

위성통신용 RF시스템 및 지구국용 최적곡면 캐세그레인 안테나 설계에 관한 연구

김 홍 수* · 양 두 영**

A Study on Design of the RF System for Satellite Communication and the Shaped Cassegrain Antenna for Earth Station

Kim Heung-soo*, Yang Doo-young**

ABSTRACT

We analyse RF system to send baseband signal and design profiles of the reflector for the shaped Cassegrain antenna according to distributions of power density on the aperture. Profiles of the main reflector and subreflector are designed by the principle of energy conservation and the Snell's law.

It was conformed that profiles of the reflector for the shaped Cassegrain antenna of 32m dia. obtained by these methods coincided well with those of VERTEX Co. LTD and the more uniform power density and phase on the aperture were, the better illumination efficiencies of the aperture became.

서 론

위성통신은 다중통신과 원거리통신의 필요성 때문에 1965년 INTELSAT 연구기관에 의해 처음 시작되어 지금은 12,500회선의 음성회로와 두개의 TV채널을 송수신하는 거대한 용량을 보유하게 되었다. 위성통신시스템은 우주위성시스

템과 지구국용 안테나를 포함한 RF(Radio Frequency)시스템 및 모뎀 등으로 구성되어 있다.¹⁾ 현재 마이크로파 대역에서 일반적으로 사용되고 있는 위성통신용 주파수대역은 업링크(지구-위성)인 경우 12.5GHz에서 14.8GHz대역, 다운링크(위성-지구)인 경우 10.7GHz에서 12.3GHz대역을 사용하고 있다.

* 통신공학과

** 한양대학교 전자통신학과

본 논문에서는 기저대역신호(baseband signal)를 반송파에 실어 RF신호를 만드는 RF 시스템과 지구와 위성간에 송수신용으로 사용되는 지구국용 위성통신 캐썬그레인 안테나를 해석하고 설계한다. 캐썬그레인 안테나는 위성통신용 안테나 및 마이크로파 통신을 위한 안테나 등에 널리 사용되고 있다. 일반적인 캐썬그레인 안테나는 주반사판이 포물면(paraboloid), 부반사판이 쌍곡면(hyperboloid)으로 구성되어 있다.

최적곡면 캐썬그레인 안테나는 어퍼취에서 전력밀도와 위상이 일정하도록 주반사판과 부반사판의 프로파일(profile)을 바꾸어 준 안테나로서 일반적인 캐썬그레인 안테나에 비해 효율을 높일 수 있기 때문에 안테나 이득을 크게 할 수 있다.^{2)~4)}

이 연구에서는 어퍼취의 전력분포로부터 반사판의 프로파일을 구하고 에너지보존 법칙과 포물선방정식으로부터 주반사판의 프로파일을 계산한 후 Snell의 법칙을 이용하여 부반사판의 프로파

일을 구한다. 또한 부반사판으로 복사되는 각도에 따른 파의 진행경로를 일정하게 하는 조건으로부터 주반사판의 프로파일을 수정하여 설계한다.

이 연구결과의 타당성을 밝히기 위하여 직경 32m 크기를 갖는 최적곡면 캐썬그레인 안테나를 설계하고 어퍼취 조사효율을 계산하여 미국 VERTEX사의 자료와 비교한다.⁶⁾

RF시스템 구성

그림 1은 위성으로부터 송출된 신호가 지구국용 안테나를 통하여 수신되는 RF시스템의 블록도이다. RF시스템은 안테나로 수신된 신호를 초단에서 증폭시키는 LNA(low noise amplifier), RF신호를 송출시키기 위한 HPA(high power amplifier) 그리고 RF신호를 IF(intermediate frequency)신호로 바꾸는 주파수변환기(frequency converter)로 구성된다.

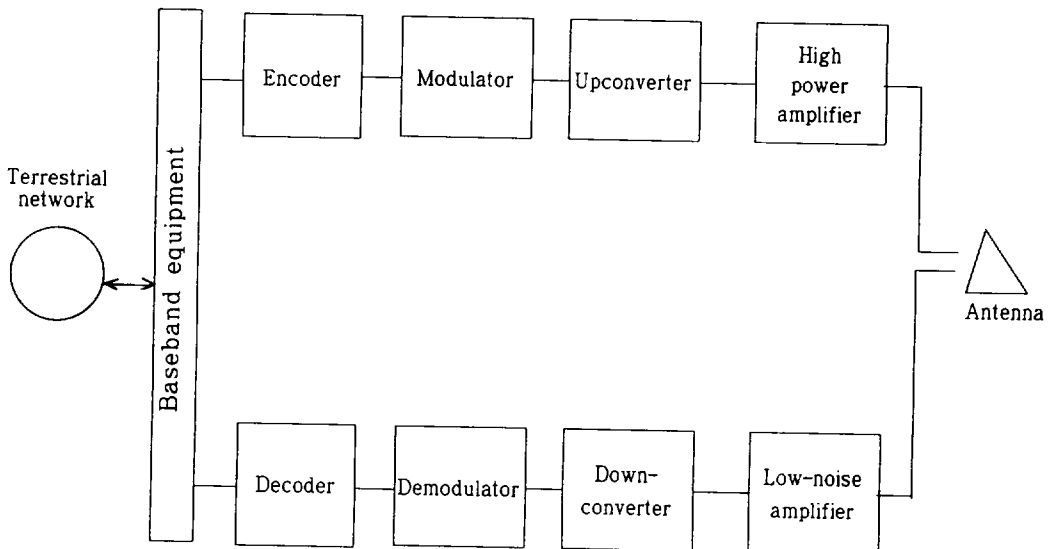


Fig. 1 RF system for the earth station.

을 나타낸 그림이다. 주반사판의 좌표를 (x_2, y_2) , 부반사판의 좌표를 (x_1, y_1) 으로 한다. A는 쏠점에서 주반사판 어퍼취까지의 거리, B는 쏠점에서 부반사판 끝까지의 거리를 나타낸다. $\theta_1, \theta_2, \theta_3$ 는 부반사판으로 복사되는 패턴각도, 부반사판에서 반사된 파가 주반사판으로 향할 때 y축과 이루는 각도, 주반사판에서 반사된 파가 y축과 이루는 각도를 표시한다. 또한 r_1, r_2, r_3 는 쏠점에서 부반사판, 부반사판에서 주반사판, 주반사판에서 어퍼취까지의 각도에 따른 경로길이를 나타낸다.

어퍼취 전력밀도가 일정한 경우에 대한 에너지 보존 법칙은 다음과 같다.

$$\int_{\theta_{1, \min}}^{\theta_{1, \max}} F(\theta_1) 2\pi \sin \theta_1 d\theta_1 = \int_{x_2', \min}^{x_2', \max} I_c(x_2') 2\pi x_2' dx_2' \quad (1)$$

여기서 $F(\theta_1)$ 은 복사각도에 따른 급전전력밀도이며 $I_c(x_2')$ 은 주반사판 어퍼취 x_2' 점에서의 전력 밀도이다. 어퍼취 전력밀도가 일정하기 위해서는 $I_c(x_2')$ 이 상수가 되어야 하므로 급전복사각도 θ_1 에 해당하는 x_2' 을 구할 수 있다. 또한 어퍼취 전력밀도가 모서리부근에서 감소되는 경우, 다음 식을 이용하여 급전복사각도 θ_1 에 해당하는 x_2' 을 구할 수 있다.

$$\int_{\theta_{1, \min}}^{\theta_{1, \max}} F(\theta_1) 2\pi \sin \theta_1 d\theta_1 = \int_{x_2', \min}^{x_2', c} I_c(x_2') 2\pi x_2' dx_2'$$

$$+ \int_{x_2', c}^{x_2', \max} I_t(x_2') 2\pi x_2' dx_2' \quad (2)$$

여기서 $I_t(x_2')$ 은 전력밀도 감소량에 따른 x_2' 의 함수를 나타낸다.

부반사판과 주반사판에 대한 Snell의 법칙은 다음과 같다.

$$\frac{dy_1}{dx_1} = \tan\left(\frac{\theta_1 - \theta_2}{2}\right) \quad (3)$$

$$\frac{dy_2}{dx_2} = -\tan\left(\frac{\theta_2 - \theta_3}{2}\right) \quad (4)$$

여기서 θ_2 와 θ_3 는 그림 2로부터 다음과 같이 유도된다.

$$\theta_2(x_1, y_1, x_2, y_2) = \tan^{-1}\left(\frac{x_2 - x_1}{-A + B + y_2 - y_1}\right) \quad (5)$$

$$\theta_3(x_2, y_2, x_2') = \tan^{-1}\left(\frac{x_2' - x_2}{y_2}\right) \quad (6)$$

쏘점에서 주반사판 어퍼취까지의 경로길이 $C(x_2')$ 은 다음과 같다.

$$C(x_2') = r_1 + r_2 + r_3 + C_0(\theta_1) \quad (7)$$

여기서 $C_0(\theta_1)$ 은 휘드 혼에서 복사하는 전계의 위상이다. 그림 2로부터 r_1, r_2, r_3 를 유도하면

$$r_1(\theta_1, y_1) = (B - y_1)\sec\theta_1 \quad (8)$$

이 되고 초점에서 어퍼취까지의 경로길이와 x_2' 의 비가 $\sin\theta_1$ 인 Malus정리를 이용하면 식(11)은 다음과 같이 된다.

$$r_2(\theta_1, y_1, x_2, y_2)$$

$$= \sqrt{(x_2 - x_1)^2 + (-A + B + y_2 - y_1)^2} \quad (9)$$

$$r_3(x_2, y_2; x_2')$$

$$= \sqrt{(x_2' - x_2)^2 + y_2^2} \quad (10)$$

$$r_3 = \frac{y_2}{\sqrt{1 - \left[\frac{dC(x_2')}{dx_2'}\right]^2}} \quad (12)$$

이 된다. 식(6)를 식(10)에 대입하여 정리하면

$$r_3 = \frac{y_2}{\cos\theta_3} \quad (11)$$

식(8), (9), (12)을 식(7)에 대입하고 정리하여 다음식을 얻는다.

$$x_2 = x_2' + \frac{[(x_1 - x_2')^2 + (-A + B - y_1)^2 - D^2]}{2 \left[(x_1 - x_2') + \frac{(-A + B - y_1) \sqrt{1 - \left[\frac{dC(x_2')}{dx_2'}\right]^2} + D}{\frac{dC(x_2')}{dx_2'}} \right]} \quad (13)$$

$$y_2 = - \frac{[(x_1 - x_2')^2 + (-A + B - y_1)^2 - D^2]}{2 \left[(-A + B - y_1) + \frac{\frac{dC(x_2')}{dx_2'}(x_1 - x_2') + D}{\sqrt{1 - \left[\frac{dC(x_2')}{dx_2'}\right]^2}} \right]} \quad (14)$$

여기서 D는

$$D = C - (B - y_1)\sec\theta_1 - C_0(\theta_1) \quad (15)$$

이다.

부반사판으로 복사되는 각도 θ_1 이 주어지면 식 (1), (2)로부터 x_2' 점을 구한 뒤 식(3), (4), (13), (14)을 만족하는 부반사판의 좌표 (x_1, y_1) 과 주반사판의 좌표 (x_2, y_2) 를 구하므로써 최적곡면

캐췌그레인 안테나를 설계할 수 있다. 위의 미분 방정식을 풀기 위해서는 초기조건 $x_{1max}, x_{1min}, \theta_{1max}, \theta_{1min}, x_2', x_2', \theta_2', \theta_2', A, B$ 의 값이 주어져야 한다. 그러나 식(3)의 해는 x_2, y_2 가 미지항이므로 구하기가 매우 어렵다.

이 연구에서는 Williams가 제시한 방법을 이용하여 보다 간략하게 반사판을 설계한다. 먼저 식 (1), (2)에 의해 x_2' 이 계산되면 포물선 방정식 인

$$y_2' = \frac{x_2'^2}{4F_m} \quad (16)$$

을 이용하여 주반사판의 프로파일을 구한다. 포물 선의 프로파일이 얻어지면 x_2', y_2' 으로 식(3)의 미분방정식을 계산하여 부반사판의 프로파일을 구 한다. 경로길이를 일정하게 하는 기준을 $\theta_1=0^\circ$ 일 때로 하면 $C(x_2')$ 은 식(7)에 의해

$$C(x_2'=0) = A + 2[-A + B - y_1(x_2'=0)] + 2\left[\frac{x_2, \max^2}{4F_m}\right] \quad (17)$$

이 된다. 주반사판에 의해 반사된 파는 어퍼취와 수직을 이루므로 $\theta_1=0^\circ$ 가 되며 식(17)의 관계가 유지되는 조건하에서 식(13), (14)을 이용하여 주반사판의 프로파일을 수정함으로써 최적곡면 캐 췌그레인 안테나의 반사판을 설계한다.⁵⁾

결과 및 고찰

최적곡면 캐췌그레인 안테나의 반사판 설계에 필요한 제원은 미국 VERTEX사의 위성통신용 빔

웨이브가이드 안테나 설계자료이다.⁶⁾ 주반사판의 어퍼취직경은 32m, 주반사판의 촛점거리는 11.42m, 주반사판과 촛점간의 거리는 0.997m, 주반사판과 부반사판의 크기비는 브라킹효율이 최 적화된 상내인 0.092, 주파수는 C밴드의 3.62GHz로 한다.

어퍼취에서 전력밀도와 위상이 일정할 때, 어 퍼취 조사효율은 100.00%가 되지만 전력밀도와 위상이 일정하지 않을 때는 안테나의 효율이 떨 어지게 된다.

표1은 어퍼취 전력밀도가 일정한 경우에 대한 최적곡면 캐췌그레인 안테나의 휘드 급전각도별 반사판 프로파일 및 어퍼취 조사효율을 계산한 결과이다. 또한 반사판 프로파일은 거의 변화가 없으나 어퍼취 조사효율은 어퍼취 전력밀도가 일 정할 때 100.00%로 나타났다.

결 론

본 논문에서는 위성통신용 RF시스템과 위성통 신 지구국용 최적곡면 캐췌그레인 안테나의 반사 판을 설계하고 어퍼취 조사효율을 계산하였다. 주반사판의 프로파일은 에너지보존 법칙과 포물선 방정식으로부터 구하였고, Snell의 법칙을 이용하 여 부반사판의 프로파일을 구하였다. 휘드 급전 각도에 따른 파의 진행경로를 일정하게 하는 조 건으로부터 주반사판의 프로파일을 수정하여 반사 판의 설계하였다.

직경 32m 크기의 최적곡면 캐췌그레인 안테나 의 반사판을 설계한 결과, 일반적인 캐췌그레인 안테나에 비하여 주반사판은 포물면보다 최대 24.8m, 부반사판은 쌍곡면보다 최대 24.9cm 더 기울어짐이 나타났다. 이 결과는 기존에 제시된 VERTEX사의 자료와도 잘 일치하였다.

Table 1. Profiles of the reflector for feed angles

θ_1	x_1	y_1	x_2	y_2
0.00	0.000	0.000	0.000	0.000
0.21	0.042	0.002	1.093	0.029
0.41	0.082	0.006	2.216	0.106
0.61	0.123	0.012	3.146	0.231
0.81	0.163	0.019	4.147	0.401
1.01	0.203	0.028	5.123	0.610
1.21	0.244	0.039	6.068	0.855
1.41	0.284	0.051	6.977	1.129
1.61	0.325	0.065	7.846	1.426
1.81	0.366	0.081	8.671	1.740
2.01	0.407	0.098	9.450	2.065
2.21	0.448	0.116	10.180	2.395
2.41	0.489	0.135	10.859	2.723
2.61	0.531	0.156	11.487	3.045
2.81	0.573	0.177	12.064	2.356
3.01	0.616	0.200	12.589	3.653
3.21	0.657	0.223	13.064	3.931
3.41	0.699	0.247	13.491	4.190
3.61	0.742	0.272	13.871	4.427
3.81	0.785	0.297	14.208	4.641
4.01	0.828	0.323	14.503	4.834
4.21	0.871	0.349	14.761	5.004
4.41	0.915	0.376	14.983	5.153
4.61	0.958	0.403	15.173	5.282
4.81	1.002	0.430	15.335	5.393
5.01	1.047	0.458	15.471	5.487
5.21	1.091	0.485	15.586	5.565
5.41	1.136	0.513	15.679	5.631
5.61	1.181	0.541	15.756	5.684
5.81	1.226	0.569	15.819	5.728
6.01	1.272	0.597	15.870	5.763
6.21	1.317	0.626	15.910	5.791
6.41	1.363	0.654	15.942	5.813
6.61	1.410	0.682	15.967	5.830
6.81	1.456	0.710	15.987	5.844
7.01	1.503	0.738	16.002	5.854
ni	100.00%			

적 요

기저대역(baseband)신호를 송신하기 위한 RF 시스템과 지구국용 위성통신 안테나를 해석하고 어퍼취 전력밀도분포에 따른 최적곡면 캐서그레인 안테나의 반사판을 설계한다. 또한 에너지보존

법칙과 Snell의 법칙으로 포물면인 주반사판과 쌍곡면인 부반사판을 설계한다.

이 연구방법으로 직경 32m 크기의 반사판을 설계한 결과는 VERTEX사의 반사판 프로파일과 잘 일치하였다.

참 고 문 헌

- 1) Ha, T. T. 1986. "Digital Satellite Communications," Macmillan Publishing Company
- 2) Galindo, V. 1964. "Design of Dual-reflector Antenna with Arbitrary Phase and Amplitude Distributions," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. AP-12, 403-408.
- 3) Williams, W.F. 1965. "High Efficiency Antenna Reflector," Microwave Journal, Vol. 8, 79-82.
- 4) Williams, W.F. 1965. "High Efficiency Antenna Reflector," Microwave Journal, Vol. 8, 79-82.
- 5) Collins, G.W. 1973. "Shaping of Sub-reflectors in Cassegrain Antenna for Maximum Aperture Efficiency," IEEE Trans. on Antenna and Propagation, Vol. AP-21, 309-313.
- 6) 손태호, 이돈신, 이상설, 1990. "위성통신용 빔 웨이브가이드 안테나 설계기술 개발에 관한 연구," 상공부 공업기술 기반연구과제 최종보고서.
- 7) Chugh R.K. and H. Schwarz, 1987. "Design and Analysis of 32meter Beamwaveguide Antenna," VERTEX Co. LTD., Technical Report2 for KTA and OSROK.
- 8) 양두영, 이상설, 1990. "타원여파기를 이용한 마이크로파집적 광대역증폭기 설계에 관한 연구," 한국통신학회지 제15권 제1호.
- 9) Pavio, and A.M. D.L. Peterson, 1983. "The Design of Broadband Power FET Amplifier Employing Nonlinear Device Analysis and Matched Equalization Technique," IEEE, MTT-S.
- 10) Tucker, R.S. 1981. "RF Characterization of Microwave Power FET," IEEE, MTT-29.
- 11) 양두영, 이상설, 1990. "구면사각패치 마이크로스트립 공진기 해석," 대한전자공학회지 제27권 제11호.
- 12) Culbertson R.B. and A.M. Pavio, 1982. "An Analytic Design Approach for 2-18GHz Planar Mixer Circuit," IEEE, MTT-S., 452-457.