

# Y-Junction을 이용한 H-평면 8-Way 구형 도파관 전력 분배기

## H-Plane 8-Way Rectangular Waveguide Power Divider Using Y-Junction

이상훈 · 윤지환 · 윤영중 · 김준연\* · 이우상\* · 박슬기\*\*

Sang Heun Lee · Ji Hwan Yoon · Young Joong Yoon · Junyeon Kim\* ·  
Woo Sang Lee\* · Seulgi Park\*\*

### 요 약

본 논문에서는 Y-junction을 이용한 H-평면 8-way 구형 도파관 전력 분배기를 제안한다. 일반적인 N-way 전력 분배기의 경우 T-junction을 이용하여 다단 형태로 구성이 되는데, 출력 포트 간의 간격이 가까운 경우 T-junction 만으로는 공간상의 제약으로 인하여 매칭 특성을 개선할 수 없다. 따라서 이 같은 경우에는 T-junction과 함께 다른 형태의 3포트 junction이 최종 출력단에 사용되어야 하는데, 본 논문에서는 Y-junction이 사용되었다. 제안된 Y-junction은 임피던스 매칭 특성을 향상시키기 위해 테이퍼드-라인 임피던스 변환기와 유도성 iris가 적용되었다. Y-junction을 이용한 8-way 전력 분배기를 제작하여 측정된 결과, 동작 주파수에서 반사 손실 값은 -30.8 dB, 삽입 손실은 약 -9.5 dB로 측정되었다. 또한, 출력 포트 간의 최대 위상차는 약 1°로 측정되었다. 따라서 제안된 전력 분배기는 배열 안테나의 급전 구조와 같이 입력 전력을 동일한 크기와 위상으로 분기하는데 필요한 다양한 마이크로파 시스템에 적용하는데 있어서 매우 유용할 것으로 판단된다.

### Abstract

This paper proposes a H-plane 8-way rectangular waveguide power divider using Y-junction. A general N-way power divider can be composed of multi-stage T-junctions. However, if the distances of output ports are close, the matching characteristic is not improved by using only T-junctions because of space limitation. In this case, since other types of 3-port junctions should be used to final output stage, Y-junctions are used with T-junctions in this paper. The proposed Y-junction uses the tapered-line impedance transformer and inductive irises to improve impedance matching characteristic. The 8-way power divider using Y-junction is fabricated and measured. The measured return loss and insertion loss from input port to output port are -30.8 dB and -9.3 dB at operating frequency, respectively. The measured maximum phase difference is about 1°. Therefore, the proposed power divider will be useful to apply to various microwave systems, which need to divide the input power equally, such as feed networks for array antennas.

Key words : Waveguide, H-Plane Power Divider, T-Junction, Y-Junction, Feed Network

### I. 서 론

H-평면 도파관 3-포트 junction은 송수신 채널 분리기와 같은 이중화 장치(duplexing unit) 또는 배열

안테나의 급전 구조 등과 같은 응용 분야에 널리 사용된다<sup>[1]-[3]</sup>. 특히 배열 안테나의 급전 구조로 사용되는 경우 그림 1과 같이 3-포트 junction을 다단 (multi-stage)으로 연결하여 N-way 전력 분배기를 구

연세대학교 전기전자공학과(School of Electrical and Electronic Engineering, Yonsei University)

\*국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*\*LIG넥스원(주) 연구개발본부 전자전연구센터(Electronic Warfare R&D Center, LIG Nex1 Co. Ltd.)

· 논문 번호 : 20110817-087

· 교신저자 : 윤영중(e-mail : yjyoon@yonsei.ac.kr)

· 심사일자 : 2011년 9월 27일 · 수정완료일자 : 2011년 12월 19일

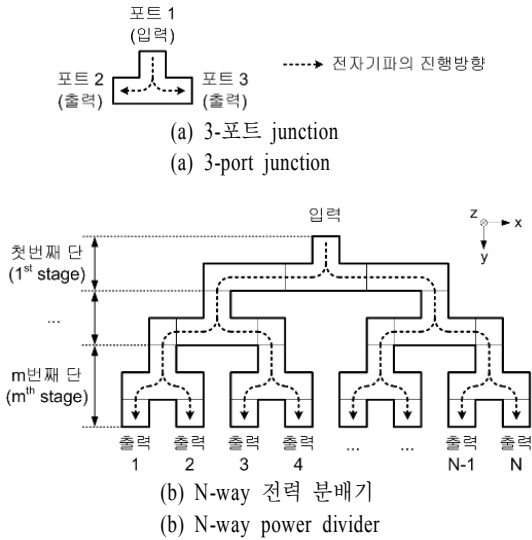


그림 1. 3-포트 junction을 이용한 전력 분배기  
Fig. 1. Power divider using 3-port junction.

성할 수 있다. 이때, 이러한 3-포트 junction의 대표적인 형태는 T-junction이며, T-junction의 매칭 특성 개선을 위한 다양한 형태의 연구가 진행되었다<sup>[3]-[5]</sup>. 그러나 다단의 N-way 전력 분배기에서 마지막 단의 인접한 출력 포트 간의 간격이 가까워지는 경우에는 T-junction의 형태가 변형됨으로 인하여 T-junction의 반사 특성이 점점 열화된다. 이러한 문제점을 극복하기 위해 계단형 임피던스 변환부(stepped impedance transformer section)가 삽입된 2-분기 3-포트 junction을 사용할 수 있으나, 이 같은 형태는 대역폭을 증가시키기 위해 계단의 수를 증가시켜야 하는데, 이에 따라 설계 변수 및 설계 복잡도가 증가하게 된다<sup>[1],[6]</sup>. 또한, 페라이트 봉(ferrite post)을 이용하여 매칭 특성을 향상시킬 수 있는 방법도 제안되었지만, 비용 및 제작 공정의 복잡도가 증가하게 된다<sup>[7]</sup>.

따라서 본 논문에서는 인접한 출력 포트 간의 간격을 가깝게 구성할 수 있는 Y-junction을 제안한다. 일반적으로 Y-junction은 circulator에 적용되는 형상인데, 이를 전력 분배기에 적용할 수 있도록 2-분기 3-포트 junction에 사용되었던 임피던스 변환부를 삽입하였다. 이때, 계단형 임피던스 변환부를 테이퍼드-라인 형태의 임피던스 변환부(taperd-line impedance transformer section)로 대체하여 설계 복잡도를 줄였고, 반사 손실 값을 감소시키기 위해 추가적으로

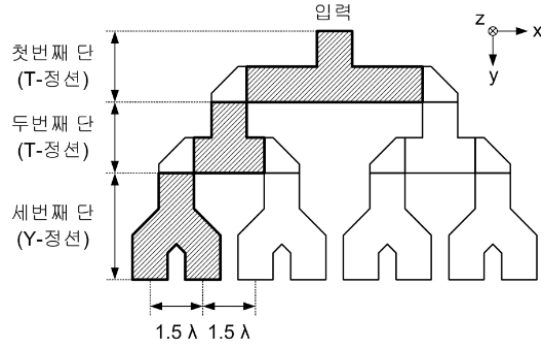


그림 2. 8-way 전력 분배기 형상  
Fig. 2. Configuration of 8-way power divider.

입력단에 유도성 iris를 삽입하였다. 또한, 기존의 T-junction과 제안된 Y-junction을 함께 이용하여 H-평면 8-way 전력 분배기를 설계 및 제작하여 그 성능을 검증해 보고자 한다.

## II. 전력 분배기 설계

전력 분배기의 동작 주파수는 레이더, 통신 위성, 선형 가속장치 등에 사용되는 S-band로 결정하였다. 따라서 도파관은 S-band용 표준 도파관인 WR-284를 사용하였고, 동작 주파수에 해당하는 1과장의 길이는 105 mm로 설정하였다. 또한, 전력 분배기를 배열 안테나 급전 구조로 사용하는 경우 배열 소자는 도파관 혼 안테나가 가장 적합할 것으로 판단되며, 혼 안테나의 배열 간격은 일반적인 배열 간격이 1~2.5과장임을 고려하여 본 논문에서는 1.5과장으로 설정하였다<sup>[8],[9]</sup>. 이때 배열 소자의 간격은 전력 분배기의 출력 포트 중심 간의 거리와 같다. 이 같은 설계 기준을 바탕으로 8-way 전력 분배기의 형상을 살펴보면 그림 2와 같다. 그림 2와 같이 첫 번째와 두 번째 단의 3-포트 junction으로는 T-junction을 사용할 수 있고, 90° 굽은 도파관(waveguide bend)을 이용하여 입력된 전자기파의 진행 방향을 동일하게 y-방향으로 한다. 이때 세 번째 단의 경우 전력 분배기 출력 포트 간의 간격과 90° 굽은 도파관의 삽입 공간을 고려하면 T-junction을 사용할 수 없기 때문에 새롭게 설계된 Y-junction을 사용하였다. 본 논문에서는 초기 설계치를 기준으로 성능 개선을 위한 상세 설계를 위해 전자기 시뮬레이션 툴인 CST MWS를 사용하였다.

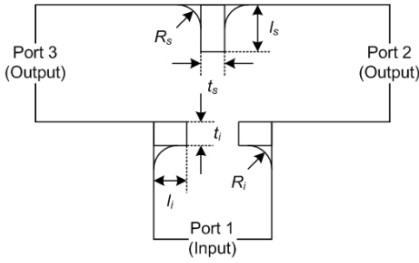


그림 3. H-평면 T-junction의 구조  
Fig. 3. H-plane T-junction.

### III. T-Junction 설계

T-junction의 매칭 특성을 향상시키기 위해 다양한 형태의 내부 구조가 삽입될 수 있다. 이 중에서 그림 3과 같이 septum과 한쌍의 iris를 이용한 매칭 방법이 널리 연구되었다<sup>[3],[5]</sup>. 이때 밀링 장치(milling attachment)를 이용한 가공의 용이성을 위해 내부 구조와 도파관의 접합 부분에 곡면 구조가 삽입되었다. 각 변수의 의미는 표 1에 정리되었고, 초기 값은 참고 문헌 [5]를 기준으로  $R_s=R_i=t_s=t_i=5.4$  mm,  $l_s=34.7$  mm,  $l_i=5.7$  mm로 설정하였다. 동작 주파수에서 최소 반사 특성을 얻기 위해 먼저  $l_s$ 와  $l_i$ 값을 조절한 이후에 세부적인 특성을 맞추기 위해  $t_s$ 와  $t_i$ 값을 조절한다. 주파수 축은 동작 주파수를 기준으로 정규화된 주파수 축을 사용하였다. 참고문헌 [5]에서 설명된 것처럼  $l_s$  및  $l_i$ 값이 증가될수록 최소 반사 특성이 나타나는 주파수 값이 증가된다. 초기 설정된 변수 값의 경우 최소 반사 특성이 나타나는 주파수가 1.05이므로  $l_s$  또는  $l_i$  값을 감소시키고,  $t_s$  및  $t_i$ 값을 조절하여 그림 4와 같이 동작 주파수에서 최소 반사 특성을 얻도록 한다. 설계된 변수값은  $R_s=10.0$  mm,  $l_s=34.7$  mm,  $t_s=4.8$  mm,  $R_i=4.7$  mm,  $l_i=4.7$  mm,  $t_i=6.0$  mm이다.

### IV. Y-Junction 설계

본 논문에서 제안하는 Y-junction의 구조는 그림 5

표 1. T-junction의 설계 변수  
Table 1. Design parameters of T-junction.

변수	의미	변수	의미
$R_s$	Septum 곡면 반지름	$R_i$	Iris 곡면 반지름
$l_s$	Septum 길이	$l_i$	Iris 길이
$t_s$	Septum 두께	$t_i$	Iris 두께

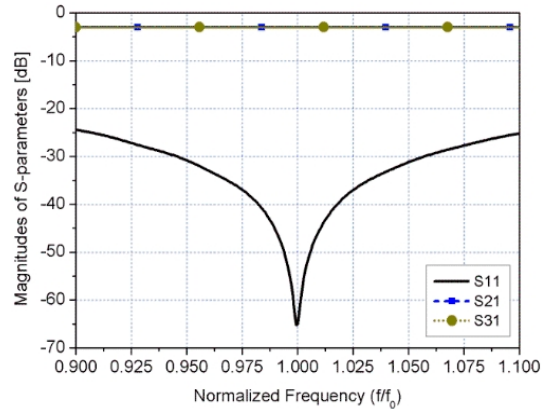


그림 4. 설계된 T-junction의 S-파라미터 크기  
Fig. 4. S-parameter magnitude of the designed T-junction.

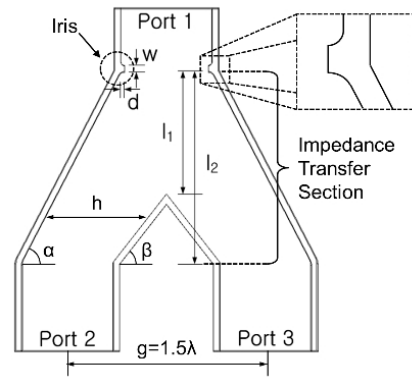
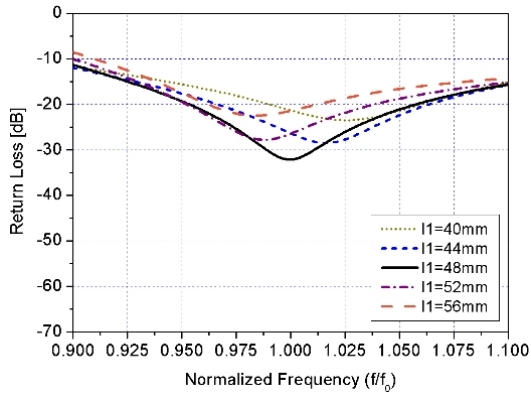
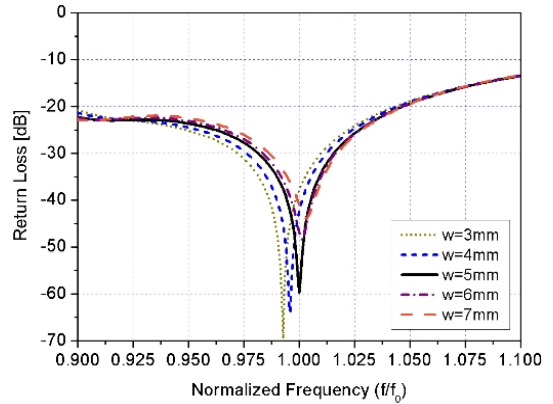


그림 5. H-평면 Y-junction의 구조  
Fig. 5. H-plane Y-junction.

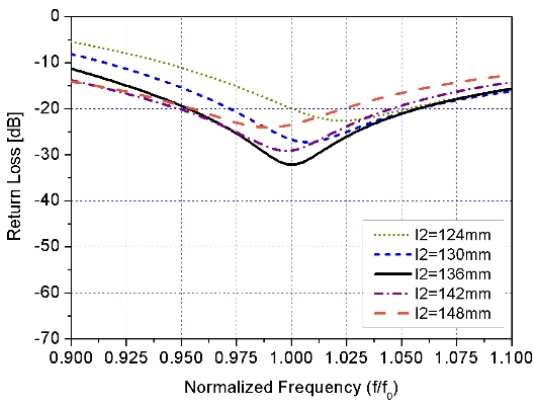
와 같다. II장에서 언급한 바와 같이 먼저 두 출력 포트 중심 간의 거리  $g$ 는 1.5파장으로 설정한다. 이후에 기존의 계단형 임피던스 변환부를 테이퍼드-라인 형태의 임피던스 변환부로 대체하여 임피던스 변환부의 설계 변수를  $l_1$ 과  $l_2$ 로 설정하고,  $d$ ,  $w$  값으로 결정되는 iris를 이용하여 매칭 특성을 향상시켰다. 이때  $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $h$ 와 같은 변수들도 고려할 수 있으나,  $\alpha$ 의 경우  $g$  값이 정해지면  $l_2$ 의 길이에 따라 그 각도가 결정되고,  $\beta$  또한  $l_2-l_1$ 의 길이에 따라 결정되므로 독립변수로써의 의미를 가지지 못함을 알 수 있다.  $h$  역시 특정 위치에서의  $\alpha$ 와  $\beta$ 에 의해 결정되므로 4개 변수  $l_1$ ,  $l_2$ ,  $d$ ,  $w$ 로 Y-junction의 특성을 분석할 수 있다. 먼저 iris가 없는 구조에서  $l_1$ 과  $l_2$  값의 변화에 따른 반사 손실 값의 변화를 살펴보면 그림 6과 같다. 이때  $l_1=48$  mm,  $l_2=136$  mm인 경우 동작 주



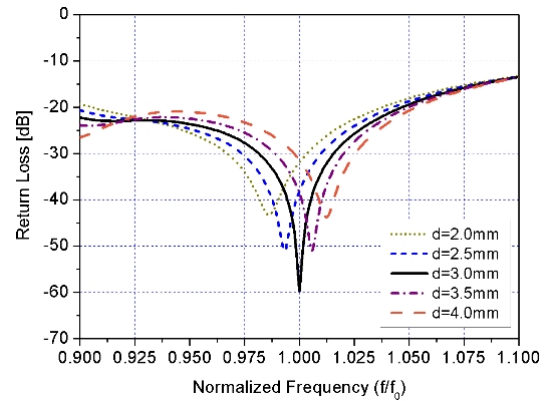
(a)  $l_2=136$  mm



(a)  $d=3$  mm



(b)  $l_1=48$  mm



(b)  $w=5$  mm

그림 6.  $l_1$  및  $l_2$  값에 따른 반사 손실 값의 변화

Fig. 6. Return loss according to the variation of  $l_1$  and  $l_2$ .

파수에서  $-32.1$  dB로 최소 반사 특성이 나타난다. 그러나 다단 형태로 N-way 전력 분배기를 설계할 경우, 다수의 3-포트 junction의 연결로 인하여 매칭 특성이 저하된다. 따라서 반사 손실 값을 동작 주파수에서  $-50$  dB 이하가 되도록 설계하기 위해 iris를 삽입하여 매칭 특성을 개선하도록 한다. 이때 T-junction 설계에서도 확인한 바와 같이 iris와 같은 내부 구조를 삽입하는 경우 최소 반사 특성을 갖는 주파수값이 증가하게 된다. 따라서 이러한 특성을 보상하기 위해  $l_1$ 과  $l_2$  값을 증가시켜 최소 반사 특성이 나타나는 주파수를 동작 주파수로 고정하도록 한다. iris의 폭과 길이에 따른 변화는 그림 7에서 확인할 수 있다. 결과적으로  $l_1=53.7$  mm,  $l_2=150$  mm로 값이 설정되었을 때에  $w=5$  mm,  $d=3$  mm인 경우 그림 8과 같이 동작 주파수에서  $-58.9$  dB로 최소 반사 특

그림 7.  $w$  및  $d$  값에 따른 반사 손실 값의 변화

Fig. 7. Return loss according to the variation of  $w$  and  $d$ .

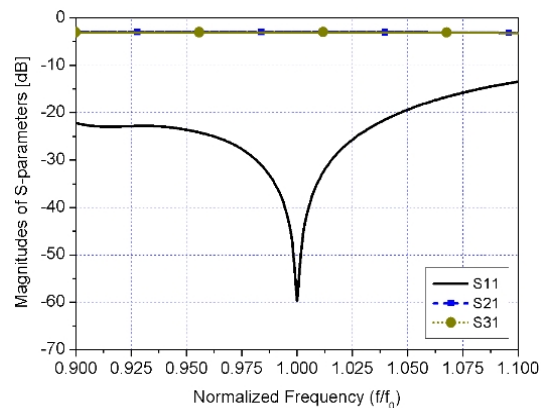


그림 8. 설계된 Y-junction의 S-파라미터 크기

Fig. 8. S-parameter magnitude of the designed T-junction.

성을 보인다.

### V. 8-Way 전력 분배기 설계 및 제작 측정

III장 및 IV장에서 설계된 T-junction과 Y-junction을 이용하여 8-way 전력 분배기를 설계한다. T-junction은 그림 2의 첫 번째와 두 번째 단의 3-포트 junction으로 사용되며, 세 번째 단에는 Y-junction이 사용된다. 또한, 90° 굽은 도파관의 경우 원형 곡면 형상을 가지는 굽은 도파관을 사용하였다<sup>[1]</sup>. 이 같은 형태로 전력 분배기를 설계하여 제작된 형상은 그림 9와 같다. 제작된 전력분배기의 재질은 전체 무게를 줄이기 위해 구리의 1/3 비중인 알루미늄으로 설정하였다. 전력 분배기의 가로 길이가 1,200 mm, 세로 길이가 700 mm로 매우 크기 때문에 9개의 구성품으로 나누어 각 부분을 플랜지(flange)로 연결할 수 있도록 하였다.

측정 장비로는 네트워크 분석기(Agilent HP 8510-C)를 사용하였고, 보정(calibration)을 위해 WR- 284 calibration kit(MAURY MICROWAVE S7005E14)을 사용하였다. 그림 10은 측정된 반사 손실 결과이다. 전체적인 그래프는 시뮬레이션 결과와 유사하나, 동작 주파수에서의 반사 손실 값이 시뮬레이션 결과, -38.2 dB, 측정 결과 -30.8 dB로 값의 차이가 나타났다. 이는 제작된 전력분배기의 경우 시뮬레이션 설계 형상과는 달리 플랜지로 연결이 되었으므로 이로 인한 오차가 반영되었을 것으로 판단된다. 대역폭은 반사 손실 -20 dB을 기준으로 정규화된 값이 0.961~1.039로 측정되어 7.8 %임을 확인할 수 있다. 또한, 각 junction의 반사 손실 특성은 단일 공진과 유사한 특성을 보이지만 다수의 junction을 연결하고 90° 굽은 도파관을 사용하게 되면 기존의 단일 junction과는 다른 새로운 구조를 형성하기 때문에, 그림 10과 같이 다중 공진의 특성이 나타나게 된다. 이는 다단의 N-way 전력 분배기에서 일반적으로 확인할 수 있는 특성이다<sup>[10]</sup>.

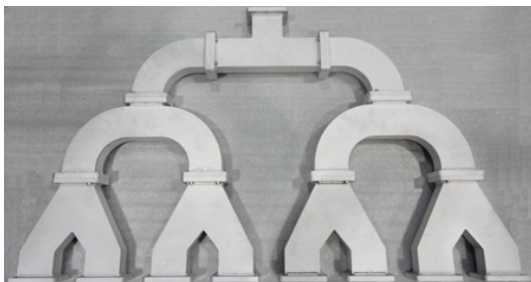


그림 9. 제작된 H-평면 8-way 전력 분배기  
Fig. 9. The fabricated H-plane 8-way power divider.

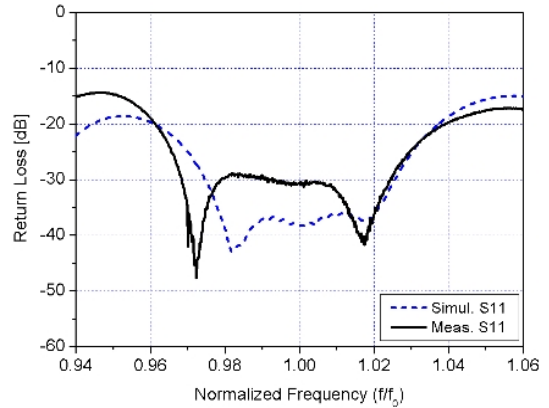


그림 10. 제작된 8-way 전력 분배기의 반사 손실  
Fig. 10. Return loss of the fabricated 8-way power divider.

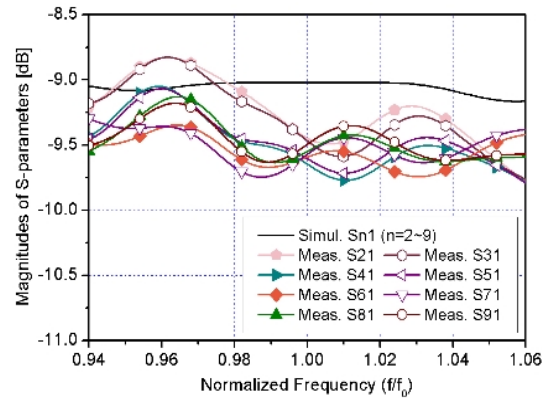


그림 11. 제작된 8-way 전력 분배기의 출력 크기  
Fig. 11. Output magnitudes of the fabricated 8-way power divider.

그림 11과 12는 8-way 전력 분배기 출력의 크기와 위상을 나타낸 결과이다. 이론적으로 각 포트의 출력 크기는 중심 주파수에서 -9.0 dB이어야 하는데, 측정 결과 -9.4 dB에서 -9.6 dB 사이로 출력 전력 간의 차이는 약 0.2 dB로 나타났다. 측정된 전력분배기는 중심 주파수를 중심으로 동일 전력이 분배되도록 설계되었으므로 그 외의 주파수에서는 출력 전력의 차이가 더 크게 나타났는데, 주파수 0.96에서 최

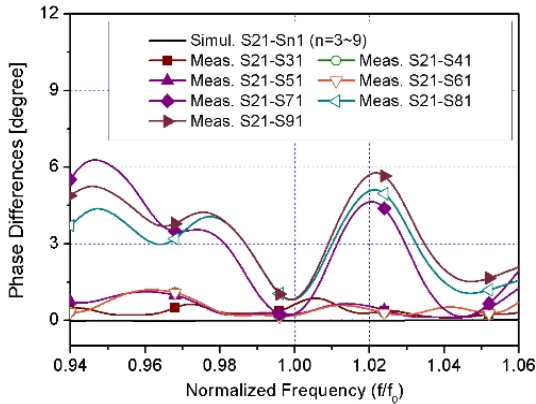


그림 12. 제작된 8-way 전력 분배기의 출력 위상차  
Fig. 12. Output phase differences of the fabricated 8-way power divider.

표 2. 중심 주파수에서의 격리도 특성( $S_{mm}$  크기)  
Table 2. Isolation characteristic at center frequency.

$m \backslash n$	2	3	4	5	6	7	8	9
2	-	-5.5	-8.5	-8.5	-18.1	-18.1	-18.0	-18.0
3	-5.5	-	-8.5	-8.5	-18.1	-18.0	-18.0	-18.0
4	-8.5	-8.5	-	-5.5	-18.1	-18.1	-18.0	-18.1
5	-8.5	-8.5	-5.5	-	-18.1	-18.1	-18.1	-18.1
6	-18.1	-18.1	-18.1	-18.1	-	-5.5	-8.5	-8.5
7	-18.1	-18.0	-18.1	-18.1	-5.5	-	-8.5	-8.5
8	-18.0	-18.0	-18.0	-18.1	-8.5	-8.5	-	-5.5
9	-18.0	-18.0	-18.1	-18.1	-8.5	-8.5	-5.5	-

대역 0.5 dB까지 나타났다. 시뮬레이션의 경우, 무손실 도체를 이용하여 분석하였으나, 제작품의 경우 알루미늄 재질이므로 이에 따른 도체 손실 및 앞서도 언급한 플랜지 간에 연결 오차에 의해 약 0.5 dB의 손실이 발생하였음을 알 수 있다. 또한, 출력 위상의 경우 물리적으로 동일한 경로를 가진 병렬 형태의 전력 분배기이므로 동일한 위상이 나타날 것으로 예상되는데, 측정 결과 각 포트 간의 출력 위상의 차이가 1° 이내의 값으로 나타남을 확인하였다. 동작 주파수에서의 관내 파장이 153 mm인데, 1°는 0.425 mm에 해당하므로 출력 위상은 거의 동일함을 알 수 있다. 표 2는 중심 주파수에서의 격리도 특성을 나타낸 결과이다. 본 논문에서 제안하는 전력분배기는 윌킨슨 전력분배기와 같은 저항성 전력분배

기(resistive divider)가 아닌 무손실 전력 분배기(lossless divider)에 해당하므로 각 출력 포트에서 반사된 전력을 제거하는 저항기가 존재하지 않는다<sup>[11]</sup>. 따라서 물리적인 경로 차가 큰 포트일수록 격리도 값이 작음을 확인할 수 있다.

## VI. 결 론

본 논문에서는 S-band용 T-junction 및 Y-junction을 설계하고, 이를 통하여 8-way 전력 분배기를 설계 및 제작하였다. 3단으로 구성된 전력 분배기는 최종 출력 포트 간의 간격을 고려하여 1, 2단에는 T-junction, 3단에는 Y-junction이 사용되었고, 각각의 junction은 동작주파수에서 동일 전력을 분기하는 동시에 최소 반사 특성을 갖도록 설계되었다. 최종 설계 및 제작된 8-way 전력분배기는 약 0.5 dB의 손실을 가지며, 각 출력 포트 간의 크기 차이는 0.2 dB 이내, 위상 차이는 1° 이내의 특성을 가진다. 따라서 제안된 전력 분배기는 배열 안테나의 급전 구조와 같이 입력 전력을 동일한 크기와 위상으로 분기하는데 필요한 다양한 마이크로파 시스템에 적용하는데 있어서 매우 유용할 것으로 판단된다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Uher, J. Bornemann, and U. Rosenberg, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems: Theory and CAD*, Artech House, 1993.
- [2] 이용민, 홍완표, 신철재, 강준길, 나극환, "자계면 T-접합을 이용한 무공화 III호 위성용 다이플렉서의 설계 및 제작에 관한 연구", 한국전자과학회논문지, 10(4), pp. 582-593, 1999년 8월.
- [3] J. Joubert, S. R. Rengarajan, "Design of unequal H-plane waveguide power dividers for array applications", *Microwave Journal*, vol. 40, pp. 1636-1639, Feb. 1997.
- [4] S. -S. Han, S. -Y. Lee, H. -W. Ko, D. -H. Park, and B. -C. Ahn, "Design equations for the H-plane power divider with a circular post in a rectangular waveguide", *Journal of the Korean Institute of Electronic Engineering and Science*, 4(4), pp. 150-155, Dec. 2004.

[5] J. -H. Bang, S. -M. Hwang, S. -G. Lee, and B. -C. Ahn, "Design formulas for the H-plane septum power divider in a rectangular waveguide", *Microwave Opt. Tech. Lett.*, vol. 37, no. 5, pp. 390-393, Jun. 2003.

[6] J. Dittloff, J. Bornemann, and F. Arndt, "Computer aided design of optimum E- or H-plane N-furcated waveguide power dividers", *17<sup>th</sup> European Microwave Conference*, vol. 1, pp. 181-186, 1987.

[7] S. X. Hu, S. Z. Zhu, "FDTD analysis of H-plane forked T-junction with full-height ferrite of arbitrary shape", *China-Japan Joint Microwave Conference*, vol. 1, pp. 22-26, 2008.

[8] T. Sehm, A. Lehto, and A. V. Raisanen, "A high-

gain 58-GHz box-horn array antenna with suppressed grating lobes", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 47, pp. 1125-1130, 1999.

[9] R. -X. Zhang, Z. -M. Xie, and Q. -X. Chu, "A new horn array feed for parabolic cylindrical reflector antenna", *Asia-Pacific in Microwave Conference*, vol. 1, pp. 1-4, 2007.

[10] M. Kishihara, I. Ohta, and K. Yamane, "Multi-stage, multi-way microstrip power dividers with broadband properties", *Ieice Trans. Electron.*, vol. E89-C, no. 5, pp. 622-629, 2006.

[11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, 3<sup>rd</sup> Ed., New York: Wiley, ch. 7.2, 2005.

이 상 혼



2004년 2월: 연세대학교 전기전자공학부 (공학사)  
 2006년 2월: 연세대학교 전기전자공학부 (공학석사)  
 2006년 3월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 박사과정  
 [주 관심분야] 초고출력 안테나 시스템, 초소형 안테나, 초고주파 회로 설계

윤 영 중



1981년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
 1986년 2월: 연세대학교 전자공학과 (공학석사)  
 1991년 2월: Georgia Institute of Technology (공학박사)  
 1992년~1993년: 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단  
 1993년~현재: 연세대학교 전기전자공학과 교수  
 [주 관심분야] 마이크로파 소자, 안테나, 전파전파, EMI/EMC

윤 지 환



2008년 8월: 연세대학교 전기전자공학부 (공학사)  
 2008년 9월~현재: 연세대학교 전기전자공학과 통합과정  
 [주 관심분야] 메타메тери얼, 인공자기 도체, 영차공진 안테나

김 준 연



1997년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)  
 1999년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)  
 2008년 8월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학박사)  
 1999년 3월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
 [주 관심분야] 능동위상배열 안테나, 초고출력 배열 안테나 및 전자파 수치해석

이 우 상



2003년 2월: 연세대학교 전기전자  
공학과 (공학사)  
2005년 2월: 연세대학교 전기전자  
공학과 (공학석사)  
2005년 2월~현재: 국방과학연구소  
선임 연구원  
[주 관심분야] 초고출력 안테나, 위  
상배열 안테나, 마이크로파 소자

박 슬 기



2006년 2월: 홍익대학교 전자전기  
공학부 (공학사)  
2008년 2월: 홍익대학교 전자정보통  
신대학원 (공학석사)  
2008년 7월~현재: LIG넥스원(주)  
전자전연구센터 선임연구원  
[주 관심분야] 통신대역 전자전장  
비