

논문 2010-47TC-7-18

# S 대역 선형 배열 안테나 급전회로를 위한 저손실, 저부엽 20-출력 스트립라인 전력분배기

( A 20-way Stripline Power Divider for an S band Linear Array  
Antenna with Low Loss and Low Side Lobe Level )

권태민\*, 김동욱\*\*

( Tae-Min Kwon and Dong-Wook Kim )

## 요약

본 논문에서는 저부엽과 저손실 특성을 갖는 고전력 20-출력 스트립라인 전력분배기를 설계, 제작하고 측정하였다. 20-출력 전력분배기는 S 대역 선형 배열 안테나의 급전회로를 위해 설계되었으며, 좁은 빔폭과 매우 낮은 저부엽 특성을 위해 Dolph-Chebyshev 전류 분포를 활용하였다. 20-출력 전력분배기는 8-출력 분배기 1개, 4-출력 분배기 3개와 링 하이브리드 전력분배기 3개로 구성되었으며, 전력분배의 기본적인 구조로는 T-접합 분배 구조를 사용하였다. 삽입손실과 반사손실을 개선하기 위해서 노치를 T-접합 분배 구조에 적용하였으며 N형 커넥터와 스트립라인 사이의 천이구조를 수정하였다. 설계, 제작된 전력분배기는 대역 내에서 약 0.3 dB의 삽입손실과 80 보다 작은 rms 위상 부정합 특성을 보였다. 20-출력 전력분배기 2개를 대칭적으로 구성할 경우 40 dB 이상의 저부엽 특성 결과를 20-출력 전력분배기 측정 결과로부터 합성할 수 있었다.

## Abstract

In this paper, a high-power 20-way stripline power divider with low insertion loss and low side lobe level is successfully designed, fabricated and measured as a feed network for an S-band linear array antenna having Dolph-Chebyshev current distribution which has a narrow beam width and very low side lobe level (SLL). The 20-way stripline power divider consists of an 8-way power divider, three 4-way power dividers and three ring hybrids. It utilizes a T-junction structure as a basic element for power dividing. Notches and modified input/output N-to-stripline transitions are used for improving insertion loss and return loss. The fabricated power divider shows insertion loss less than 0.3 dB and rms phase mismatch less than 80 in the full bandwidth. A final 40-way power divider is synthesized by combining symmetrically two 20-way power dividers and is expected to have SLL over 40 dB, based on the measured results of the 20-way power divider.

**Keywords :** stripline power divider, T-junction, notch, modified N-type connector, low side lobe level

## I. 서론

선형 배열 안테나(Linear Array Antenna)는 여러 개의 방사 소자를 배열하여 이득과 지향성을 증가시킬 수 있는 특성이 있다. 이러한 특성을 가지는 선형 배열 안

테나는 높은 검파 정확도와 지향성이 요구되는 군용 시스템, 전함의 선형 배열 레이더 등에 적용될 수 있다. 배열 안테나의 각 입력 단자에 원하는 배열 형태에 따른 전류비로 신호를 전달해 주기 위한 급전회로는 다양한 분배 비율의 신호를 많은 출력 단자에 유기시킬 수 있어야 하며, 저손실과 저부엽 특성이 요구된다. 안테나의 손실에서 RF 전단부의 손실이 복사전력과 수신감도를 결정하는 가장 중요한 파라미터이며 저부엽은 레이더 시스템의 전반적 성능 및 대전자전 능력에 고루 영

\* 학생회원, \*\* 평생회원-교신저자, 충남대학교 전파공학과

(Department of Radio Science and Engineering, Chungnam National University)

접수일자: 2010년2월15일, 수정완료일: 2010년7월14일

향을 미치는 요소이다.

전형적으로 급전회로는 윌킨슨 전력분배기<sup>[1]</sup>와 같은 구조로 구성되어 있다. 그러나 윌킨슨 구조는 큰 전력을 다룰 때, 격리 저항에서 열이 발생하는 문제가 있다. 이 문제를 해결하기 위하여 저항을 접지로 연결시키는 방법<sup>[2]</sup>이 제시되었으나, 높은 분배 비율의 구현이 어렵고 여전히 저항 삽입 위치에 따라 설계상의 어려움을 가진다.

본 논문에는 Dolph-Chebyshev 전류 분포를 가지는 S 대역 저손실의 고전력 20-출력 스트립라인 전력분배기를 설계, 제작한 결과를 제시하고 이를 통해 2.1도의 반전력 빔폭(HPBW, Half Power Beam Width)과 40 dB 이상의 저부엽 특성을 달성함을 보일 것이다. 전력 분배기의 삽입손실 리플과 반사손실을 개선하기 위해 최적화된 노치를 T-접합 분배구조에 적용한 내용과 N형 커넥터와 스트립라인의 천이구조 개선에 관한 내용도 소개될 것이다.

## II. 안테나 배열 설계

급전회로 설계를 위해서는 먼저 부엽, 반전력 빔폭, 배열 간격, 크기 및 위상 오차에 대한 둔감도 등을 고려하여 배열의 종류를 선택하고 설계하여야 한다. 배열의 종류로는 Binomial 배열, Dolph-Chebyshev 배열<sup>[3]</sup>, Taylor 배열<sup>[4]</sup>, Cosine on Pedestal 배열<sup>[5]</sup> 등이 있다.

본 논문에서는 각 배열의 파라미터에 따른 특성 변화에 대한 기존의 연구를 바탕으로 Dolph-Chebyshev 배열을 선택하였다<sup>[6]</sup>. Dolph-Chebyshev 배열은 부엽이 균일하며, 주엽 부근의 부엽이 낮고 각 출력단자의 위상 오차 및 크기 오차에 대해 상대적으로 강건한 특성을 보인다. 또한 각각의 배열에 크기 및 위상 오차가 발생할 경우 배열의 특성 변화가 가장 적다. 따라서 좁은 빔 폭을 요구하는 선형 배열 안테나의 급전 구조에 적합함을 알 수 있다. 본 논문에서는 40 dB 이상의 부엽 조건을 확보하기 위해 배열 소자 40개, 배열 간격 0.85 λ, 45 dB 부엽을 갖는 Dolph-Chebyshev 배열을 설계하였다. 전력분배기를 실제 구현할 때 예상되는 임피던스 부정합에 의한 부엽의 성능 저하를 고려하여 높은 임피던스 분배 비율이 필요한 45 dB 부엽 조건의 분배기 설계를 진행하였다. 설계된 전류비 분포와 이득 특성을 그림 1과 2에 나타내었다.

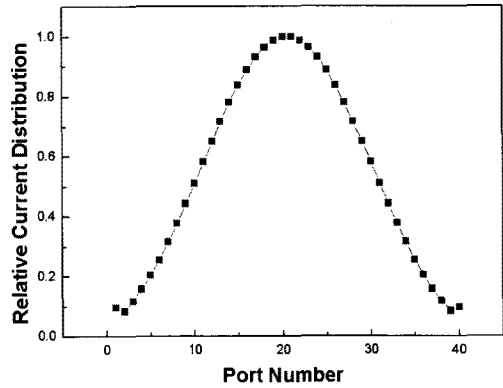


그림 1. Dolph-Chebyshev 배열에 의한 전류 분포 (부엽 =45 dB 이상, 배열 간격=0.85 λ)

Fig. 1. Current distribution for a Dolph-Chebyshev linear array (SLL=45 dB or more, unit array distance=0.85 λ).

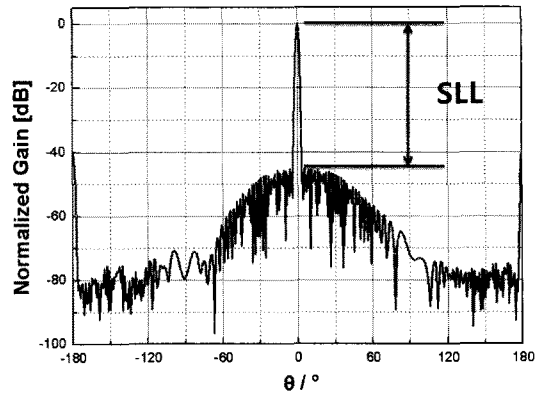


그림 2. Dolph-Chebyshev 선형 배열 안테나의 이득 특성  
Fig. 2. Gain performance of a linear array antenna with Dolph-Chebyshev current distribution.

## III. 급전기용 20-출력 전력분배기 설계

### 1. 20-출력 전력분배기 구조

45 dB 부엽 기준의 Dolph-Chebyshev 배열을 선택하여 급전기용 20-출력 스트립라인 전력분배기를 설계하였고 설계된 구조를 그림 3에 나타내었다. 설계된 20-출력 전력분배기는 8-출력 분배기 1개, 4-출력 분배기 3개, 링 하이브리드 3개로 구성되어 있다. 최종적으로 설계된 20-출력 전력분배기 2개를 대칭으로 결합하여 40-출력 전력분배기로 전체 급전회로를 구성할 수 있다. 20-출력 전력분배기에 사용된 전력분배 구조는 T-접합 분배 구조를 사용하였다.

스트립라인의 기본 구조는 그림 4와 같이 폭 W인 얇

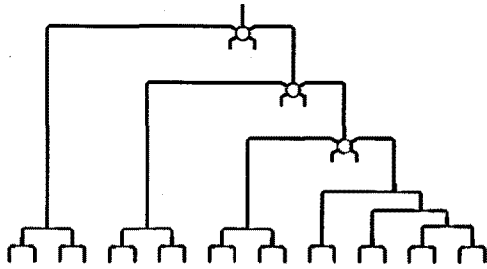


그림 3. 20-출력 스트립라인 전력분배기 설계 구조  
Fig. 3. A designed 20-way stripline power divider.

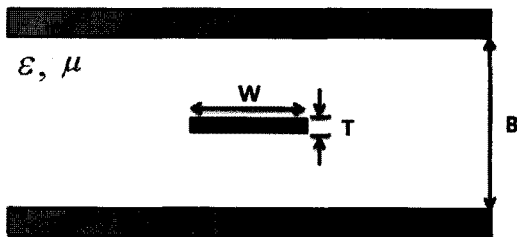


그림 4. 스트립라인 전송선로 구조  
Fig. 4. A stripline transmission structure.

은 도체판이 거리 B 만큼 떨어진 두 개의 접지 도체판 사이에 있고 공기 또는 유전체가 두 도체판 사이를 채우고 있는 것으로써 내부 도체의 위치나 모양 등에 따라 다양한 변형을 가진다<sup>[7]</sup>.

T-접합 전력분배기는 임피던스 비율에 따른 분배만으로 분배 비율을 조절할 수 있는 간단한 구조로써 출력 단자간의 격리가 중요하지 않은 안테나 급전회로 등에 쉽게 적용할 수 있다. 그림 5와 같은 전력분배기 구조에서 입력된 전력을 1:K<sup>2</sup>의 비율로 분배하는 경우 출력 임피던스는 R<sub>2</sub>=Z<sub>0</sub>K, R<sub>3</sub>=Z<sub>0</sub>/K가 된다. 이를 통해 그림 6과 같이 임피던스 변환기를 가지는 T-접합 비대칭 전력분배기를 설계할 수 있으며, 임피던스 변환기용 전송선로 Z<sub>1</sub>, Z<sub>2</sub>, Z<sub>3</sub>, Z<sub>4</sub>를 아래 식을 사용하여 설계할 수 있다<sup>[8]</sup>. 여기서 Z<sub>3</sub>와 Z<sub>4</sub>는 임피던스가 Z<sub>0</sub>인 출력선로와의 정합을 위해 사용된 λ/4 임피던스 변환기이다.

$$Z_1 = Z_0 \sqrt{K(1+K^2)} \tag{1}$$

$$Z_2 = Z_0 \sqrt{\frac{1+K^2}{K^3}} \tag{2}$$

$$Z_3 = Z_0 \sqrt{K} \tag{3}$$

$$Z_4 = Z_0 / \sqrt{K} \tag{4}$$

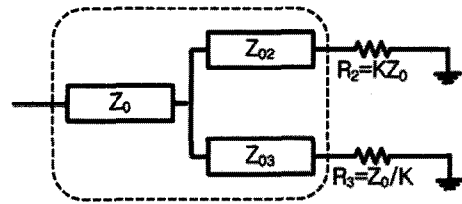


그림 5. 비대칭 출력 임피던스를 가지는 전력분배기  
Fig. 5. A power divider with unequal output impedances.

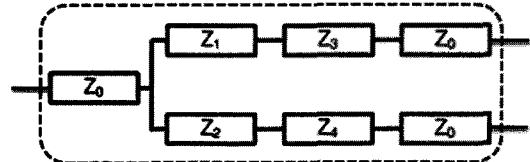


그림 6. 임피던스 변환기를 사용한 T-접합 전력분배기의 구조  
Fig. 6. A T-junction power divider using impedance transformers.

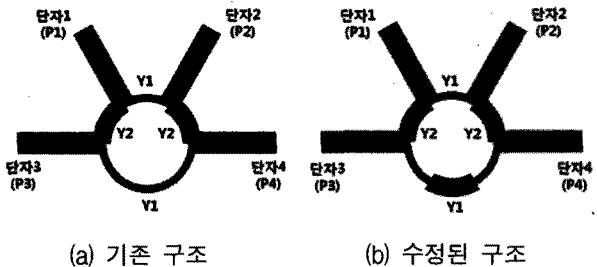


그림 7. 링 하이브리드 구조  
Fig. 7. Ring hybrids.

링 하이브리드는 출력단자들 사이에 격리도가 좋고, 높은 비율의 전력분배를 상대적으로 쉽게 구현할 수 있다. T-접합만을 사용하는 경우 많은 출력단자로 인해 각 접합 부분에 많은 다중 반사가 발생할 수 있다. 다중 반사는 출력에서 리플(ripple) 문제를 발생시키므로 링 하이브리드에 종단저항을 달아 급전회로에 삽입함으로써 특성을 개선시킬 수 있다.

그림 7은 링 하이브리드를 보여주고 있다. 단자1은 입력단자이고, 단자 2, 3은 출력단자이며 단자 4는 다중 반사파를 흡수할 종단저항을 달아주는 단자이다. 일반적인 기존의 링 하이브리드 구조는 아래 식 (5), (6)의 관계에 의해서 분배비와 어드미턴스 관계를 이용하여 설계된다<sup>[9]</sup>.

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{Y_2}{Y_1} \tag{5}$$

$$Y_1^2 + Y_2^2 = 1 \tag{6}$$

그러나 큰 전력을 다루게 되는 경우 큰 임피던스 값을 갖게 되고, 큰 임피던스 값은 제작이 불가능할 정도의 작은 선로 폭을 갖게 된다. 이러한 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 수정된 링 하이브리드를 적용하였다. 수정된 링 하이브리드는 그림 7(b)에 나타내었다. 기존의 링 하이브리드 구조에서  $3\lambda/4$  선로 부분을 개선하여  $Y_1$  과  $Y_2$  의 어드미턴스를 갖도록 수정하였다. 수정된 링 하이브리드 구조는 아래의 식 (7), (8)로 주어지는 분배 비율과 어드미턴스 관계를 이용하여 설계된다<sup>[10]</sup>.

$$\frac{P_3}{P_2} = \frac{2Y_2}{Y_1 \left(1 + \frac{Y_1}{Y_2}\right)} \quad (7)$$

$$\frac{P_1}{P_4} = \frac{2Y_2}{Y_1 \left(1 + \frac{Y_1}{Y_2}\right)} \quad (8)$$

2. 노치

T-접합은 전력이 분배되는 지점에서 임피던스가 달라져 서로 다른 폭을 갖게 된다. 서로 다른 폭의 선로가 만나는 접합 부분은 불연속성을 가지게 된다. 이는 반사손실의 특성을 악화시킬 수 있으며, 많은 불연속 지점으로 인해 다중반사의 원인이 된다. 이러한 문제점은 노치를 적용하여 개선시킬 수 있다. 노치는  $\theta=45^\circ$  와  $a=0.6W \sim 0.63W$  로 T-접합에 적용할 수 있다<sup>[11]</sup>. 그림 8은 적용된 노치의 모습을 보여주고 있으며, W는 전송선의 폭을 말하며 각 임피던스에 따라 전송선 폭이 다르기 때문에 폭은 전력분배 방향으로 비대칭적으로 적용된다.

3. 수정된 N 커넥터와 스트립라인의 천이구조

일반적인 N 커넥터와 스트립라인의 연결은 커넥터의 중심도체가 스트립라인 위에서 접촉되는 방식이다. 또한 커넥터 내부 유전체의 직경이 작아 스트립라인과 금속 벽면 사이에 심한 누설 전계가 발생한다. 이는 반사손실의 증가와 리플 발생의 원인이 된다. 이를 개선하기 위하여 커넥터와 스트립라인의 천이구조에서 스트립라인의 끝 부분에 테이퍼링(tapering)을 적용하여 급격한 임피던스 변화를 방지하였고, 커넥터의 중심도체와 유전체의 직경을 크게 변경하여 커넥터의 삽입손실 특성을 개선하였다. 커넥터는 내부도체와 외부도체를

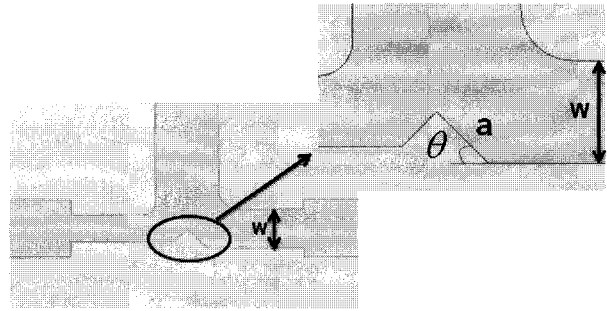
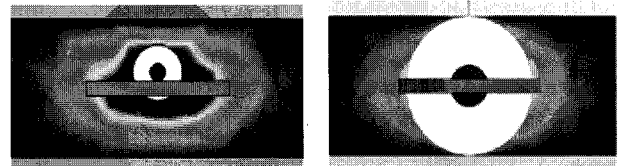


그림 8. T-접합에 적용된 노치  
Fig. 8. Notch at the T-junction.



(a) 기본 구조 (b) 수정된 구조

그림 9. N 커넥터와 스트립라인 천이구조에서의 누설 전계 시뮬레이션 결과

Fig. 9. Fringing electric field distribution at the transition of an N-type connector and stripline.

1.3 mm와 4 mm에서 3 mm와 10 mm로 확장하였다. 개선된 커넥터는 커넥터의 중심도체에 스트립라인 두께만큼 홈을 파서 스트립라인을 끼우는 방식으로 연결된다. 이러한 천이구조의 변경은 누설 전계를 줄임으로써 0.3 dB 감소된 리플과 25 dB 이하의 개선된 반사손실 결과를 얻을 수 있었다. 이를 각 입출력 단자와 종단저항 연결에 적용하여 반사손실 및 리플을 개선하였다. 그림 9에 스트립라인과 N 커넥터 연결에서의 누설 전계를 비교하였다.

IV. 제작 및 측정

1. 설계

설계된 20-출력 스트립라인 전력분배기에 대한 시뮬레이션은 CST사의 3차원 전자기 시뮬레이션 소프트웨어인 MWS(Microwave Studio)를 이용하여 진행되었다<sup>[12]</sup>. 삽입손실과 반사손실에 대한 시뮬레이션 결과를 그림 10에 나타내었다. 주파수는 S 대역을 사용하고 있으며, 균수용으로 개발된 관계로 중심주파수를 기준으로 정규화하였다. 전력분배기의 대역폭은 중심주파수 기준으로 약 14 %이다.

삽입손실의 경우 리플이 억제되었으며, 약간의 리플은 주파수 변화에 대해 전체적으로 같은 경향을 보이며

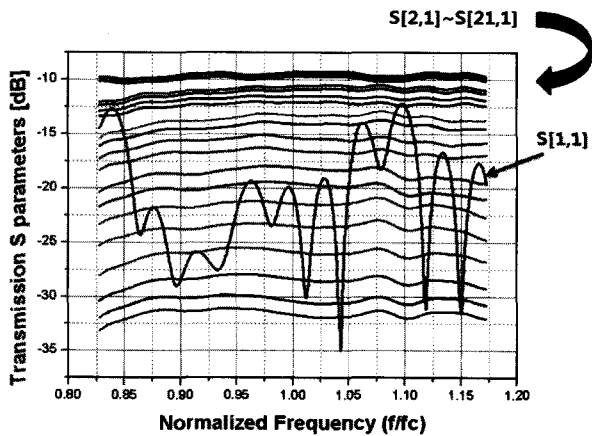


그림 10. 설계된 20-출력 스트립라인 전력분배기의 S 파라미터  
 Fig. 10. Simulated S parameters of the designed 20-way stripline power divider.

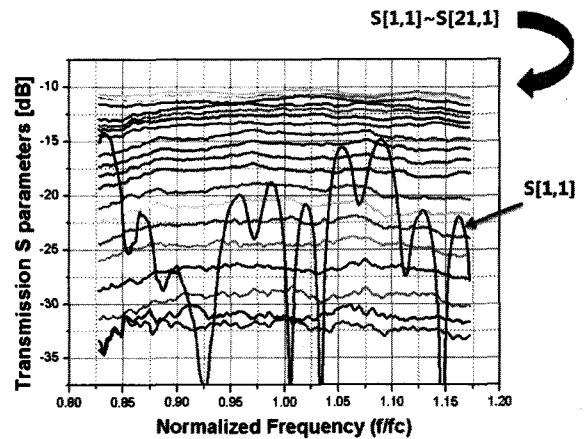


그림 12. 제작된 20-출력 스트립라인 전력분배기의 측정된 S 파라미터  
 Fig. 12. Measured S parameters of the fabricated 20-way stripline power divider.

발생하므로 거의 동일한 전력 분배 비율이 유지되었다. 반사손실의 경우 대역 내에서 상측 주파수 대역 일부를 제외하고는 만족스러운 결과를 얻을 수 있었다.

2. 제작 및 측정 결과

설계된 20-출력 전력분배기를 제작하였다. 스트립라인은 1.0 mm 두께의 구리로 제작되었으며, 유전체는 유전율이 1에 가까운 저손실 Rohacell foam을 사용하였고 알루미늄 6061을 접지 도체판으로 사용하였다. 제작된 전력분배기의 크기는 188.3×90.9 cm<sup>2</sup>이며 그림 11에 나타내었다.

측정은 Agilent사의 Network Analyzer를 사용하여 진행되었고, 20개의 S 파라미터 특성을 그림 12에 나타내었다. 급전회로의 특성상 출력단자 쪽에서 바라본 반사손실은 큰 의미가 없으며 입력단자 쪽의 반사손실이 중요하기 때문에 그림에는 입력 반사손실과 전달 특성만을 나타내었다.

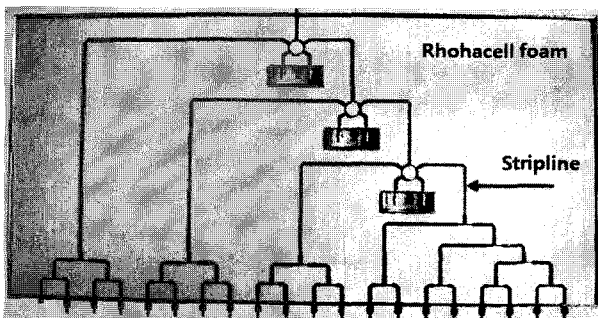


그림 11. 제작된 20-출력 스트립라인 전력분배기  
 Fig. 11. A fabricated 20-way stripline power divider.

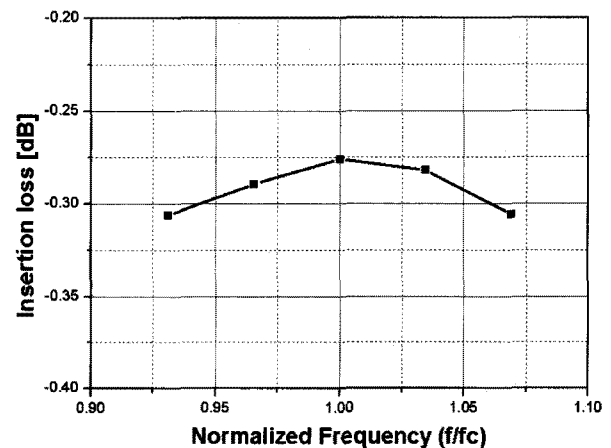


그림 13. 제작된 20-출력 스트립라인 전력분배기의 측정된 삽입손실  
 Fig. 13. Measured Insertion loss of the fabricated 20-way stripline power divider.

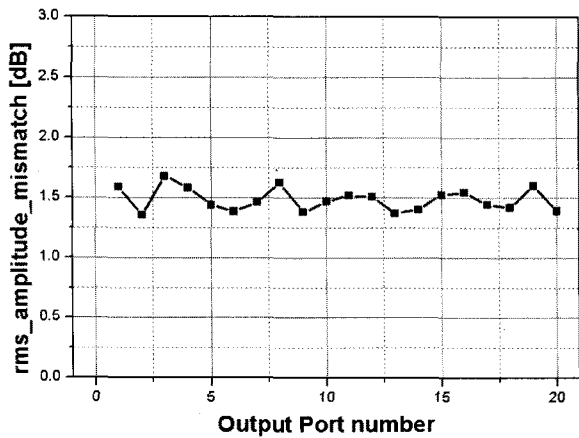


그림 14. 제작된 20-출력 스트립라인 전력분배기의 rms 크기 부정합

Fig. 14. rms amplitude mismatch of the fabricated 20-way stripline power divider.

주파수 변화에 따른 삽입손실을 그림 13에 나타내었다.

전력분배기는 대역폭 내에서 주파수 변화에 따른 전력분배 비율이 유지되어야 한다. 이를 평가하기 위해 rms 크기 부정합을 측정하였다. 측정 결과 모든 출력단자에서의 rms 크기 부정합은 대역폭 내에서 1.35 ~ 1.6 dB의 특성을 보였다. rms 크기 부정합은 이론적인 계산에 의한 이상적인 값을 기준으로 하였다. 이는 이상적인 값과의 차이를 주파수 변화에 대한 평균적인 값으로 나타난 것으로서 전체적으로 1.5 dB 내외의 값을 가졌다. 전체 출력단자에서 이상적인 값에 비해 약 1.5 dB 정도의 차이를 가짐으로써 분배 비율이 잘 유지됨을 알 수 있다. 각 출력단자에서의 rms 크기 부정합 측정 결과를 그림 14에 나타내었다.

위상의 정합이 이뤄지지 않을 경우 부엽 특성에 영향을 주기 때문에 모든 S 파라미터의 위상을 확인한 결과 정합이 잘 되었음을 확인할 수 있었고 모든 출력단자에서의 rms 위상 부정합은 전체 대역폭 내에서 4~8°의 특성을 보였다. 각 출력단자에서의 위상에 대한 측정 결과를 그림 15에 나타내었다.

설계된 20-출력 스트립라인 전력분배기를 대칭으로 연결하여 40-출력 스트립라인 전력분배기를 완성하기 때문에 측정된 결과를 이용하여 40-출력 스트립라인 전력분배기의 결과를 예측할 수 있다. 측정 결과를 이용하여 주파수에 따른 40-출력 스트립라인 전력분배기의 빔 패턴과 부엽 값을 계산하였고 이를 그림 16에 나타내었다. 부엽은 대역 내에서 38.5~42.5 dBc의 아주 우수한 값을 얻을 수 있었다. 전반적으로 보면 정규화된

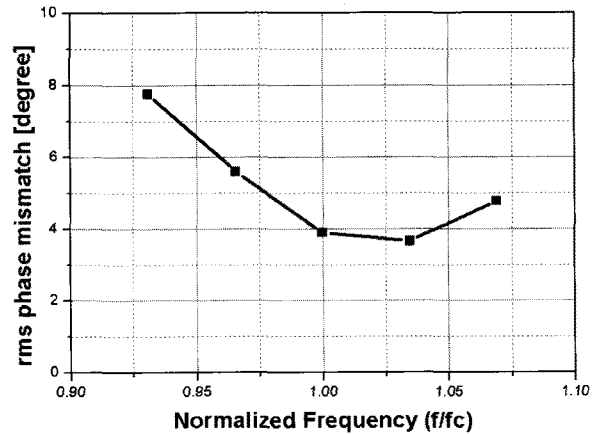


그림 15. 제작된 20-출력 스트립라인 전력분배기의 rms 위상 부정합

Fig. 15. rms phase mismatch of the fabricated 20-way stripline power divider.

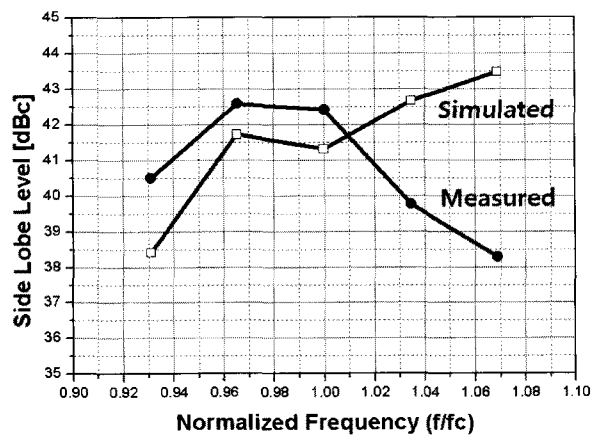


그림 16. 합성된 40-출력 스트립라인 전력분배기 빔 패턴의 부엽 값

Fig. 16. Synthesized SLL values of the 40-way stripline power divider beam pattern based on the measured 20-way stripline power divider.

주파수 0.93fo에서 1.07fo까지 40 dBc의 부엽 값을 만족하는 것을 알 수 있다. 40 dBc 이상의 부엽 값은 제작된 20-출력 전력분배기가 높은 검파 정확도와 높은 지향성을 요구하는 군용 시스템에 성공적으로 적용될 수 있다는 것을 보여준다.

## V. 결 론

S 대역 선형 배열 안테나의 급전회로를 위한 고전력, 저손실 20-출력 스트립라인 전력분배기를 설계, 제작하였다. 기본적으로 T-접합 전력분배 구조를 사용하였고, 수정된 링 하이브리드를 큰 전력이 분배되는 곳에 사용

하였다. 수정된 N 커넥터, 노치, 종단저항, 테이퍼링을 적용하여 리플 및 반사손실 특성을 크게 개선하였다. 제작된 20-출력 전력분배기는 대역내에서 0.3 dB 보다 작은 삽입손실을 보였으며 rms 위상 부정합은 8° 보다 작았다.

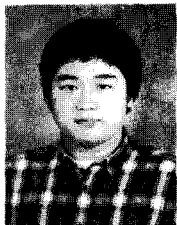
측정된 S 파라미터는 시뮬레이션 결과와 잘 일치하였으며 20-출력 스트립라인 전력분배기의 측정 결과를 대칭으로 합성하여 40-출력 스트립라인 전력분배기의 빔 패턴과 부엽 값을 구하였다. 중심주파수 기준으로 대역폭 14 %에서 38.5~42.5 dB의 부엽 값을 나타내었다. 제작된 20-출력 스트립라인 전력분배기는 군수용 선형 배열 안테나 시스템에 성공적으로 적용될 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

[1] E. J. Wilkinson, "An N-way Hybrid Power Divider", IRE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 8, No. 1, pp. 116-118, Jan. 1960.  
 [2] U. H. Gysel, "A New N-way Power Divider /Combiner Suitable for High Power Applications", IEEE MTT-S Int. Microwave Symp. Dig., pp. 116-118, May 1975.  
 [3] C. L. Dolph, "A Current Distribution for Broadside Arrays Which Optimizes the Relationship Between Beam Width and

Side-Lobe Level", Proc. IRE, Vol. 34, No. 6, pp. 335-348, June 1946.  
 [4] T. Taylor, "Design of Circular Apertures for Narrow Beamwidth and Low Sidelobes", IRE Trans. Antennas and Propagation, Vol. 8, No. 1, pp. 17-22, Jan. 1960.  
 [5] S. Silver (ed.), Microwave Antenna Theory and Design, MIT Radiation Laboratory Series, Vol. 12, McGraw-Hill, New York, 1965, Chapter 6, pp. 169-199  
 [6] 박일호, 김락영, 박정용, 김동욱, 정명득, "S-대역 선형 배열 안테나의 급전 회로를 위한 스트립라인 10-출력 전력분배기", 한국전자파학회 논문지, 제 20권 3호, pp. 280-288, March 2009.  
 [7] Harlan Howe, Jr., Stripline Circuit Design, Artech House, 1974.  
 [8] L. Parad and R. Moynihan, "Split-Tee Power Divider", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 13, No. 1, pp. 91-95, Jan. 1965.  
 [9] D. M. Pozar, Microwave Engineering, John Wiley & Sons, Inc., 1998.  
 [10] A. K. Agrawal, "A Printed-Circuit Hybrid Ring Directional Coupler for Arbitrary Power Divisions", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 34, No. 12, pp. 1401-1407, Dec. 1986.  
 [11] R. Chadha, and K. C. Gupta, "Compensation of Discontinuities in Planar Transmission Lines", IEEE Trans. Microwave Theory and Tech., Vol. 30, No. 12, pp. 2151-2156, Dec. 1982.  
 [12] Microwave Studio, CST, <http://www.cst.com>

저 자 소 개



권 태 민(학생회원)  
 2009년 충남대학교 전기정보통신 공학부 학사 졸업.  
 2009년~현재 충남대학교 전파공학과 석사과정.  
 <주관심분야 : 반도체 회로 설계, 레이더 모듈 설계>



김 동 욱(평생회원)  
 1990년 한양대학교 전자통신 공학과 학사 졸업.  
 1992년 한국과학기술원 전기및 전자공학과 석사 졸업.  
 1996년 한국과학기술원 전기및 전자공학과 박사 졸업.  
 1991년~2000년 LG종합기술원 선임연구원  
 2000년~2002년 (주)텔레포스 연구소장  
 2002년~2004년 에스원 기술연구소 응용기술팀장  
 2009년 6월~2009년 12월 ETRI 초빙연구원  
 2010년~현재 UCSD 방문교수  
 2004년~현재 충남대학교 전파공학과 교수  
 <주관심분야 : 초고속·및 초고주파 집적회로, 초 소형 레이더 모듈, 밀리미터파 전력증폭기 모듈>