

구형 도파관 기반의 W-대역 8-Way 방사형 전력 결합기

Rectangular Waveguide-Based W-Band Eight-Way Radial Power Combiner

강봉모 · 박성준 · 김완식* · 이주영* · 김기철** · 최증원** · 박주만** · 정진호

Bongmo Kang · Sungjun Park · Wansik Kim* · Juyoung Lee* · Kichul Kim** ·
Jeung Won Choi** · Juman Park** · Jinho Jeong

요 약

본 논문에서는 반도체 기반의 W-대역 고출력 송신부를 구현하기 위하여, 구형 도파관 기반의 광대역 저손실 8-way 전력 결합기를 설계 및 제작하였다. 이 전력 결합기는 4-way 모드 변환부와 H-평면 T-junction으로 구성되어 있다. 4-way 모드 변환부는 입력 도파관의 전자기파를 90° 회전하여 네 개의 도파관으로 동일하게 분배하며, 각각의 도파관에는 H-평면 T-junction이 연결되어 있다. 여덟 개의 출력 도파관은 입력을 기준으로 완벽한 대칭을 이루기 때문에 출력 단자 간의 특성 차이가 작은 장점이 있다. 또한, 유전체 기판 없이 금속으로만 구성되어 있어 제작이 간단하며, 손실 특성이 우수하다. 3차원 전자기 수치해석 기법을 이용하여 각 부분의 설계를 최적화하였다. 제작된 전력 결합기는 입력 반사 손실은 75.0~98.7 GHz에서 10 dB 이하, 손실은 76.7~95.3 GHz에서 1.0 dB 이하의 우수한 손실 특성을 보였다. 특히, 78.8 ~81.3 GHz에서 손실이 0.6 dB 이하로서 매우 우수한 손실 특성을 보였다.

Abstract

For semiconductor-based W-band high-power generation, a rectangular waveguide-based eight-way power combiner was designed and fabricated, providing broadband low-loss performance. The designed power combiner consists of a four-way mode converter and an H-plane T-junction. The electromagnetic fields were rotated and equally distributed among the four waveguides of the four-way mode converter, which was perpendicular to the input waveguide. Then, the H-plane T-junctions were attached to the output waveguide of the four-way mode converter. The eight output ports were placed symmetrically with respect to the input port so that the amplitude and phase imbalances between the output ports were minimized. The power combiner was made from metal without the dielectric substrate, allowing for easy fabrication and low loss. Each dimension was optimized using three-dimensional electromagnetic simulators. The fabricated eight-way power combiner demonstrated a broadband performance such as an input return loss of less than 10 dB from 75.0 GHz to 98.7 GHz and a low loss of less than 1.0 dB from 76.7 GHz to 95.3 GHz. The minimum loss was measured as 0.6 dB from 78.8 GHz to 81.3 GHz.

Key words: Power Combiner, Waveguide, T-Junction, W-Band

「본 연구는 국방과학연구소 계약번호 UG200003ED에 의하여 지원된 과제로 수행되었습니다.」

서강대학교 전자공학과(Department of Electronic Engineering, Sogang University)

*LIG 넥스원(주) (LIG Nex1 Co., Ltd.)

**국방과학연구소 (Agency for Defense Development)

· Manuscript received January 10, 2022 ; Revised February 10, 2022 ; Accepted February 10, 2022. (ID No. 20220110-004)

· Corresponding Author: Jinho Jeong (e-mail: jjjeong@sogang.ac.kr)

I. 서 론

밀리미터파 대역에서 레이다, 전자전 등 다양한 무기 체계에서의 고출력 신호원은 필수적이다^{[1][2]}. 하지만, 반도체 전력 증폭기의 출력 전력은 주파수가 증가함에 따라 감소한다. 따라서 레이다, 전자전 등의 무기 체계에 활용되는 W-대역과 같은 높은 주파수에서 고출력을 확보하는데 어려움이 있다. 따라서 전력 결합기/분배기 모듈을 이용하여 여러 전력 증폭기의 출력 전력을 결합하는 방법이 사용된다.

전력 결합기는 저 손실, 광대역 특성을 가지며, 높은 격리도 특성을 가져야 한다. 그렇기 때문에 W-대역에서는 손실이 작은 도파관을 이용한 전력 결합기가 설계된다. 가장 널리 사용되고 간단한 형태의 전력 결합기로 T-junction이 있으며, 두 개의 전력 증폭기의 출력 전력을 결합할 수 있다. 하지만 이를 이진 방식으로, 네 개, 여덟 개의 전력 증폭기를 결합할 경우, 결합기의 크기와 손실이 증가하는 단점이 있다^[3].

이러한 문제를 해결하기 위해 TE_{01} , TE_{11} 모드 변환기 혹은 프로브를 이용하여 방사형 구조로 전력을 결합하는 구조가 제안된 바 있다^{[4]~[7]}. 이 구조는 결합하는 전력 증폭기의 개수가 증가하더라도, 전력 결합기의 크기가 비약적으로 증가하지 않는다. 따라서 많은 전력 증폭기를 결합할 수 있으며, 균등한 전력 분배, 출력 위상에서의 불균형성이 작은 장점이 있다. 하지만 W-대역과 같은 높은 주파수 대역에서 사용하기 위해서는 정밀한 금속 가공과 매우 작은 반경의 피드스루(feed-through)가 필요하며, 제작 과정이 복잡하고, 가공 오차에 전력 결합기의 특성이 민감하게 변하는 문제가 있다^[8]. 또한, 사용하는 유전체의 유전체 손실에 의해 삽입 손실이 증가하고, 최대 허용 전력이 감소한다^[9].

이러한 문제점을 해결하고자 본 연구에서는 모드 변환부를 이용한 4-way 전력 결합기와 H-평면 T-junction을 결합한 W-대역 8-way 전력 결합기를 설계한다. 4-way 전력 결합기는 수직으로 입사된 전자기파의 방향을 90° 회전시켜 수평의 네 개의 도파관으로 분배하는 기능을 한다. 그리고, 각 출력 단자에 H-평면 T-junction을 결합함으로써 격리도를 보완하고, 8개의 출력 단자를 가지는 8-way

전력 결합기를 구현한다. 이 전력 결합기는 유전체 기판 없이 금속으로만 이루어져 있어 손실이 작고 최대 허용 전력이 높은 장점이 있다. 설계 및 제작된 W-대역 전력 결합기는 측정 결과는 저 손실 광대역 특성을 보였다.

II. 8-Way 전력 결합기 설계

그림 1은 본 연구에서 설계한 도파관 기반의 W-대역 8-way 전력 결합기를 보여준다. 한 개의 입력과 네 개의 출력으로 구성된 4-way 전력 결합기^[10]와 각 출력 단자에 연결된 H-평면 T-junction으로 구성되어 있다. 전력 결합기의 모든 입출력 단자는 W-대역의 표준 도파관인 WR-10 ($2.54 \text{ mm} \times 1.27 \text{ mm}$) 규격을 가진다.

해당 전력 결합기의 출력 도파관은 입력 도파관(port 1)을 중심으로 대칭 구조를 이루고 있다. 따라서 여덟 개의 출력 단자(port 2~8)로의 삽입 손실 및 위상에서 불균형성이 작은 장점이 있다. 또한, 유전체 기판 없이 금속만 사용하므로 제작이 비교적 간단하며, 손실이 작고 최대 허용 전력이 높은 장점이 있다.

또한, 이 전력 결합기는 입력과 출력이 서로 수직이기 때문에 모듈의 소형화 및 손실 감소의 이점이 있다. 이는 그림 2에 제시한 4-way 모드 변환부에서 수직으로 입사하는 TE_{10} 모드의 전자기파를 90° 회전하여 출력으로 내보내기 때문이다^[10]. 모드 변환부는 총 다섯 개의 도파관

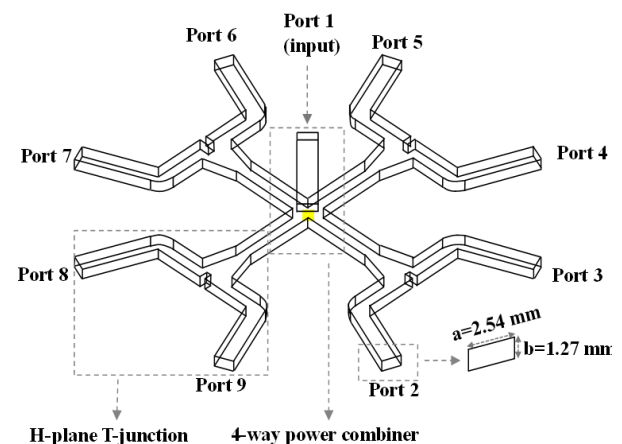


그림 1. 설계된 8-way 전력 결합기 구조

Fig. 1. Structure of designed 8-way power combiner.

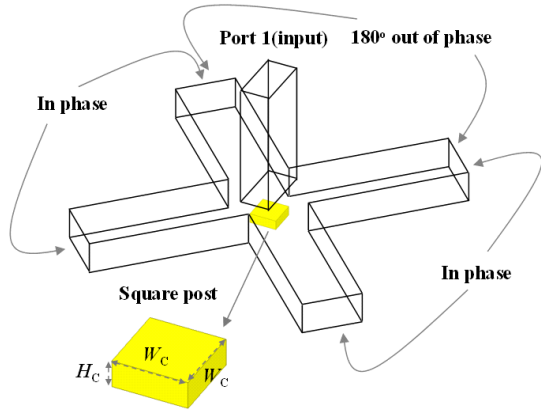


그림 2. 4-way 전력 결합기 구조
Fig. 2. Structure of 4-way power combiner.

이 결합되는 부분이며, 중앙의 정사각기둥 모양의 금속체와 함께 전기장의 회전 및 분배 기능을 한다. 이때 사용되는 금속체의 가로 및 세로의 길이(W_c)와 높이(H_c)에 따라 정합 주파수 및 입력 반사 손실($-20\log|S_{11}|$) 특성이 변한다. 그림 3은 $W_c = 1.14$ mm일 때, H_c 의 변화에 따른 4-way 전력 결합기의 입력 반사 손실을 보여준다^[10]. 시뮬레이션은 Ansys사의 HFSS (high frequency structure simulator)로 이루어졌다. H_c 값이 증가함에 따라 정합 주파수와 입력 반사 손실이 모두 증가하는 것을 확인할 수 있다. 80 GHz에서의 정합을 위해 $H_c=0.38$ mm로 설계하였다. 4-way 전력 결합기의 대칭성에 의해 그림 2에서 위

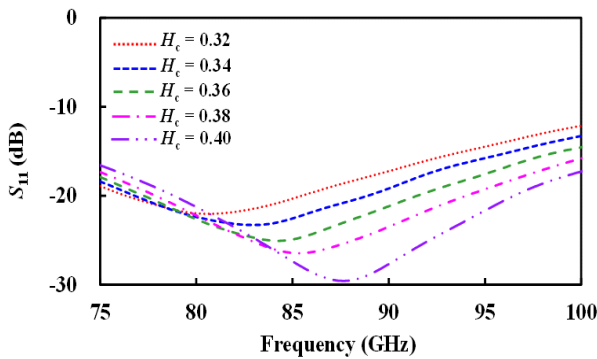


그림 3. H_c 변화에 따른 4-way 전력 결합기의 입력 반사 손실
Fig. 3. Input return loss of 4-way power combiner as a function of H_c .

쪽과 왼쪽 출력 단자끼리는 같은 위상을 가지며, 아래쪽과 오른쪽 단자끼리는 서로 같은 위상이며, 위쪽 및 왼쪽 출력 단자와는 180도 위상차이를 가지게 된다.

설계된 4-way 전력 결합기의 네 개의 출력 단자 각각에 그림 4와 같은 H-평면 T-junction을 연결하여 8-way 전력 결합기를 구현한다. 8-way 전력 결합기의 출력 단자가 정팔각 면에 위치하도록 T-junction의 출력 단자를 135°로 구부린다. 또한, 테이퍼 구조를 적용하여 80 GHz에서의 S_{21} 및 격리도($-20\log|S_{32}|$)를 개선하였다.

입력 단자에서의 임피던스 정합을 개선하기 위하여 그림 4와 같이 junction 부분에 핀(T_w , T_ℓ)을 추가하였다. 그림 5(a)는 $T_w = 0.3$ mm일 때, T_ℓ 값의 변화에 따른 입력 반사 손실을 보여준다. T_ℓ 값이 증가함에 따라 80 GHz에서의 입력 반사 손실이 증가하고, $S_{11} \leq -10$ dB를 만족하는 대역폭 또한 증가함을 확인할 수 있다. 그림 5(b), 5(c)는 T_ℓ 이 삽입 손실과 격리도 특성에 미치는 영향을 보여준다. T_ℓ 이 증가함에 따라 입력 반사 손실이 증가하여 S_{21} 도 동시에 증가한다. 격리도 특성은 T_ℓ 이 증가함에 따라 80 GHz 근처에서는 개선되지만, 높은 주파수에서는 오히려 저하되는 것을 알 수 있다. 따라서, 이를 고려하여 본 연구에서는 $T_w = 0.3$ mm, $T_\ell = 1.1$ mm로 결정하였다.

그림 6은 최적화된 8-way 전력 결합기의 특성을 보여준다. 약 17.6 GHz (75.0~92.6 GHz)의 주파수 대역에서

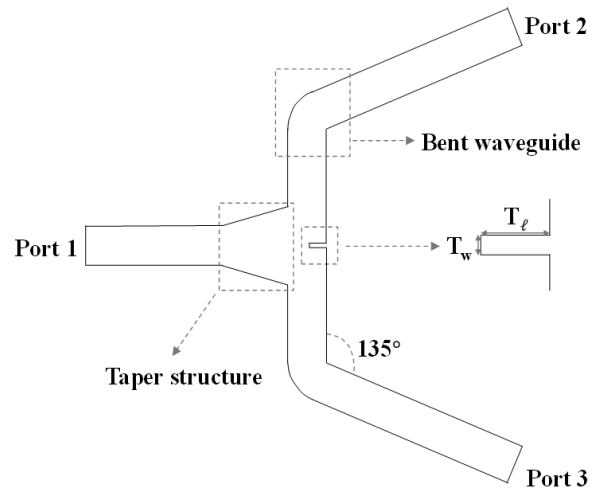
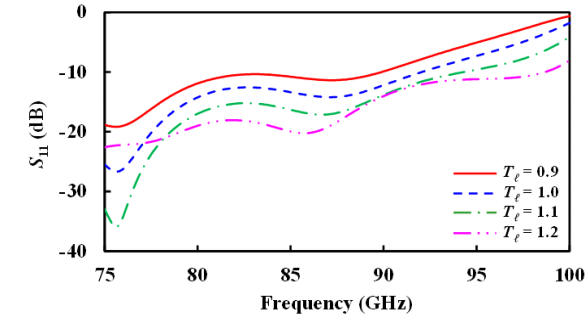
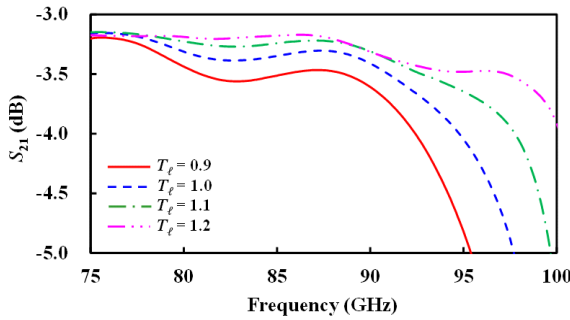


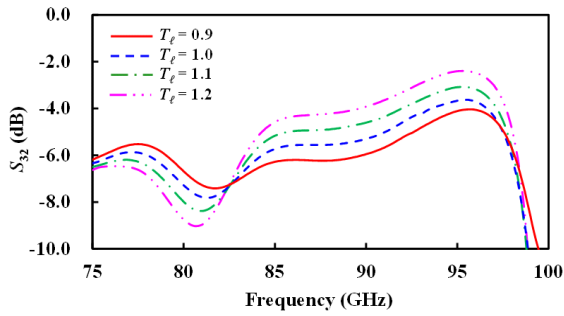
그림 4. 설계한 H-평면 T-junction 구조
Fig. 4. Designed H-plane T-junction.



(a) 입력 반사 손실
(a) Input return loss



(b) 삽입 손실
(b) Insertion loss



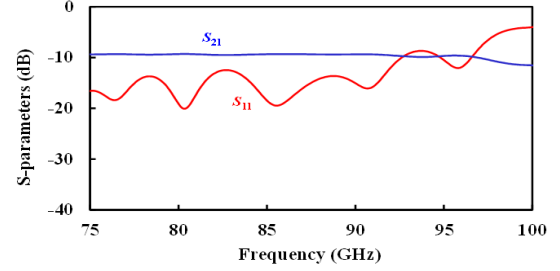
(c) 격리도
(c) Isolation

그림 5. T_l 에 따른 시뮬레이션 결과

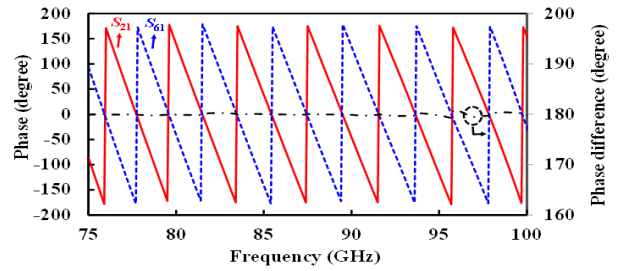
Fig. 5. Simulation results according to T_l .

10 dB 이상의 입력 반사 손실을 가지며, 80 GHz에서는 19.1 dB의 입력 반사 손실과 9.3 dB 이하의 삽입 손실 ($-20\log|S_{21}|$)을 보여준다. 여기서 8-way 전력 분배를 고려하면 알짜 손실은 0.3 dB에 해당한다.

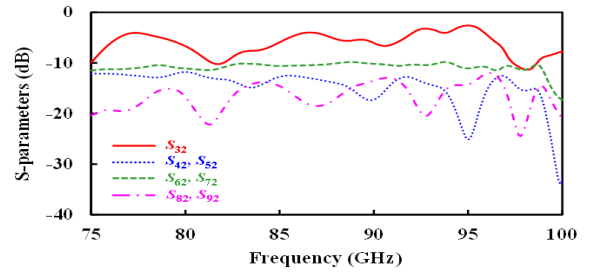
그림 7은 단자 1로 전자기파가 입사되었을 때 전기장



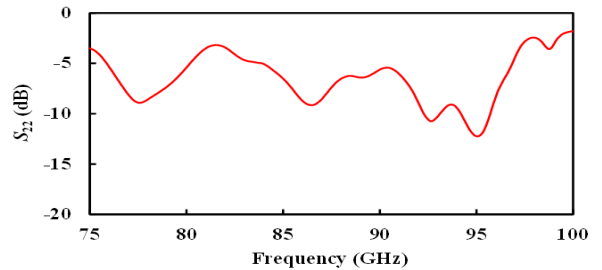
(a) S_{11} , S_{21}
(a) S_{11} and S_{21}



(b) S_{21} 과 S_{61} 의 위상
(b) Phase of S_{21} and S_{61}



(c) 격리도
(c) Isolation



(d) 출력 반사 손실
(d) Output return loss

그림 6. 최적화된 8-way 전력 결합기의 시뮬레이션 결과

Fig. 6. Simulation results of optimized 8-way power combiner.

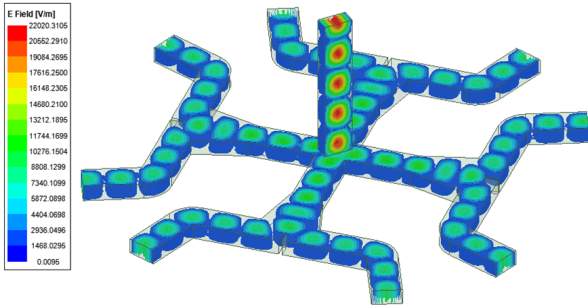


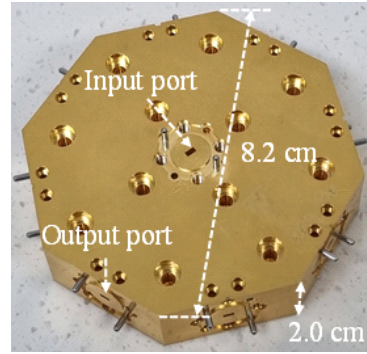
그림 7. 8-way 전력 결합기의 전기장 분포
Fig. 7. Distribution of electric fields in the 8-way power combiner.

의 분포를 나타내고 있다. 구조의 대칭성에 의해 모든 출력 단자로 같은 크기와 같은 위상(또는 180도 위상차)으로 전자기파가 전달됨을 알 수 있다. 모든 출력 단자로의 삽입 손실은 모두 같은 값을 가지므로 그림 6(a)에 S_{21} 만 나타내었다. 그림 1에서 위쪽 단자 4, 5, 6, 7은 서로 동일한 위상, 그리고 아래쪽 단자 2, 3, 8, 9도 서로 동일한 위상 특성을 가진다. 그리고, 위쪽 단자와 아래쪽 단자는 서로 180도 위상차를 가진다. 그림 6(b)는 대표적으로 단자 2와 단자 6의 위상 특성을 보여주고 있다. 두 단자는 80 GHz에서 179.9도, 그리고 75~100 GHz에서 176.3~181.5도의 위상차를 보여주고 있다.

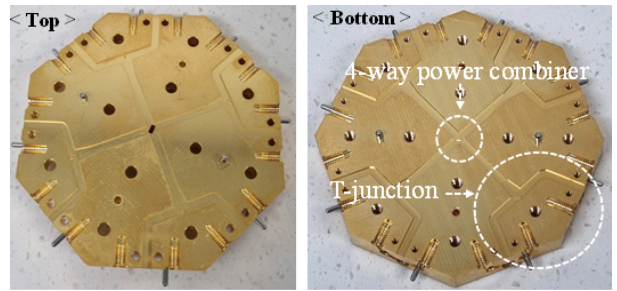
그림 6(c)는 격리도 특성을 나타내며, T-junction의 두 출력 단자 간의 격리도(S_{32})가 가장 낮으며, 80 GHz에서 6.7 dB의 값을 가진다. 다른 출력 단자와의 격리도는 약 11.0 dB 이상의 값을 가진다. 대칭성에 의해 모든 출력 단자에서의 반사 손실은 동일하여 단자 2에서의 반사 손실($-20\log|S_{22}|$)을 그림 6(d)에 제시하였다. 80 GHz에서 약 5.4 dB의 값을 가진다.

III. 제작 및 측정

제작된 전력 결합기 지그를 그림 8에 제시하였다. 이 지그는 그림 8(b)와 같이 출력 단자의 H-평면 중앙에서 분리되어 두 개의 블록으로 제작되었다. 지그는 구리로 제작되었으며, 표면은 W-대역에서의 표피 깊이(skin depth)에 비해 두껍게 도금되었다. 지그의 높이는 2.0 cm이며, 마주 보는 꼭짓점 사이의 거리는 8.2 cm이다. 제작한 8-



(a) 외부 모습
(a) External view



(b) 내부 모습
(b) Internal view

그림 8. 제작된 8-way 전력 결합기
Fig. 8. Fabricated 8-way power combiner.

way 전력 결합기의 S-parameters는 도파관 입출력의 벡터 네트워크 분석기로 측정되었다. 측정 전 TRL(through-reflect-line) 방법으로 보정하였다.

제작된 8-way 전력 결합기는 입출력 단자가 서로 수직이다. 따라서, 입력 단자에는 90° E-plane bend를 이용하여 연결하였다. 사용된 90° E-plane bend는 back-to-back으로 연결하여 측정 시, W-대역에서 29.0 dB 이상의 반사 손실과 0.27 dB 이하의 삽입 손실을 보였다. 다음에 제시된 측정 결과는 이 bend의 삽입 손실이 제거된 결과이다. 측정하지 않는 나머지 단자는 종단(termination)을 연결하였으며, 종단은 W-대역에서 28.1 dB 이상의 반사 손실을 보였다.

그림 9는 제작된 8-way 전력 결합기의 측정 및 시뮬레이션된 S-parameters를 보여준다. 그림 9(a)에서처럼 입력 반사 손실은 75.0~98.7 GHz에서 10 dB 이상의 값을 가지며, 80 GHz에서 36.6 dB이다. 측정된 삽입 손실은 그림 9(b)에 제시되었다. T-junction의 대칭성을 고려하여 출력

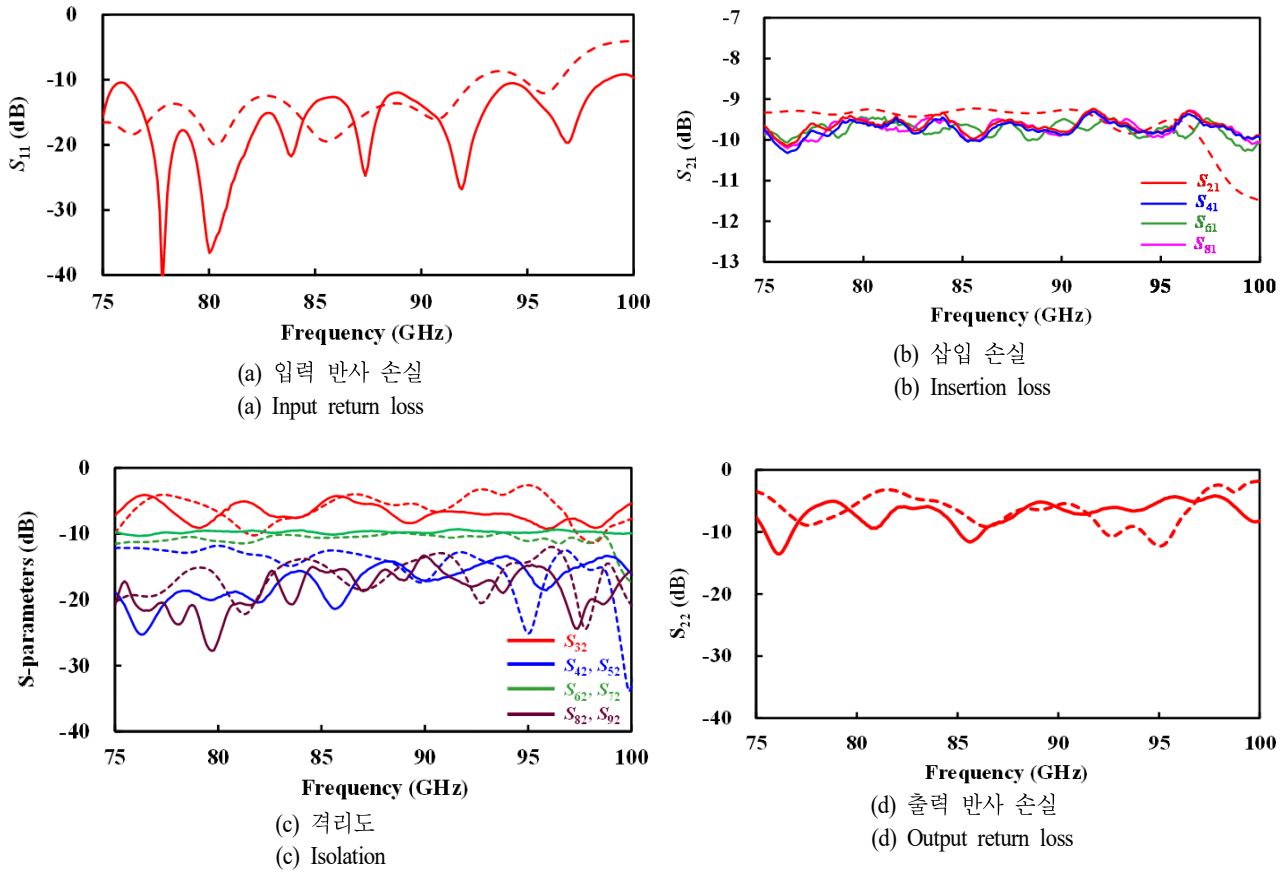


그림 9. 8-way 전력 결합기의 시뮬레이션(파선)과 측정(실선) 결과

Fig. 9. Simulated(slotted) and measured(solid) results of 8-way power combiner.

단자 2, 4, 6, 8에 대해서만 삽입 손실을 측정하였다. 측정 결과, 77.3~98.6 GHz에서 알짜 손실이 1.0 dB 이하였으며, 80 GHz에서는 0.6 dB의 알짜 손실을 보였다. 이는 87.1%의 높은 전력 결합 효율에 해당한다. 해당 주파수에서의 출력 단자 간의 삽입 손실의 불균형성은 0.14 dB, 위상에서의 불균형성은 0.3°로 매우 낮은 편이다. 격리도의 경우, 그림 9(c)에서처럼, 같은 T-junction 단자 간의 격리도가 가장 낮으며, 약 7.7 dB이다. 다른 출력 단자와의 격리도는 9.7 dB 이상의 값을 가진다. 그림 9(d)는 출력 반사 손실을 나타낸다. 출력 단자 2, 4, 6, 8을 측정하였으며, 특성이 거의 동일하여 S_{22} 만 그래프에 포함하였다. 측정된 반사 손실은 80 GHz에서 약 9.1 dB로 우수한 특성을 보인다.

표 1은 보고된 W-대역 전력 결합기와의 비교를 보여준

표 1. 보고된 W-대역 전력 결합기와의 비교

Table 1. Comparison with the reported W-band power combiners.

	Number of combination	Bandwidth ($S_{11} \leq -10$ dB)	Insertion loss
Ref. [3]	4	35.0 GHz (75.0~110.0 GHz)	1.3 dB (75.0~110.0 GHz)
Ref. [6]	14	8.0 GHz (90.0~98.0 GHz)	1.0 dB (90.0~94.0 GHz)
Ref. [9]	4	12.0 GHz (88.0~110.0 GHz)	1.25 dB (87.5~99.5 GHz)
This work	8	23.7 GHz (75.0~98.8 GHz)	0.6 dB (78.8~81.3 GHz) 1.0 dB (76.7~95.3 GHz)

다. 제안한 전력 결합기는 기존 전력 결합기에 비해 약 2~3배 넓은 대역폭 성능을 가지고 있으며, 비교적 작은 삽입 손실과 높은 결합 효율 특성을 보이고 있다.

IV. 손실 분석

측정된 전력 결합기의 삽입 손실은 시뮬레이션보다 약 0.3 dB 높다. 이러한 삽입 손실 증가는 전력 결합기의 제작 과정에서 발생하는 가공 오차로 인한 것으로 볼 수 있다. 특히, 전체 전력 결합기는 그림 10에 보인 것처럼 출력 도파관의 중앙(H-plane 중앙)에서 분리된 두 개의 금속 블록으로 이루어져 있다. 따라서 두 개의 금속 블록을 결합할 때 결합면에서의 전기적 접촉 불량에 삽입 손실 증가를 가져올 수 있다^[11]. 이를 살펴보기 위하여 결합 부분에 수 μm 의 공기 틈(gap)이 있다고 가정하여 그 영향을 시뮬레이션하였다. 이 틈이 0~4 μm 로 변환에 따라, 반사 손실은 거의 영향을 받지 않았다. 삽입 손실의 경우, 그림 11처럼 틈 간격이 3 μm 이상인 경우, 삽입 손실이 약 0.46 dB 증가한다. 따라서 몇 개의 블록으로 나누어서 제작된 도파관을 결합할 때 결합 정도 및 먼지 등에 의해 틈이 발생하지 않도록 하는 것이 필요하다.

그리고 금속 가공 시 발생하는 표면의 거칠기에 따라 삽입 손실이 증가할 수 있다. 그림 12는 Grosse 모델을 이용하여 표면의 거칠기에 따라 계산된 삽입 손실을 보여주고 있다^[12]. 거칠기가 0~1.0 μm 로 증가함에 따라 입력 반사 손실은 거의 영향이 없었으며, 삽입 손실은 0.17 dB 증가하였다. 따라서, 이를 고려한 금속 표면 가공이 이루어져야 한다.

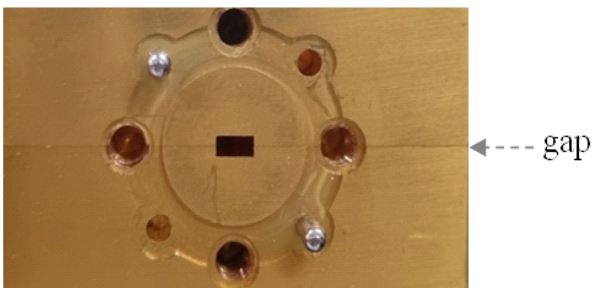


그림 10. 제작된 전력 결합기의 출력 단자
Fig. 10. Output port of the fabricated power combiner.

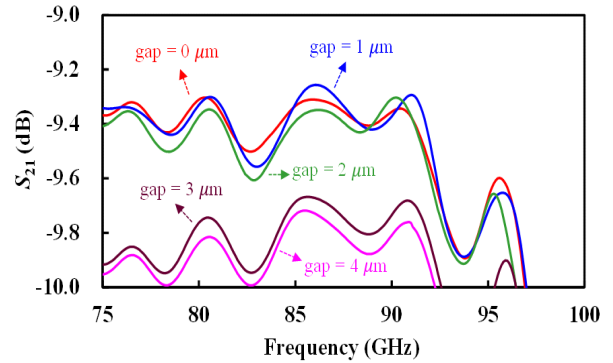


그림 11. 전력 결합기의 두 금속 블록 사이의 틈 간격에 따른 S_{21} (시뮬레이션)
Fig. 11. Simulated S_{21} according to the gap between the two metal blocks of the power combiner.

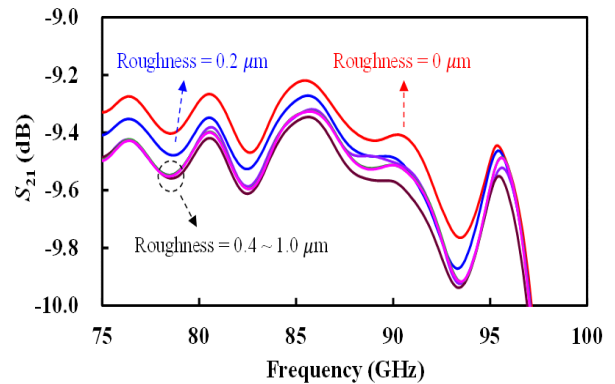


그림 12. 표면 거칠기에 따른 S_{21} (시뮬레이션)
Fig. 12. Simulated S_{21} according to surface roughness.

V. 결 론

본 논문에서는 구형 도파관 기반의 W-대역 8-way 방사형 전력 결합기를 설계 및 제작하였다. 4-way 모드 변환부와 H-평면 T-junction의 설계를 최적화하여 입력 단자에서의 반사 손실, 삽입 손실과 격리도를 최적화하였다. 제작된 8-way 전력 결합기의 측정 결과는 시뮬레이션과 비슷한 값을 보이며, 80 GHz에서 36.6 dB의 입력 반사 손실과 0.6 dB 이하의 알짜 손실, 7.7 dB의 격리도 특성을 보였다. 따라서 설계된 전력 결합기는 W-대역 레이다, 전자전 등과 같은 무기체계에 필수인 고출력 송신 모듈에 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

References

- [1] A. E. Fathy, S. W. Lee, and D. Kalokitis, "A simplified design approach for radial power combiners," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 54, no. 1, pp. 247-255, Jan. 2006.
- [2] K. Song, Y. Fan, and Z. He, "Broadband radial waveguide spatial combiner," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 18, no. 2, pp. 73-75, Feb. 2008.
- [3] J. Li, L. Li, L. Lu, H. Shi, H. Huo, and A. Zhang, "Four-way waveguide power divider design for W-band applications," *International Journal of RF and Microwave Computer-Aided Engineering*, vol. 28, no. 5, p. e21242, Jun. 2018.
- [4] J. R. Montejo-Garai, J. A. Ruiz-Cruz, and J. M. Rebollar, "5-Way radial power combiner at W-band by stacked waveguide micromachining," *Nuclear Instruments and Methods in Physics Research Section A: Accelerators, Spectrometers, Detectors and Associated Equipment*, vol. 905, pp. 91-95, Oct. 2018.
- [5] Q. Chu, D. Mo, and Q. Wu, "An isolated radial power divider via circular waveguide TE₀₁-mode transducer," *IEEE Transactions on Microwave Theory and Techniques*, vol. 63, no. 12, pp. 3988-3996, Dec. 2015.
- [6] J. Zhan, M. Zhan, and W. He, "W-band radial power combiner based on circularly polarized TE₁₁ mode," in *2019 IEEE MTT-S International Wireless Symposium (IWS)*, Guangzhou, May 2019, pp. 1-3.
- [7] C. Yi, K. Kim, H. J. Kim, and M. Kim, "W-band waveguide module design for power combining of linear microstrip array," *IEEE Microwave and Wireless Components Letters*, vol. 31, no. 6, pp. 569-571, Jun. 2021.
- [8] G. Zhai, B. Shi, "Compact low loss millimeter wave 8-way radial waveguide power combiner," in *TENCON 2017-2017 IEEE Region 10 Conference*, Penang, Nov. 2017, pp. 1598-1601.
- [9] J. Li, Y. Huang, Y. Wang, K. Wu, H. Hu, and G. Wen, et al., "Compact W-band multi-layer four-way SIW power combiner/divider," in *2016 IEEE Conference on Antenna Measurement & Applications(CAMA)*, Syracuse, NY, Oct. 2016, pp. 1-3.
- [10] B. Kang, W. Kim, J. Lee, K. Kim, J. Jung, and J. Jeong, "W-band 4-way waveguide power combiner using perpendicular mode conversion," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 4, pp. 353-359, Apr. 2021.
- [11] I. Stil, A. L. Fontana, B. Lefranc, A. Navarrini, P. Serres, and K. F. Schuster, "Loss of WR10 waveguide across 70~116 GHz," in *22nd International Symposium on Space Terahertz Technology*, Tokyo, Apr. 2012, pp. 1-3.
- [12] A. Lamminen, J. Säily, J. Ala-Laurinaho, J. de Cos, and V. Ermolov, "Patch antenna and antenna array on multilayer high-frequency PCB for D-band," *IEEE Open Journal of Antennas and Propagation*, vol. 1, pp. 396-403, Jun. 2020.

강 봉 모 [서강대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-9501-4338>



2020년 2월: 한국항공대학교 항공전자정보공학부 (공학사)

2020년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] RF 집적회로 및 송수신 모듈 설계, 안테나 및 수동 회로 설계

박 성 준 [서강대학교/석사과정]

<https://orcid.org/0000-0002-0297-615X>



2021년 2월: 호서대학교 전자디스플레이공학부 (공학사)

2021년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 석사과정

[주 관심분야] RF 집적회로 및 송수신 모듈 설계, 안테나 및 수동 회로 설계

김 완 식 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-2198-8754>



1991년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 2월: 건국대학교 전자공학과 (공학석사)
2004년 2월: 건국대학교 정보통신공학과 (공학박사)
2001년 12월: 고등기술연구원 책임연구원

2005년 08월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 초고주파 회로설계, 밀리미터파/THz 시스템, MMIC, 레이더 및 관련 센서 시스템, 위성 SAR

최 증 원 [국방과학연구소/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-3642-2323>



1989년 2월: 충남대학교 계산통계학과 (이학사)
1993년 8월: 충남대학교 계산통계학과(전산학) (이학석사)
1997년 8월: 충남대학교 전산학과 (이학박사)
1997년 7월~현재: 국방과학연구소 수석

연구원

2013년 9월~현재: 과학기술연합대학원대학교 교수

[주 관심분야] Tactical Communications, Cognitive Radio, Satellite Communications, Datalink Systems

이 주 영 [LIG넥스원/수석연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-6793-812X>



2005년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학사)
2007년 2월: 광운대학교 전자공학부 (공학석사)
2007년 01월~현재: (주)LIG넥스원 수석연구원

[주 관심분야] 초고주파 집적회로, 영상레이더, 위성시스템

박 주 만 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-3452-9327>



2009년 2월: 경남대학교 전자공학부 (공학사)
2011년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)
2012년 4월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] RF, 다중빔 안테나 시스템

김 기 철 [국방과학연구소/선임연구원]

<https://orcid.org/0000-0003-1652-5576>



2011년 2월: 광주과학기술원 (공학석사)
2016년 8월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학박사)
2007년 01월~2008년 11월: 삼성탈레스 연구원
2016년 10월~현재: 국방과학연구소 선임연구원

[주 관심분야] RF 회로 및 전력증폭기, 통신용 초고주파 기술

정 진 호 [서강대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-2487-6958>



1997년 2월: 서울대학교 전기공학부 (공학사)
1999년 2월: 서울대학교 전기공학부 (공학석사)
2004년 8월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
2004년 10월~2007년 2월: UC San Diego,

Post-Doctoral Researcher

2007년 3월~2010년 2월: 광운대학교 전자통신공학과 조교수

2010년 3월~현재: 서강대학교 전자공학과 교수

[주 관심분야] 마이크로파/밀리미터파/THz 집적회로 및 모듈, RF 전력증폭기, 무선전력전송, 라디오미터