

L-대역용 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계

최현호*¹, 강병욱*², 김현수*³, 권혁준*⁴, 변석주*⁵

Design of a Folded Substrate Integrated Waveguide-based Bandpass Filter for L-Band Applications

Hyun-ho Choi*¹, Byoung-Wook Kang*², Hyeon-Su Kim*³, Hyeok-Jun Kwon*⁴, and Seok-Ju Byun*⁵

요 약

본 논문에서는 L-대역에서 동작하는 접힌 기판 집적형 도파관(FSIW) 기반 대역통과 필터를 설계하고, 그 특성을 분석하였다. 제안된 FSIW 구조는 기존의 기판 집적형 도파관(SIW)과 달리 두 장의 기판을 적층하여 기존 기판 집적형 도파관 대비 부피를 약 21 % 줄이면서도 성능이 향상되는 필터 특성을 구현하였다. 설계에 사용된 기판은 유전율 2.2, 두께 0.51 mm의 Rogers RT/Duroid 5880 기판을 적용하였으며, Ansys HFSS를 이용해 전자기 시뮬레이션을 수행하였다. 시뮬레이션 결과, 최적화된 FSIW 필터는 중심 주파수 1.593 GHz, 3 dB 대역폭 약 350 MHz, 삽입 손실 0.7 dB, 반사 손실 21 dB의 특성을 나타내었으며, 3 GHz 이상에서 49 dB 이상의 차단 특성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we design and analyze the characteristics of a Folded Substrate Integrated Waveguide (FSIW) based bandpass filter operating in the L-band. The proposed FSIW structure, unlike the existing Substrate Integrated Waveguide (SIW), implements filter characteristics that improve performance while reducing the volume by approximately 21 % compared to the existing substrate integrated waveguide by stacking two substrates. The substrate used in the design is RT/Duroid 5880 with a dielectric constant of 2.2 and a thickness of 0.51 mm, and electromagnetic simulations are performed using Ansys HFSS. As a result of the simulation, the optimized FSIW filter exhibits characteristics of a center frequency of 1.593 GHz, a 3 dB bandwidth of approximately 350 MHz, an insertion loss of 0.7 dB, and a reflection loss of 21 dB, and a blocking characteristic of more than 49 dB is confirmed above 3 GHz.

Keywords

L-band, bandpass filter, foled substrate integrated waveguide, lowpass filter

* 한화시스템(주) 데이터링크1팀 연구원(*¹ 교신저자)
- ORCID¹: <https://orcid.org/0009-0009-1784-4633>
- ORCID²: <https://orcid.org/0009-0000-7248-6909>
- ORCID³: <https://orcid.org/0000-0002-1775-922X>
- ORCID⁴: <https://orcid.org/0000-0002-1432-2102>
- ORCID⁵: <https://orcid.org/0009-0003-8650-492X>

· Received: Nov. 17, 2025, Revised: Jan. 08, 2026, Accepted: Jan. 11, 2026
· Corresponding Author: Hyun-ho Choi
Dept. of Datalink 1 Team, Hanwha Systems, 188, Pangyoeyeok-Ro,
Bundang-gu, Seongnam-si, Gyeonggi-Do Republic of Korea
Tel.: +82-31-8091-7000, Email: hyno9122@hanwha.com

1. 서 론

무선 통신 기술의 발전에 따라 레이더, 위성, 항공 통신 등 다양한 분야에서 L-대역의 활용이 증가하고 있으며, 이에 따라 신호 처리 기술의 중요성 또한 부각되고 있다. L-대역은 낮은 전파 감쇠와 우수한 회절 특성을 지니고 있어 장거리 전송에 적합하며, 비, 눈, 안개 등 기상 조건의 영향을 적게 받아 안정적인 링크 품질을 제공한다. 이러한 특성으로 인해 L-대역을 사용하는 시스템에서는 불필요한 주파수 성분을 제거하고 원하는 대역만을 통과시키기 위한 대역통과 필터(BPF, Bandpass Filter)의 적용이 필수적이다.

기존의 금속 도파관 및 마이크로스트립 기반 필터 구조는 소형화 및 경량화 요구에 대응하기 어려우며, 부피 증가와 삽입 손실 등의 한계를 지닌다 [1]. 이를 해결하기 위한 대안으로 기판 집적형 도파관(SIW, Substrate Integrated Waveguide) 구조가 활발히 연구되고 있다. SIW는 금속 도파관의 낮은 손실과 높은 품질 계수(Q-factor)를 유지하면서도 인쇄 회로 기판(PCB) 공정을 활용할 수 있어 제작 비용 절감과 우수한 통합성을 제공한다[2]-[4].

그러나 일반적인 SIW 구조는 도파관의 높이와 폭이 필터의 전체 크기를 결정하므로, 소형 RF 모듈 설계 시 공간 제약이 발생하는 문제가 있다. 본 논문에서는 이러한 한계를 극복하기 위해 접힌 구조를 적용한 기판 집적형 도파관(FSIW, Folded Substrate Integrated Waveguide)을 기반으로 한 L-대역 대역통과 필터를 제안한다. 제안된 FSIW 구조는 공간 활용도를 극대화하면서도 우수한 필터 특성을 유지할 수 있어, 차세대 무선 통신 시스템의 소형화 및 고성능화를 위한 효과적인 솔루션이 될 것으로 기대된다.

FSIW는 기존 SIW 구조의 집적도를 향상시키기 위한 개념으로 제안되어 왔으며, 접힌 도파관 구조에서도 기존 도파관과 유사한 전달 특성을 유지할 수 있음이 선행 연구를 통해 검토된 바 있다. 또한 금속 포스트를 이용한 FSIW 기반 대역통과 필터 구조가 보고되었으며, 접힌 구조 적용에 따른 필터 구현 가능성이 제시되었다[5].

본 연구에서는 이러한 선행 연구를 바탕으로, 일반적인 SIW 기반 대역통과 필터 구조를 설계 기준으로 설정하고 이를 접힌 형태의 FSIW 구조로 구현한다. 또한 기존 SIW 필터와 FSIW 필터를 동일한 설계 조건에서 비교함으로써, 접힌 구조 적용에 따른 구조적 부피 변화와 필터 특성을 분석하였다.

II. 필터 구조 및 설계

2.1 일반적인 SIW

SIW는 그림 1과 같이 금속 도파관의 전자기적 특성을 인쇄 회로 기판 상에 구현한 구조로, 상·하단의 도체층과 양측벽을 형성하는 관통 비아(Through via)에 의해 폐공간을 이루어 전자파를 도파관 TE_{10} 모드로 전파시킨다[6]. 그러나 SIW 구조는 기판의 두께에 의해 도파관의 높이가 제한되므로, L-대역과 같이 상대적으로 낮은 주파수에서 필터를 설계할 경우, 기판의 크기와 부피가 증가하는 문제가 발생한다.

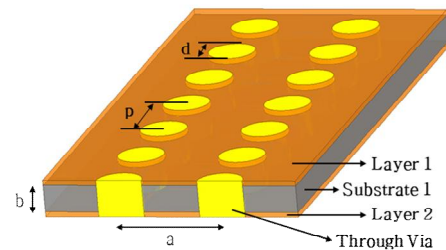


그림 1. 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 구조
Fig. 1. Substrate integrated waveguide-based bandpass filter structure

SIW의 차단 주파수는 도파 모드에 따라 식 (1)과 같이 정의된다[7].

$$f_{c_{mn}} = \frac{1}{2\pi\sqrt{\mu\epsilon}} \sqrt{\left(\frac{m\pi}{a}\right)^2 + \left(\frac{n\pi}{b}\right)^2} \quad (1)$$

차단주파수 $f_{c_{mn}}$ 은 TE_{mn} 모드의 차단 주파수를 의미하며, 여기서 a 는 도파관의 폭, b 는 도파관의 높이로 기판의 두께에 해당한다. 또한 $\epsilon = \epsilon_0\epsilon_r$ 은

기판의 유전율, $\mu = \mu_0$ 은 자유공간의 투자율을 나타낸다. 일반적으로 기본 모드인 SIW 구조에서는 TE_{10} 모드가 주로 사용되며, 이 경우 $m = 1, n = 0$ 으로 식 (1)은 식 (2)와 같이 단순화된다.

$$f_{c_{10}} = \frac{1}{2a\sqrt{\mu\epsilon}} \quad (2)$$

또한 SIW 설계 시 비아홀의 직경(d) 및 비아홀 사이의 간격(p)은 전파 누설을 방지하고 금속벽과 유사한 경계 조건을 형성하기 위해 식 (3)과 식 (4)를 만족해야 한다[8].

$$d < \frac{\lambda_g}{5} \quad (3)$$

$$p \leq 2d \quad (4)$$

그림 2는 일반적인 SIW 기반 대역통과 필터 구조를 나타낸다. SIW는 도파관 특성을 갖는 전송 구조로서, 차단 주파수 이하에서는 TE_{10} 모드가 전파되지 않아 저주파 영역의 신호 전달이 제한된다. 반면, SIW 내부에 형성된 공진기와 공진기 간 결합에 의해 특정 주파수 대역에서 공진 조건이 형성되며, 이에 따라 해당 주파수 성분이 선택적으로 전달된다.

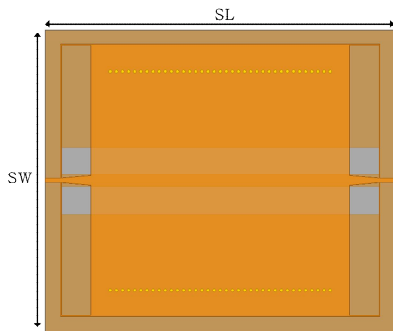


그림 2. 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계
Fig. 2. Design of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter

공진 조건을 만족하지 않는 고주파 영역에서는 전파 상수 변화로 인해 전달 특성이 감소하게 되며, 이러한 주파수 선택적 특성에 기반하여 저지대역과 통과대역이 구분되는 일반적인 SIW 기반 대역통과 필터를 설계하였다.

주요 설계 파라미터는 표 1에 정리하였으며, PCB의 전체 크기는 폭 99.8 mm, 길이 114.6 mm가 필요하다.

표 1. 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 파라미터

Table 1. Design parameters of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter

Parameters	Value [mm]
SW	99.8
SL	114.6
a	72
b	0.51
d	1
p	2

모든 필터 설계에 사용된 기판은 Rogers RT/Duroid 5880(유전율 $\epsilon_r = 2.2$, 두께 0.51 mm)을 사용하였으며, Ansys HFSS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하였다.

일반적인 SIW 시뮬레이션 결과 그림 3과 같이 중심 주파수 1.593 GHz, 3 dB 대역폭 약 340 MHz, 삽입 손실 0.7 dB, 반사 손실 16 dB의 특성을 확인하였다.

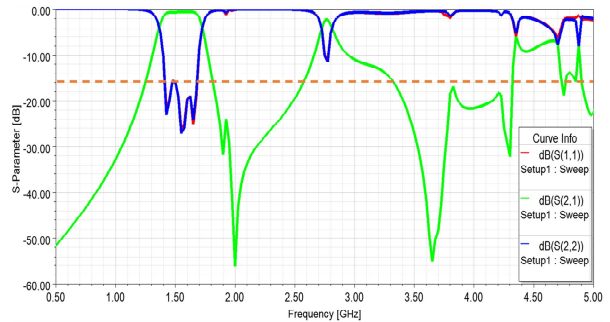


그림 3. 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 결과

Fig. 3. Design results of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter

2.2 제안된 FSIW

본 연구에서 적용한 FSIW는 그림 4와 같이 두 장의 기판을 적층한 형태로 구성되며, 내부에 프리프레그(Prepreg) 층을 삽입하고, 관통 비아 및 층간 비아(Inner via)를 통해 상·하 도체층들 전기적으로

연결한다. 이러한 적층 구조를 통해 기존 SIW 구조와 유사한 전자기적 특성을 유지하면서도 도파관의 높이를 확장하여 구조적 부피를 효과적으로 감소시키는 효과를 얻을 수 있다. FSIW 구조는 접힌 대칭면을 기준으로 전자파의 전계 분포가 대칭적으로 형성되기 때문에, 일반적인 SIW와 동일한 도파 모드 특성을 갖는다. 따라서 기존 SIW 기반 필터 설계 방법을 그대로 적용할 수 있으며, 보다 작은 기판 면적 내에서 동일한 공진 및 대역통과 특성을 구현할 수 있다.

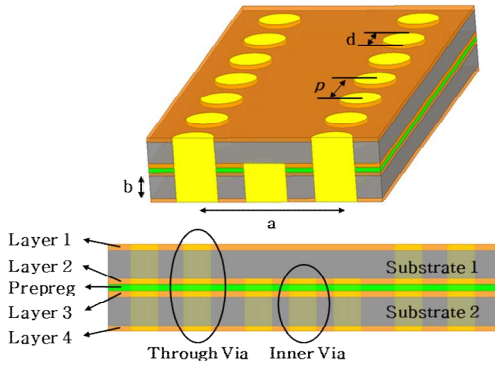


그림 4. 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 구조

Fig. 4. Folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter structure

그림 5는 그림 2에 제시된 일반적인 SIW 기반 대역통과 필터 구조를 접힌 형태로 설계한 FSIW 구조를 나타낸다. 기존 SIW 구조에서 평면 방향으로 배치된 전송 경로를 상·하 기판으로 분리한 후 수직 방향으로 재배치함으로써, 동일한 공진 조건을 유지하면서도 보다 집적된 형태로 구성하도록 설계하였다.

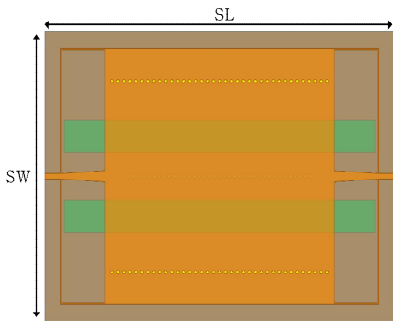


그림 5. 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계

Fig. 5. Design of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter

주요 설계 파라미터는 표 2에 정리하였으며, PCB의 전체 크기는 폭 82 mm, 길이 113 mm가 필요하며, 일반적인 SIW 구조 대비 제안된 FSIW 구조는 약 19 %의 부피 감소 효과를 확인하였다.

표 2. 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 파라미터

Table 2. Design parameters of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter

Parameters	Value [mm]
SW	82
SL	113
a	54
b	0.51
d	1
p	2

제안된 FSIW 시뮬레이션 결과 그림 6과 같이 중심 주파수 1.593 GHz, 3 dB 대역폭 약 430 MHz, 삽입 손실 0.5 dB, 반사 손실 29 dB의 특성을 확인하였다.

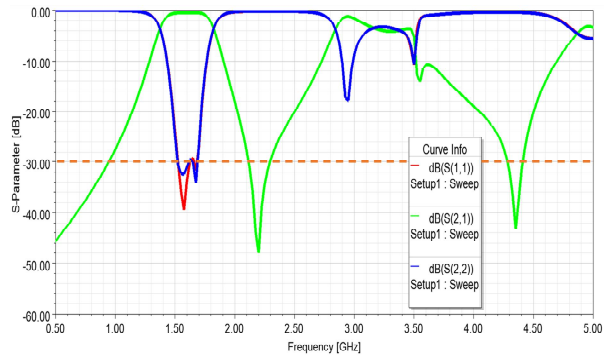


그림 6. 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 결과

Fig. 6. Design results of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter

제안된 FSIW 구조는 일반적인 SIW 구조 대비 중심 주파수 1.593 GHz로 유지되면서 3 dB 대역폭이 약 90 MHz 증가하였다. 또한 삽입 손실은 0.2 dB 감소하고 반사 손실은 13 dB 개선되었으며, 제안된 FSIW가 일반적인 SIW보다 성능이 향상되는 필터 결과를 확인하였다.

2.3 Elliptic LPF

그림 7은 고주파 억제를 위해 추가로 설계한 Elliptic 저역통과 필터(LPF, Lowpass Filter)를 나타낸 것이다. 필터는 통과대역 내에서 평탄한 응답 특성을 유지하면서, 차단 대역에서는 급격한 감쇠를 구현할 수 있다는 장점을 갖는다. Elliptic 필터는 마이크로스트립 형태로 설계되었으며, 일반적인 SIW 구조와 제안된 FSIW 구조에 모두 적용할 수 있도록 구성하였다[9].

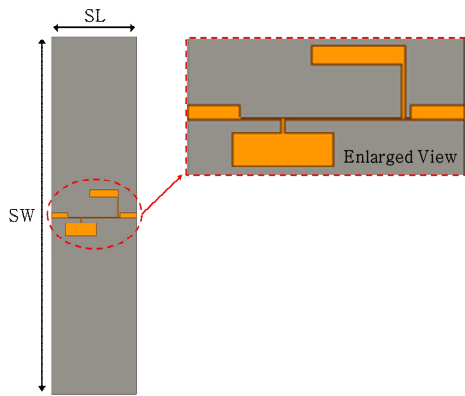


그림 7. Elliptic 저역통과 필터 설계
Fig. 7. Elliptic lowpass filter design

주요 설계 파라미터는 표 3에 정리하였으며, PCB의 전체 크기는 폭 100 mm, 길이 25.9 mm가 필요하다. 또한 일반적인 SIW 구조와 제안된 FSIW 구조의 결합 방식에 따라 폭과 길이의 설계 파라미터 값이 일부 변경될 수 있다.

표 3. Elliptic 저역통과 필터 설계 파라미터
Table 3. Elliptic lowpass filter design parameters

Parameters	Value [mm]
SW	100
SL	25.9

Elliptic 필터 시뮬레이션 결과, 그림 8과 같이 차단 주파수 2 GHz, 삽입 손실 약 0.2 dB, 반사 손실 19 dB의 특성을 나타내었으며, 3 GHz 이상의 주파수 대역에서 20 dB 이상의 차단 특성을 확인하였다.

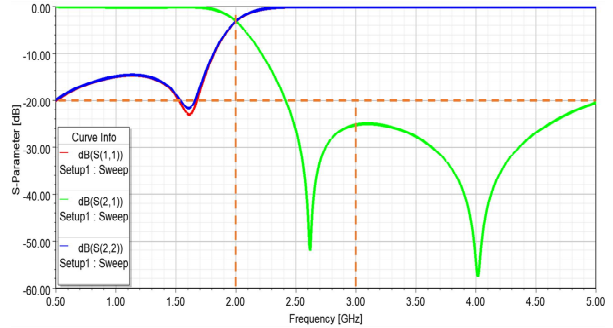


그림 8. Elliptic 저역통과 필터 설계 결과
Fig. 8. Elliptic lowpass filter design result

III. SIW 및 FSIW 기반 Elliptic 필터 결합 구조의 특성 비교

3.1 일반적인 SIW와 Elliptic 필터 결합

일반적인 SIW 구조와 Elliptic 필터를 결합한 기관 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 구조는 그림 9와 그림 10에 나타났다. SIW 공진 구조와 입력 및 출력 포트에 Elliptic 필터를 결합하여, 통과대역 형성과 함께 통과대역 외 주파수 성분을 고려한 구조로 설계하였다.

L-대역은 고주파 성분이 근접 배치된 장비의 운용 주파수 대역과 인접하거나 일부 중첩될 가능성이 있어, 시스템 차원에서 스푸리어스 관리가 중요한 주파수 대역이다. 이러한 환경에서는 대역통과 필터 단일 구성만으로 통과대역 외 성분에 대한 충분한 억제를 확보하는 데 한계가 있다. 이에 본 연구에서는 스푸리어스 억제 여유를 확보하기 위해 대역통과 필터의 입력 및 출력단에 저역통과 필터를 결합한 구조를 적용하였다. 입력단에 배치된 저역통과 필터는 상위 주파수 대역의 불필요한 성분이 대역통과 필터로 유입되는 것을 제한함으로써 필터 동작 환경을 안정화하며, 출력단 저역통과 필터는 대역통과 필터를 통과한 이후 잔존할 수 있는 통과대역 외 고주파 성분을 추가적으로 억제하는 역할을 수행한다. 이와 같은 입력 및 출력단 저역통과 필터 결합 구조는 통과대역 외 고주파 성분에 대해 단계적인 감쇠 특성을 형성함으로써, 단일 필터 구성 대비 전자기간섭 환경에서 보다 안정적인 주파수 성분 제한 특성을 제공한다. 이러한 결합 구조는 필터 성능의 극대화를 목적으로 하기보다는,

L-대역 시스템 환경에서의 전자기간섭 특성을 고려하여 설계하였다.

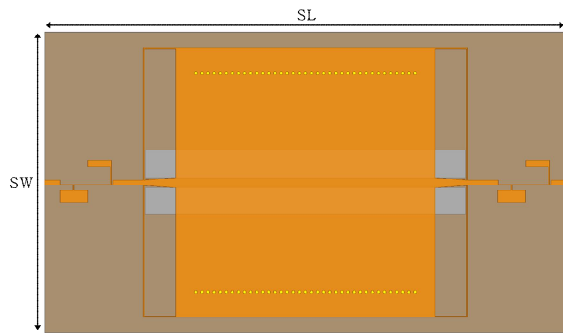


그림 9. Elliptic 필터를 결합한 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계

Fig. 9. Design of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

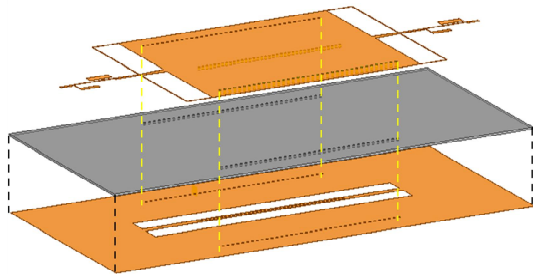


그림 10. Elliptic 필터를 결합한 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 내부 구조

Fig. 10. Internal structure of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

성능 최적화를 통해 도출된 주요 설계 파라미터는 표 4에 정리하였으며, 최종적으로 PCB의 전체 크기는 폭 98.6 mm, 길이 171.3 mm가 필요하다.

표 4. Elliptic 필터를 결합한 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 파라미터

Table 4. Design parameters of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

Parameters	Value [mm]
SW	98.6
SL	171.3
a	72
b	0.51
d	1
p	2

일반적인 SIW 구조와 Elliptic 필터를 결합한 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터의 시뮬레이션 결과는 그림 11과 같이 중심 주파수 1.593 GHz, 3 dB 대역폭 약 310 MHz, 삽입 손실 약 0.8 dB, 반사 손실 14 dB의 특성을 나타내었으며, 3 GHz 이상의 주파수 대역에서 28 dB 이상의 차단 특성을 확인하였다.

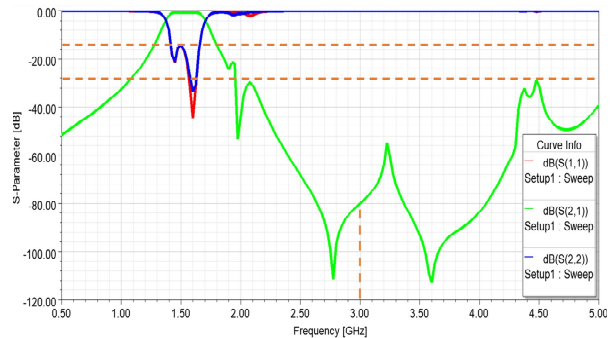


그림 11. Elliptic 필터를 결합한 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 결과

Fig. 11. Design results of a substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

3.2 제안된 FSIW와 Elliptic 필터 결합

제안된 FSIW 구조와 Elliptic 필터를 결합한 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 구조는 그림 12와 그림 13에 나타났다. 일반적인 SIW 구조와 Elliptic 필터를 결합한 방법과 동일하게 설계하였다.

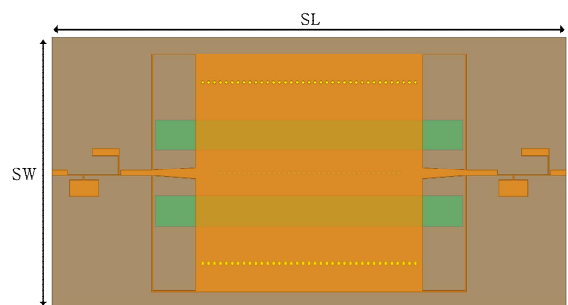


그림 12. Elliptic 필터를 결합한 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계

Fig. 12. Design of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

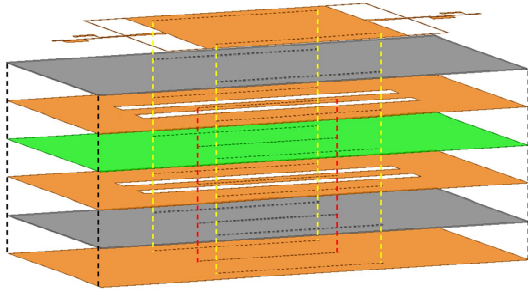


그림 13. Elliptic 필터를 결합한 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 내부 구조
 Fig. 13. Internal structure of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

성능 최적화를 통해 도출된 주요 설계 파라미터는 표 5에 정리하였으며, 최종적으로 PCB의 전체 크기는 폭 81 mm, 길이 165.2 mm가 필요하다. 일반적인 SIW 구조 대비 제안된 FSIW 구조는 약 21%의 부피 감소 효과를 확인하였다.

표 5. Elliptic 필터를 결합한 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 파라미터
 Table 5. Design parameters of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

Parameters	Value [mm]
SW	81
SL	165.2
a	54
b	0.51
d	1
p	1.9

제안된 FSIW 구조와 Elliptic 필터를 결합한 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터의 시뮬레이션 결과는 그림 14와 같이 중심 주파수 1.593 GHz, 3 dB 대역폭 약 350 MHz, 삽입 손실 약 0.7 dB, 반사 손실 21 dB의 특성을 나타내었으며, 3 GHz 이상의 주파수 대역에서 49 dB 이상의 차단 특성을 확인하였다.

Elliptic 필터를 결합한 조건에서 제안된 FSIW는 일반적인 SIW 대비 중심 주파수 1.593 GHz를 유지하면서 3 dB 대역폭이 약 40 MHz 증가하였고, 삽입 손실은 0.1 dB 감소하였다. 3 GHz 이상의 주파수 대역에서 11 dB 이상의 차단 특성 향상을 나타내었다.

이를 통해 제안된 FSIW가 일반적인 SIW 보다 성능이 향상되는 필터 결과를 확인하였다.

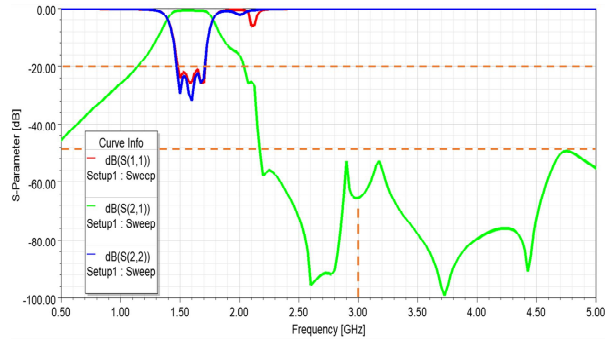


그림 14. Elliptic 필터를 결합한 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터 설계 결과
 Fig. 14. Design results of a folded substrate integrated waveguide-based bandpass filter combined with an Elliptic filter

IV. 결 론

본 논문에서는 L-대역에서 동작하는 접힌 기판 집적형 도파관 기반 대역통과 필터를 설계하고 그 특성을 분석하였다. 제안한 FSIW 구조는 기존의 기판 집적형 도파관과 달리 두장의 기판을 적층하여 구성함으로써, 동일한 전자기적 특성을 유지하면서도 구조적 부피를 약 21% 감소시키며, 성능이 향상되는 필터 효과를 확인하였다. 또한, 입력 및 출력 포트를 마이크로스트립 선로와 테이퍼 라인 급전 방식을 적용하여 SIW 필터의 입력 및 출력 매칭 특성을 개선하였으며, 전송 손실을 최소화하였다.

본 연구를 통해 제안한 FSIW 필터 구조는 L-대역 무선 통신 시스템에 적용 가능성을 확인하였으며, 경량화, 저비용, 소형화 등에 적합한 대역통과 필터 구현이 가능함을 검증하였다.

References

[1] D. Deslandes and K. Wu, "Integrated microstrip and rectangular waveguide in planar form", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 11, No. 2, pp. 68-70, Feb. 2001. <https://doi.org/10.1109/7260.914305>.

[2] X. P. Chen and K. Wu, "Substrate integrated waveguide filters: Basic Design Rules and Fundamental Structure Features", IEEE Microwave Magazine, Vol. 15, No. 5, pp. 108-116, Jul.-Aug. 2014. <https://doi.org/10.1109/MMM.2014.2321263>.

[3] C. J. You, Z. N. Chen, X. W. Zhu, and K. Gong, "Single-layered SIW post-loaded electric coupling-enhanced structure and its filter applications", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 61, No. 1, pp. 125-130, Jan. 2013. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2012.2228667>.

[4] Z. C. Hao, W. Ding, and W. Hong, "Developing low-cost W-band SIW bandpass filters using the commercially available printed-circuit-board technology", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 64, No. 6, pp. 1775-1786, Jun. 2016. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2016.2553029>.

[5] C. Zhao, C. Fumeaux, and C.-C. Lim, "Folded Substrate-Integrated Waveguide Band-Pass Post Filter", IEEE Microwave and Wireless Components Letters, Vol. 27, No. 1, pp. 22-24, Jan. 2017. <https://doi.org/10.1109/LMWC.2016.2630004>.

[6] F. Xu and K. Wu, "Guided-wave and leakage characteristics of substrate integrated waveguide", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 53, No. 1, pp. 66-73, Jan. 2005. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2004.839303>.

[7] N. Marcuvits, Waveguide Handbook. London: Peter Peregrinus Ltd, 1986. <https://doi.org/10.1049/PBEW021E>.

[8] D. Deslandes and K. Wu, "Single-substrate integration technique of planar circuits and waveguide filters", IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques, Vol. 51, No. 2, pp. 593-596, Feb. 2003. <https://doi.org/10.1109/TMTT.2002.807820>

[9] T. S. Yun, "Bandpass Filter Using Folded Substrate Integrated Waveguide Structure", the

Journal of Korea Institute of Electronic Communication Sciences, Vol. 13, No. 5, pp. 956-970, Oct. 2018. <https://doi.org/10.13067/JKIECS.2018.13.5.965>.

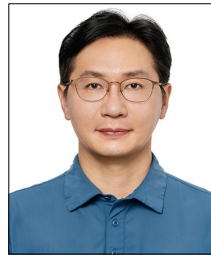
저자소개

최 현 호 (Hyun-ho Choi)



2016년 2월 : 호남대학교
이동통신공학과(공학사)
2018년 2월 : 호남대학교
전기전자공학과(공학석사)
2022년 6월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 선임연구원
관심분야 : 데이터링크, 초고주파

강 병 옥 (Byoung-Wook Kang)



2003년 2월 : 전북대학교
전자공학과(공학사)
2002년 11월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 수석연구원
관심분야 : 데이터링크, 안테나

김 현 수 (Hyeon-Su Kim)



2008년 2월 : 인하대학교
전자공학과(공학사)
2011년 2월 : 인하대학교
전자공학과(공학석사)
2017년 8월 : 인하대학교
전자공학과(공학박사)
2017년 9월 ~ 2020년 2월 :
한양대학교 해양음향공학과 연구조교수
2020년 3월 ~ 2021년 10월 : 엘아이테크스원 선임연구원
2021년 10월 ~ 현재 : 한화시스템(주) 전문연구원
관심분야 : 데이터링크, 무선통신

권혁준 (Hyeok-Jun Kwon)



2016년 2월 : 한남대학교
전자공학과(공학사)
2018년 2월 : 한남대학교
무인시스템공학과(공학석사)
2021년 5월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 선임연구원
관심분야 : 데이터링크, 안테나

변석주 (Seok-Ju Byun)



2022년 2월 : 서울과학기술대학교
전자IT미디어공학과(공학사)
2024년 2월 : 서울과학기술대학교
전자공학과(공학석사)
2023년 12월 ~ 현재 :
한화시스템(주) 연구원
관심분야 : 데이터링크, 무선통신