

# RADANT 렌즈를 위한 평행판 도파관 내에서의 4-비트 다이오드 위상변위기 구현

## An Implementation of a 4-Bit Diode Phase Shifter in the Parallel Plate Waveguide for the RADANT Lens

이 기 오 · 박 동 철\*

Kee-Oh Lee · Dong-Chul Park\*

### 요 약

본 논문에서는 평행판 도파관 내에서 동작하는 X-대역 4-비트( $22.5^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  BIT) 다이오드 위상변위기의 설계 개념 및 구현 방법에 관하여 기술한다. 이를 위하여  $11.25^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ$  유전체 위상 변위 레이어에 대한 CST사의 MWS(MicroWave Studio)와 Agilent사의 ADS(Advanced Design System) 시뮬레이션 결과를 제시하고, 측정 결과와 비교한다. 시뮬레이션 결과는 각각  $0.6^\circ, 0.7^\circ, 3.5^\circ$ 의 위상 오차가 발생하며, 측정 결과는  $0.6^\circ, 2^\circ, 5.5^\circ$ 의 위상 오차가 발생함을 알 수 있다. 또한, 이들을 바탕으로  $22.5^\circ$  BIT와  $45^\circ$  BIT 위상변위기에 대한 시뮬레이션 결과를 비교, 제시함으로써 4-비트 위상변위기의 설계 개념 및 구현 방법의 타당성을 입증한다.

### Abstract

In this paper, the design concept and implementation method of the X-band 4-bit( $22.5^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  BIT) diode phase shifter in the parallel plate waveguide are introduced. The simulated results of  $11.25^\circ, 22.5^\circ$  and  $45^\circ$  dielectric phase shift layers using CST's MWS and Agilent's ADS are presented, and the measured results are compared with the simulated ones. The simulated phase shift errors at the center frequency are  $0.6^\circ, 0.7^\circ$ , and  $3.5^\circ$ , respectively and the measured phase shift errors at the center frequency are  $0.6^\circ, 2^\circ$ , and  $5.5^\circ$ , respectively. Also, the MWS simulated results of  $22.5^\circ$  BIT and  $45^\circ$  BIT phase shifter are presented and compared with the ADS simulated ones to verify the validity of the presented design concept and implementation method.

Key words : Radant Lens, Diode Phase Shifter, Parallel Plate Waveguide

### I. 서 론

RADANT(RADar ANTenna) 렌즈는 복사 소자 앞에 위치하는 일종의 위상변위기로서, 2개의 RADANT 렌즈와 그 사이에 편파 변환기를 사용하는 형태와 기존의 1차원 위상 배열 안테나에 RADANT 렌즈를 결합하는 형태로 구현되어 2차원 범 조향을 가능케 한다. 프랑스의 라팔 전투기에 장착된 RBE2 위상 배

열 레이다가 2개의 RADANT 렌즈와 편파 변환기를 이용하여 구현되었으며<sup>[1]</sup>, 미국의 AN/TPQ-36 대포 병 레이다 개량형은 기존의 1차원 슬롯 도파관 위상 배열 안테나 전면에 RADANT 렌즈가 하이브리드 형태로 결합되었다<sup>[2]</sup>.

그림 1은 E-평면 범 조향 RADANT 렌즈를 구현하기 위한 구조를 도시한 것이며, 각각의 평행판 도파관 내에는 주기적인 금속 패턴과 다이오드를 포함

국방과학연구소(Agency for Defense Development)

\*충남대학교 전파공학과(Department of Radio Science & Engineering, Chungnam National University)

· 논문 번호 : 20090805-079

· 수정완료일자 : 2009년 8월 31일

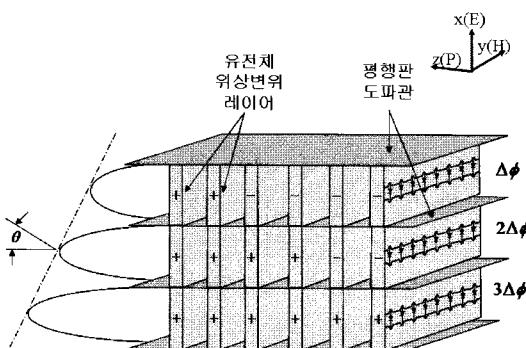


그림 1. E-평면 범 조향 RADANT 렌즈

Fig. 1. E-plane beam steering RADANT lens.

하는 유전체 위상 변위 레이어들이 전파의 진행 방향(z 방향)에 수직으로 배열되어 있다. 배열된 위상 변위 레이어들은 다이오드의 순방향(on) 또는 역방향(off) 바이어스 상태에 따라 "+, -" 부호를 갖는다. 동일한 금속 패턴 구조에서 다이오드의 on, off에 의한 유전체 위상 변위 레이어의 특성 변화가 서셉턴스의 차이를 유발시키고, 이는 진행하는 전자파의 위상 변위에 비례하게 된다. 이때, RADANT 렌즈에 의한 범 조향각( $\theta$ )은 식 (1)에 의하여 구할 수 있으며, 여기서,  $d$ 는 평행판 도파관의 높이로써 배열 안테나 구조에서 grating lobe를 최소화하기 위하여  $\lambda/2$  근처에서 결정되며,  $\Delta\phi$ 는 각각의 평행판 도파관 내에서의 위상 변위로  $0 \sim 360^\circ$ 의 위상 범위를 가지며,  $\lambda$ 는 운용 주파수의 파장을 나타낸다.

$$\theta = \sin^{-1} \left( \frac{\Delta\phi \cdot \lambda}{2\pi d} \right) \quad (1)$$

본 논문에서는 평행판 도파관 내에서 동작하는 4-비트( $22.5^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  BIT) 다이오드 위상 변위기의 설계 개념 및 구현 방법을 제시한다. 그리고, 이를 구현하기 위한  $11.25^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ$  유전체 위상 변위 레이어에 대한 CST사의 MWS와 Agilent사의 ADS 시뮬레이션 결과를 제시하고, 측정 결과와 비교한다. 또한, 이들을 바탕으로  $22.5^\circ$  BIT와  $45^\circ$  BIT 위상변위기에 대한 시뮬레이션 결과를 비교, 제시함으로써 4-비트 위상변위기의 설계 개념 및 구현 방법의 타당성을 입증하고자 한다.

## II. 4-비트 위상변위기 설계

### 2-1 위상변위기 설계

4-비트 위상변위기는 그림 2(a)와 같이  $22.5^\circ, 45^\circ, 90^\circ, 180^\circ$  BIT로 구성되며, 각각의 BIT는 요구되는 위상 변위를 위하여 여러 개의 위상 변위 레이어로 구성된다. 평행판 도파관내 진행하는 전자파의 위상 변위는 위상 변위 레이어의 서셉턴스 값에 비례한다. 이러한 위상변위기가  $90^\circ$  및  $180^\circ$ 의 큰 위상을 얻기 위해서는 큰 서셉턴스가 요구되고 이는 VSWR을 증가시키고, 대역폭을 감소시키는 경향이 있다. 그러므로, 평행판 도파관 위상변위기의  $90^\circ$  및  $180^\circ$  BIT는  $45^\circ$  이하의 위상 변위 레이어들의 결합에 의하여 구현되며, 각 BIT는 여러 개의 위상 변위 레이어를 포함하고 매칭을 위하여 부하 선형 위상변위기(loaded line phase shifter) 개념이 도입되었다<sup>[3], [4]</sup>.

또한, 그림 2(a)의 위상 변위 레이어는 다이오드의 on, off에 의하여 다른 서셉턴스를 가지며, 서로 다른 서셉턴스에 대하여 매칭을 필요로 한다. 그림 2(b)~(c)는 각각의 위상 BIT에서 유전체 위상 변위 레이어가 다이오드의 on, off에 의하여 다른 서셉턴스를 갖는 위상변위기로써 동작하는 원리를 나타낸 것이다.

$B_{1,2,3O}$ 는 다이오드가 on 상태일 때  $11.25^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ$  각각의 유전체 위상 변위 레이어의 서셉턴스이며,  $B_{1,2,3F}$ 는 다이오드가 off 상태일 때  $11.25^\circ, 22.5^\circ, 45^\circ$  각각의 유전체 위상 변위 레이어의 서셉턴스를 나타낸다.

다이오드가 on 상태인 서셉턴스  $B_{1,2,3O}$ 에서는 매칭을 위하여 유전체 위상 변위 레이어 자체적으로 식 (2)와 같이 공진이 발생되도록 다이오드를 포함하는 금속 패턴을 설계하여야 하며, 다이오드가 off 상태인 서셉턴스  $B_{1,2,3F}$ 에서는 유전체 위상 변위 레이어 사이의 간격을 식 (3)을 이용하여 조절함으로써 매칭을 구현한다.

$$f_r = \frac{1}{2\pi\sqrt{L_1 C_1}} \quad (2)$$

$$l = \frac{\lambda}{2\pi} \tan^{-1} \left( \frac{2}{B_F} \right) \quad (3)$$

또한, 각 BIT간의 매칭을 위하여 인접한 BIT에 동일한 위상 변위 레이어를 배치한다<sup>[5]</sup>. 결국 위상 변위는 식 (4)와 같이 다이오드의 순방향 또는 역방향 바이어스 상태일 때의 위상 변위 레이어의 서셉턴스 값( $B_O, B_F$ )의 차에 비례하게 된다.

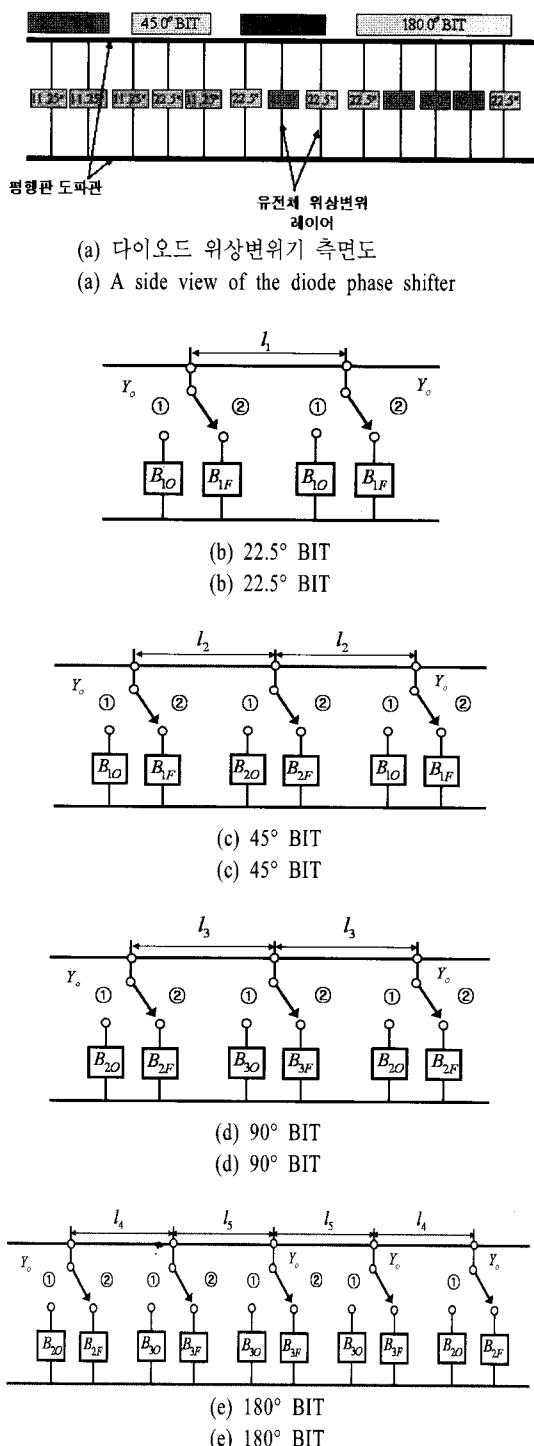


그림 2. 다이오드 위상변위기 모델

Fig. 2. A model of the diode phase shifter.

$$\Delta\phi \approx \tan^{-1} \left( \frac{2|B_O - B_F|}{2Y_o} \right) \quad (4)$$

## 2-2 유전체 위상 변위 레이어 설계

그림 3은 다이오드 위상변위기를 구현하기 위하여 유전체 위상 변위 레이어상에 다이오드를 포함하여 설계된 금속 패턴 모양이다. 전자파의 진행 방향은 z 방향이고, 전계는 x 방향이며, y 축을 기준으로 마주 보는 동일한 금속 패턴은 다이오드에 on, off 전압을 인가하기 위하여 평행판 도파관으로부터 이격된다. 다이오드의 순방향 바이어스 상태에서 자체 공진을 위하여 다이오드를 포함하는 x 축 방향과 평행한 금속 패턴을 구현함으로써 인덕턴스 값을 제공한다. y 축 방향과 평행한 금속 패턴에서는 커패시턴스 값을 제공하기 위하여 주름진 형태로 설계하였다. 그러므로, 다이오드의 역방향 바이어스 상태에서 다이오드의 순방향 바이어스 상태와의 서셉션 차이는 다이오드의 역방향 바이어스에 의한 커패시턴스 값의 증가와 금속 패턴의 단락으로 인한 인덕턴스 값의 감소에 기인하게 된다. 결국 위상 변위량은 유전체 위상 변위 레이어에서의 금속 패턴의 너비 및 모양과 다이오드의 전기적 특성에 의존한다.

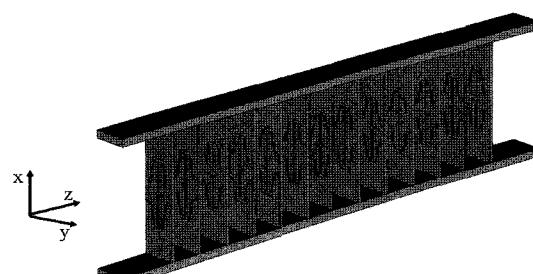
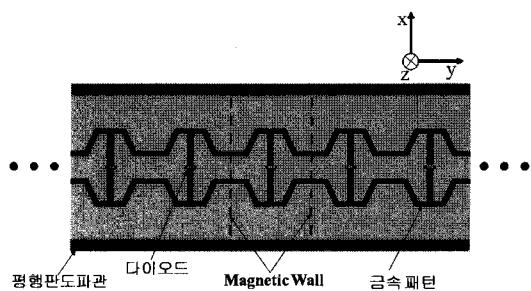


그림 3. 설계된 다이오드 위상변위기

Fig. 3. A designed diode phase shifter.

그림 3(a)와 같은 주기적 형태의 무한 구조는 점선과 같이 magnetic wall을 이용해 단위 셀로 해석할 수 있다<sup>[6]</sup>. 그림 3(b)는 설계된 4-비트 위상변위기를 단위 셀로 해석하기 위한 구조이다. 이러한 설계 결과를 CST사의 MWS(Microwave Studio)를 이용하여 필드 시뮬레이션을 수행하는 것은 많은 시간을 요구하게 된다. 따라서 등가회로를 추출하는 것이 설계에 큰 도움을 주게 된다.

### 2-3 등가회로 모델링

4-비트 위상변위기에 대한 효과적인 시뮬레이션을 수행하기 위하여 위상 변위 레이어에 대한 등가회로 모델을 추출하였으며, 이들을 통하여 위상변위기에 대한 빠른 시뮬레이션이 가능하다. 다음으로는 등가 회로 모델 추출과 추출된 등가 회로 모델로부터 구성된 22.5°, 45° BIT 위상변위기에 대한 시뮬레이션 결과를 비교함으로써 추출된 등가 회로의 타당성을 입증하고자 한다.

그림 4는 M/A-COM사에서 제공하는 MA4F CP-300 PIN 다이오드의 모델로써,  $L_d$ 는 다이오드의 인덕턴스로써 0.6 nH이고,  $R_d$ 는 접합(junction) 저항 등을 포함하는 다이오드 저항으로 2.6 Ω이다.  $C_d$ 는 접합 커패시턴스 및 기생 커패시턴스 등을 포함하여 25 fF이다<sup>[7]</sup>. 다이오드 모델은 유전체 위상 변위 레이어의 금속 패턴 모델과 함께 사용될 것이다.

그림 5는 다이오드가 포함된 유전체 위상 변위 레이어의 X-대역에서의 모델을 나타낸다. 다이오드가 on 상태의 경우, 그림 5(a)와 같이 다이오드는  $L_d$ 와  $R_d$ 의 직렬 연결로 모델링되며 x 방향의 전계와 평행한 금속 패턴은  $L_1$ 으로 등가화 될 수 있다. 평행판 도파관과 근접한 금속 패턴은 평행판 도파관과의 전계에 의해  $C_1$ 으로 등가화 되고,  $L_1$  및 다이오드와 직렬로 연결되며, 이들은 직렬 공진을 일으켜 저

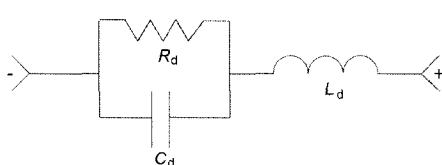
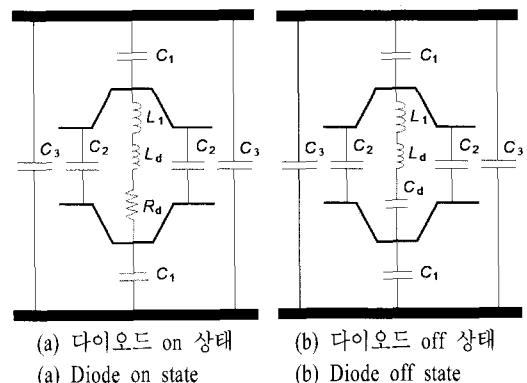


그림 4. 다이오드 모델

Fig. 4. A diode model.



(a) 다이오드 on 상태

(a) Diode on state

(b) 다이오드 off 상태

(b) Diode off state

그림 5. 유전체 위상 변위 레이어 등가회로 모델

Fig. 5. An equivalent circuit model of the dielectric phase shift layer.

주파에서 저지 대역 특성을 나타낸다. 평행한 두 개의 금속 패턴은 그 간격에서 생기는 전계에 의해  $C_2$ 로 등가화 되고,  $L_1$  및 다이오드와 병렬 공진을 일으키며 운용 주파수 대역 근처에서 통과 대역 특성을 나타낸다<sup>[6],[8],[9]</sup>.

다이오드가 off 상태의 경우, 그림 5(b)와 같이 다이오드는  $L_d$ 와  $C_d$ 의 직렬 연결로 모델링 되며, 다이오드에 의해 단락되고 x 방향의 전계와 평행한 금속 패턴은  $L_2$ 로 등가화 될 수 있다.  $C_1$  및 역바이어스된 다이오드와 직렬로 연결되며, 이들은 직렬 공진을 일으키고 운용 주파수의 상향 주파수 대역에서 저지 대역 특성을 나타낸다. 또한, 커패시턴스  $C_2$ 는 인덕턴스  $L_2$  및 다이오드와 병렬 공진을 일으키며, 운용 주파수의 상향 주파수 대역에서 통과 대역 특성을 나타낸다<sup>[6],[8],[9]</sup>.  $C_3$ 는 평행판 도파관에 의하여 발생되는 커패시턴스를 나타낸다.

### III. 시뮬레이션 결과

그림 3에서 설계된 다이오드 위상변위기는 CST사의 MWS를 이용하여 시뮬레이션을 수행하며, 그림 5의 등가회로는 Agilent사의 ADS(Advanced Design System)을 통하여 시뮬레이션을 수행하고, 두 시뮬레이션 결과를 비교한다. 그림 6은 11.25°, 22.5°, 45° 위상 변위 레이어에 대한 X-대역에서의 위상 변위 시뮬레이션 결과이며, 두 시뮬레이션 결과가 표 1에서와 같이 0.5°~2.6°의 위상 오차 내에서 매우 잘 일치함을 알 수 있다.

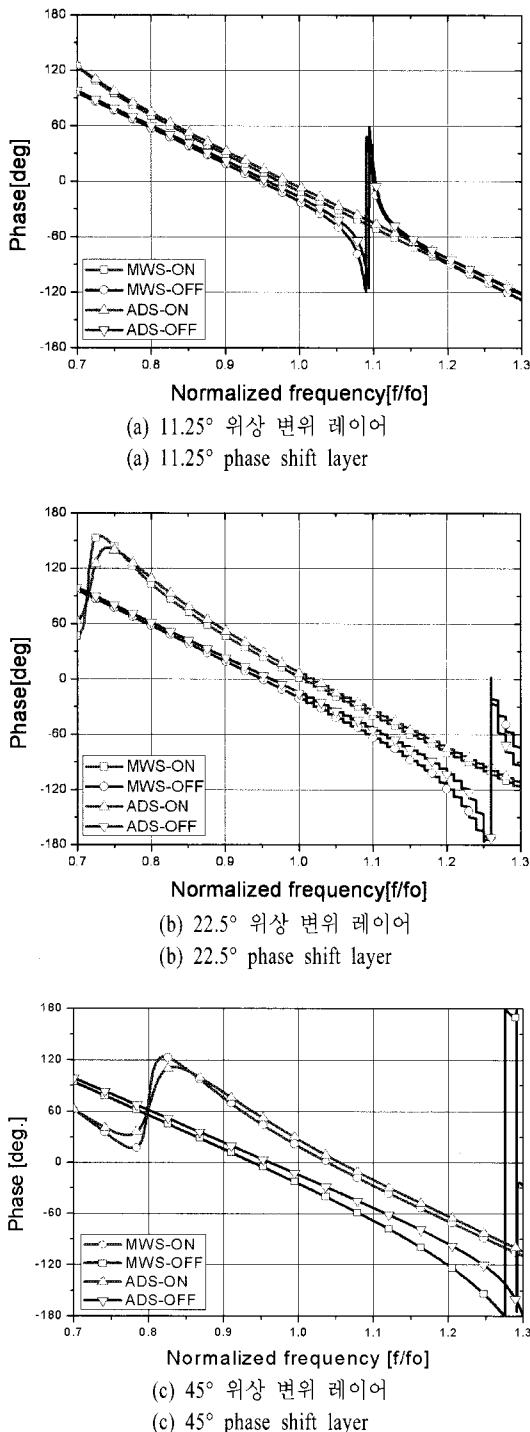


그림 6. 위상 변위 레이어

Fig. 6. Phase shift layer.

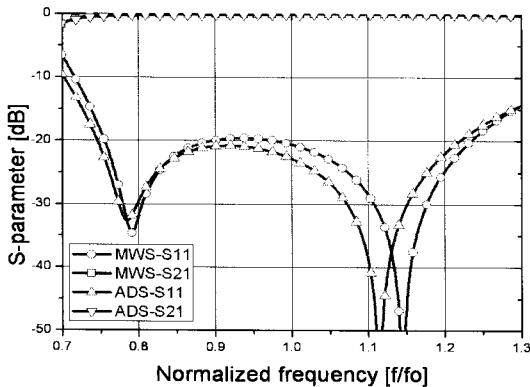
그림 7은 그림 2(b)와 같이  $11.25^\circ$  위상 변위 레이어 2개로 구성된  $22.5^\circ$  BIT 위상변위기에 대한 X-대

표 1. 시뮬레이션된 중심 주파수에서의 위상 변위  
Table 1. Simulated phase shift at the center frequency.

분류	ADS [deg.]	MWS [deg.]
11.25° 위상 변위 레이어	10.7	11.2
22.5° 위상 변위 레이어	21.8	22.5
45° 위상 변위 레이어	41.5	44.1

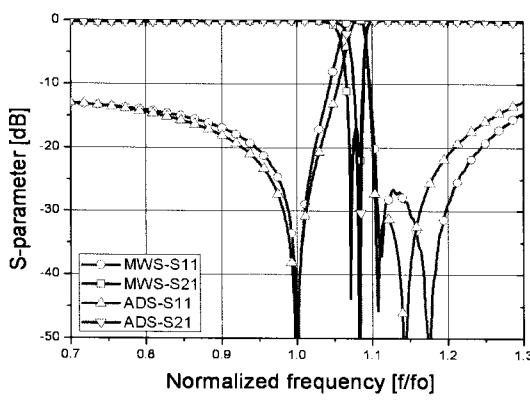
역에서의 MWS와 ADS 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 그림 7(a)에서 2개의 공진이 발생하는데, 저주파에서의 공진은  $11.25^\circ$  위상 변위 레이어 자체 공진에 의한 것이며, 고주파에서의 공진은 2개의  $11.25^\circ$  유전체 레이어 사이의 간격이  $\lambda/4$ 가 되는 주파수에서 발생한 것이다. 2개의 공진으로 인하여 중심 주파수에서  $-20$  dB 이상의 반사 손실을 얻을 수 있었다. 고주파에서의 공진이 MWS와 ADS의 시뮬레이션 결과가 상이한 것은 ADS의 회로 시뮬레이션은 중심 주파수에서 추출된 고정된 서셉턴스가  $11.25^\circ$  유전체 레이어 사이의 간격이  $\lambda/4$ 가 되는 주파수에서도 사용되기 때문이다. 그림 7(b)는 다이오드 off 상태의 반사 손실을 나타낸 것으로 2개의  $11.25^\circ$  유전체 위상 변위 레이어가 이들 사이의 간격에 의하여 중심 주파수에서 매칭이 이루어지므로  $-40$  dB 이상의 반사 손실을 보인다. 이때의 위상 변위를 그림 7(c)에 나타내었다.

그림 8은 그림 2(c)와 같이  $11.25^\circ$  위상 변위 레이어 2개와 그 중간에  $22.5^\circ$  위상 변위 레이어 1개로 구성된  $45^\circ$  BIT 위상변위기에 대한 X-대역에서의 MWS와 ADS 시뮬레이션 결과를 비교한 것이다. 그림 8(a)는  $22.5^\circ$  위상 변위 레이어의 공진점을 중심으로 공진 대역을 형성하여  $-20$  dB 이상의 반사 손실을 얻을 수 있었다. 그림 8(b)는 다이오드 off 상태의 반사 손실을 나타낸 것으로 2개의  $11.25^\circ$  유전체 위상 변위 레이어와 1개의  $22.5^\circ$  위상 변위 레이어가 이들 사이의 간격에 의하여 중심 주파수에서 매칭이 이루어지므로  $-40$  dB 이상의 반사 손실을 보인다. 이때의 위상 변위를 그림 8(c)에 나타내었다. 두 시뮬레이션 결과를 토대로 추출된 등가회로 모델은 위상변위기의 설계 결과를 잘 반영하고 있음을 알 수 있다.



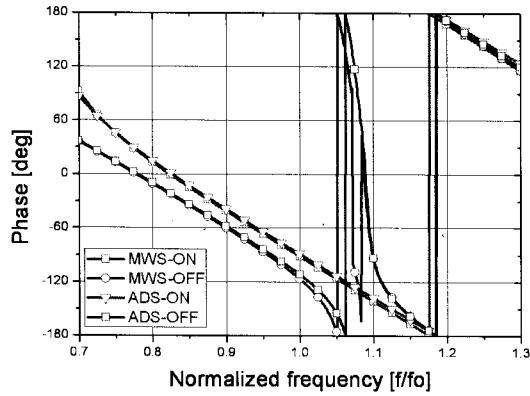
(a) 다이오드 on 상태

(a) Diode on state



(b) 다이오드 off 상태

(b) Diode off state



(c) 위상 변위

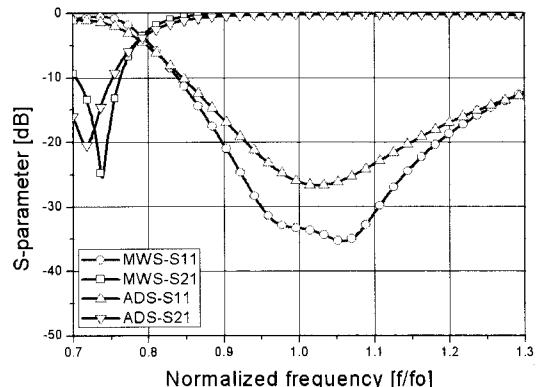
(c) Phase shift

그림 7. 22.5° 위상변위기 시뮬레이션

Fig. 7. 22.5° phase shifter simulation.

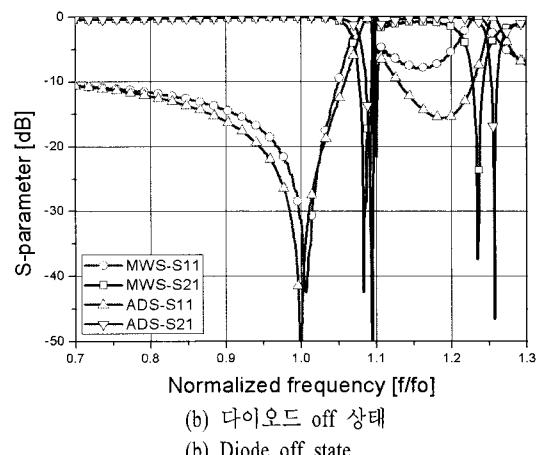
## IV. 제작 및 측정

그림 9는 제작된 유전체 위상 변위 레이어와 측정



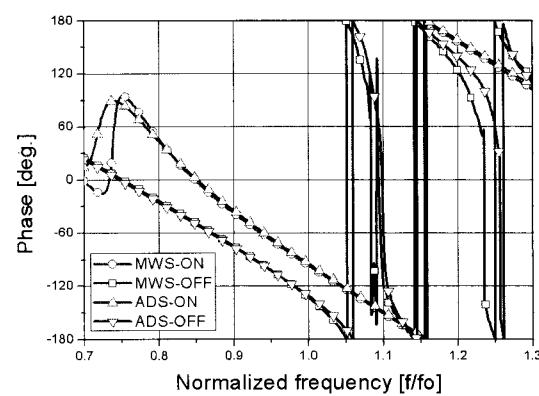
(a) 다이오드 on 상태

(a) Diode on state



(b) 다이오드 off 상태

(b) Diode off state



(c) 위상 변위

(c) Phase shift

그림 8. 45° 위상변위기 시뮬레이션

Fig. 8. 45° phase shifter simulation.

셋업을 나타낸 것이다. 그림 9(a)는 제작된 11.25°, 22.5°, 45° 유전체 위상 변위 레이어의 사진이며, magnetic wall을 대신해 다이오드를 포함하여 20번의 주기를

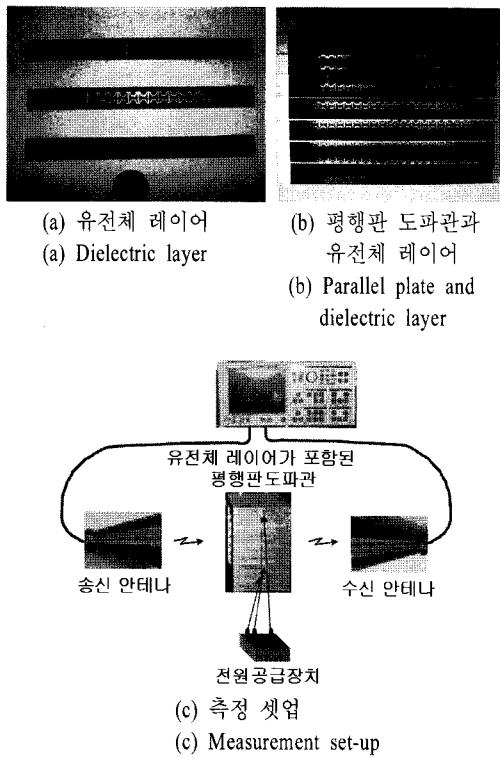


그림 9. 제작된 유전체 위상 변위 레이어와 측정 셋업  
Fig. 9. Fabricated dielectric phase shift layer and measurement set-up.

표 2. 측정 및 시뮬레이션된 중심 주파수에서의 위상 변위  
Table 2. Measured and simulated phase shift at the center frequency.

분류	ADS [deg.]	MWS [deg.]	측정 [deg.]
11.25° layer	10.7	11.2	10.7
22.5° layer	21.8	22.5	20.5
45° layer	41.5	44.1	39.5

갖는 금속 패턴으로 제작되었으며, 평행판 도파관의 축면은 금속판으로 연결하였다. 제작된 11.25°, 22.5°, 45° 유전체 레이어는 각각 7개의 배열로 구성된 평행판 도파관 내에 그림 9(b)와 같이 구현되었다. 그림 9(c)는 위상 변위를 측정하기 위한 측정 셋업으로써, 중앙에 위상 변위 레이어가 장착된 평행판 도파관과 좌·우에 송·수신 안테나, 그리고, 다이오드의 on/off 상태 제어를 위한 전원 공급 장치로 이루어진다.

그림 10은 11.25°, 22.5°, 45° 유전체 위상 변위 레

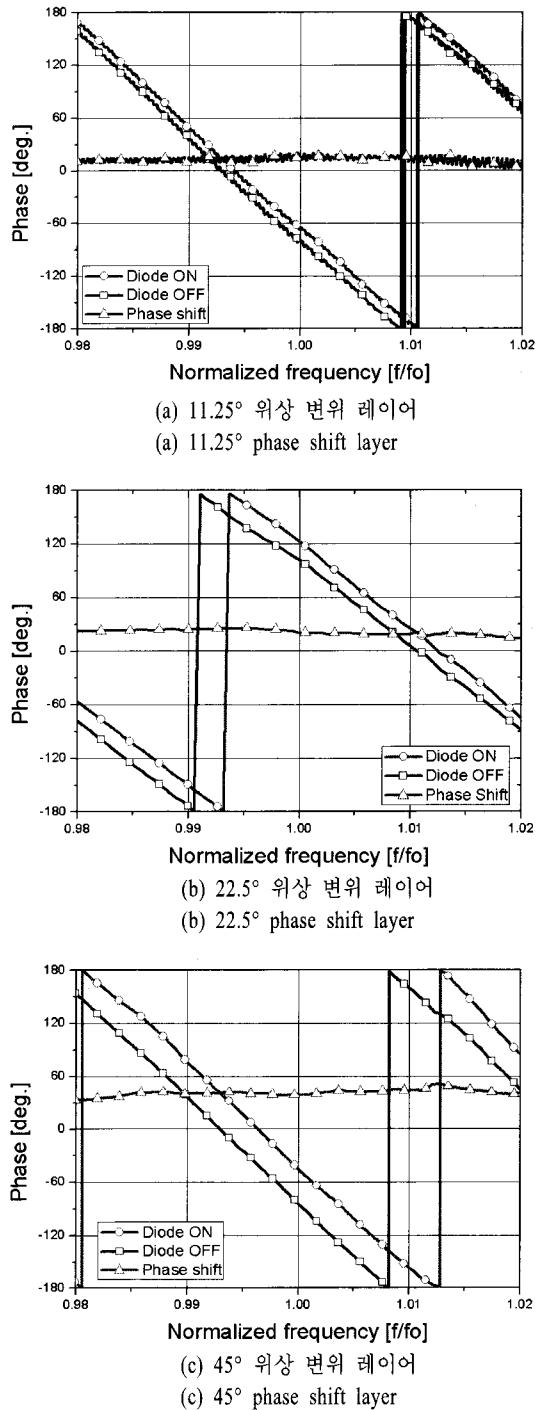


그림 10. 유전체 위상 변위 레이어 측정 결과  
Fig. 10. Measured results of the dielectric phase shift layer.

이어에 대한 X-대역에서의 측정 결과와 위상 변위를 나타낸 것이고, 표 2는 중심 주파수에서의 위상 변

위를 나타낸 것이다. 측정 결과, 중심 주파수에서 요구되는 위상을 얻을 수 있었으며, 각각  $0.6^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $5.5^\circ$ 의 위상 오차가 발생함을 알 수 있었다.

## V. 결 론

본 논문에서는 평행판 도파관 내에서 동작하는 4-비트( $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$ ,  $90^\circ$ ,  $180^\circ$  BIT) 다이오드 위상변위기의 설계 개념 및 구현 방법을 제시하였다. 그리고, 이를 구현하기 위한  $11.25^\circ$ ,  $22.5^\circ$ ,  $45^\circ$  유전체 위상변위 레이어에 대한 CST사의 MWS와 Agilent사의 ADS 시뮬레이션 결과를 제시하고, 측정 결과와 비교하였다. 시뮬레이션 결과는 각각  $0.6^\circ$ ,  $0.7^\circ$ ,  $3.5^\circ$ 의 위상 오차가 발생하였으며, 측정 결과는  $0.6^\circ$ ,  $2^\circ$ ,  $5.5^\circ$ 의 위상 오차가 발생함을 알 수 있었다. 또한, 이들을 바탕으로  $22.5^\circ$  BIT와  $45^\circ$  BIT 위상변위기에 대한 시뮬레이션 결과를 비교하였으며, 매우 잘 일치함을 알 수 있었다. 본 결과는 4-비트 위상변위기의 설계 개념 및 구현 방법의 타당성을 입증할 뿐만 아니라 향후,  $90^\circ$  BIT와  $180^\circ$  BIT에 대한 시뮬레이션 및 제작 등에 활용될 것으로 기대된다.

## 참 고 문 헌

- [1] J. Colin, "Phased array radars in France: Present and future", *IEEE International Symposium on Phased Array Systems and Technology*, Boston, MA, pp. 458-462, Oct. 1996.

## 이 기 오



1994년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학사)  
1996년 2월: 충남대학교 전자공학과 (공학석사)  
1996년 1월~현재: 국방과학연구소 선임연구원  
2004년 3월~현재: 충남대학교 전

파공학과 박사과정

[주 관심분야] 광대역 위상 배열 안테나, RF 시스템 설계

- [2] J. B. L. Rao, J. B. Evins, S. M. Brockett, M. Parent, J. Valenzi, and D. Wilson, "An affordable scanning array using a Radant Lens", *Proc. 1999 Antenna Symposium*, Amherst, MA, pp. 331-348, Sep. 1996.  
[3] 이기오, 박동철, "RADANT 렌즈의 이론적 설계에 관한 연구", *한국군사과학기술학회지*, 12(3), pp. 360-367, 2009년 6월.  
[4] Shiban K. Koul, Bharathi Bhat, *Microwave and Millimeter Wave Phase Shifters*, Artech House, 1991.  
[5] 이기오, 조정래, 박동철, "평행판 도파관 내에서 Switched-susceptance를 이용한 위상변위기 설계", 2008년 한국전자과학회 종합학술발표회, 2008년 11월.  
[6] 조정래, 이기오, 김동석, 류상철, 박동철, "주기적인 금속 스트립 패턴을 갖는 유전체층이 놓인 평행판 도파관 내에서의 전파 특성", *한국전자과학회논문지*, 20(1), pp. 45-51, 2009년 1월.  
[7] M/A-COM Silicon Flip Chip PIN Diode, *Model MA4FCP300*, <http://www.macom.com>  
[8] Bright H. Chu, Kai Chang, "Analysis of wide transverse inductive metal strips in a rectangular waveguide", *IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech.*, vol. MTT-37, no. 7, pp. 1138-1141, Jul. 1989.  
[9] N. Marcuvitz, *Waveguide Handbook*, Institution of Electrical Engineers; New Ed., pp. 280-285, 1986.

## 박 동 철



1974년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)  
1976년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)  
1984년 12월: Univ. of California, Santa Barbara (공학박사)  
1977년~1978년: Ruhr University, Bochum, Germany 방문교수  
1994년~1998년: IEEE MTT Korea Chapter Chairperson  
1998년~2001년: IEEE EMC Korea Chapter Chairperson  
2000년~2001년: 한국전자과학회 회장  
2005년~2007년: 대덕 Wireless 포럼 회장  
1976년~현재: 충남대학교 전파공학과 교수  
[주 관심분야] Microwave and Millimeterwave Passive Components, Antennas, EMI/EMC