductive Post의 결합구조, Iris구조가 갖는 제작공정상의 단점을 보완하여 양산성을 높였다. 또한 본 연구에서 설계된 도파관형 대역통과 여파기의 전체 길이도 기존의 수입제품 보다 약 4.5cm정도 짧아졌다. 따라서 국내에서 운용중인 MDR시스템의 협대역 대역통과 여파기의 국산화에 바로 이용될 수 있을 것으로 판단된다.

#### 참고문헌

1. 임재봉, "E-평면형 저손실 협대역 마이크로파 대역통과 여파기의 설계"에 대한 한국과학재단 보고서, KOSEF 921-0800-018-2, 1994년 2월 28일.
2. 박준석, 임재봉, 김철동, "단일 E-평면구조를 이용한 협대역 도파관형 대역통과 여파기의 설계", 한국

- 전자과학회 1995년 11월 Vol. 6. No. 2에 게재예정.
3. 박 준 석, "인덕티브 창 구조를 이용한 도파관형 협대역 대역통과 여파기의 해석 및 설계에 관한 연구", 국민대학교 석사학위논문, 1993년.
  4. 임 재 봉, 박 준 석, "인덕티브 창 구조를 이용한 VSAT 장비용 도파관형 저손실 대역통과 여파기의 설계", 대한전자공학회지, 제32권 제7호, pp.43-50, 1995년 7월.
  5. 임 재 봉, "Digital M/W용 Wavaguide Bandpass Filter의 개발연구"에 대한 삼성전자 주식회사 최종보고서, 1995년 8월.
  6. 박 준 석, 임 재 봉, "이중 E-평면구조를 이용한 협대역 대역통과 여파기의 설계", 대한전자공학회 마이크로파 및 전파전자연구회 학술대회, 제15권, 제2호, pp.111-114, 1992년
  7. 임 재 봉, 박 준 석, "수정된 이중 E-평면구조를 이용한 MDR 장비용 마이크로파대 협대역 도파관형 대역통과 여파기의 설계", 대한전자공학회지, 제32권 제7호, pp.36-42, 1995년 7월.
  8. 임 재 봉, 이 충 응, "변분법에 의한 Bilateral Fin-line 구조의 해석에 관한 연구", 대한전자공학회지, 제23권, 제1호, pp.36-41, 1986년 1월.
  9. 임 재 봉, "통과대역 보정법에 의한 E-평면형 마이크로파 대역통과 여파기의 설계 이론에 관한 연구", 서울대학교 박사학위논문, 1987년.
  10. G. L. Matthaei, L. Young, and E. M. T. Jones, "Microwave Filters, Impedance Matching Network, and Coupling Structures", New York : McGraw-Hill, 1964, pp.434-438.
  11. J. S. Izadian and S. M. Izadian, "Microwave Transition Design", A/H, 1988.
  12. INCO Alloys International, INC.'s DATA BOOK pp.31-33.
  13. G. F. Craven and R. F. Skedd, "Evanescent Mode Microwave Components", A/H, 1987, pp.44-45.



林 在 鳳(Jac-Bong Lim) 정회원

1952년 4월 12일생

1974년 : 서울대학교 전기공학과 학사

1976년 : 서울대학교 대학원 전자공학과 석사

1987년 : 서울대학교 대학원 전자공학과 박사

1989년 1월~1990년 1월 : 미국 텍사스 주립대학교 전기공학과 Visiting Scho

1995년 1월~현재 : 한국통신학회 이사

현재 : 국민대학교 공과대학 전자공학과 교수

\*주관심 분야 : RF 통신부품 및 시스템, MMIC 설계, 이동통신 및 위성통신용 부품 설계



朴 准 奭(Jun-Seok Park) 정회원

1969년 8월 12일생

1991년 : 국민대학교 전자공학과 학사

1993년 : 국민대학교 대학원 전자공학과 석사

1993년 3월~현재 : 국민대학교 대학원 전자공학과 박사과정 재학중

\*주관심 분야 : RF 통신부품 및 시스템, MMIC 설계, 이동통신 및 위성통신용 부품 설계



金哲東(Chul-Dong Kim) 정회원

1949년 1월 6일생

1971년 2월 : 서울대 전자공학과  
(B.S)

1976년 2월 : 서울대 전자공학과  
(M.S)

1985년 5월 : Univ. of Wisconsin, Dept of Elec.  
Eng. (Ph.D)

1975년 5월~1978년 3월 : 국방과학연구소 연구원

1985년 4월~1990년 1월 : AT&T Bell Labs 연구원

1990년 2월~현재 : 삼성전자 통신연구소 연구위원

\*주관심 분야 : RF 및 Microwave Amp., Filter, 무선통신시스템