

Thin-Film Dielectric을 이용한 V-band Rotman Lens의 개발

Development of a V-band Rotman Lens Using Thin-Film Dielectric

이장수 · 박상복 · 이동규* · 송생섭* · 이상효* · 소준호** · 권영우* · 서광석* · 천창을

Jang-Soo Lee · Sang-Bok Park · Dong-Kyu Lee* · Saeng-Seob Song* · Sang-Hyo Lee*
Joon-Ho So** · Young-Woo Kwon* · Kwang-Seok Seo* · Chang-Yul Cheon

요 약

본 논문에서는 초박막 유전체 기술을 기반으로 하여 60 GHz에서 작동하는 위상 배열 안테나 시스템을 설계하였다. Dividing/combining 손실을 줄이고 위상 변위기에 의한 손실을 피하기 위하여 Rotman Lens를 안테나의 feeder로 사용하였다. 설계된 렌즈는 3개의 빔 포트와 5개의 배열 포트, 그리고 2개의 더미 포트를 가지는 구조이다. 설계를 위한 시뮬레이션은 모멘트 기법을 사용하는 시뮬레이터로 수행되었다. 제작된 렌즈는 58~62 GHz에서 ± 2 dB 이하의 진폭 편차와 $\pm 5^\circ$ 이하의 위상 수차 특성을 보였다. 또한 5개의 배열 안테나를 이용하여 $\pm 7^\circ$ 의 빔 조향 특성을 확인하였다.

Abstract

In this paper, a phased array antenna based on thin-film dielectric technology at 60 GHz is designed. In order to reduce dividing/combining loss and avoid high loss of phase shifters, Rotman Lens has been employed as a feeder of antenna. The lens has 3 beam ports and 5 array ports with 2 dummy ports. The simulation for the design was performed by simulator using MoM(method of moments). The measured results of fabricated lens show magnitude deviation less than ± 2 dB and phase aberration less than $\pm 5^\circ$ over 58~62 GHz. The antenna shows $\pm 7^\circ$ of scan angles.

Key words : Microstrip Rotman Lens, Phased Array Antenna, Thin-film Dielectric, Method of Moments, Symmetry Lens

I. 서 론

안테나의 방사 방향을 제어하는 장치에는 그림 1과 같은 위상 배열 시스템(phased array system)이 사용되고 있다. 이러한 위상 배열 시스템에는 빔 형성 장치(beam forming network)가 중요한 역할을 하는데 기존에는 maxon-bliss와 butler matrix^[1], 그리고 Ruze Lens 등이 사용되었다. Maxon-bliss는 다수의 방향성 결합기(directional coupler)가 필요하여 비경제적이므로 상업적으로 이용되기 힘들다. Butler matrix 역시

다수의 하이브리드 결합기(hybrid coupler)와 위상 변위기(phase shifter)가 사용되고 소자간의 연결 선로가 교차해야 하는 구조이므로 다수의 포트를 갖는 경우에는 구조가 복잡하며 한 평면에 구현하기가 힘들다. 또한, Ruze Lens^[2]는 빔 커브상의 초점이 두 개이므로 응용 범위에 제한이 있다.

반면에 마이크로스트립 Rotman Lens^{[3]~[5]}는 몇 개의 빔 포트(beam port)와 배열 안테나의 개수에 해당하는 배열 포트(array port), 급전 선로(feeding line), 평행판(parallel plate), 그리고 테이퍼 선로(taper line)

「본 연구는 서울시립대학교의 2006년도 학술연구용 첨단장비 활용 사업의 지원으로 연구되었음.」

서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부(Department of Electrical & Computer Engineering, University of Seoul)

*서울대학교 전기컴퓨터공학부(Division of Electronic and Computer Engineering, Seoul National University)

**국방과학연구소(Agency for Defense Development)

· 논문 번호 : 20060904-105

· 수정완료일자 : 2006년 10월 24일

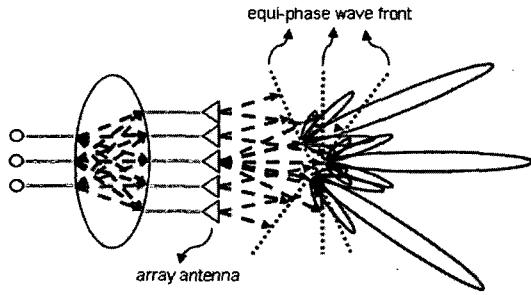


그림 1. 위상 배열 시스템
Fig. 1. Phased array system.

를 하나의 기관에 설계할 수 있기 때문에 구성이 간단하며 손실(loss)이 적다. 또한, 빔 포트의 수에 해당하는 출력 빔의 수를 가지므로 여러 방향으로 빔 조향이 가능하다는 이점을 갖고 있다.

이러한 Rotman Lens는 처음에 W. Rotman과 R. F. Turner^[6]에 의해 도파관 혼 안테나(waveguide horn antenna)와 평행판, 동축 전송선(coaxial transmission line)을 이용하여 제안되었다. 마이크로스트립으로 구현이 된 이후에는 구성이 간단하고 크기가 작다는 이점으로 자동차의 충돌 방지 시스템이나 군사적인 레이더 시스템 등에 널리 사용되고 있다.

이론적으로 반 파장 이하의 두께를 갖는 두 도체에 구성되는 마이크로스트립 Rotman Lens는 TEM (Transverse Electromagnetic) 모드를 전파시키는 광대역 소자이지만 실제로 마이크로스트립으로 구현할 경우에 임피던스의 부정합과 포트간의 상호결합, 그리고 렌즈 구조에 따라 생기는 다중 반사로 인해 특성을 저해하는 요소가 발생한다. 그러므로 최적의 특성을 갖는 렌즈의 설계를 위해서는 이러한 저해 요소를 고려해야 한다. 설계는 EM 시뮬레이션을 통한 모멘트 기법(method of moments)을 사용하는 IE3D 프로그램을 사용하였다.

본 논문에서는 렌즈의 소형화를 달성함과 동시에 위상 수차(phase aberration)가 적어 정확한 빔 조향을 주는 대칭 구조의 Rotman Lens를 설계하였고 위상 배열 안테나의 높은 이득을 얻기 위해 균일한 전달 특성을 갖는 렌즈의 설계를 목표로 하였다.

II. 대칭 구조 Rotman Lens의 설계

일반적으로 Rotman Lens에는 빔 커브(beam curve)

와 배열 커브(array curve)가 동일한 대칭 렌즈와 빔 커브와 배열 커브가 서로 다른 비대칭 렌즈가 있다. 비대칭 렌즈는 대칭 렌즈보다 급격한 렌즈 커브를 가지기 때문에 더 넓은 포트 공간을 필요로 하고, 더 큰 위상 수차를 주며, 빔 포트로부터 다른 빔 포트로 영향을 줄 수 있는 정도가 대칭 구조에 비해 심하다. 또한 물리적인 크기도 상대적으로 더 크기 때문에 대칭 구조의 렌즈를 설계하였다.

2-1 좌표 설정

선형 배열 안테나가 등위상면을 형성하기 위한 렌즈 커브상의 초점은 세 개 존재한다는 Gent의 이론과 Shelton^[7]이 제시한 대칭 구조 렌즈의 이론에 근거하여 좌표를 설정하였다.

그림 2는 xy 평면에 (0, 0), (-2A+C, 0), (-A+C, ±1), (-A, ±1)의 초점으로 구성된 렌즈의 좌표이다. A는 y축으로부터 빔 커브의 가장자리 초점까지의 거리를 나타내고, C는 그 초점과 대칭으로 배열 커브에 있는 초점까지의 거리이며, L은 경로 차이를 고려한 선로의 길이이다. 배열 포트는 $-1 \leq y \leq 1$ 인 부분에 위치하며, 임의의 빔 커브상의 점에서 임의의 배열 커브상의 점을 지나 배열 안테나까지의 거리 L이 전체 경로이다.

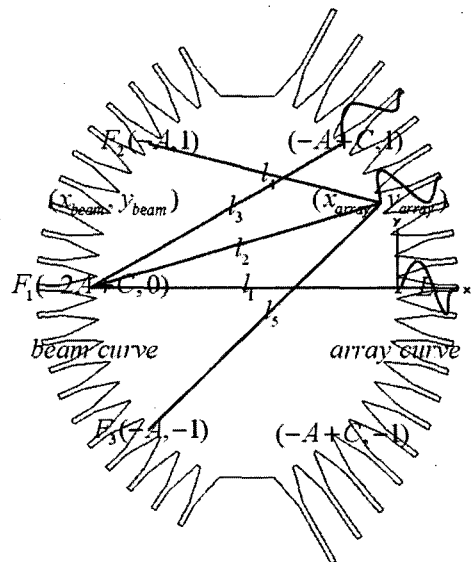


그림 2. Rotman Lens의 설계 좌표
Fig. 2. Design coordinates of Rotman Lens.

$$L(x_{array}, y_{array}) = L = l_1 - l_2 \quad (1)$$

$$l_4 + L = l_3 - \frac{ky}{2}, \quad l_5 + L = l_3 + \frac{ky}{2} \quad (2)$$

식 (1)은 F_1 으로 부터 모든 경로에 대해 등위상면을 형성하기 위한 조건이고, 식 (2)는 F_2 와 F_3 로부터 모든 경로에 대해 등위상면을 형성하게 해준다. 여기서 k 는 F_2 와 F_3 에 대해 배열 커브까지의 경로 차이를 나타내는 것으로 초기 조건에 의해 결정된다.

각각의 경로는 식 (3)으로 표현된다.

$$\begin{aligned} l_1 &= 2A - C \\ l_2 &= \sqrt{(x_{array} + 2A - C)^2 + y_{array}^2} \\ l_3 &= \sqrt{A^2 + 1} \\ l_4 &= \sqrt{(x_{array} + A)^2 + (y_{array} - 1)^2} \\ l_5 &= \sqrt{(x_{array} + A)^2 + (y_{array} + 1)^2} \end{aligned} \quad (3)$$

위의 식 (3)을 이용하여 식 (2)는 식 (4), (5)로 다시 표현할 수 있다.

$$\begin{aligned} &\sqrt{(x_{array} + A)^2 + (y_{array} + 1)^2} - \\ &\sqrt{(x_{array} + A)^2 + (y_{array} - 1)^2} = ky \quad (4) \\ &\sqrt{(x_{array} + A)^2 + (y_{array} + 1)^2} \\ &- \sqrt{(x_{array} + A)^2 + (y_{array} - 1)^2} \\ &= 2(\sqrt{A^2 + 1} - 2A + C \\ &+ \sqrt{(x_{array} + 2A - C)^2 + y_{array}^2}) \end{aligned} \quad (5)$$

여기서 $x_{array} = -A + C$, $y_{array} = 1$ 인 초점 조건에 의해 식 (6), (7)로 표현할 수 있다.

$$k = \sqrt{C^2 + 4} - C \quad (6)$$

$$4(\sqrt{A^2 + 1} - A) = \sqrt{C^2 + 4} - C \quad (7)$$

따라서 식 (4), (5)에 주어진 y 로부터 (x_{array}, y_{array}) 를 구하고 식 (6)에서 A 와 C 를 구할 수 있다.

$A = \cot \alpha$, $C = 2 \cot \beta$ 이면 식 (7)은 식 (8)과 같이 표현될 수 있고

$$2 \tan \frac{\alpha}{2} = \tan \frac{\beta}{2} \quad (8)$$

A 와 C 를 구하면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} A &= \cot \left[2 \tan^{-1} \left\{ \frac{1}{2} \tan \left(\frac{1}{2} \cot^{-1} \frac{C}{2} \right) \right\} \right] \\ C &= 2 \cot \left[2 \tan^{-1} \left\{ 2 \tan \left(\frac{1}{2} \cot^{-1} A \right) \right\} \right] \end{aligned} \quad (9)$$

y_{array} 는 식 (10)으로부터 구하여 식 (11)로 표현된다.

$$\begin{aligned} a \left(\frac{2y_{array}}{U} \right)^2 + b \left(\frac{2y_{array}}{U} \right) + c &= 0 \\ a &= 4 - U^2 \frac{V^2}{(A - C)^2} \\ b &= \frac{4WV}{(A - C)^2} \\ c &= U^2 - 4 - \frac{4W^2}{(A - C)^2} \\ U &= y(\sqrt{4 + C^2} - C) \\ V &= 2(-2A + C + \sqrt{A^2 + 1}) \\ W &= \frac{V^2 - U^2}{8} + \frac{1 - (A - C)^2}{2} \end{aligned} \quad (10)$$

$$y_{array} = \frac{U(-b \pm \sqrt{b^2 - 4ac})}{2 \cdot 2a} \quad (11)$$

여기서 x_{array} 는 식 (12)로 표현되며 이로부터 L 을 구하면 식 (13)과 같다.

$$x_{array} = -A + \sqrt{\left(\frac{4y_{array} - U^2}{2} \right) - (y_{array} - 1)^2} \quad (12)$$

$$L = 2A - C - \sqrt{(x_{array} + 2A - C)^2 + y_{array}^2} \quad (13)$$

또한 빔 커브의 좌표는 식 (14)로 구할 수 있다.

$$\begin{aligned} y_{beam} &= y_{array} \\ x_{beam} &= 2A - C - x_{array} \end{aligned} \quad (14)$$

위에서 구한 빔 커브와 배열 커브의 좌표에 테이퍼 선로와 기판의 유전율 등을 고려한 SF(Scaling Factor)를 적용하여 실제 좌표를 구한다.

2-2 렌즈의 구성 및 고려 사항

2-2-1 렌즈의 구성

렌즈의 구성은 그림 3과 같다. 포트 2~4는 빔 포트이고, 포트 6~10은 배열 포트이며, 포트 1과 포트 5는 더미 포트(dummy port)이다. 이 더미 포트는 렌즈 내부에서 생기는 다중 반사(multi reflection)에 의한 특성 저해 요인을 완화시키기 위해 사용되었다. 또한 포

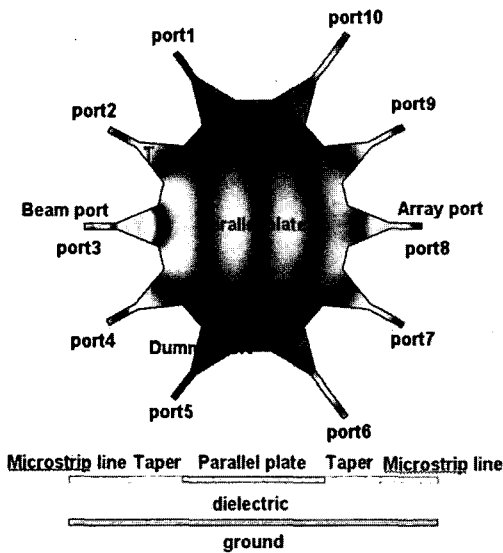


그림 3. Rotman Lens의 구성
Fig. 3. Construction of Rotman Lens.

트와 평행판 사이를 연결하는 테이퍼 선로는 임피던스의 부정합을 보상해 주는 역할을 한다.

2-2-2 테이퍼 선로의 길이

렌즈의 반사 손실(return loss) 특성은 임피던스의 부정합을 보상해 주는 테이퍼 선로에 의해서 결정되는데 테이퍼 선로의 길이가 일정 길이 이하이면 반사 손실 특성이 좋지 않다. 만약 작동되는 최저 주파수를 기준으로 테이퍼의 길이를 설계한다면 작동되는 최저 주파수에서 테이퍼 선로의 길이는 상대적으로 짧아진다. 따라서 고주파에 비해 저주파에서 특성이 좋지 않으므로 작동되는 최저 주파수를 기준으로 설계하였다. 시뮬레이션은 테이퍼 선로의 길이 $0.1 \sim 0.5 \lambda_{low}$ (λ_{low} 는 58 GHz에서의 파장)로 변화하여 수행하였고 시행 착오를 거쳐 최적의 길이를 $0.4 \lambda_{low}$ 로 결정하였다.

2-2-3 테이퍼 선로의 폭

평행판은 급전 선로에 비해 임피던스가 낮으므로 이 둘의 보상을 위하여 테이퍼 선로가 사용되었다. 일반적으로 테이퍼의 폭이 커질수록 급전 포트의 반사 손실 특성은 좋아진다. 하지만 테이퍼의 폭이 커지게 되면 평행판이 커지게 되어 렌즈에서의 삽입

손실(insertion loss)이 증가하고 급전 포트에서의 반사 손실 특성이 나빠지기 때문에 시뮬레이션을 통해서 최적의 폭을 결정해야 한다. 이러한 테이퍼 폭의 영향을 고려하여 테이퍼 선로의 폭은 $0.2 \lambda_{high}$ (λ_{high} 는 62 GHz에서의 파장)로 결정하였다.

2-3 시뮬레이션 결과

$$AF = \sum_{n=0}^{N-1} \sqrt{(P_n - \Delta P_n)} e^{-j[knd \sin \theta + (\phi_n - \Delta \phi_n)]}$$

여기서

$$\Delta \phi_n = k(N-1)d [\sin(\Delta \theta + \theta_0) - \sin \theta_0]$$

$$\Delta \phi = \sin^{-1} \left(\sin \theta_0 + \frac{\Delta \phi}{k(N-1)d} \right) - \theta_0 \quad (15)$$

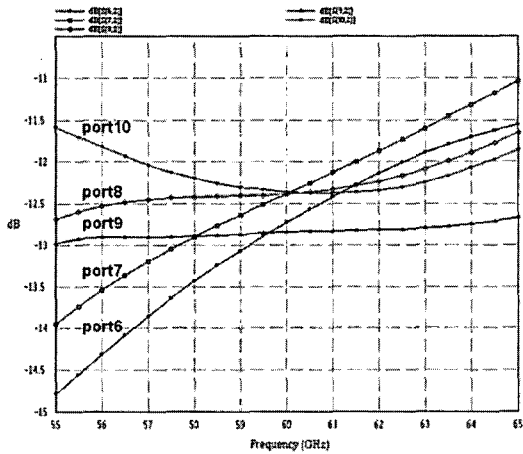
위의 식 (15)는 Rotman Lens에 대한 배열 인자(array factor)를 나타내고 있다. 식 (15)에서 알 수 있듯이 렌즈의 출력은 진폭 균일 특성과 위상 균일 특성이 요구된다^[8]. 출력의 진폭이 균일하지 않으면 조향된 빔의 균일한 구동이 불가능하여 높은 유효 방사 출력(effective radiated power)을 얻을 수 없다. 또한 출력의 위상이 균일하지 않을 경우엔 정확한 빔 조향각을 얻을 수 없다. 따라서 높은 유효 방사 출력과 정확한 빔 조향각을 얻기 위해 진폭 편차 특성과 위상 편차 특성을 각각 ± 1 dB와 $\pm 5^\circ$ 이내로 제한하여 시뮬레이션을 수행하였다.

그림 4는 빔 포트(포트 2)에서 배열 포트로의 S-parameter이고 그림 5는 빔 포트(포트 3)에서 배열 포트로의 S-parameter를 나타내고 있다. 그림에서 알 수 있듯이 58~62 GHz에서 균일 진폭 특성과 균일 위상 특성을 만족하고 있다.

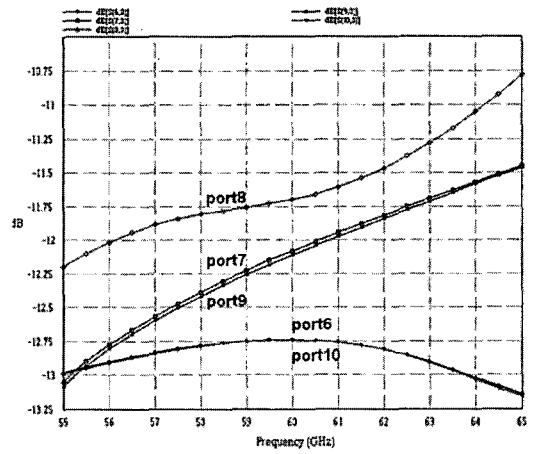
그림 6은 위의 시뮬레이션 결과를 토대로 60 GHz에서의 배열 인자를 계산한 것이다. 빔은 $-7^\circ, 0^\circ, +7^\circ$ 를 조향하고 있으며 Main lobe와 Side lobe가 10 dB 이상의 차이를 보이고 있다.

2-4 제작 및 측정 결과

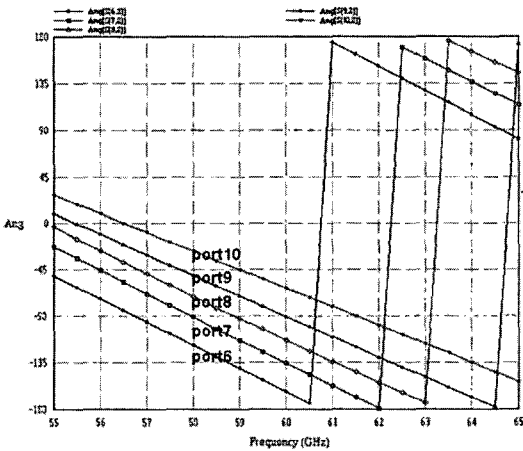
가로 15 mm, 세로 10 mm 크기의 렌즈는 그림 7의 thin-film microstrip line(TFML) 공정으로 제작되었다. 급전을 위해 도파관과 트랜지션(transition)이 사용되었고 transition과 렌즈는 wire-bonding으로 연결하였다. 트랜지션은 1.1 dB의 삽입 손실을 갖는 antipo-



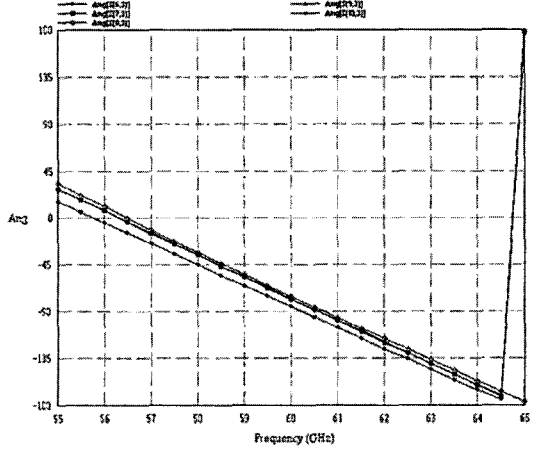
(a) 진폭
(a) Magnitude



(a) 진폭
(a) Magnitude



(b) 위상
(b) Phase



(b) 위상
(b) Phase

그림 4. 빔 포트(포트 2)에서 배열 포트로의 $S_{n2}(n=6, 7, 8, 9, 10)$
Fig. 4. S_{n2} from beam port(port 2) to each array port ($n=6, 7, 8, 9, 10$).

그림 5. 빔 포트(포트 3)에서 배열 포트로의 $S_{n3}(n=6, 7, 8, 9, 10)$
Fig. 5. S_{n3} from beam port(port 3) to each array port ($n=6, 7, 8, 9, 10$).

dal fin line을 사용하였고 wire-bonding은 1.7 dB의 손실을 나타내었다.

실제 측정은 2번과 3번, 그리고 4번 포트를 급전했을 때의 모듈(module)을 각각 제작하여 측정하였고, 그림 8은 배열 안테나를 포함하여 3번 포트를 급전했을 때의 모듈을 나타내고 있다.

그림 9와 그림 10은 각각 2번 포트와 3번 포트를 급전했을 때의 진폭과 위상을 나타내고 있다. 시뮬레이션 결과와 근소한 차이를 보이며 균일 진폭 특

성과 균일 위상 특성을 만족하고 있다.

그림 11은 제작된 배열 안테나에 사용될 패치(patch) 안테나의 반사 손실을 나타내고 있다. 안테나의 공진 주파수는 61.5 GHz이고 1 GHz의 대역폭을 나타내고 있다.

그림 12는 61 GHz에서 포트 2~4를 각각 급전했을 때의 빔 조향 패턴을 나타내고 있다. 측정은 먼저 이득을 알고 있는 두 개의 사각 혼 안테나로 보정을 한 후, 한 쪽을 혼 안테나 대신에 배열 안테나를

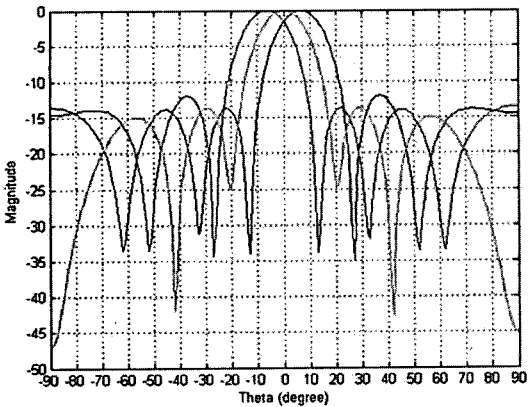


그림 6. 빔 조향 패턴(H-plane)
Fig. 6. Beam steering pattern(H-plane).

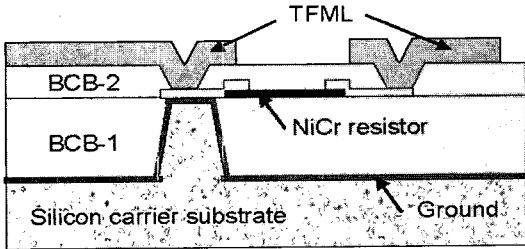


그림 7. TFML substrate의 단면도
Fig. 7. Cross section of the TFML substrate.

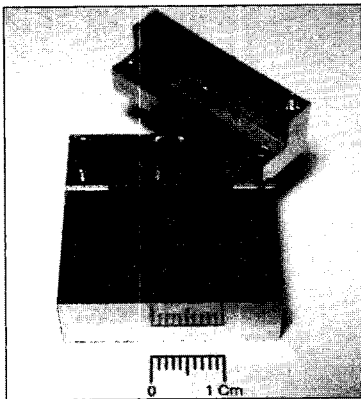
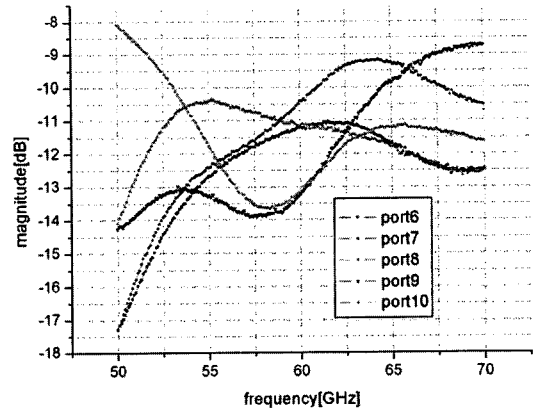
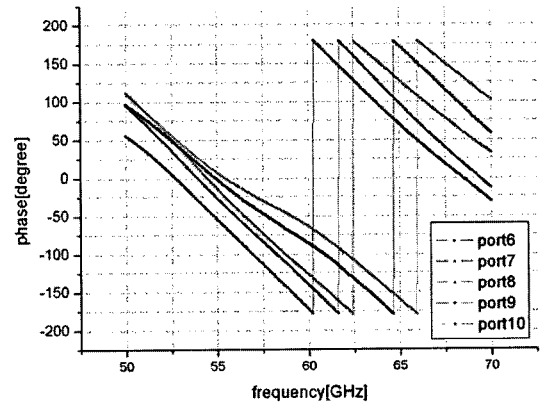


그림 8. 빔 패턴 측정을 위한 도파관 급전 module
Fig. 8. Waveguide-fed module for beam pattern measurement.

연결하여 측정하였다. 그 다음 각각의 최고치를 비교하여 그 차이를 혼 안테나에 보상해줌으로써 배열 안테나의 이득을 계산하였다.



(a) 진폭
(a) Magnitude



(b) 위상
(b) Phase

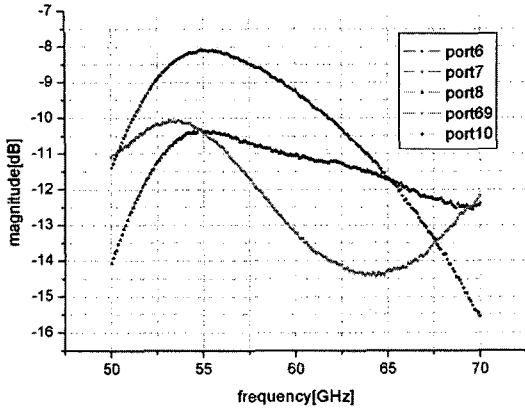
그림 9. 빔 포트(포트 2)에서 배열 포트로의 S_{n2} ($n=6, 7, 8, 9, 10$)

Fig. 9. S_{n2} from beam port(port 2) to each array port ($n=6, 7, 8, 9, 10$).

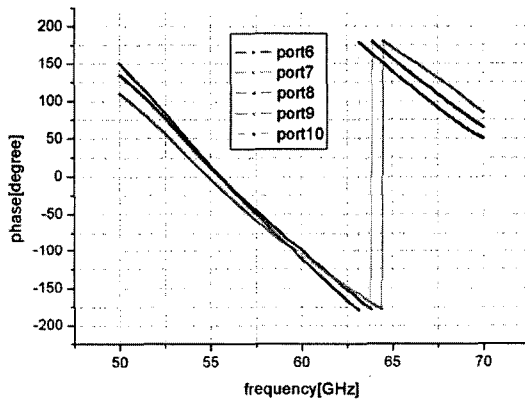
계산된 배열 안테나의 이득은 7 dB를 나타냈고 측정 결과는 시뮬레이션의 빔 조향 패턴과 같이 $-7^\circ, 0^\circ, +7^\circ$ 의 빔 조향각과 15° 의 HPBW(Half Power Beam Width)를 나타내었다.

III. 결 론

본 논문에서는 밀리미터파 대역에서 빔 조향이 가능한 Rotman Lens를 설계하였다. 제작된 렌즈는 빔 포트 3개와 배열 포트 5개를 갖는 구조로써 렌즈 내부에서의 다중 반사를 줄이기 위해 빔 커브에 더미 포트를 위치시켰으며 렌즈의 측면 벽을 최소화하



(a) 진폭
(a) Magnitude



(b) 위상
(b) Phase

그림 10. 빔 포트(포트 3)에서 배열 포트로의 $S_{n3}(n=6, 7, 8, 9, 10)$
Fig. 10. S_{n3} from beam port(port 3) to each array port ($n=6, 7, 8, 9, 10$).

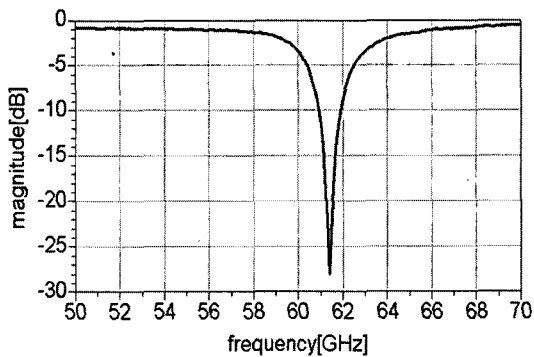


그림 11. 제작된 패치 안테나의 반사 손실
Fig. 11. Return loss of the fabricated antenna.

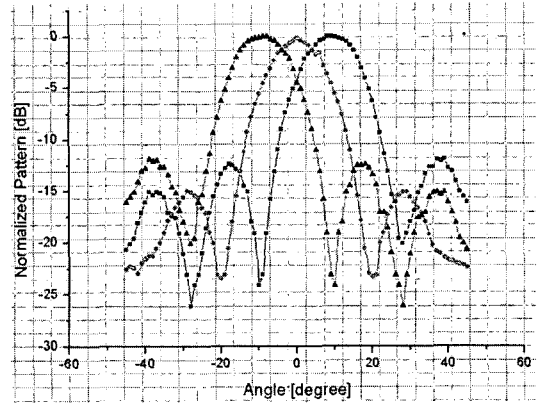


그림 12. 빔 조향 패턴(H-plane)
Fig. 12. Beam steering pattern(H-plane).

였다. 또한 삽입 손실을 최소화하기 위해 배열 커브에는 더미 포트가 없는 구조로 설계하였다. 58~62 GHz에서 ± 2 dB 이하의 진폭 편차와 $\pm 5^\circ$ 이하의 위상 수차를 갖는 렌즈는 0.6λ (3 mm)의 배열 간격을 가지는 5개의 선형 배열 안테나의 feeder로 사용되어 $-7^\circ, 0^\circ, +7^\circ$ 의 빔 조향각과 15° 의 HPBW를 나타내었다. 또한 배열 안테나는 도파관 혼 안테나와 비교하여 7 dB의 안테나 이득을 나타내었다.

참고 문헌

- [1] P. S. Hall, S. J. Vetterlein, "Review of radio frequency beamforming techniques for scanned and multiple beam antennas", *IEE Proceedings*, vol. 137, Pt. H, no. 5, pp. 293-303, Oct. 1990.
- [2] RUZE, J., "Wide-angle metal-plate optics", *Proc. IRE*, pp. 53-59, 1950.
- [3] M. J. Maybell, "Ray structure method for coupling coefficient analysis of the two dimensional Rotman lens", *Proc. IEEE AP-Symposium Digest*, pp. 144-147, Jun. 1981.
- [4] M. J. Maybell, K. K. Chan, and P. S. Simon, "Rotman lens recent developments 1994-2005", *IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium*, pp. 27-30, Jul. 2005.
- [5] A. F. Peterson, E. O. Rausch, "Scattering matrix integral equation analysis for the design of a waveguide Rotman lens", *IEEE Trans. Antenna*

Propagation, pp. 870-878, May 1999.

- [6] W. Rotman, R. F. Turner, "Wide-angle microwave lens for line source application", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-11, pp. 623-632, Nov. 1963.
- [7] J. Paul Shelton, "Focusing characteristics of symme-

trically Configured Bootlace Lense", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. AP-26, no. 4; Jul. 1978.

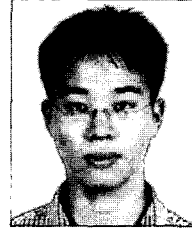
- [8] Warren L. Stutzman, Gary A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, pp. 87-99, 1981.

이 장 수



2003년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
[주 관심분야] Antenna 및 RF 수동 소자 설계

송 생 섭



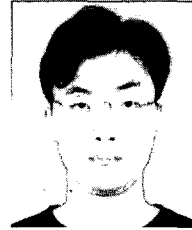
2002년 2월: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
2004년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)
2004년 3월~현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
[주 관심분야] MMIC 설계

박 상 복



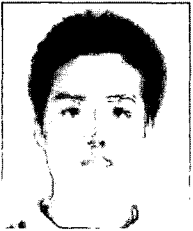
2003년 3월~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 (공학사)
[주 관심분야] Antenna 및 RF 수동 소자 설계

이 상 호



2000년 2월: 서울대학교 전기공학부 (공학사)
2002년 2월: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)
2002년 3월~현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학박사)
[주 관심분야] 초고주파소자 모델링, RF MEMS, RF System Integration

이 동 규



2005년 2월: 성균관대학교 전자공학과 (공학사)
2005년 3월~현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 (공학석사)
[주 관심분야] RF MEMS, RF 수동 소자 설계

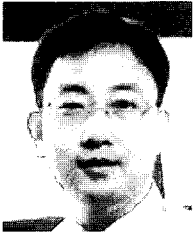
소 준 호



1988년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학석사)
2006년 2월: 서울시립대학교 전자공학과 (공학박사)
1990년 2월~현재: 국방과학연구소

선임연구원
[주 관심분야] 능동 위상배열 안테나 시스템 및 전자파 수치해석

권 영 우



1988년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1990년 2월: 미국 University of Michigan 전기공학과 (공학석사)
1994년 2월: 미국 University of Michigan 전기공학과 (공학박사)
1994년~1996년: Rockwell International Science Center, MTS

1996년~현재: 서울대학교 전기컴퓨터공학부 부교수
1999년~현재: 3차원 밀리미터파 창의 연구단 단장
[주 관심분야] MMIC 설계, 밀리미터파 회로 및 시스템, Power Amplifier, 능동소자 모델링, RF MEMS, Micro-Wave Cancer Detecting

천 창 을



1983년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학사)
1985년 2월: 서울대학교 전기공학과 (공학석사)
1992년: 미국 University of Michigan, Ann arbor (공학박사)
1992년~1995년: 강원대학교 전기공학과 조교수

1995년~현재: 서울시립대학교 전자전기컴퓨터공학부 교수
[주 관심분야] RF, RF Power Amplifier, EMC 등

서 광 석



1975년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)
1978년 2월: 한국과학기술원 전자공학과 (공학석사)
1987년 2월: University of Michigan (공학박사)
1978년 3월~1982년 8월: 한국전자기술연구소 선임연구원

1987년 2월~1989년 2월: IBM T. J. Watson 연구소 연구원
1989년 3월~1992년 2월: 서울대학교 조교수
1992년 3월~1999년 2월: 서울대학교 부교수
1999년 3월~현재: 서울대학교 교수
[주 관심분야] 초고주파 소자 제작, GaAs MMIC, MOCVD 에피성장, RPCVD 박막성장