

# 유도성 포스트를 활용한 X-Band 6-Way 도파관 전력 분배기

## X-Band 6-Way Waveguide Power Divider Using Inductive Post

김동현 · 오순수\* · 민경식 · 강석엽

Dong-Hyun Kim · Soon-Soo Oh\* · Kyeong-Sik Min · Suk-Youb Kang

### 요 약

본 논문에서는 근접 거리에서 평면파를 생성할 수 있는 도파관 배열 안테나의 급전부로 활용이 가능한 6-way 전력 분배기에 대하여 기술하고 있다. 원형으로 배치된 방사 소자를 급전하기 위하여 분배기의 중앙에 SMA 커넥터의 입력 단자가 존재하고, 분배기를 둘러싼 원형의 주변에 도파관 형태의 출력 단자가 존재한다. 본 논문은 분배기의 반사 손실을 낮추기 위하여 유도성 포스트를 활용하는 방법을 제안한다. 급전 핀의 높이, 유도성 포스트의 지름, 급전 핀과 유도성 포스트간의 간격에 대한 파라미터 분석을 수행하여 최적의 분배기를 설계하였다. 모의실험과 실제 측정을 수행한 결과, 약 -40 dB의 낮은 반사 손실을 가진다. 6개의 출력 단자의 계산 및 측정된 투과량은 각각 -7.78 dB와 -8.06 dB로써, 동진폭 및 동위상의 전력 분배가 이루어짐을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 분배기는 다수 개의 출력 단자를 갖는 분배기로 손쉽게 확장이 가능하므로 다양한 형태의 배열 안테나의 급전 구조로 활용될 수 있다.

### Abstract

This paper describes the 6-way power divider to be used as a feeding structure of the waveguide array antenna generating the plane wave at the near distance. The SMA connector has been connected at the center of the power divider in order to feed the radiating element. The six output ports made of waveguide are positioned on the peripheral of the divider. This paper proposes the method utilizing the inductive post in order to decrease the return loss. The height of the feeding pin, the diameter of the inductive post, and the distance between the feeding pin and inductive post have been investigated, and as a result, the power divider has been optimized. The simulated and measured results show the low return loss of about -40 dB. The calculated and measured transmission coefficients are -7.78 dB and -8.06 dB, respectively. The output power of the six waveguide port show equal-amplitude and equal-phase distribution. Since the power divider proposed in this paper can be expanded to the divider having several output ports, it could be easily applied to the various array antennas.

Key words : Inductive Post, Waveguide, Power Divider, Radial Line

### I. 서 론

이동 통신과 위성 통신으로 대표할 수 있는 무선 통신의 급속한 발전으로 인하여, 다양한 크기의 안

테나들이 개발되고 있다. 이에 따라 소형 안테나뿐만 아니라 전기적으로 대형 안테나에 대한 개발도 증가하고 있다. 일반적으로 대형 안테나를 원격장 측정법을 활용하여 측정하기 위하여 소스 안테나와

「본 연구는 Post-BK21 사업, ETRI의 무선통신 ERP/EIRP 측정기술 및 기준 연구 사업, 그리고 민군점용기술개발사업의 지원으로 이루어졌습니다.」

한국해양대학교 전파공학과(Department of Radio Communication Engineering, Korea Maritime University)

\*한국전자통신연구원(ETRI)

· 논문 번호 : 20100105-001

· 교신저자 : 민경식(e-mail : ksmin@hhu.ac.kr)

· 수정완료일자 : 2010년 3월 5일

AUT(Antenna Under Test) 간의 거리를 Rayleigh의 원역장 조건( $R_{far} \geq 2D^2/\lambda$ )만큼 이격시킨다<sup>[1]</sup>. 여기서  $D$ 는 개구면 안테나의 지름이며,  $\lambda$ 는 자유 공간의 파장이다. 따라서 저주파 대역이나 안테나 개구면이 클 경우에는 대형 무반사실이 필요하다. 그러나 대형 무반사실을 구축하기 위해서는 대형 건축물과 고감도의 RF 장비를 사용해야 하는 경제적 문제가 발생한다. 이를 해결하는 방안으로 근접 거리에서 안테나의 방사 성능을 평가하는 방법으로써 근역장 측정 이론<sup>[2]</sup>이나 프레넬장 측정 이론<sup>[2]-[5]</sup>을 활용할 수 있다. 이러한 측정 이론은 수 개의 지점에서 전계를 측정 한 후, 정밀한 수학적 근거하여 데이터 변환을 수행하는 방법이다. 또 다른 방법으로써 전자파를 생성하는 소스 안테나로써 배열 안테나를 장착하여 근접 거리에서 평면파를 생성하는 방법이다<sup>[6]</sup>. 이 방법은 데이터 변환 등을 수행하지 않기 때문에 속도가 상대적으로 빠르다. 다만, 배열 안테나의 단위 방사 소자는 원형으로 배치되어야 하기 때문에 특별한 급전 구조가 요구된다.

일반적으로 금속 도파관은 안테나 방사 성능을 평가하기 위한 측정용 안테나의 기본 구조로 많이 활용되고 있다. 금속 도파관은 밀링 머신을 이용한 금속 가공을 실시함에 따라 제작 단가가 높아지는 문제점이 있으나, 재질이 단단하여 변형 가능성이 적어 이득 및 방사 패턴이 오래 유지된다.

다수 개의 출력 단자를 갖는 전력 분배기를 설계하기 위한 첫 번째 방법으로 순차적으로 분배되는 구조를 활용할 수 있다<sup>[7]</sup>. 이 방법은 전력 분배량을 손쉽게 조절할 수 있는 장점을 갖지만, 다수 개의 불연속면으로 인한 반사 손실이 많아 효율이 저하되는 문제점을 갖는다. 반사 손실을 개선하기 위하여 유도성 벽 등을 활용할 수 있다<sup>[8],[9]</sup>. 두 번째 방법은 radial line 구조에 입력 단자가 중앙에서 급전되고 출력 단자가 radial line의 외곽에 위치하는 구조이다<sup>[10],[11]</sup>. 이 방법은 불연속면의 개수가 작아 반사 손실을 낮출 수 있는 장점을 가지는 반면, 출력 단자간의 전력 분배량 조절이 어렵다는 단점을 가지고 있다. 본 논문의 분배기는 평면파 발생용 배열 안테나에 동진폭 및 동위상 파를 급전하여야 하므로 위 두 번째 방법이 적절하다고 할 수 있다. 참고문헌 [11]에서는 반사 손실을 줄이기 위하여 급전 동축 케이블의

외곽 도체를 테이퍼 형태로 구현하였으나 -15 dB의 상대적으로 높은 반사 손실을 가진다.

본 논문에서는 급전부의 반사 손실을 약 -40 dB까지 낮추고, 고효율의 분배 특성을 실현하기 위하여 유도성 포스트를 활용하였다. II장에서는 제안한 구조에 대한 설명과 함께 각 파라미터의 분석 결과를 보여준다. III장에서는 본 논문에서 제안한 구조의 모의 실험 결과와 실제 제작한 구조의 실험 결과를 비교 분석하였다. IV장에서는 결론을 보여준다.

## II. 전력 분배기 설계

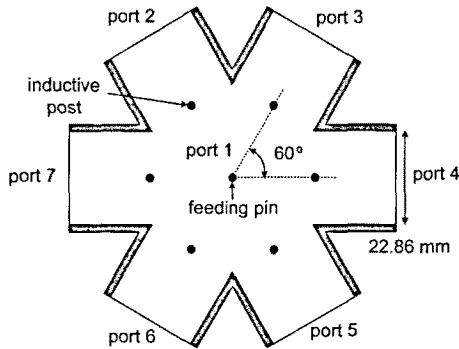
### 2.1 설계 구조

설계 주파수는 도파관의 제작 및 실험의 편의성을 위하여 10 GHz로 결정하였으며, 도파관의 높이와 넓이는 표준 도파관 WR-90의 규격과 동일하게 각각 10.16 mm와 22.86 mm로 설계하였다.

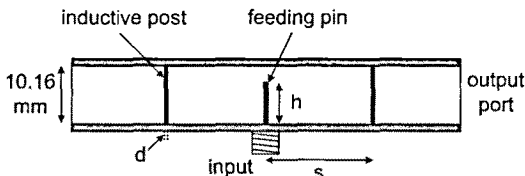
그림 1에 유도성 포스트를 가지는 6-way 전력 분배기의 구조를 도시하였다. 그림 1(a)와 1(b)는 평면도와 측면도이며, 그림 1(c)는 상부 덮개가 없는 사시도이다.

입력 단자는 port 1이며, SMA 타입의 동축 케이블 사용을 고려하여 설계한다. 일반적인 SMA 커넥터의 내경은 1.3 mm, 외경은 4.4 mm이고, 내부 도체를 지지하는 절연체로는 비유전율 2.1의 테플론을 사용한다. 이에 따라 급전 핀의 두께는 1.3 mm이다. 출력 단자는 port 2로부터 port 7까지이며, WR-90 도파관으로 구성되어 있다. 각 도파관 간의 각도는 그림 1(a)에서 보여주는 것처럼 60°이다. SMA 커넥터의 내부 도체 지름은 제작의 편리성을 위하여 1.3 mm로 고정하였으며, 도파관 안쪽으로 높이( $h$ )만큼 튀어나오게 된다. 이 높이( $h$ )는 분배기의 반사 손실 특성을 좌우하는 중요한 파라미터이다.

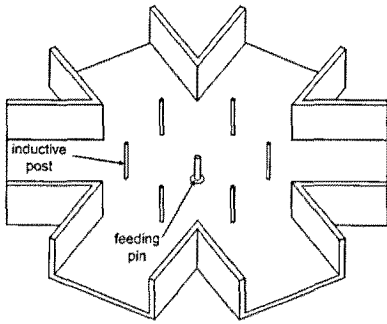
유도성 포스트는 도파관의 밀면부터 윗면까지 연결되어 있다. 유도성 포스트인 금속 봉의 지름( $d$ )에 따라 유도성 용량의 차이가 발생하므로,  $d$  또한 반사 손실량을 결정하는 중요한 파라미터라고 할 수 있다. 또 다른 중요한 파라미터는 급전 핀과 유도성 포스트의 거리( $s$ )로써 중심 주파수를 결정하는 파라미터이다.



(a) 평면도  
(a) Top view



(b) 측면도  
(b) Side view



(c) 사시도  
(c) Oblique view

그림 1. 유도성 포스트를 가지는 6-way 전력 분배기  
Fig. 1. 6-way power divider with inductive post.

### 2-2 유도성 포스트가 없는 분배기

본 논문에서는 반사 손실을 줄이기 위하여 유도성 포스트를 활용하는 방법을 제안한다. 먼저 유도성 포스트의 역할을 관찰하기 위하여 유도성 포스트가 없는 분배기에 대하여 반사 손실을 계산하였다. 모의실험은 유한 요소법(finite element method)을 기초로 하는 Ansoft사의 HFSS를 활용하였다. 급전 핀의 높이( $h$ )를 1 mm에서 10 mm까지 변화시키면서 반사 손실을 그림 2와 같이 관찰하였다.

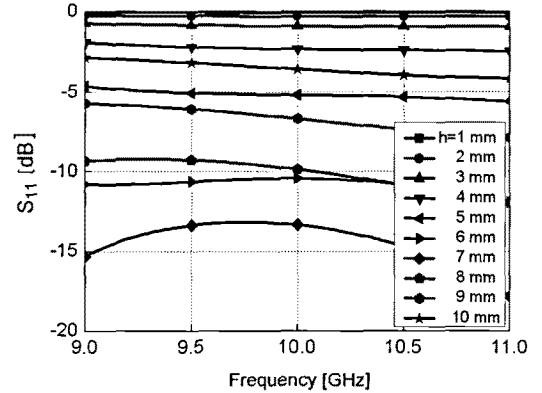


그림 2. 급전 핀 높이의 변화에 대한 유도성 포스트가 없는 분배기의 반사 손실( $S_{11}$ )

Fig. 2. Return loss of the power divider without the inductive post with respect to variation of the feeding pin height.

급전 핀의 높이( $h$ )가 증가함에 따라 반사 손실은 낮아지다가 급전 핀의 높이( $h$ )가 7 mm일 때 최소값을 가진 후 다시 증가한다. 최소값은 10 GHz에서 -13.3 dB이다. 이는 입력 전력 대비 4.7%의 반사 전력을 가짐을 의미한다. 반면에 반사 손실이 -20 dB와 -30 dB로 낮아지면 1%와 0.1%의 더 작은 반사 전력을 가지며, 투과 전력을 높여 안테나 효율이 높아진다. 낮은 반사 손실은 시스템 관점에서도 중요한 의미를 가진다. 본 논문에서 제안한 분배기는 배열 안테나에 장착되므로 T-정합기나 안테나 소자 등 많은 수동 소자와 직렬 또는 병렬로 결합이 된다. 이때 각 수동 소자로부터 발생한 반사가 모두 더해짐에 따라 배열 안테나의 입력단에서는 큰 반사 손실이 발생할 수 있다. 따라서 분배기의 반사 손실이 최소 -20 dB 이하가 되도록 설계하는 것이 바람직하다.

### 2-3 급전 핀의 높이( $h$ )

유도성 포스트를 장착한 분배기에 대하여, 급전 핀의 높이( $h$ ) 변화에 따른 반사 손실의 특성을 알아보기 위해서 급전 핀의 높이( $h$ )를 4.5 mm에서 5.4 mm까지 0.1 mm씩 증가시키면서 시뮬레이션 하였다. 유도성 포스트가 없을 때, 급전 핀의 높이( $h$ )는 7 mm일 때 반사 손실의 특성이 가장 좋았지만, 유도성 포스트를 삽입하게 되면 포스트의 영향으로 도파관

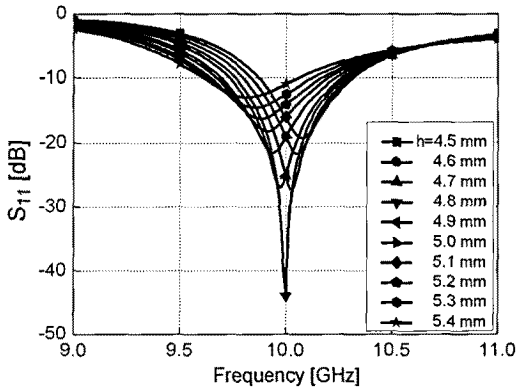


그림 3. 유도성 포스트가 있는 분배기의 급전 핀 높이( $h$ ) 변화에 따른 반사 손실( $S_{11}$ )

Fig. 3. Return loss of the power divider with the inductive post with respect to variation of the feeding pin height.

상·하부 벽면 사이에 커패시터 성분이 줄어들어 임피던스에 변화가 생기게 된다. 이를 고려하여 급전 핀의 높이( $h$ )는 조정되었으며, 이 설계에서 설계 주파수의 계산은 4.5 mm부터 시작하였다. 이때 유도성 포스트의 지름( $d$ )은 0.6 mm이며, 유도성 포스트와 급전 핀 간의 간격( $s$ )은 21.9 mm로 설정하였다. 모의 실험에 의한 계산 결과를 그림 3에 도시하였다.

그림 3은 급전 핀의 높이( $h$ )에 따라 반사 손실이 민감하게 반응함을 보여준다. 높이( $h$ )가 4.7 mm와 4.9 mm일 때도 -25 dB의 낮은 반사 손실을 보여주는 하지만 높이( $h$ )가 4.8 mm일 때 최소값인 -45 dB를 가진다. 이는 급전부를 제작할 때 급전 핀의 높이( $h$ )를 정밀하게 조절해야 할 필요가 있음을 의미한다.

#### 2.4 유도성 포스트의 지름( $d$ )

유도성 포스트의 지름이 변함에 따라 반사 손실이 어떻게 변하는지 관찰하기 위하여 유도성 포스트의 지름( $d$ )을 0.3 mm에서 0.9 mm로 0.1 mm씩 증가시키면서 모의 실험을 수행하였으며, 그 결과를 그림 4에 도시하였다. 이때 급전 핀의 높이( $h$ )는 4.8 mm이며, 유도성 포스트와 급전 핀 사이의 간격은 21.9 mm로 고정하였다. 그 결과 지름이 0.6 mm일 때 반사 손실이 최소가 됨을 확인할 수 있다. 금속봉의 지름이 0.6 mm이면 실제 제작하기에 적합하다고 할

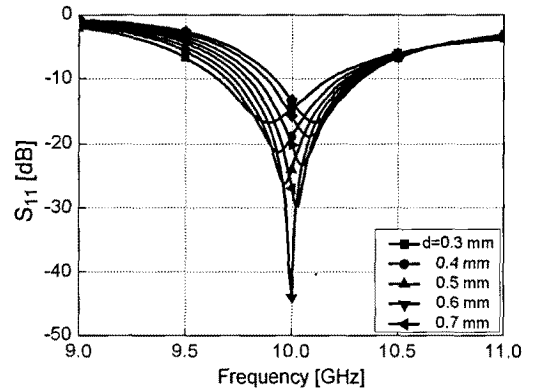


그림 4. 유도성 포스트의 지름( $d$ ) 변화에 따른 계산된 반사 손실( $S_{11}$ )

Fig. 4. Calculated return loss with respect to the diameter variation of the inductive post.

수 있다.

#### 2.5 급전 핀과 유도성 포스트 사이의 거리( $s$ )

급전 핀과 유도성 포스트 사이의 거리( $s$ )의 영향을 관찰하기 위하여  $s$ 를 21.7 mm에서 22.1 mm까지 0.1 mm씩 증가시키면서 시뮬레이션 하였다. 이때 급전 핀의 높이( $h$ )는 4.8 mm이며, 유도성 포스트의 지름( $d$ )은 0.6 mm이다. 그림 5에 나타난 바와 같이 급전 핀과 유도성 포스트 사이의 거리( $s$ )가 멀어짐에 따라 중심 주파수는 감소하며, 거리( $s$ )가 21.9 mm일

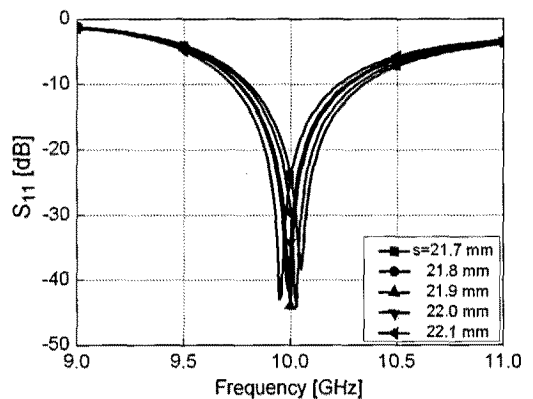


그림 5. 급전 핀과 유도성 포스트의 거리( $s$ ) 변화에 따른 반사 손실( $S_{11}$ )

Fig. 5. Return loss with respect to the distance variation between the feeding pin and inductive post.

때 설계 주파수 10 GHz에서 공진이 일어남을 확인할 수 있다. 따라서 급전 핀과 유도성 포스트 사이의 거리( $s$ )는 중심 주파수를 결정하는 파라미터라고 할 수 있다.

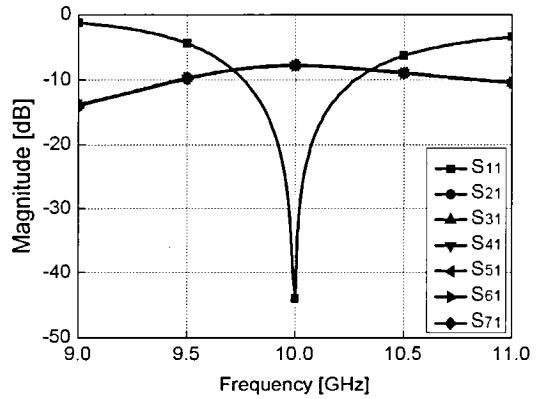
### III. 모의실험 및 측정 결과

#### 3-1 모의실험 결과

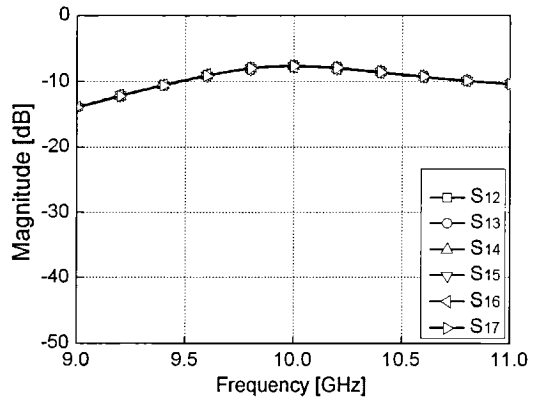
주요 파라미터에 대한 분석을 통하여 최적화된 분배기의 모의실험 결과를 그림 6에 도시하였다. 그림 6의 계산에 사용된 각 파라미터 값은  $h=4.8$  mm,  $d=0.6$  mm,  $s=21.9$  mm이다. 유도성 포스트를 이용한 6-way 전력 분배기의 설계목적은 입력 단자의 반사 손실이 최소화되고, 6개의 출력 단자로 동진폭과 동위상의 파를 분배하는 것이다. 모의실험 결과, 그림 6(a)와 같이 10 GHz에서  $-43.94$  dB의 반사 손실을 가진다. 투과량의 이상적인 값은 6개의 단자로 전력이 분배되므로, 이론적으로  $10\log(1/6)=-7.78$  dB이다. 또한 그림 6(b)로부터 알 수 있는 것처럼, port 1으로 향하는 투과계수의 값은 그림 6(a)의 투과량과 일치하며, 이는 멀티 포트간 isolation이 매우 작다는 것을 의미한다. 이론 계산값인  $-7.78$  dB를 기준으로 하여 모의실험에서 얻은 투과계수 그림 6(a)와 (b)의 계산 결과로부터 알 수 있는 것처럼 6개의 출력 단자로 거의 무손실의 신호가 분배되므로 isolation에 의한 손실은 매우 작다고 사료된다. 모의실험의 투과계수의 크기를 이론값과 비교하여 보면 약  $\pm 0.04$  dB의 매우 작은 오차를 보인다. 또한 그림 6(b)에 나타난 바와 같이 6개의 출력 단자의 투과계수 위상은  $\pm 0.87^\circ$ 의 오차 범위 안에 있어 거의 동위상을 갖는 것을 알 수 있다.

#### 3-2 제작 및 측정 결과

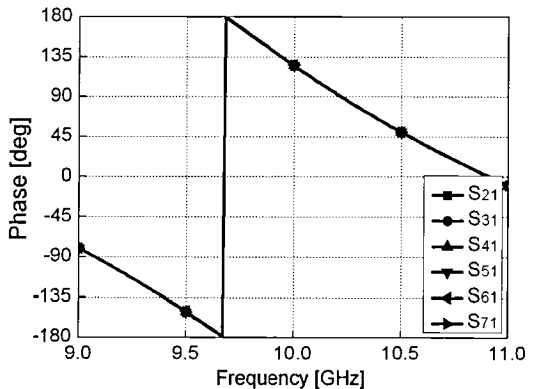
그림 7은 본 논문에서 제안한 분배기를 실제 제작한 모습이다. 표준도파관 WR-90의 내부 크기와 같은 크기의 도파로를 만든 하부 덮개를 상부 덮개를 조립하는 것으로 조립 시에 상·하부 덮개에 뚫어 놓은 구멍에 유도성 포스트를 강제 압입하는 방식으로 제작하였다. 그림 7에 보이는 별 모양의 분배기 로써 분배기의 중앙에 급전용 SMA 커넥터가 연결



(a) Port 1에서의 투과 및 반사 손실  
(a) Transmission and reflection loss at port 1



(b) Port 1으로의 투과 계수 크기  
(b) Magnitude of transmission coefficients toward port 1



(c) 위상  
(c) Phase

그림 6. 최적화된 6-way 전력 분배기의 계산된 S-parameter 크기와 위상  
Fig. 6. Calculated S-parameter magnitude and phase with respect to the optimized 6-way power divider.

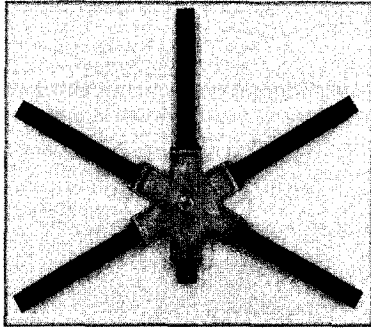


그림 7. 제작된 6-way 전력 분배기  
Fig. 7. Fabricated 6-way power divider.

되어 있다. 투과계수를 측정하기 위하여, 1개의 출력 단자에 waveguide-to-coaxial 어댑터가 장착되어 있고, 5개의 출력 단자에는 도파관 termination이 장착되어 있다.

벡터 네트워크 분석기를 활용하여 측정된 결과를 그림 8에 도시하였다. 설계 주파수 10 GHz에서 약 -40 dB의 낮은 반사 손실을 나타낸다. 투과량은 많은 리플과 함께 10 GHz에서 평균 -8.88 dB로써, 시뮬레이션 결과와 약 1 dB의 큰 차이를 보인다. 이는 불완전한 교정(calibration)으로 인해 생기는 리플이다.

그림 8의 결과는 측정 시 네트워크 분석기의 입력 단자뿐만 아니라 출력 단자에도 SMA 커넥터가 연결된다는 가정 하에 SOLT(Short-Open-Load-Thru)법을 이용하여 교정을 취하였다. 따라서 입력 단자의 기준면은 SMA 커넥터이고, 출력 단자의 기준면은

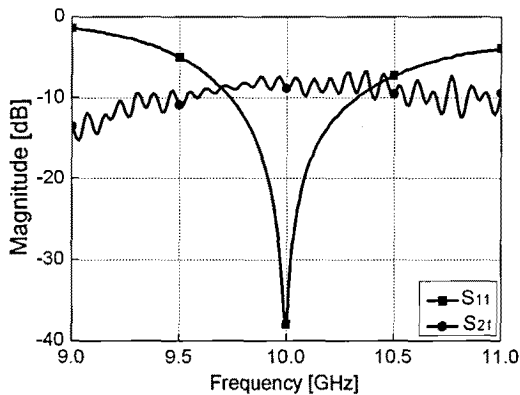
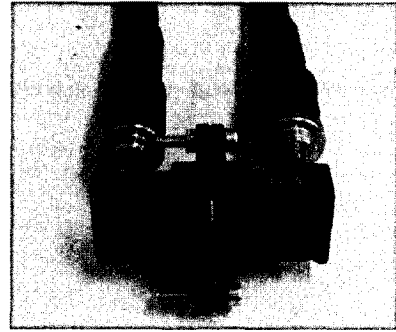
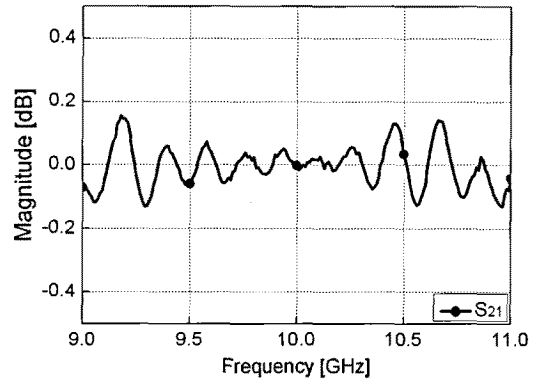


그림 8. 제작된 6-way 전력 분배기의 측정된 S-parameter 크기  
Fig. 8. Measured S-parameter magnitude of the fabricated 6-way power divider.



(a) 구성도  
(a) Configuration



(b) 투과 계수( $S_{21}$ )  
(b) Transmission coefficients( $S_{21}$ )

그림 9. 직접 연결된 두 개의 waveguide-to-coaxial 어댑터에 의해 측정된 투과계수

Fig. 9. Measured transmission coefficients by directly connecting two waveguide-to-coaxial adapters.

waveguide-to-coaxial 어댑터의 SMA 커넥터가 된다. 그러나 본 논문에서 사용한 일반적인 waveguide-to-coaxial 어댑터의 특성은 반사 손실의 특성이 우수하지 않아 투과계수의 리플을 발생한다. 이러한 특성을 정확히 관찰하기 위하여, 그림 9(a)와 같이 두 개의 waveguide-to-coaxial 어댑터를 직접 연결하여 투과계수의 특성을 관찰하였다. 그림 9(b)에 도시한 바와 같이 투과계수는 주파수에 따라 작은 값의 리플을 가짐을 알 수 있다. 본 논문에서 도파관 전력 분배기는 입·출력 단자 기준면의 커넥터 형태가 다른 구조이다. 그림 9(b)에서 리플이 약  $\pm 0.1$  dB 정도로 작게 나온 것은 같은 구형 도파관 adaptor 형태의 커넥터끼리 맞물리는 구조이므로 작은 리플을 가지게 되는 것이고, 그림 8에서 리플이 주파수에 따라

다소 차이가 있지만, 최대 약  $\pm 3$  dB 정도로 크게 나타나는 것은 서로 다른 두 가지 형태의 커넥터를 이용하게 되므로 인한 커넥터 간의 불연속면에 의해 리플이 크게 나타나는 것이다. 본 연구에서는 이 커넥터 불연속면에 의한 리플을 줄여 정확한 측정을 수행하기 위해서 두 커넥터 간의 영향을 고려하여 교정을 수행하였다.

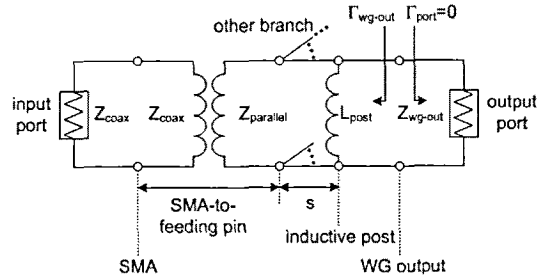
### 3.3 투과계수 리플의 원인 분석

그림 10은 분배기의 모의실험과 측정에 대한 등가 모델과 두 개 어댑터에 대한 측정의 등가 모델이다.

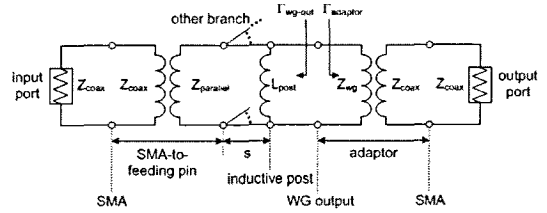
그림 10에서  $Z_{coax}$ 의 값은 50  $\Omega$ 으로써, 벡터 분석기의 입출력 단자와 분배기의 입력 단자 임피던스를 의미한다. 또한  $Z_{parallel}$ 은 분배기의 중앙 부분의 임피던스를 의미하고,  $Z_{wg-out}$ 는 분배기의 출력 단자의 도파관 임피던스를 의미한다. 또한  $L_{post}$ 는 유도성 포스트의 인덕터 성분이다. 대칭적 구조이고 같은 형태를 취하므로 본 논문에서는 한 개 출력 단자에 대해서만 도시하였으며, 다른 출력 단자는 동일하므로 생략하였다.

모의실험을 통하여 획득한 분배기의 도파관 출력 단자의 반사계수( $\Gamma_{wg-out}$ )는 약 -7 dB로써, 상대적으로 큰 값이지만, 그림 10(a)에 도시한 바와 같이 모의 실험의 출력 단자는 반사계수( $\Gamma_{port}$ )값이 0인 완전 매칭의 가상 포트를 사용하기 때문에 다중 반사가 존재하지 않아 그림 6과 같이 리플이 존재하지 않는다.

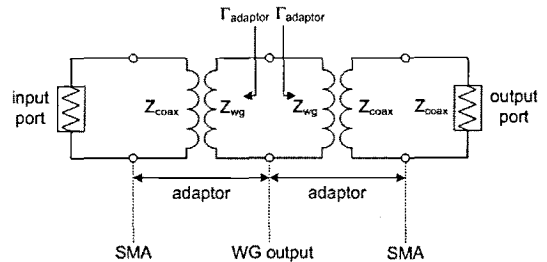
반면에 그림 8의 벡터 분석기 측정 결과는 분배기의 도파관 출력 단자에 waveguide-to-coaxial 어댑터를 연결한 후, 두 개의 SMA 커넥터간 SOLT(Short-Open-Load-Thru)법을 이용하여 교정을 취한 후 획득한 것이다. 한편, 앞 절에서 측정을 통하여 얻은 어댑터의  $\Gamma_{adaptor}$ 는 약 -20 dB이다. 따라서  $\Gamma_{wg-out}$ 와  $\Gamma_{adaptor}$ 의 상대적으로 큰 값으로 인하여 그림 10(b)에서 WG-output으로 표시된 도파관 출력 단자에서 다중 반사가 발생하여 그림 8과 같이 투과계수에서 리플이 존재한다. 이러한 리플은 투과계수의 값에 영향을 주므로, 분배기의 정확한 특성을 파악하기 위해서는 SMA 커넥터부터 도파관 출력 단자 부분까지 측정이 이루어져야 하며, 어댑터 부분은 교정



(a) 분배기의 모의실험  
(a) Simulation of the divider



(b) 분배기의 측정  
(b) Measurement of the divider



(c) 두 개 어댑터의 측정  
(c) Measurement of two adaptors

그림 10. 분배기와 어댑터의 등가 모델

Fig. 10. Equivalent model of the divider and waveguide-to-coaxial adaptor.

을 통하여 제거하여야 한다. 이에 관하여 다음절에서 설명한다.

그림 9와 같이 두 개의 어댑터를 직접 연결한 경우에 대한 등가 모델은 그림 10(c)와 같다. 여기서 도파관 출력 단자 부분에서  $\Gamma_{adaptor}$ 로 인하여 다중반사가 발생하나, 분배기의 측정 등가 모델인 그림 10(b)에 비교하여 반사계수 값이 작음에 따라 리플의 양이 작다.

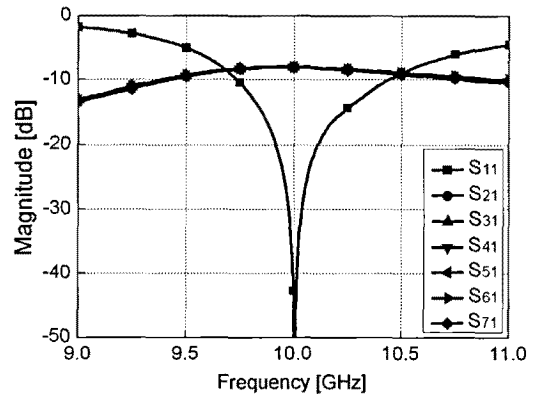
2장에서 파라미터 분석과 함께 설명한 유도성 포스트의 역할을 그림 10(a)와 (b)의 등가 모델에서 분석할 수 있다. 그림과 같이  $L_{post}$  값을 가지는 유도성 포스트가 급전 핀으로부터 거리( $s$ )만큼 떨어져서 존

재한다. 따라서 유도성 포스트는  $Z_{parallel}$ 과  $Z_{wg}$  간 임피던스 변환 역할을 수행하게 된다. 2-4절과 그림 4에서 설명한 바와 같이 유도성 포스트의 지름( $d$ )의 변화에 따라  $L_{post}$  값이 변하고, 이에 따라 반사 손실의 양이 달라진다. 또한 2-5절과 그림 5에서 설명한 바와 같이 급전 핀과 유도성 포스트 사이의 거리( $s$ )에 따라 전기적 거리가 변하고, 이에 따라 반사 손실이 최소가 되는 중심 주파수가 변함을 알 수 있다.

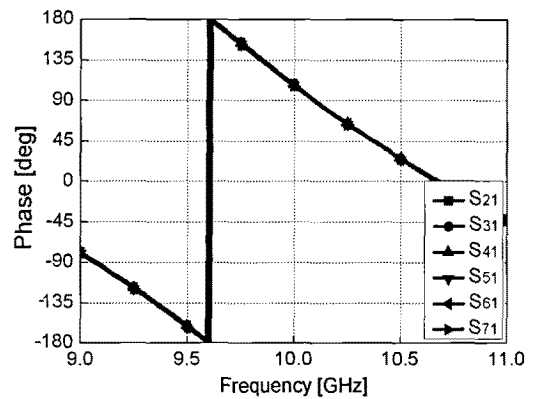
### 3-4 Adaptor Removal 기능을 이용한 교정 및 측정 결과

교정이란 DUT(Device Under Test)의 정확한 특성을 파악하기 위하여 불필요한 불연속면이나 전송 선로의 특성을 획득하여 그 영향을 제거시키는 것이다. 본 논문과 같이 입력 단자와 출력 단자의 커넥터 형태가 다른 경우에는 어댑터 영향 제거를 위한 수동적 방법<sup>[12]</sup>과 계측기 자체적으로 교정을 수행하는 능동적 방법으로 해결할 수 있다. 그렇지 않을 경우, 그림 8과 같은 투과계수의 리플이 생성되어 정확하게 분배량을 측정할 수 없다.

본 논문에서는 Anritsu사의 37397C 벡터 분석기의 능동적으로 어댑터의 영향을 제거하는 adaptor removal 기능을 사용하였다<sup>[13]</sup>. 이 기능을 활용하여 교정을 수행한 후 측정된 분배기의 반사 손실과 투과계수를 그림 11(a)에 도시하였다. 그림 8과 달리 투과계수의 리플은 존재하지 않고 양호하게 교정이 수행되었음을 알 수 있다. 또한 리플을 제거하게 되므로써 임피던스 매칭이 개선되어 반사 손실이 줄어들었다. 이에 따라 -10 dB 대역폭의 범위도 교정 전(그림 8)보다 약 150 MHz 증가된 9.75~10.45 GHz를 보였다. 그림 11(a)로써 알 수 있듯이, 실제 주파수 10 GHz에서 -42.67 dB의 낮은 반사 손실( $S_{11}$ )을 나타낸다. 아울러 6개의 출력 단자의 투과계수의 값은 10 GHz에서 평균 -8.06 dB로써, 이론 값인 -7.78 dB에 비교하여 0.28 dB의 매우 작은 차이를 보인다. 또한 6개의 출력 단자간의 값 차이는  $\pm 0.03$  dB로써 동진폭이 공급됨을 알 수 있다. 더불어 반사 손실이 매우 작고 대부분의 신호가 투과하므로 단자간 isolation은 거의 없음을 예측할 수 있다. 투과계수의 위상값도 그림 11(b)에 도시한 바와 같이 출력 단자에



(a) 크기  
(a) Magnitude



(b) 위상  
(b) Phase

그림 11. Adaptor removal 기능을 활용하여 교정한 후의 6-way 전력 분배기의 S-parameter 크기와 위상

Fig. 11. Measured S-parameter magnitude and phase of the 6-way power divider after calibration utilizing the adaptor removal function.

따라  $\pm 1.5^\circ$ 의 작은 차이를 보이며, 입력 단자로부터 6개의 출력 단자로 동일한 위상의 파가 공급됨을 알 수 있다. 또한 그림 11의 측정 결과를 그림 6의 계산 결과와 비교하여 보면 서로 잘 일치함을 알 수 있다.

## IV. 결론

본 논문에서는 6-way 전력 분배기의 반사 손실을 감소시키기 위한 방법으로써, 유도성 포스트를 이용한 방법을 제안하였다. 유도성 포스트가 없는 분배

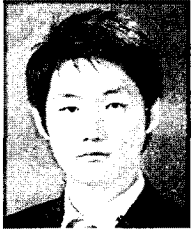


기는 반사 손실이 높은 반면, 유도성 포스트를 장착하고 급전 핀의 높이와 유도성 포스트의 지름을 조절하면 반사 손실이 최소화됨을 확인하였다. 또한 급전 핀과 유도성 포스트 사이의 거리에 따라 중심 주파수가 변하는 것을 확인할 수 있었다. 최적 설계 시뮬레이션 결과, 반사 손실은 중심 주파수 10 GHz에서  $-43.94$  dB이며, 6개의 출력 단자의 투과계수는 이론치와 비교하여  $\pm 0.04$  dB와  $\pm 0.87^\circ$ 의 오차를 가진다. 측정에 활용한 어댑터의 영향을 제거하는 교정 작업을 수행한 후, 실제 제작한 분배기를 측정 한 결과  $-42.67$  dB의 낮은 반사 손실과 6개 출력 단자의 투과계수는  $\pm 0.03$  dB와  $\pm 1.5^\circ$ 의 매우 작은 차이를 보였다. 따라서 본 논문에서 제안한 전력 분배기는 입력 단자로부터 6개의 출력 단자로 동일한 크기와 위상의 파를 공급하면서 반사 손실은 매우 낮음을 확인하였다. 본 논문에서 제안한 구조는 방사 소자가 원형으로 배치되는 배열 안테나에 적용이 가능하다. 또한 출력 단자의 개수가 8개 또는 그 이상으로 손쉽게 확장이 가능하므로, 다양한 형태의 각종 배열 안테나에 활용될 수 있을 것으로 판단한다.

### 참 고 문 헌

- [1] J. D. Kraus, R. J. Marhefka, *Antennas for All Applications*, 3rd Ed., Boston, McGraw-Hill, 2002.
- [2] G. E. Evans, *Antenna Measurement Techniques*, Boston, Artech House, 1990.
- [3] I. L. Vilenko, A. A. Meduhin, Yu A. Suserov, A. K. Tobolev, and A. V. Shishlov, "Reconstruction of antenna radiation pattern by using data of measurements in a Fresnel region with test facility intended for far-field measurements", *Antennas(Russian Journal)*, pp. 46-52, Jan. 2005.
- [4] S. -S. Oh, J. -M. Kim, and J. -H. Yun, "Antenna measurement on cylindrical surface in Fresnel region using direct far-field measurement system", *ETRI Journal*, vol. 29, no. 2, pp. 135-142, Apr. 2007.
- [5] S. -S. Oh, J. -M. Kim, J. -H. Yun, and S. -Y. Kang, "Antenna measurement method in Fresnel region by  $\phi$ -variation scanning", *IEEE Antennas Propag. Lett.*, vol. 7, pp. 206-209, 2008.
- [6] J. P. Mckay, Y. Rahmat-Samii, "Fresnel-field range design: Array element pattern considerations", in *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium Digest*, vol. 1, pp. 20-24, Jun. 1994.
- [7] K. J. Russell, "Microwave power combining techniques", *IEEE Trans. Microwave Theory and Tech.*, vol. 27, no. 5, May 1979.
- [8] J. Hirokawa, M. Ando, and N. Goto, "A waveguide  $\pi$ -junction with an inductive post", *IEICE Trans. Electronics*, vol. E75-C, no. 3, pp. 348-351, Mar. 1992.
- [9] 민경식, 김광욱, 김동철, 임학규, "유도성 벽을 이용한  $\pi$  분기형 일층 구조 급전도파관 어레이의 설계", *한국전자과학회논문지*, 12(2), pp. 257-267, 2001년 2월.
- [10] K. Song, Y. Fan, and Z. He, "Broadband radial waveguide spatial combiner", *IEEE Microw. Wireless Compon. Lett.*, vol. 18, no. 2, pp. 73-75, Feb. 2008.
- [11] J. M. Denoual, A. Peden, B. Della, and J.-Ph. Fraysse, "16-way radial divider/combiner for solid state power amplifiers in the K band", in *Proceedings of the 38th European Microwave Conference*, pp. 345-348, Oct. 2008.
- [12] C. Li, Z. Shen, and C. L. Law, "A two-step calibration technique for measuring  $S$ -parameters of transitional structures", *Microw. Opt. Tech. Lett.*, vol. 37, no. 2, pp. 132-135, Apr. 2003.
- [13] Series 37XXXD Vector Network Analyzer Operation Manual, Anristu, 2007.

김 동 현



2009년 2월: 동서대학교 전자공학과 (공학사)  
2009년 3월~현재: 한국해양대학교 전파공학과 석사과정  
[주 관심분야] 도파관 슬롯 배열 안테나, MDM(Magneto-Dielectric Material), RFID, 소형 안테나 설계 등

민 경 식



1989년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학사)  
1991년 2월: 한국해양대학교 전자통신공학과 (공학석사)  
1996년 2월: 일본동경공업대학교 전기전자공학과 (공학박사)  
1997년 3월~현재: 한국해양대학교

전파공학과 교수

[주 관심분야] FDTD 해석법 및 프로그램 개발, RFID, MDM (Magneto-Dielectric Material), MIMO 안테나, 위성 통신 및 이동 통신용 안테나 설계 등

오 순 수



1998년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학사)  
2000년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
2003년 8월: 고려대학교 전파공학과 (공학박사)  
2003년 9월~2005년 4월: University of Manitoba, Post-Doc. Fellow

2005년 5월~현재: 한국전자통신연구원(ETRI) 전파기술연구부 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 설계, 해석 및 측정

강 석 업



1997년 2월: 인천대학교 전자공학과 (공학사)  
1999년 2월: 인하대학교 전자공학과 (공학석사)  
2005년 8월: 인하대학교 전자공학과 (공학박사)  
2001년 7월~2006년 8월: (주)아이

엔텍 대표이사

2006년 8월~현재: 한국해양대학교 연구교수

[주 관심분야] 마이크로웨이브 시스템, 항공 시스템, 무선 통신 시스템, 수중 통신, 소나 신호 처리