

## 4중 릿지 도파관과 렌즈를 이용한 새로운 광대역 혼 안테나

### A Novel Broadband Horn Antenna with Quadruple-Ridged Waveguide and Dielectric Lens

이 기 오\*                      박 동 철\*\*  
 Lee, Kee-Oh                  Park, Dong-Chul

#### ABSTRACT

In this paper, a design method of broadband horn antenna having 3:1 bandwidth and multiple polarization characteristics is proposed. The feeding section of the antenna adopts quadruple-ridged waveguide type for broadband and multiple polarization characteristics of the antenna. By inserting a shorting bar in the cavity structure with a semi-sphere type back short, the return loss at the feeding section was minimized. A corrugated dielectric lens is designed for phase compensation and lens-surface matching at the antenna aperture, which improves the antenna beam pattern. The validity of the design method is verified by indicating the measured data of the antenna.

본 논문에서는 다중 편파 및 3:1 이하의 대역폭을 갖는 광대역 혼 안테나 설계 기법을 제시하였다. 급전단은 다중 편파 및 광대역 구현을 위하여 4중 릿지(Quadruple Ridge) 형태의 도파관을 적용하였으며, 반구(Semi-sphere) 형태의 백 쇼트(Back Short)를 갖는 캐비티 구조내에 쇼팅 바(Shorting Bar)를 삽입함으로써 반사손실을 최소화하였다. 안테나 개구면에서의 위상보정을 통해 안테나 빔 패턴을 개선시키기 위하여 주름진 형태의 유전체 렌즈를 설계하였다. 설계 기법을 기반으로 제작된 안테나의 측정결과를 제시함으로써 설계 방법의 타당성을 검증하였다.

주요기술용어(주제어) : Broadband Horn Antenna(광대역 혼 안테나), Quadruple Ridged Waveguide(4중 릿지 도파관), Multiple Polarization(다중 편파), Dielectric Lens(유전체 렌즈)

#### 1. 머리말

마이크로파 측정, 레이더 및 탐지 시스템에 혼 안테

나가 광범위하게 사용되고 있으며, 이러한 시스템은 점차적으로 넓은 주파수 대역폭 뿐만 아니라 다양한 편파가 가능한 안테나를 요구하는 추세이다<sup>[1]</sup>. 이러한 요구를 충족시키기 위하여 릿지 도파관이 활용 되었으며, 릿지 도파관의 모드(Mode), 차단 주파수(Cutoff Frequency), 대역폭 등의 해석을 위하여 MFIE (Magnetic Field Integral Equation), MMM(Mode Matching Method) 및 FDTD(Finite Difference

† 2008년 10월 9일 접수~2008년 11월 28일 게재승인

\* 국방과학연구소(ADD)

\*\* 충남대학교(Chungnam National University)

주저자 이메일 : kolee@add.re.kr

Time Domain) 방법이 주로 사용되었다<sup>[2~6]</sup>. 또한, 대칭성의 장점을 갖는 원형도파관에 4중 릿지(Quadruple Ridge)를 채택하여 위상배열 안테나에 적용한 논문도 발표되었으나, 광대역을 위한 적용가능성만을 제시하였다<sup>[7,8]</sup>. 최근에는 광대역 특성 및 다양한 편파(선형, 원형, 타원형)를 얻기 위하여 혼 안테나에 4중 릿지 및 임피던스 변환기(Impedance Transformer)를 적용하는 연구가 진행되었다<sup>[9~11]</sup>.

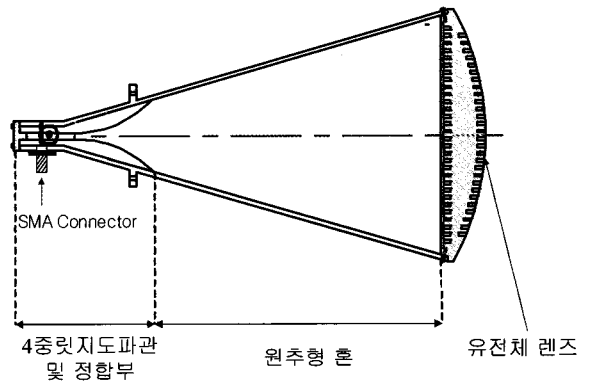
또한, 혼 안테나등 개구면 안테나는 개구면에서 발생하는 위상오차를 줄여 복사패턴을 개선하기 위하여 렌즈를 필요로 하며, 기존 렌즈의 무게와 부피를 개선하기 위하여 Fresnel 렌즈 및 다중 유전율 렌즈를 적용하였으나, 최대의 안테나 이득을 얻기 위해서는 Fresnel 렌즈의 두께가 기존 렌즈의 두께와 비슷해진다<sup>[12~14]</sup>.

앞서 제시된 논문들은 각 포트에서 주파수가 증가할수록 E-평면과 H-평면상의 빔 패턴에 많은 차이를 보이고 있으며, 수직( $J_1$ ) 및 수평( $J_2$ ) 포트간의 안테나 특성차를 제시하지 못하였다. 즉, 4중 릿지 도파관을 적용한 안테나에 대한 전체적인 특성 결과를 제시하지 못하였다. 그러나 본 논문에서는 제작된 안테나의 측정결과로부터 수직 및 수평 포트간 안테나 특성뿐만 아니라, 각 포트에서 E-평면과 H-평면상의 빔 패턴이 매우 유사함을 제시하고자 한다.

본 논문에서 제안한 안테나는 4중 릿지 도파관 급전부를 반구(Semi-sphere) 형태의 백 쇼트(Back Short)를 갖는 캐비티 구조를 적용하였으며, 캐비티 구조내에 쇼팅 바(Shorting Bar)를 삽입함으로써 각각의 포트에서 반사손실을 최소화 하였고, 이를 통하여 수직, 수평 포트 및 각 포트에서의 E-평면과 H-평면상의 특성이 유사하도록 하였다. 또한, 우수한 빔 패턴과 최대의 안테나 이득을 얻기 위하여 안테나 개구면상에 주름진 형태의 유전체 렌즈를 적용하였다.

## 2. 광대역 혼 안테나 설계

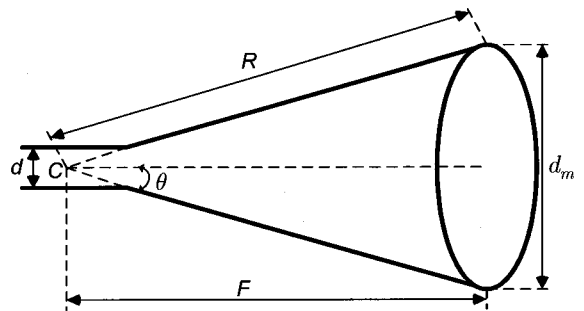
광대역 혼 안테나 설계를 위하여 그림 1과 같이 안테나를 ① 4중 릿지 도파관 및 정합부, ② 원추형 혼, ③ 유전체 렌즈로 분류하였다.



[그림 1] 제안된 혼 안테나 형상

### 가. 원추형 혼

그림 2는 원추형 혼 안테나의 기본 형상이며, 기본 설계 변수로는 입력단의 도파관 직경( $d$ ), 원추형 혼 각도( $\theta$ ), 혼 길이( $R$ ) 및 개구면 직경( $d_m$ ) 등으로 이루어진다. 원추형 혼 안테나는 혼의 길이( $R$ )가 일정할 때, 혼의 각도( $\theta$ )가 증가할수록 이득이 증가하다가 최대 이득 이후 개구면상에서의 위상오차가 증가하면서 이득이 다시 감소하게 된다. 또한, 혼안테나의 개구면 직경( $d_m$ )을 일정하게 유지할 때, 혼의 길이( $R$ )가 길수록 즉 혼 각도( $\theta$ )가 작아질수록 최대의 이득을 얻을 수 있다. 혼 안테나의 이득은 개구면에서의 위상오차에 의한 손실을 고려하여 식 (1)로부터 구할 수 있다<sup>[1]</sup>.



[그림 2] 원추형 혼 안테나 기본 형상

안테나 무게 및 부피에 대한 제약으로 인하여 원추형 혼 안테나의 위상중심( $C$ )에서 개구면까지의 거리와 개구면 직경의 비( $F/d_m$ )가 작아질수록 위상 오차

항이 증가하고, 이는 안테나 복사패턴상의 부엽 준위를 증가시킴으로 위상오차를 보정하기 위한 렌즈 설계시 함께 고려되어야 한다.

$$Gain(dB) = 20\log_{10}(\pi d_m/\lambda) - L(s) \quad (1)$$

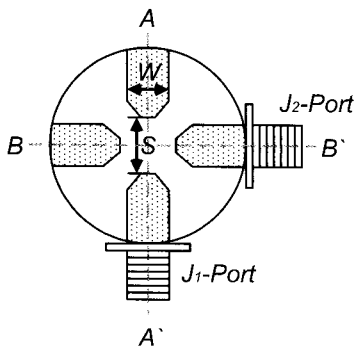
여기서,

$$L(s) \approx (0.8 - 1.7s + 26.25s^2 - 17.79s^3)$$

$$s = d_m^2 / (8\lambda R)$$

나. 4중 릿지 도파관 및 임피던스 정합부

광대역 특성과 다양한 편파를 구현하기 위하여 그림 3과 같이 급전부는 원형도파관 내부에 4중 릿지와 도파관 외부에 수직( $J_1$ ) 및 수평( $J_2$ ) 급전 포트로 구성된다. 이러한 구조는 도파관 내부에 삽입된 4개의 릿지로 인하여 기본 모드( $TE_{11}$ )와 첫번째 고차모드( $TM_{01}$ )의 차단주파수 간격이 넓어져 광대역 특성 구현이 가능하며, 릿지간의 간격( $S$ )이 좁아지고 릿지의 너비( $W$ )가 넓어질수록 임피던스가 작아지는 특성을 가지게 된다. 본 논문에서는 대역 내에서 50Ω의 특성임피던스를 갖도록  $W$ 와  $S$ 를 조절하였으며, 릿지간의 간섭을 줄이기 위하여 릿지의 종단면이 마름모 형태인 릿지를 사용하였다.

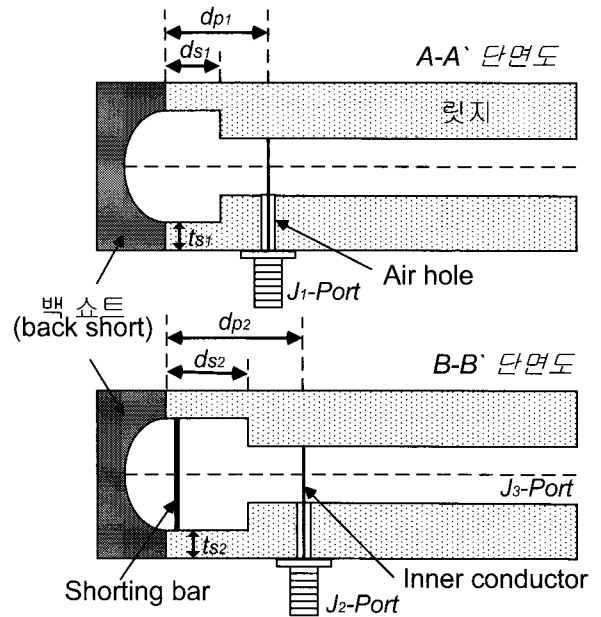


[그림 3] 4중 릿지 도파관의 형상

50Ω의 동축선으로부터 릿지 도파관으로의 전이(Transition)를 위하여 그림 4와 같이 특성임피던스가 50Ω이 되는 Air Hole을 이용한다. Air Hole은 릿지의 중앙을 관통하고, 동축선의 내부도체는 이 Air

Hole을 통하여 반대편 릿지에 연결된다. 동축선으로부터 릿지로의 전이는 안테나의 반사 손실에 큰 영향을 미치므로 이를 줄이기 위하여 그림 4와 같이 반구 형태의 백 쇼트를 이용한 캐비티 구조를 적용하였다. 백 쇼트와 각각의 입력포트( $J_1, J_2$ ) 사이의 거리  $d_{p1}$ 과  $d_{p2}$ 가 달라지게 되고, 이는 포트간 상이한 반사손실 특성을 나타낸다. 그러므로, 먼저 백 쇼트로부터 거리가 짧은 수직 포트에서 최적의 반사손실을 확보한 후, 수평 포트에서는 캐비티내에 쇼트바를 삽입하여 반사손실을 개선하였다.

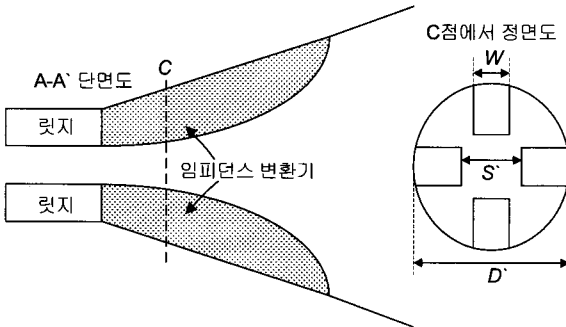
최대의 포트간 격리도와 최소의 포트간 안테나 이득차를 얻기 위하여 캐비티 구조의 변수( $d_{s1}, d_{s2}, t_{s1}, t_{s2}$ ) 및 쇼트바의 위치를 조정함으로써, 최적의 급전 포인트  $d_{p1}$ 과  $d_{p2}$ 를 구할 수 있었으며 이를 위하여 CST사의 MWS 및 Ansoft사의 HFSS를 사용하였다.



[그림 4] 4중 릿지 도파관 급전부의 단면도

그림 5와 같이 안테나 개구면으로 이동할수록 원추형 혼의 직경( $D'$ )이 증가한다. 그러므로, 4중 릿지 도파관과 원추형 혼과의 임피던스 정합을 위한 임피던스 변환기는 각각의 릿지와 연결되며, 변환기의 높이와 너비를 조절함으로써 설계될 수 있다. 본 논문

서는 임피던스 변환기의 폭을 릿지의 너비( $W$ )와 일치시키고 선형적인 임피던스 변화를 갖도록 변환기의 높이를 조절하여 변환기간의 간격( $S'$ )을 구하였다. 그 결과, 지수함수 형태의 테이퍼를 갖는 임피던스 변환기를 설계하였다.



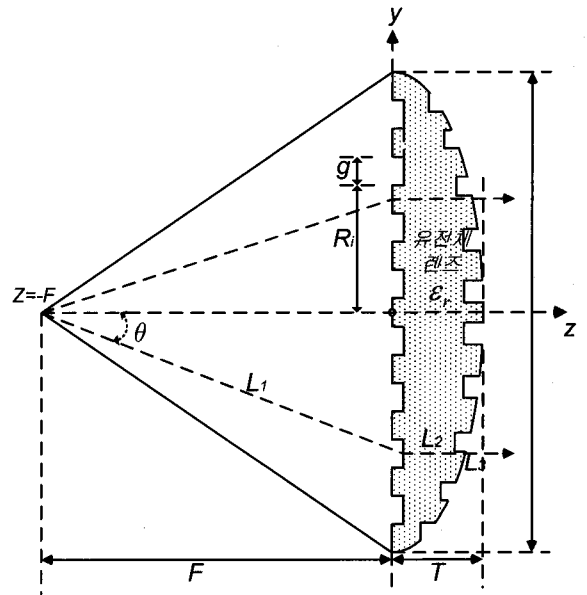
[그림 5] 임피던스 변환기 설계를 위한 모델

다. 유전체 렌즈

안테나 개구면에서 발생하는 위상오차를 줄여 복사 패턴을 개선하기 위하여 렌즈를 필요로 한다. 앞서 원추형 혼 설계시 개구면에서 보정되어야 할 위상오차를 고려하여  $F/d_m$ 를 결정하였다. 그러나,  $F/d_m$ 가 작아질수록 보정되어야 할 위상 오차폭이 커져 렌즈가 두꺼워지므로 렌즈의 무게와 부피가 증가하게 된다. 그러므로 렌즈의 무게와 부피를 줄이기 위하여 Fresnel 렌즈를 주로 사용하는데 이는 개구면에서 연속적인 위상보정을 수행하는 기존 렌즈와 달리 Discrete한 위상보정이 이루어져 개구효율을 저하시키게 된다. 또한, 참고문헌 [14]에서 최대의 안테나 이득을 얻기 위해서는 Fresnel 렌즈의 두께가 기존 렌즈의 두께와 비슷해진다는 연구결과를 발표하였다. 그러므로 본 논문에서는 개구면을 따라 연속적인 위상 보정이 이루어지고 무게와 부피를 줄인 주름진 (Corrugated) 형태의 렌즈를 적용하였다. 이러한 구조는 주름이 공기-유전체(Air-Dielectric) 사이의 불연속에 의한 부정합 손실(Mismatch Loss)을 개선하는 역할도 수행한다.

그림 6은 제안된 렌즈 모델이며, 전파 추적(Ray Tracing) 방법에 기초하여 렌즈의 곡면 및 그로브 형상 설계가 가능하도록 프로그램이 개발되었다. 렌즈의

내부 중앙이 전체 좌표계의 원점에 위치하고,  $z = -F$ 인 안테나의 위상 중심으로부터 전파 경로가 동일하도록 렌즈의 외부 곡면과 주기적인 주름의 형상을 얻는다. 여기서,  $L_1, L_2, L_3$ 는 임의의 입사각  $\theta$ 에 대한 안테나 내부, 유전체 내부 및 자유 공간 상에서 안테나 개구면의 동일 위상까지의 경로이고,  $\epsilon_r$ 은 적용된 유전체의 유전상수이다.



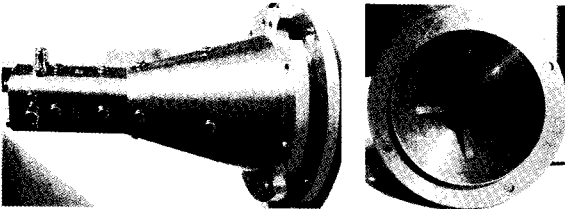
[그림 6] 유전체 렌즈 형상

3. 제작 및 측정결과

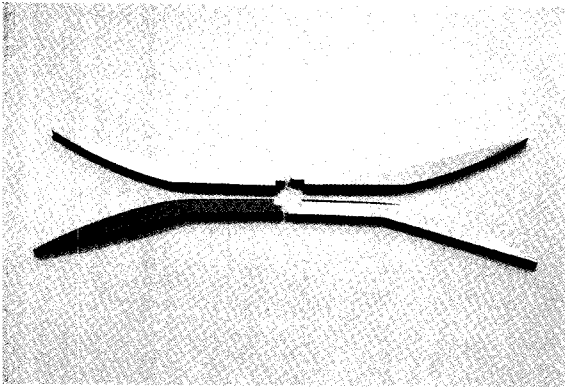
앞의 설계 이론을 바탕으로 설계 제작된 혼안테나는 그림 7과 같고 사용된 치수 들은 아래와 같으며, 그림 7(a)는 4중 릿지 도파관 및 정합부, 그림 7(b)는 릿지와 임피던스 변환기가 일체형으로 제작된 형상, 그림 7(c)와 (d)는 제작된 렌즈의 내·외부 사진이다.

- 도파관의 직경( $d$ ) = 18.00mm
- 혼 각도( $\theta$ ) = 31.14°
- 개구면 직경( $d_m$ ) = 215.0mm
- 혼 길이( $R$ ) = 385.8mm
- 릿지 폭( $W$ ) = 4.40mm

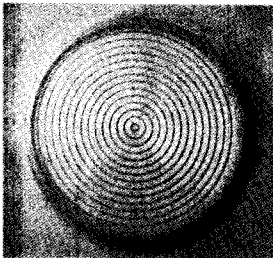
- 릿지간의 간격( $S$ ) = 2.20mm
- 렌즈 유전율( $\epsilon_r$ ) = 2.3
- 렌즈 주름( $g$ ) = 2.0mm



(a) 4중 릿지 도파관 및 임피던스 정합부



(b) 일체형으로 제작된 릿지와 임피던스 변환기



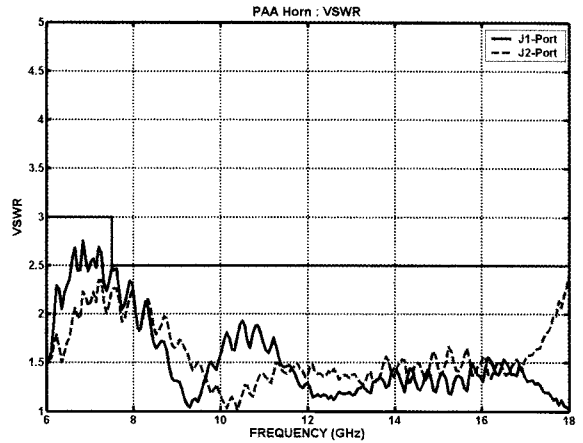
(c) 렌즈 내부



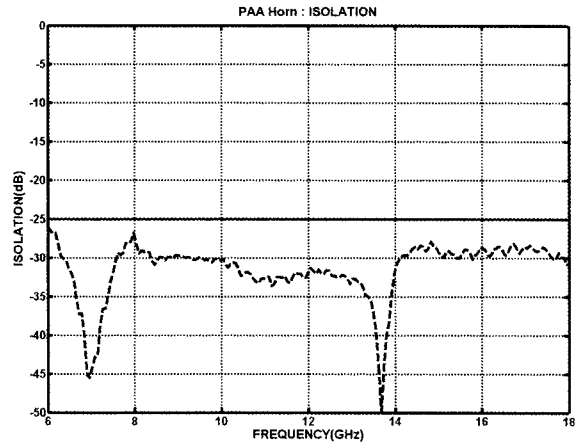
(d) 렌즈 외부

[그림 7] 제작된 광대역 혼 안테나

그림 8은 수직( $J_1$ ) 포트와 수평( $J_2$ ) 포트에서의 VSWR 및 이들 사이의 격리도를 측정된 것으로, VSWR은 6~7.5GHz에서 2.7:1 이하, 7.5~18GHz에서 2.5:1이하로 측정되었으며, 격리도는 전대역에 걸쳐 -26dB 이하로 측정되어 우수한 특성을 나타냄을 알 수 있었다.



(a) J1, J2 포트에서의 VSWR



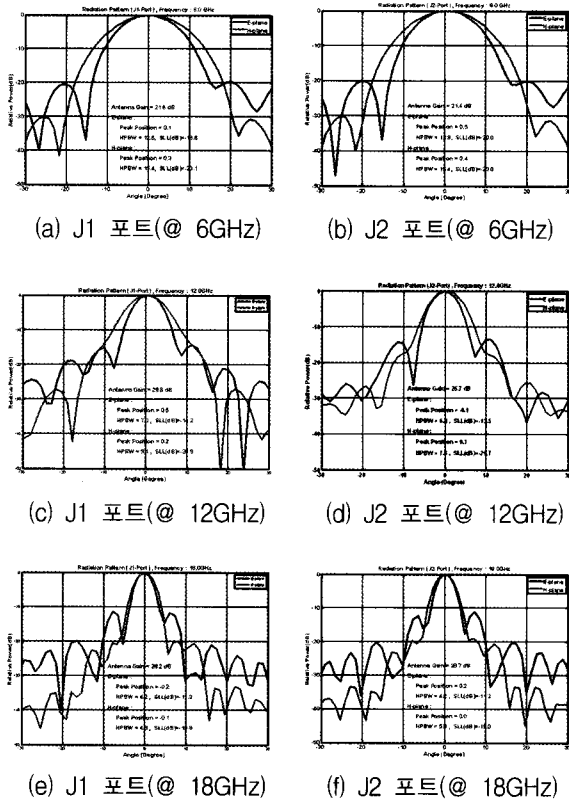
(b) J1과 J2 포트간 격리도

[그림 8] VSWR 및 격리도 측정결과

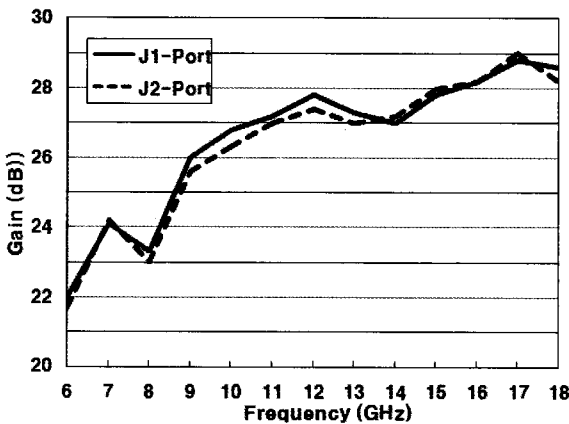
그림 9, 10 및 11은 수직( $J_1$ ) 및 수평( $J_2$ ) 포트에서의 주파수에 따른 안테나 복사패턴, 이득 및 3dB 빔폭의 측정 결과이다. 측정결과 안테나 이득은 6GHz, 12GHz, 18GHz에서 각각 22dB, 27.3dB, 28.4dB로 주파수 증가에 따라 선형적인 증가를 보이고 있으며, 3dB 빔폭은 6GHz, 12GHz, 18GHz에서 각각 14°, 7°, 4.5°로 주파수 증가에 따라 선형적인 감소를 나타내고 있다. 수직( $J_1$ ) 및 수평( $J_2$ ) 포트간 이득차는 0.5dB 이하로 측정되었으며, 부엽준위는 -11.3dB 이하로 우수한 특성을 나타내었다.

또한, 수직, 수평 및 원형 편파에 대한 측정결과 편

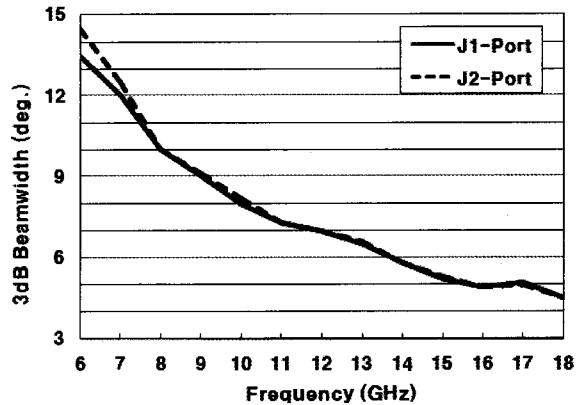
파에 의한 손실이 0.1dB 이하로 매우 양호하며, 제작된 안테나는 실제 배열안테나시스템에 적용되었다.



[그림 9] J1, J2 포트 각각에서의 E-평면 및 H-평면 복사패턴 측정결과



[그림 10] J1, J2 포트에서의 이득 측정결과



[그림 11] J1, J2 포트에서의 3dB 빔폭 측정결과

#### 4. 맺음말

본 논문에서는 다중 편파 및 3:1 이하의 대역폭을 갖는 광대역 혼 안테나를 설계하였다. 급전단은 다중 편파 및 광대역 구현을 위하여 4중 릿지 형태의 도파관을 적용하였으며, 반구 형태의 백 쇼트를 갖는 캐비티 구조내에 쇼트바를 삽입함으로써 반사손실을 최소화 하였다. 4중 릿지 도파관과 원추형 혼과의 임피던스 정합을 위하여 지수함수 형태의 임피던스 변환기를 설계하였으며, 개구면에서의 위상보정을 통해 안테나 복사 패턴을 개선시키기 위하여 주름진 형태의 유전체 렌즈를 설계하였다. 제작된 안테나의 측정결과로부터 수직( $J_1$ ) 및 수평( $J_2$ ) 포트간 안테나 특성차 뿐만 아니라, 각 포트에서 E-평면과 H-평면상의 빔 패턴이 매우 우수함을 알 수 있었으며, 실제 배열안테나 시스템에 적용되었다.

#### 참고 문헌

[1] C. A. Balanis, Antenna Theory-Analysis and Design, 3rd Ed., John Wiley and Sons, 2005.  
 [2] M. H. Chen, G. N. Tsandoulas, and Willwerth, "Modal Characteristics of Quadruple-ridged Circular and Square Waveguides", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., pp. 801~804,

1974. 8.
- [3] W. Sun and C. A. Balanis, "Analysis and Design of Quadruple-ridged Waveguides", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. 42, pp. 2201~2207, 1994. 12.
- [4] 유종원, 명노훈, "다중 Ridge 원형 도파관의 TM 과 TE 모드 해석", 한국전자과학회논문지, 7(5), pp. 440~446, 1996. 12.
- [5] C. Reig and E. Navarro, "FDTD Analysis of E-sectoral Horn Antennas for Broadband Applications", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. 45, pp. 1485~1487, 1997. 10.
- [6] Y. Tang, J. Zhao and W. Wu, "Mode-matching Analysis of Quadruple-ridged Square Waveguides", IEEE Microwave and Optical Tech. Letters, Vol. 47, 2005. 10.
- [7] C. C. Chen, "Quadruple Ridge-loaded Circular Waveguide Phase Array", IEEE Trans. on Antennas and Propagation, Vol. AP-22, pp. 481~483, 1974. 5.
- [8] S. A. Soroka, "A Physically Compact Quad Ridged Horn Design", IEEE Antennas and Propagation Society International Symposium, Vol. 24, pp. 903~904, 1986. 6.
- [9] 방재훈, 이기오외 4인, "3:1 대역특성을 가지는 광대역 혼 안테나 설계기법", 한국전자과학회 추계 전파 및 광파기술 학술대회 논문집, pp. 40~43, 2004. 10.
- [10] Zhongxiang Shen and Chao Feng, "A New Dual-pol-arized Broadband Horn Antenna", IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters, Vol. 4, pp. 270~273, 2005. 4.
- [11] R. Dehdasht-Heydari, H. R. Hassani and A. R. Mallahzadeh, "Quad Ridged Horn Antenna for UWB Applications", Progress in Electromagnetics Research Symposium, PIERS 79, pp. 23~38, 2008.
- [12] D. N. Black and J. C. Wiltse, "Millimeter wave Characteristics of Phase-correcting Fresnel Zone Plates", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. 35, pp. 1122~1129, 1987. 12.
- [13] H. D. Hristov and M. H. A. J. Herben, "Millimeter-wave Fresnel Zone Plate Lens and Antenna", IEEE Trans. on Microwave Theory and Tech., Vol. 43, pp. 2779~2785, 1995. 12.
- [14] A. Petosa, N. Gagnon and A. Ittipiboon, "Effects of Fresnel Lens Thickness on Aperture Efficiency", Communications Research Centre Canada, Publications Paper at <http://www.empire.de>, 2004.