

# mm파 컬러게이트 휘드 혼 안테나의 설계법

손 태호\* 박 영태\*\* 한 석태\*\*\*

\* 순천향대학교 정보기술공학부(thson@sch.ac.kr)

\*\* 대전대학교 통신공학과 \*\*\* 천문연구원 전파천문연구부

## Design Method for the Millimeter Wave Corrugated Feed Horn Antenna

Taeho Son, Young Tae Park and Seog-tae Han

### Abstract

Design procedure of corrugated horn antenna for mm-wave frequency range is presented, and hybrid condition in horn is calculated. Balanced hybrid mode should be converted in the horn from TE<sub>11</sub> mode by the proper corrugation dimensions which size are available to be fabricated under the mm-wave short wavelength condition.

In this paper, corrugate profiles which satisfy both hybrid condition and fabrication possibility are obtained. By cylindrical mode theory, the electromagnetic fields both inside horn and corrugation are delivered. Propagation characteristics in horn is calculated by the mode impedance matching method with boundary conditions, and radiation fields are obtained by the Kirchhoff-Huygen principle to the horn aperture fields. A mm-wave corrugated horn operates on 85 ~ 115GHz is designed and fabricated, and results of measurement are also shown.

### 1. 서론

혼 안테나는 측정용 표준안테나로 사용될 뿐만 아니라 패러볼라, 카세그레인 등 각종 반사판 안테나의 급전 혼으로 널리 적용되고 있다. 혼 안테나의 적용이 대부분 반사판 안테나의 급전부로 사용되기 때문에 반사판 안테나 시스템의 대역특성은 혼에 의해 좌우된다. 특히 이중 대역을 사용하는 위성통신용이나 광 대역 특성을 요하는 전파천문용 안테나의 경우, 대역특성이 좁은 일반 혼으로는 특성을 만족할 수 없다. 따라서 이러한 시스템에는 컬러게이트 혼 안테나를 적용하여 오고 있다.[1][2]

컬러게이트 혼 안테나는 거의 1 octave 영역에 이르는 대역에서 평탄한 이득, 낮은 축비(axial ratio)와 교차편파(cross polarization) 성분 및 부엽(side lobe) 특성을 가지고 있다. 컬러게이트 혼에 관한 연구는 1962년에 미국의 Kay에 의해서 시작되었고, 이후 ring roaded 등과 같은 효율적인 모드 변환부에 관한 연구가 진행되었다.[3]-[7]

이동통신 및 위성통신에서 밀리미터파 대역 사용의 증가와 더불어 전파천문용 안테나의 급전용으로 mm파 대역 컬러게이트 혼 안테나의 설계가 매우 필요한 실정이다. 밀리미터파 대역은 파장이 매우 짧기 때문에 기본모드인 TE<sub>11</sub>모드에서 기본 하이브리드 모드인 HE<sub>11</sub>로의 모드변환이 쉽지 않다. 이는 평형 하이브리드 조건에 부합하는 컬러게이트 크기는 제작하기가 불가능하기 때문이다. 따라서 밀리미터파 영역에서는 제작성을 고려하기 위해 평형 하이브리드 조건에 부합하지는 않더라도 평형 조건에 근접하는 크기를 찾아 설계를 하여야 한다.

이 연구에서는 밀리미터파 대역에서 동작하는 컬러게이트 혼 안테나를 설계한다. 제작이 가능하면서도 성능 관점을 파악하기 위해 모드이론과 임피던스 정합 이론을 통하여 혼 내 전파특성 관계식을 유도한다. 유도된 관계식으로부터 컬러게이트 치수별 하이브리드 조건을 얻음으로써 성능의 열화가 최소이면서도 제작이 가능한 크기를 얻는다. 또한 방사특성을 위해 벡터포텐셜 이론을 적용하여 방사전자

계를 구하여 주편파 및 교차편파특성을 구한다. 전파천문용 85 - 115GHz 켈러게이트 혼 안테나를 설계하고, 이를 제작 측정함으로써 이론치와 비교한다.

## II. 혼 내부 전자계 방정식

### 1. 켈러게이트 혼의 구조

원추형 켈러게이트 혼 안테나는 원통 도파관에 연결되어 있고, 내부 면이 주름 관으로 이루어져 있다. 이 안테나의 구조는 그림1과 같으며, 좌측으로부터 input taper, mode converter, transition 및 output flare영역으로 나누어진다.

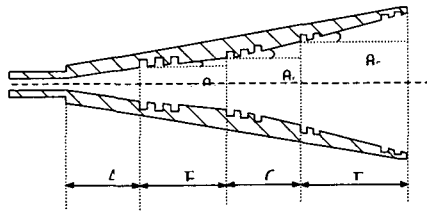


그림1. 켈러게이트 혼의 단면도

input taper영역은 뒷부분인 mode converter에서 발생하는 교차 hybrid모드의 역 전달을 막아주는 역할을 하여 정제파 특성이 결정되어 지는 영역이다. mode converter영역은 원통 도파관의 기본모드인  $TE_{11}$ 모드를 하이브리드 모드로 바꾸어 주는 부분이다. 이때 가급적 하이브리드 조건에 맞추어  $HE_{11}$ 모드만 존재하도록 설계한다. transition영역은 output flare영역과 mode converter section을 연결해 주기 위한 부분으로 교차 하이브리드모드의 발생을 억제시키는 부분이기도 하다. 혼 길이의 대부분에 해당하는 output flare영역은 혼 빔 패턴과 이득 및 초점거리 등의 특성이 결정되는 영역이다.

### 2. 혼 내부 전자계 방정식

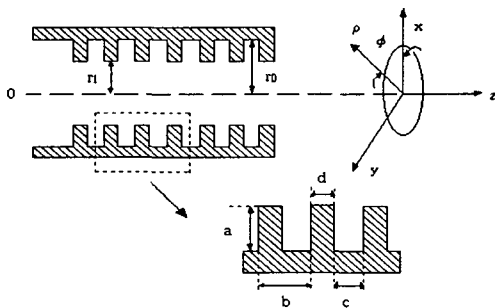


그림2. 켈러게이트 도파관 구조

혼 내부 전자계 방정식은 그림2와 같은 켈러게이트 원통도파관을 해석함으로써 구할 수 있다. 파동방정식을 만족하는 TE, TM모드 스칼라함수를 원통좌표계 파동방정식으로부터 유도한 다음 켈러게이트 밖인  $\rho < r_1$  영역에서의 전자계와 켈러게이트 내부 영역인  $r_1 < \rho < r_0$ 에서의 전자계를 계산한다. 계산된 전자계를 이용하여 켈러게이트 밖인 혼 내부 영역에서의 어드미턴스와 켈러게이트 내부 영역의 어드미턴스가 정합되는 조건을 적용하면 다음과 같은 항등식을 얻을 수 있다.

$$F_m(x_1) - \frac{(m\beta)^2}{F_m(x_1)} = \left(\frac{K}{k}\right)^2 S_m(x_1', x_0') \quad (1)$$

위 식에서 우측항의

$$S_m(x, y) = x \frac{J_m'(x) Y_m(y) - J_m(y) Y_m'(x)}{J_m(x) Y_m(y) - J_m(y) Y_m(x)} \quad (2)$$

이다. 식(2) = 0을 만족하는 조건은 전계  $E_z$ 의 크기와 자계  $H_z$ 의 크기가 같아지는 평형 하이브리드 조건이다. 식 (7)에  $\beta^2 = 1 - \left(\frac{K}{k}\right)^2$  관계를 적용하고 Bessel 함수 내부변수를  $Kr_1 = \alpha$ 로 놓으면 켈러게이트 도파관 내 전파상수는

$$\beta = k\bar{\beta} = \left[ k^2 - \left(\frac{\alpha}{r_1}\right)^2 \right]^{1/2} \quad (3)$$

와 같이 된다.

## III. 방사전자계

켈러게이트 혼 안테나의 개구면 전자계는 먼저 켈러게이트 도파관 개구면 전자계에 기하광학법에 의한 개구면 위상오차 항을 첨가함으로써 구할 수 있다.

개구면에서의 전자계가 계산되면 방사전자계는 Kirchhoff-Huygen 원리에 따라 구할 수 있다. 즉 개구면 전자계를 등가원리(equivalent principle)에 따라 전류원 및 자류원으로 바꾼 뒤 포텐셜 적분식을 이용하여 풀어 전계 및 자계벡터 포텐셜을 계산한다.

방사전자계를 계산할 때 근거리 영역 항인  $\frac{1}{r^2}$  과

$\frac{1}{r^3}$  항을 무시하고,  $\frac{1}{r}$  항만 고려하면 근사 계산에 의해 다음과 같이 된다.

$$E_{\theta} \cong -jkF_{\phi} - jk\eta A_{\theta} = -jk\eta \cos \phi (1 + \cos \theta) A_x \quad (4)$$

$$E_{\phi} \cong jkF_{\theta} - jk\eta A_{\phi} = jk\eta \sin \phi (\cos \theta + 1) A_x \quad (5)$$

여기서  $\eta$ 는 자유공간의 특성 임피던스로  $120\pi[\Omega]$ 이다. 혼 개구면의 전계가  $x$  방향으로 편파되었을 경우 복사전계의 주 편파 성분  $\vec{E}_{\theta-pol}$ 과 교차 편파성분  $\vec{E}_{\phi-pol}$ 은 다음 식으로부터 구할 수 있다

$$E_{\theta-pol} = E_{\theta} \cos \phi - E_{\phi} \sin \phi \quad (6)$$

$$E_{\phi-pol} = E_{\theta} \sin \phi + E_{\phi} \cos \phi$$

#### IV. 혼 안테나의 설계

주파수 85 - 115GHz에서 동작하는 밀리미터파용 컬리게이트 혼 안테나 입력은 사각형(rectangular) 도파관이므로 원통 도파관은 transition이 필요하다. 입력 도파관은 크기 2.32 x 1.02mm의 WR-8 사각형 표준 도파관이고 변환된 원통의 반지름은 1.36mm, transition 길이는 16.32mm이다.

컬리게이트의 mode converter 영역 부분의 설계는 컬리게이트 치수별 하이브리드 조건 값을 해석하여야 한다. 컬리게이트 간격을 pitch, 홈을 slot, 요철부를 ridge라 하고, 전자계 해석 결과 다음 표1과 같다. 따라서 파장이 매우 짧은 mm파용 컬리게이트 설계를 위해서

- 1) 파장 당 pitch의 수와 slot : ridge의 비를 가변
- 2) 앞에서 구한 혼 내부 전자계 식에 대입
- 3) 주파수별 하이브리드 조건을 산출
- 4) 하이브리드 특성과 제작 가능성을 함께 고려한 컬리게이트 치수를 선택
- 5) 치수에 따른 혼 전파특성, 방사특성 등을 유도하여야 한다.

표1. 컬리게이트 치수별 혼 내부특성

No of pitch	Slot / pitch	Cut off (TE)	Dimension (mm)		Hybrid condition (   Δ   ) vs. GHz		
			pitch	ridge	85	100	115
2	0.55	209	1.30	0.59	0.995	1.05	1.10
3	0.65	265	0.87	0.30	0.996	1.04	1.09
4	0.75	307	0.65	0.16	0.996	1.04	1.08
5	0.85	338	0.52	0.08	0.997	1.03	1.07

표1은 대표적으로 몇 개의 치수만 나타낸 것이다. 치수별 특성 데이터에 따라 평형 하이브리드 조건에 근접하면서도 제작이 가능한 치수를 결정하여 설계한 결과는 그림 3과 같다.

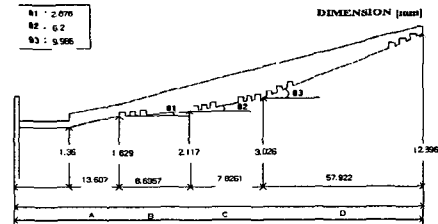
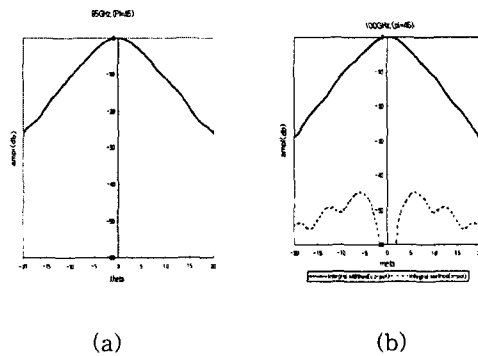
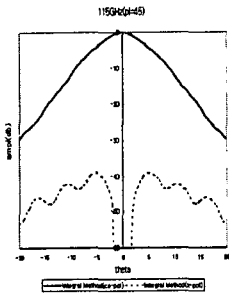


그림3. 설계된 컬리게이트 혼의 치수

그림 4(a)는 주파수 85GHz에서의 이론적인 주 및 교차편파 패턴이고, (b)는 주파수 100GHz, (c)는 주파수 115GHz에서의 패턴이다. 패턴은  $\phi=45^\circ$ 에서의 패턴을 나타낸 것이며, 실선은 주 편파, 점선은 교차 편파 패턴이다.





(c)

그림4. 혼 안테나의 주 편파 및 교차편파 방사패턴;  
(a) 85GHz, (b) 100GHz, (c) 115GHz,

### V. 제작 및 측정결과

설계된 그림 3의 밀리미터파 컬러게이트 혼 안테나는 electric forming법에 의해 제작되었다. 안테나를 포함하여 수백 GHz대 밀리미터파 부품은 일반적으로 밀링 등과 같은 가공법으로는 내부의 제작이 불가능하다. electric forming법은 먼저 원하는 안테나의 내부를 알루미늄 등과 같은 재질로 가공한 다음 동 혹은 금으로 전기 도금시켜 내부에 있는 알루미늄을 녹여내는 방법이다. 제작된 안테나의 그림은 그림 5와 같다.

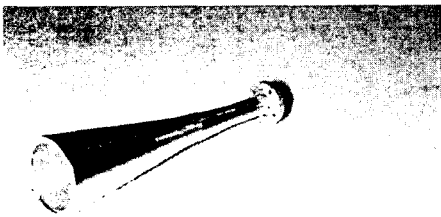


그림5. 제작된 원추형 컬러게이트 혼

측정은 천문연구원 전파천문연구부에서 측정하였다. 그림 6은 HP8510으로 측정한 혼 안테나의 VSWR 특성이다. 그림에서 보듯이 85 ~ 110GHz 전 대역에서 정재파비 1.5 : 1 이하로 우수한 반사특성을 보이고 있다.

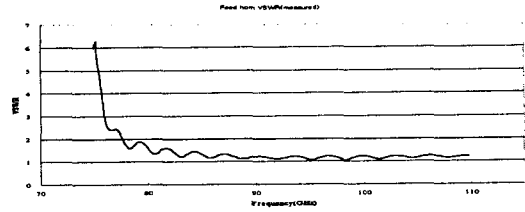
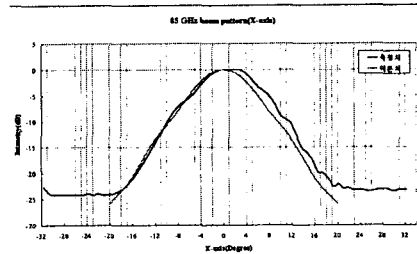
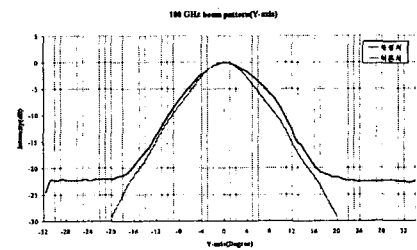


그림6. 측정된 VSWR 특성

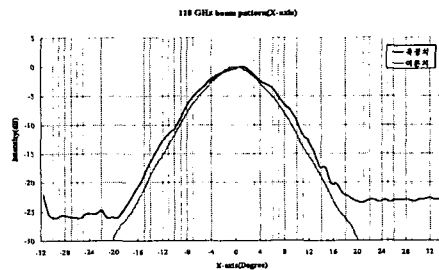
그림 7은 측정된 방사패턴이다. 방사패턴의 측정은 Gaussian optics 장치를 이용하였다. 이는 등거리면이 아닌 평면에서의 전력을 수신한 다음 S/W로 변환한 측정패턴이다. 그림 7에서 (a)는 주파수 85GHz, (b)는 100GHz 및 (c)는 110GHz에서의 패턴이다.



(a)



(b)



(c)

그림 8 측정된 방사패턴; (a) 85GHz,  
(b) 100GHz, (c) 110GHz

측정된 그림 7은 이론적인 Gaussian 패턴과도 잘 일치하고 있지만 적분법에 의한 이론적인 패턴인 그림 4와 비교하면 더욱 잘 부합되고 있음을 볼 수 있어, 본 연구의 타당성을 뒷받침해 주고 있다.

## VI. 결론

밀리미터파 컬러게이트 혼 안테나를 해석 및 설계하는 방법을 나타내고 이를 제작하였다. 주파수 85 - 115GHz 대역용 안테나를 설계하였다. 제작은 electric forming 방법으로 제작하였고, 주파수 85 - 110GHz 대역에서 측정된 VSWR은 주파수 전 범위에서 1.5 : 1 이하로 우수한 반사특성을 보였다. 또한 3개 주파수 대역에서 측정된 방사패턴은 주파수 85, 100 및 110GHz에서 각각 반치각 9.2, 9.16 및 9.02도로써 이론치와 매우 잘 부합되었다.

## 참고문헌

- [1] P.J.B. Clarricoats and A.D. Olver, "Corrugated Horn for Microwave Antennas", Peter Peregrinus Ltd., London, 1984
- [2] Thoma A. Milligan "Modern Antenna Design" McGraw-Hill, 1985
- [3] A.F.Kay, "The Scalar feed", AFCRL Rep.64-347, AD601-609, May, 1964.
- [4] H. C. Minnett and B. M. Thomas, "A Method of Synthesizing Radiation Pattern with Axial Symmetry", IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. AP-14, pp.654-656, Sept., 1966
- [5] P.J.B. Clarricoats and P.K. Saha, "Propagation and radiation behaviour of corrugated feeds", Proc. Inst. Elec. Eng., Vol. 118A, pp.1167-1186, Sept., 1971
- [6] G. L. James " TE<sub>11</sub>-to-HE<sub>11</sub> Mode Converters for Small Angle Corrugated Horns" IEEE Trans. on Antennas and Propagation, vol. AP-30, No.6, Nov., 1982
- [7] G. L. James and B. M. Thomas, "TE<sub>11</sub> to HE<sub>11</sub> Cylindrical Waveguide Mode Converters using Ring-loaded Slots", IEEE Trans. on Microwave Theory and Techniques, Vol. MTT-30, No.3, pp.278-285, Mar., 1982