

Rotman 렌즈 급전에 의한 스로트 위상 배열 안테나에 관한 연구

윤영중\* 송우영\* 송진규\*\* 박한규\*  
 \* 연세대학교 전자공학과 \*\* 금성전기(주)

A Study on the Rotman Lens fed Slot Phased Array Antenna

Y. J. Yoon\* W. Y. Song\* J. K. Song\*\* H. K. Park\*

\* Dept. of Elec. Yonsei Univ. \*\* Gold Star Elec. Corp.

ABSTRACT

In this paper, the Rotman lens fed slot phased array antenna is designed and its beam-scanning characteristics and radiation patterns are measured after being fabricated on the microstripline substrates. Rotman lens with 4 input-output ports is designed to have the scan angles  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$ , and to have the outputs feed the slot array antenna with  $\lambda/2$  equi-spacing.

The experimental results show that the scan angles according to the selections of the input port are  $-29^\circ$ ,  $-11^\circ$ ,  $13^\circ$ ,  $34^\circ$ , 3-dB beam width is  $17 \pm 2^\circ$ , gain is  $7 \pm 0.5$  dB, and voltage standing wave ratio is less than 1.9 between 9.5G - 10.5G Hz.

1. 서론

일반적인 위상 배열 안테나는 연속적인 위상 변화로 빔을 주사시키지만 실제로는 여러한 각으로 분할된 불연속적이고 임의로 빔을 주사시킬 수 있는 위상 이상기가 더 효율적이며 유용하다. 또한 각종 전자전 장비나 통신장비의 소형화, 경량화 추세에 따라 저렴하며 대량 생산이 용이한 위상 배열 안테나가 필요하게 된다.

1963년 W. Rotman이 평행 평판을 이용하여 혼 안테나를 입력으로 사용한 Rotman 렌즈를 설계하였으며<sup>1)</sup> 1980년대 초 A. Y. Niazi와 T. Katagi가 각각 마이크로 스트립 기판을 이용한 Rotman 렌즈를 제작하였다. 1984년 D. H. Archer는 Rotman 렌즈를 다중 빔 배열 안테나에 이용하였다.<sup>4)</sup>

Rotman 렌즈는 시간 지연 소자로 평행 평판 위의 행로

차에 의해, 선택된 입력 단자에 따른 일정한 위상차를 지니서 안테나를 급전시키는 소자로 주파수에 무관하게 불연속적으로 빔의 방향을 주사시킬 수 있다. 또한 마이크로 스트립 상에 설계가 용이하고, 입출력단 수가 증가해도 렌즈의 크기만 커지고 설계는 단순하며, 다른 소자가 필요없으므로 대량 생산이 가능하고 매우 경제적이다.

본 연구에서는 4소자 스로트 배열 안테나에 Rotman 렌즈에서 나온 출력 빔을 급전시켜  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$ 의 빔 주사 방향을 갖도록 설계하여 마이크로 스트립 기판 위에 포토에칭 방법으로 제작, 방사 패턴을 측정하였다.

2. Rotman 렌즈

그림 1에서 보듯이 Rotman 렌즈는 평행 평판 위에 우측의 렌즈면과 좌측의 촛점면으로 구성된다. 렌즈 내부면 상의 임의의 점들이 평면인 외부면에 대응되는 안테나 소자에 연결되어, 축 상의 촛점 1개(G)와 축 외의 촛점 2개(F1, F2)를 연결한 촛점면 상의 입력 단자로 들어온 파가 렌즈의 내부면과 외부면을 통과면서 원점(O)에 대한 각도만큼의 위상변화를 갖고 안테나에 급전된다.

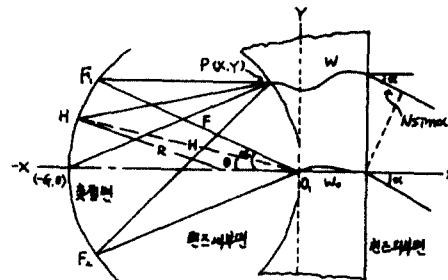


그림 1. Rotman 렌즈

그림 1에서 3개의 초점으로부터 출발한 파가 렌즈 내부면 상의 임의의 점 P(X,Y)를 통과할 때와 원점 O를 통과할 때의 경로에 대한 식을 살펴보면 다음과 같다.

$$\overline{F_1P} + W + N \sin \alpha = F + W_0 \quad (1)$$

$$\overline{F_2P} + W - N \sin \alpha = F + W_0 \quad (2)$$

$$\overline{OP} + W = G + W_0 \quad (3)$$

$\overline{F_1P}$ ,  $\overline{F_2P}$ ,  $\overline{OP}$  를 기하학적으로 구하면

$$(\overline{F_1P})^2 = F^2 + X^2 + Y^2 + 2FX \cos \alpha - 2FY \sin \alpha \quad (4)$$

$$(\overline{F_2P})^2 = F^2 + X^2 + Y^2 + 2FX \cos \alpha + 2FY \sin \alpha \quad (5)$$

$$(\overline{OP})^2 = (G + X)^2 + Y^2 \quad (6)$$

이다. 마이크로 스트립 설계시 유전율에 의한 영향을 고려하여 렌즈 내부면을 결정하면

$$x = \frac{1}{g - a_0} \left[ (g - 1)w + \frac{b_0^2}{2} \bar{\eta}^2 \right] f \quad (7)$$

$$y = \bar{\eta} (1 - w) f \quad (8)$$

이고, 여기서

$$a_0 = \cos \alpha, \quad b_0 = \sin \alpha, \quad g = G / F$$

$$x = X / N_{max}, \quad y = Y / N_{max}, \quad f = F / N_{max}$$

$$\bar{\eta} = \frac{n}{\sqrt{\epsilon_r} f}, \quad n = N / N_{max} \quad (|n| \leq 1)$$

이며, 이때 선형 배열 안테나의 개구면 길이는  $2N_{max}$  이다.

또한  $w$ 와  $\bar{\eta}$ 와의 관계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$a w^2 + b w + c = 0 \quad (9)$$

여기서 상수  $a, b, c$ 는

$$a = 1 - \bar{\eta}^2 - \left( \frac{g - 1}{g - a_0} \right)^2 \quad (10)$$

$$b = 2g \left( \frac{a_0 - 1}{g - a_0} \right) - \left( \frac{g - 1}{g - a_0} \right)^2 b_0^2 \bar{\eta}^2 + 2\bar{\eta}^2 \quad (11)$$

$$c = \frac{g b_0^2 \bar{\eta}^2}{g - a_0} - \frac{b_0^4 \bar{\eta}^4}{4(g - a_0)^2} - \bar{\eta}^2 \quad (12)$$

이다. 따라서  $w$ 는 식 (9)에 의해

$$w = \frac{W - W_0}{N_{max} \cdot k} = \frac{1}{f} \frac{-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac}}{2a} \quad (13)$$

이 되며  $W$ 와  $W_0$ 는 점 P와 점 O에서 각각 대응되는 안테나 소자로 연결된 전송선의 전기적 길이이다.

따라서 축 외 초점과 축이 이루는 각  $\alpha$ 의 축 상 초점 거리  $g$ 가 결정되면 식 (7)과 (8)에 의해 렌즈 내부면이 결정되고 이에 대응하는 안테나 소자를 연결하는 전송선 길이

가 식 (9)에 의해 정해진다. 여기서 축 상 초점 거리는

$$g = 1 + \frac{\alpha^2}{2} \quad (14)$$

으로 결정하고, 축 상 초점 G와 축 외 초점 F<sub>1</sub>, F<sub>2</sub>를 연결하는 원(초점면)의 반경  $r$ 은

$$r = \frac{R}{N_{max}} = \frac{1 + g^2 - 2g a_0}{2g - 2a_0} \cdot f \quad (15)$$

이다.

이상의 관계식에서 알 수 있듯이 Rotman 렌즈는 주파수에 거의 무관하나 데락 초점 거리 F가  $10\lambda$ 정도일 때 경로 오차가 적다. 또한 축 외 초점의 각  $\alpha$ 가 커질수록 초점면의 크기는 커지고 렌즈 내부면의 크기는 감소하며 내부면 곡률의 크기가 커지게 된다. 이 때 곡률이 크면 소자간의 간격이 좁아지고 상호 결합이 발생하게 된다. 반면 소자간의 간격이 넓어지면 grating 로브가 생기고 위상 오차가 커지게 된다.

### 3. 실험 및 결과 고찰

본 연구에서는 비유전율  $\epsilon_r = 2.55$ , 두께  $h = 1.53$  mm 인 Teflon Fiber Glass 마이크로 스트립 기판에 포토 에칭 방법으로 Rotman 렌즈 급전 스로트 위상 배열 안테나를 제작하였다.

설계된 Rotman 렌즈는  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$ 에서 빔 주사 방향을 갖도록 4개의 입출력 단자로 구성하였으며 초점 거리는  $5\lambda$ 로 하였다. 안테나 소자로는 스로트 배열 안테나를 사용하였고 안테나 간격은  $\lambda/2$ 로 하였다. 피 측정 안테나를 송신단에 연결하고 표준 혼 안테나로 수신하여 Antenna Pattern Recorder에 방사 패턴을 기록하였다. 빔의 주사특성 및 방사 패턴은 표 1과 그림 2에 각각 나타냈다.

No.	입력단	설계치	max Beam	3dB 빔폭	max. Gain (dB)	Sidelobe level (dB)	비고
1	1	$-30^\circ$	$-29^\circ$	$19^\circ$	7.5	-5.5	$d = 0.05 \text{ mm}$ $L = 12.75 \text{ mm}$
	2	$-10^\circ$	$-11^\circ$	$17^\circ$	7.5	-7	
	3	$10^\circ$	$13^\circ$	$19^\circ$	6.5	-7	
	4	$30^\circ$	$34^\circ$	$15^\circ$	6.5	-6.5	

표 1. Rotman 렌즈 급전 스로트 위상 배열 안테나의 특성

입력 단자 선택에 따른 빔의 주사는  $\pm 30^\circ$ ,  $\pm 10^\circ$ 에 대해 각각  $-29^\circ$ ,  $-11^\circ$ ,  $13^\circ$ ,  $34^\circ$ 로  $4^\circ$ 이내의 오차를 나타

냈으며, 이러한 오차는 Rotman 렌즈가 경로차에 의해 위상 변화를 갖는 소자임을 감안할 때 설계 제작 상의 오차와 측정 거리 ( $F = 10\lambda$  일 때 최소)에 따른 오차가 큰 요인으로 생각되며 측정시 안테나를 부착시킬 때 생기는 각의 오차도 있다. 3-dB 빔폭은  $17 \pm 2^\circ$  이고, 부 로브 레벨은  $-5.5 \sim -7$  dB로 나타났다. 이는 Rotman 렌즈 출력단에서의 상호 결합과 접지면의 유한성 및 Rotman 렌즈와 안테나 소자를 차폐시키기 위해 부착한 접지 금속판의 구조등에 의한 것으로 간주된다. 이는 접지면을 좀 더 크게 하고 안테나 소자수를 증가시키면 좋아질 것으로 예상된다. 이득은 약 6.5~7.5 dB이고 그림 3에는 주파수 변화에 따른 VSWR 값을 나타냈으며 9.5 GHz~10.5 GHz 사이에서 1.9 이하를 나타냈다.

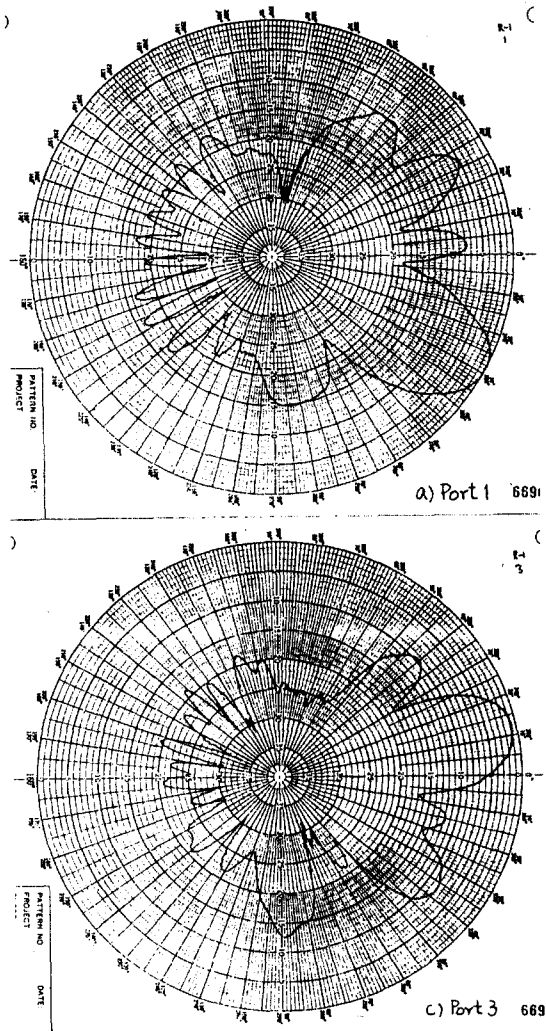
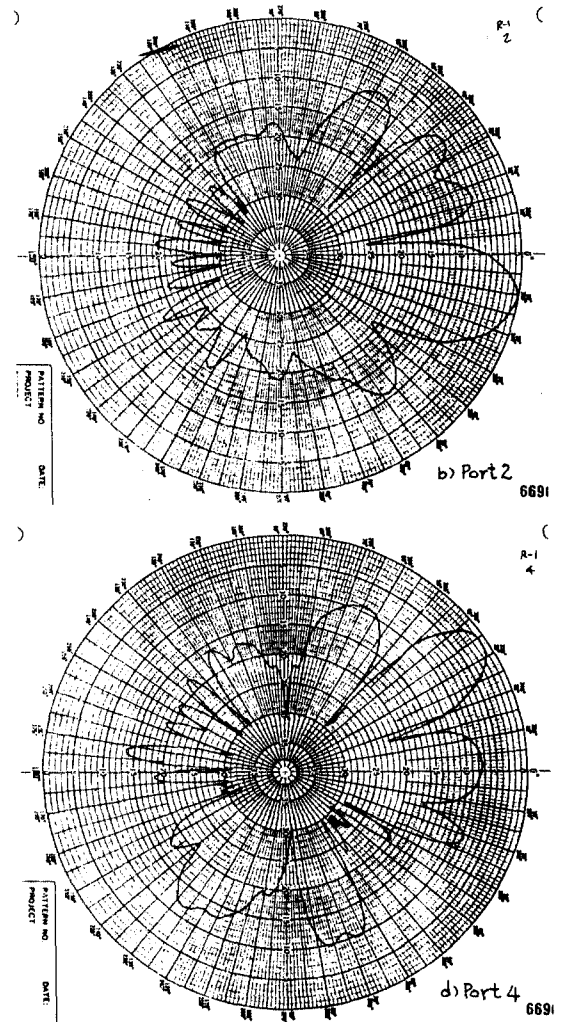


그림 2. 입력 단자에 따른 방사 패턴

#### 4. 결론

본 논문에서는 마이크로 스트립 기판으로 설계한 Rotman 렌즈로 스로트 배열 안테나를 급전시켜 불연속적인 빔 주사 방향의 변화를 갖게하는 위상 배열 안테나를 설계 제작하였다. 제작된 안테나는 중심 주파수 10 GHz에서  $\pm 3^\circ \pm 1^\circ$ 의 빔주사 방향을 갖도록 4개의 입력 단자와 4개의 스로트 배열 안테나로 설계하여, 실험 결과  $4^\circ$  이내의 오차로 빔이 주사되었으며 빔 폭은  $17 \pm 2^\circ$  이고, 이득은 7 dB 정도를 얻었다.

Rotman 렌즈 급전 스로트 위상 배열 안테나는 임의의 입력 단자를 택해 불연속적인 빔의 주사를 함으로써 ECM, ESM 등의 전자전 장비나 Radar 등에 송신 장치로 또는 Jammer 용으로 사용될 수 있으며 동시에 여러 입력 단자를 택해 다중 빔 형성 회로도 사용 가능하다.



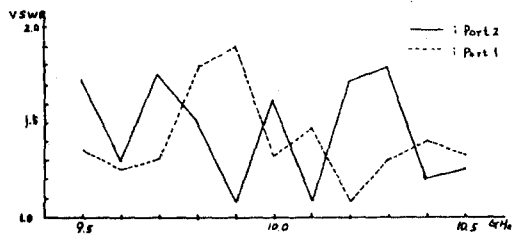


그림 3. 주파수 변화에 따른 VSWR

참고 문헌

1. W.Rotman and R.F.Turner, "Wide-angle microwave lens for line source applications," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-11, no.6, pp.623-632, Nov. 1963.
2. A.Y.Niazi, "Rotman lens fed multiple beam array," IEEE 2nd Int. Conf.Antennas Propagat., Part 1, Antennas, pp.93-97, Apr. 1981
3. T.Katagi, S.Mano and S.Sato, "An improved design method of Rotman lens antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol.AP-32, no.5, May 1984.
4. D.H.Archer, "Lens-fed multiple beam arrays," Microwave J. vol.27, no.9, pp,171-195, Sep. 1984.
5. I.Bardash, "Phased arrays for ECM applications," Microwave J., vol.25, no.9, pp.81-92, Sep. 1982.