

이중대역 정사각형 도파관 아이리스 편파기 설계 기법

황순미^o, 윤소현^{**}, 김영민^{*}, 최중성^{*}, 김도균^{*}, 안병철^{*}

충북대학교 전자공학과^{*}, ETRI^{**}

Tel. 043-261-3194 / Fax. 043-271-4647

Design of A Dual-Band Square Waveguide Iris Polarizer

Soon-mi Hwang^o, So-Hyun Yoon · Young-mean Kim · Jong-sung Choi · Do-Kyuun Kim · Bierng-Chearl Ahn

Dept. of Radio Engineering, Chungbuk National University

asfara@hanmail.net, yoons@etri.re.kr, arang-1004@hanmail.net, cjs2541@hotmail.com,

dokyuun@hanmail.net, bician@chungbuk.ac.kr

ABSTRACT

In this paper, we present a new design method for a square iris polarizer to be used in dual-band (Ka-band; 20.8~21.2 GHz, 30.6~31 GHz) antenna feeds. Principles of operation of a square iris polarizer, its design concepts and methods are proposed. Based on proposed methods, a Ka-band polarizer with -35 dB return loss and 0.3 dB axial ratio is designed using the commercial software HFSS.

I. 서 론

위성통신에 사용되는 주파수의 대역수가 증가함에 따라 각 대역에서 동작하는 여러 개의 피드 대신 한 개의 다중대역 반사경 안테나 피드가 사용되고 있다. 도파관 편파기는 반사경 안테나의 원편파 피드 구현에 흔히 사용된다. 이러한 도파관 편파기의 종류로는 유전체판 삽입형, 횡격막 삽입형, 아이리스형(=주름형)등 여러 가지 형태가 있는데, 그 중에서도 아이리스 편파기는 다른 편파기에 비해 광대역성을 보이고 제작이 쉽다^{[1][2]}.

본 논문에서는 Ka-대역에서 우수한 편파 특성을 가지며 전대역에 걸쳐서 낮은 반사계수를 가지는 아이리스 편파기의 설계기법을 제시한다.

II. 본 론

원편파를 발생시키기 위한 조건은 전계가 서로 수직한 x, y 방향 성분을 가지며 z 방향으로 진행하

는 파에서 전계의 x 방향과 y 방향의 진폭이 같고 각 방향 성분의 위상차의 절대값이 90° 가 되게 하는 것이다. 아이리스 편파기는 정사각형 도파관의 아랫면과 윗면에 아이리스를 나열하여 수직편파 신호가 수평편파 신호에 비해 90° 의 위상지연을 가지도록 하는 구조로, 다른 편파기보다 광대역을 가진다.

두께가 얇은 아이리스는 단락 캐패시터나 인덕터로 표현된다. 그림 1은 아이리스가 삽입된 정사각형 도파관 구조를 보인 것이다. 아래 그림과 같이 도파관 내에 아이리스가 삽입되면, 아이리스 자체가 한 모드(TE_{01})에 대해서는 캐패시터로 동작하고 다른 한 모드(TE_{10})에 대해서는 인덕터로 동작하게 된다. 따라서 다른 한 모드(TE_{01})에 대해 나머지 한 모드(TE_{10})의 위상이 상대적으로 지연되게 된다.^[3] 도파관을 통과한 이 두 모드의 위상차가 90° 가 되도록 하면, 원편파를 만들 수 있는 것이다. 두 주파수 A GHz 와 B GHz 에서 모두 $\Delta\phi = 90^\circ$ 를 만족하려면 $\Delta\beta|_{A\text{GHz}} = \Delta\beta|_{B\text{GHz}}$ 가 성립되어야 한다.^[4]

논문에서는 20.8-21.2 GHz와 30.6-31.0 GHz의 대역에서 양호한 특성을 가지는 정사각형 아이리스 편파기의 설계방법을 제시한다. 그림 1은 정사각형 아이리스 편파기의 구조를 보인 것이다. 아이리스 편파기의 설계 변수는 정사각형 도파관의 크기, 아이리스의 두께, 아이리스의 간격, 아이리스의 개수, 아이리스의 높이 등이 있다. 그림 2는 아이리스 편파기의 단면을 보인 것이다.

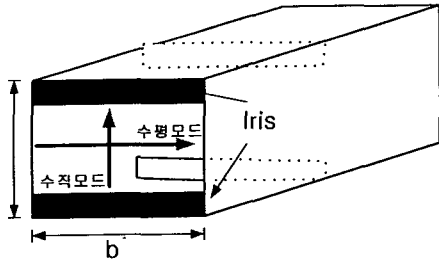


그림 1. 정사각형 도파관 아이리스 편파기.

아이리스 간격은 특성에 그다지 큰 영향을 미치지 않지만 아이리스의 두께나 높이는 위상차와 반사 특성에 큰 영향을 미친다. 두께나 높이가 클 경우 위상차를 증가시킬 수 있지만 반사특성이 나빠진다.

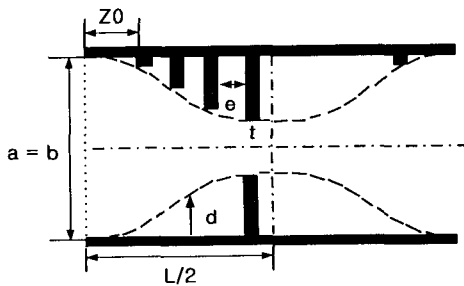


그림 2. 아이리스 편파기의 내부 구조.

아이리스의 두께(t)는 두꺼울수록 위상차가 증가하고 얇을수록 위상차를 조절하기 쉽기 때문에 되도록이면 얇은 것을 쓴다. 일반적으로 아래 범위의 값을 사용한다.

$$t = 0.05\lambda_m - 0.1\lambda_m \quad (1)$$

단, λ_m 은 동작주파수의 중심 주파수의 파장이다. 예를 들어, Ka-대역인 경우 20.8-21.2 GHz, 30.6-31 GHz의 중심인 25.9 GHz의 파장이다.

아이리스 간격(e)은 위상차에 큰 영향을 주지 않지만, 아이리스 개수가 많아질 경우엔 위상차에 미소한 변화를 준다. 일반적으로 아이리스 두께의 2배 정도로 하는 것이 적합하다.

$$e = 2t \quad (2)$$

아이리스 높이(d)는 위상변화나 반사특성에 가장 큰 영향을 주는 변수로써, 높이가 클수록 위상차가 증가한다. 일반적으로 아래 범위의 값을 많이 쓴다.

$$d = 0.01\lambda_m - 0.1\lambda_m \quad (3)$$

반사를 줄이기 위해 테이퍼 형태가 사용되는데, 테이퍼 된 아이리스 개수는 5개 이상이고, 테이퍼 형태로는 선형 테이퍼, sine 테이퍼, 지수함수 테이퍼 등이 있는데 반사를 가장 줄일 수 있는 형태는 지수함수 테이퍼이다.^[5]

아이리스 개수(N)는 12~24개를 사용하는 경우가 많으며 이중 대역에서 동작하는 경우 각 대역중심 주파수에서 $\Delta\phi = 90^\circ$ 가 되도록 개수를 정한다.

도파관의 크기($a = b$)는 고차모드가 차단되면서 모든 채널의 신호가 통과하도록 결정한다. 아이리스 주파수 특성 변화가 작게 하기 위해 overmoded W/G가 사용된다. 도파관 크기는 아래의 두 식을 사용해서 결정한다.

$$a = 0.8\lambda_m \sim 1.2\lambda_m \quad (4a)$$

$$2a = \lambda_c = \frac{c}{f_c} \quad (4b)$$

$$f_c @ 0.7 \sim 0.9 f_c$$

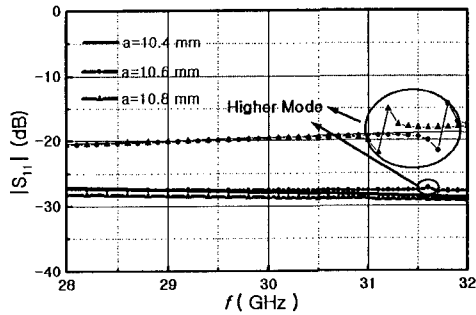
위의 설계 변수를 가지고 아이리스 편파기를 설계하는데, 각 과정을 알아보면 아래와 같다.

식 (4)를 이용해서 일차적인 도파관의 크기를 정한다. 동작 대역의 최저 주파수인 20.8 GHz의 0.7배인 14.56 GHz를 f_c 로 정하고 a 를 구해보면, 10.3 mm 정도가 된다. 그럼 다음, 10.3 mm를 전후해서 도파관 크기를 변화시켜 가면서 원하는 두 대역의 중심(21, 30.8 GHz)에서 위상차가 가장 적은 것과 전 대역에서 고차모드가 발생하는지 여부를 체크해서 가장 적당한 도파관 크기를 찾는다.

임의적으로 아이리스 두께를 0.5 mm, 아이리스 개수 1개, 아이리스 높이 0.6 mm, 아이리스 간격 1 mm로 두면, 도파관 크기가 10.6 mm일 때부터 31.5 GHz 주위에 고차모드(TE_{21})가 발생하는 것을 살펴 볼 수 있다. 두 대역에서의 위상차도 고려해서 볼 때, 도파관 크기가 10.4 mm일 때, 고차모드가 발생하지 않으면서, 원하는 두 대역에서 위상차가 가장 적다는 것을 알 수 있다.

식 (1)에서 제시한 범위 내에서 아이리스 두께를 결정한다. 아이리스 두께는 얇을수록 아이리스 개수

가 많아졌을 때 전체적인 반사특성, 위상특성 등을 조정하기가 쉬우므로, 제작만 가능하다면 가능한 얇은 수치를 택한다. 현재 3차원 가공의 경우 아이리스 두께가 0.5 mm 부터 1/10 mm 씩 가공이 가능하므로, 아이리스 두께는 0.5 mm 를 택한다. 다른 설계 치수도 가공성을 고려해서 1/100 mm 이내에서 설계를 한다.



굵은선 : 수평 모드 가는선 : 수직 모드
그림 3. 도파관 크기에 따른 고차모드 발생 여부

아이리스의 개수는 5개로 두고, $s=2t, d=0.05\lambda_m$ 로 놓고, $|\Delta\phi_1| = |\Delta\phi_2|$ 가 되도록 t, d 를 다시 조정한다. 이 때, 아이리스에 테이퍼를 주기 위해서는 기본적으로 아이리스 개수가 5개 이상이어야 하므로 아이리스 개수는 5개로 정하고, 아이리스 간격은 아이리스 두께의 2배로 두고, 아이리스의 높이는 $0.05\lambda_m$ 으로 두고, 원하는 두 대역의 중심에서 투과계수의 위상차가 같도록 아이리스 두께와 간격, 높이를 다시 조정한다. 그림 4는 각각의 변수에 따른 위상변화를 보여준다. 그림에서 보듯이, 시뮬레이션 결과 아이리스 두께는 0.5 mm, 아이리스 간격 1.74 mm, 아이리스 높이 0.6 mm 일 때 원하는 두 대역에서 위상차가 최소임을 알 수 있다.

아이리스 개수에 $90/\phi$ 을 곱해서 $\phi = 90^\circ$ 로 만든다. 예를 들어, $|\Delta\phi| = 15$ 이면, $90/15=6$ 이므로, 전체 아이리스 개수는 $5 \times 6 = 30$ 이 된다. 위와 같이 하여 아이리스 개수로 16을 얻는다. 아이리스 개수를 16개로 증가 시킨 결과는 표 1과 같다. 아래에서 보는 바와 같이, 원하는 대역에서 투과계수의 위상차가 약 90 도가 남을 알 수 있다. 여기서 편파기 설

계를 마칠 수도 있지만, 반사특성을 향상시키기 위해 전체적인 아이리스에 테이퍼를 주게 된다.

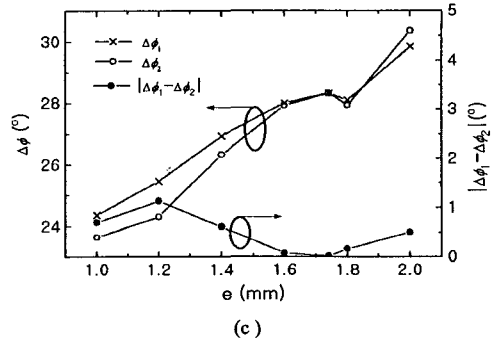
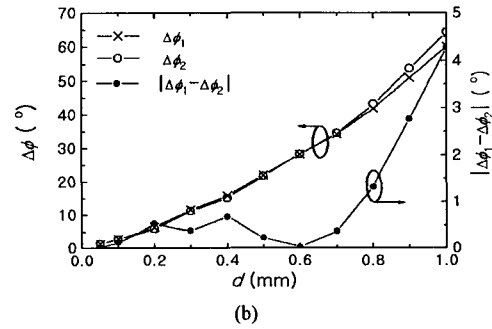
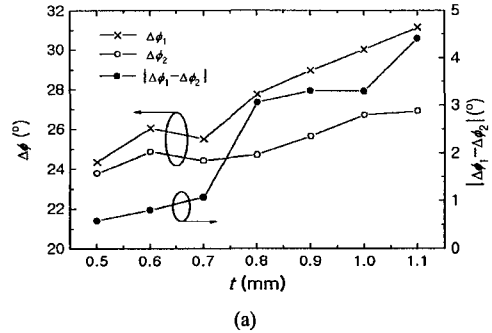


그림 4. 설계 변수((a)아이리스 두께, (b)아이리스 높이, (c) 아이리스 간격)에 따른 위상변화.

표 2. 각 대역에서의 투과 계수 위상차

	21 GHz	20.8	21.0	21.2
투과위상차(도)	91.47	90.66	89.94	
31 GHz	30.6	30.8	31.0	
투과위상차(도)	88.64	89.18	89.72	

반사특성을 개선하기 위해 아이리스 높이를 테이퍼로 만든다. 본 논문에서는 반사 특성이 우수한 지수함수형 테이퍼^[9]를 사용하였다. 다음에 $\phi_1 = \phi_2$

= 90° 가 되도록 d 를 조정한다. 아이리스 높이에 테이퍼를 주게 되면 투과 위상차의 변화가 있게 된다. 마지막 단계로 아이리스 높이와 간격 등을 미세 조정해서 원하는 대역에서 투과계수의 위상차가 정확히 90도가 되도록 만든다.

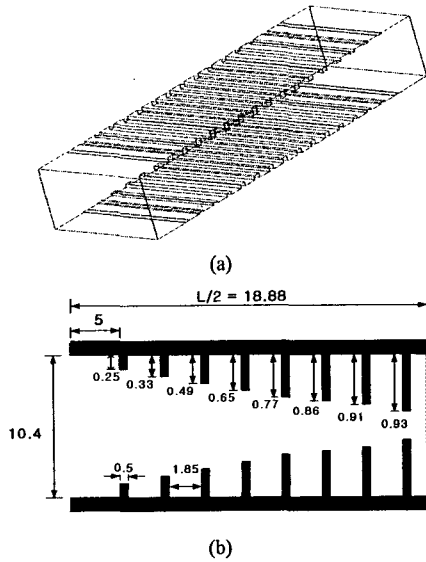


그림 6. 설계된 편파기 (a)삼차원구조 (b)설계치수(mm)

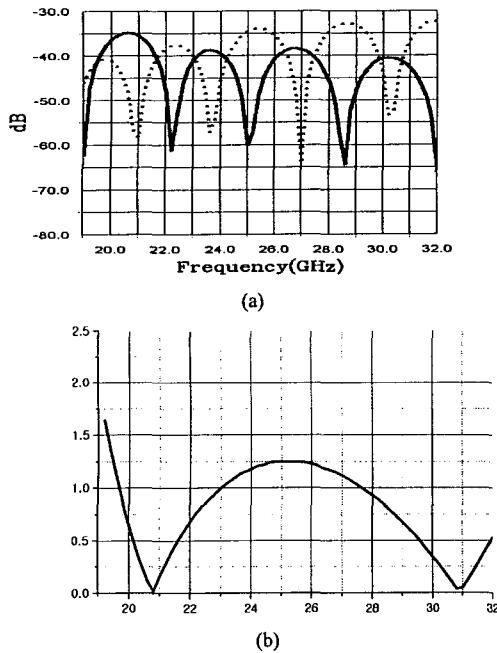


그림 7. 설계된 편파기의 (a)반사특성 (b)축비특성.

위의 과정을 통해 Ka-대역 정사각형 아이리스 편파기를 설계 하였다. 최종 설계된 아이리스 편파기의 아이리스 개수는 16개이고, 각 설계 치수와 시뮬레이션 결과는 각각 그림 6과 그림 7과 같다. 아래 결과에서 보듯이 반사손실이 전대역에 걸쳐 -30 dB 이하이며, 원하는 대역에서 투과 위상차가 정확히 90도 이다.

III. 결 론

본 논문에서는 이중대역 안테나 피드용 정사각형 도파관 아이리스 편파기의 설계 기법을 제시하였다. 기존의 편파기는 협대역이고, 설계시 편파특성을 맞추기가 어려웠었는데, 본 논문에서 제안한 설계기법에 의하면 우수한 편파특성을 가지며 광대역인 편파기를 간단하게 설계할 수 있다.

설계기법의 예로서 Ka-대역(20.8~21.2 GHz, 30.6~31 GHz)에서 0.3 dB이하의 축비를 가지며 전 대역에서 -30 dB이하의 반사계수를 가지는 우수한 편파기를 설계하였고, 이 편파기는 위성 탑재용으로 사용할 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

- [1] J. Uher, J. Bornemann and U. Rosenberg, *Waveguide Components for Antenna Feed Systems : Theory and CAD*, Boston: Artech House, 1993.
- [2] T. Kitsuregawa, *Satellite Communication Antennas*, Boston: Artech House, 1990.
- [3] A. J. Simmons, "Phase shift by periodic loading of waveguide and its application to broad-band circular polarization," *IRE Trans. Microwave Theory Tech.*
- [4] David M. Pozar, *Microwave Engineering*, 2nd Ed. , New Work: John Wiley & Sons, 1998.
- [5] U. Tucholke and F. Arndt, "Field theory of square waveguide iris polarizer," *IEEE Trans. Microwave Theory Tech.*, vol. MTT-34, No.1, Januray 1986.
- [6] James G.L., "Design of wide-band compact corrugated horns", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-32, No 10, Oct. 1984, pp 1134-1138.