

Ka-band 대역의 급전 혼과 카셋그레인 안테나 개발

안 승범*, 추 호성*, 강 진섭**

*홍익대학교 전자전기공학부, 서울시 마포구 상수동 72-1

**한국표준과학연구원 기반표준부, 대전시 유성구 도룡동 1번지

Design of Ka-band Feed Horn and Cassegrain Antenna

Seungbeom Ahn*, Hosung Choo*, Jinseob Kang**

*School of Electronic and Electrical Engineering, Hongik University

**Division of Physical Metrology, Korea Research Institute of Standards and Science

E-mail : hschoo@hongik.ac.kr

Abstract

In this paper, we propose a cassegrain antenna with a scalar feed horn operating in Ka-band. The near-field of the feed horn is first obtained, and then the near-field is used as the equivalent source of the cassegrain antenna using the surface equivalent theorem. This method dramatically reduces the calculation time and improves the accuracy of the solution. The feed horn is designed to have HE11 mode and the main and sub reflectors of the cassegrain are optimized to have maximum aperture efficiency. The designed antenna shows the gain of more than 40 dBi, the side-lobe level of more than 30 dB and the beam width of 0.5°.

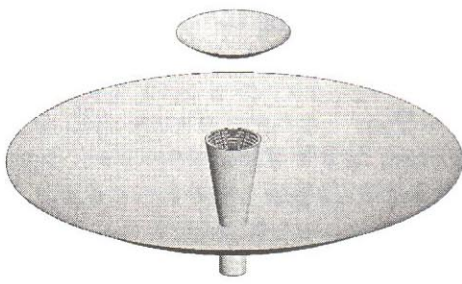
I. 서론

최근 통신기술의 발달과 함께 위성통신에 대한 관심이 커지고 있으며 위성통신 분야의 지속적인 발전이

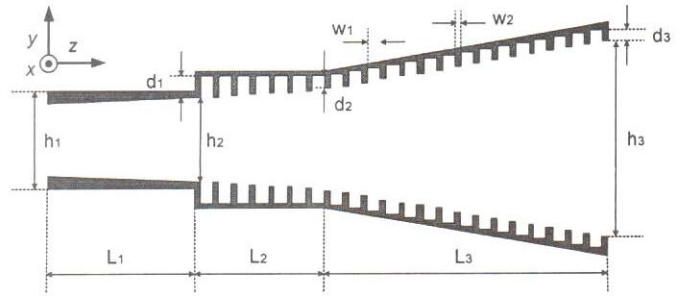
이루어지고 있다. 주파수 자원의 부족으로 인하여 기존 위성통신의 주파수 대역인 C-band (3.9 GHz ~ 6.2 GHz)나 Ku-band (11 GHz ~ 14 GHz) 이외의 다른 주파수 대역의 자원 개발이 필요한 실정이다. 위성통신의 지속적인 발전과 보급을 위해 새로운 주파수 대역의 연구가 필요하게 되었으며 기존의 C-band 나 Ku-band 에 비해 직진성이 뛰어나며 안테나의 크기가 작고 광대역 서비스가 용이한 Ka-band (26.5 GHz ~ 40 GHz)에 대한 연구가 증가하고 있으며 차세대 위성통신의 중심이 될 전망이다.

위성 통신의 경우, 3 만 5800km 높이의 정지위성과 고주파 신호를 주고 받아야 하며 1 만 km 에 달하는 대기권을 통과해야 한다. 그러나 대기권의 수많은 분자나 미립자 등에 의해 산란이 발생하며 이로 인하여 많은 전력 손실이 발생된다. 그러므로 이러한 전력 손실에 의한 정보 손실을 최소화하기 위해 위성용 안테나는 높은 이득을 가져야 하며 일반적으로 반사형 안테나를 많이 사용한다. 반사형 안테나에는 단일 반사형 안테나, 이중 반사형 안테나, 다중 반사형 안테나 등이 있으며 제작이 용이하고 이득을 향상시키기에 적절한 이중 반사형 안테나가 많이 사용되고 있다. 이중 반사형 안테나의 경우 주경을 포물면 반사경 (paraboloidal mirror)으로 하고 부경을 쌍곡면 반사경 (hyperboloidal mirror)으로 하는 카셋그레인 안테나 (cassegrain antenna) 형태로 설

"본 논문은 과학기술부 국책연구개발사업 중 "고성능안테나평가기술개발" 과제에 의해 지원받았음.



(a) Cassegrain 안테나 구조



(b) Corrugated Feed Horn 안테나구조

그림 1 안테나 구조

계하는게 일반적이며 카셋그레인 안테나는 고주파 영역에서 안테나 크기에 비해 파장이 작아 회절현상(diffraction)에 의한 부엽의 증가나 이득 감소 등을 줄일 수 있는 장점이 있다[1].

위성용 안테나의 급전부는 일반적으로 혼 안테나를 사용하는데 혼 안테나의 경우 개구면의 전개 분포에 따라 TE_{11} 모드가 발생하는 원형 혼 안테나, TE_{11} 모드와 TM_{11} 모드가 동시에 발생하는 이중 모드 혼 안테나, HE_{11} 모드가 발생하는 주름 원형 혼 안테나 등이 있다. 원형 혼 안테나는 복사 패턴이 비대칭적이고 부엽의 크기가 큰 단점이 있으며, 이중 모드 혼 안테나는 복사 패턴이 대칭적이지만, 이득이 낮은 단점이 있다. 이에 비해 주름 원형 혼 안테나는 복사 패턴이 대칭적이고, 교차 편파와 부엽의 크기가 상대적으로 작음으로 위성용 안테나의 급전부로 가장 많이 쓰이고 있다.

주경과 부경 및 급전부를 포함한 전체 안테나 구조는 파장에 비해 그 크기가 매우 크므로 해석에 소요되는 시간이 매우 증가하는 문제점이 있다. 따라서 PO, GO, GTD 등의 근사적 해석 방법이 연구되었으나 정확한 해석이 어렵다는 단점을 가진다.

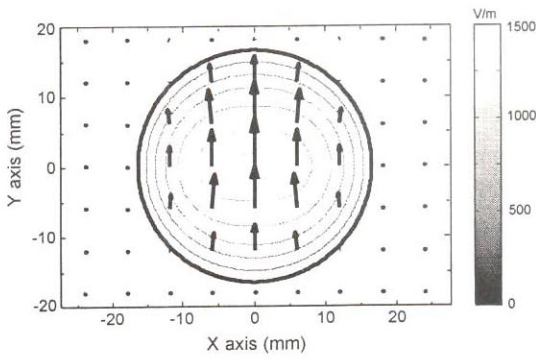
본 논문에서는 Ka-band 중 33 GHz 에서 동작하는 급전 혼과 카셋그레인 안테나를 개발하였다. 급전 혼을 표면 등가 이론(surface equivalent theorem)을 이용하여 근거리장으로 계산하고 이를 통해 카셋그레인의 등가전원으로 사용하였으며, MOM의 해석 방법 중 하나인 MLFMM(multilevel fast multipole method)방식을 이용하여 주·부경을 해석하였다. 제안된 방법은 MOM 해석 방법에 비해 약 90% 정도 계산 시간이 단축되었으며 해석 결과 MOM 방식과 매우 유사한 결과를 얻을 수 있

다. 또한, 모드-정합 방법을 이용하여 급전 혼 부분을 설계하였고, 이를 등가전원으로 활용하여 주·부경의 각도와 각도에 따른 부경 모양을 변화시키며 FEKO EM 시뮬레이터에서 지원하는 MLFMM 해석 방법을 이용하여 카셋그레인의 개구면 효율을 최적화 하였다[2].

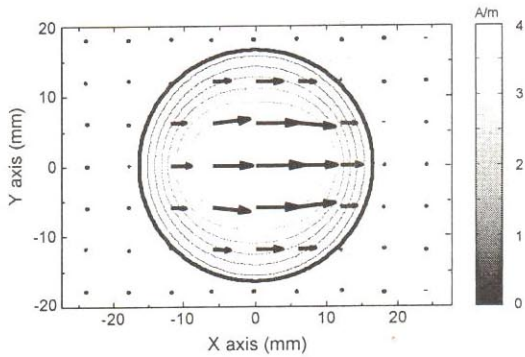
II. 안테나의 구조 및 결과

그림 1은 본 논문에서 제안한 이중 반사형 안테나인 카셋그레인 안테나의 구조와 급전용 주름 원형 혼 안테나의 구조를 보여준다. 카셋그레인 안테나의 주경은 포물면 반사경으로 설계하였고 부경은 쌍곡면 반사경으로 설계하였으며 주경의 초점과 부경의 두 초점 중에 하나의 초점은 같은 위치에 존재한다. 안테나 급전부의 전면부에는 상용화 되어 있는 입력 구형 도파관인 WR-28으로 설계하였으며 구형에서 원형 형태로 변화를 시켜주는 L_1 부분과 모드를 변화 시켜주는 L_2 부분, 전계를 증폭시켜 주는 L_3 부분으로 나누어 설계하였다. 입력 구형 도파관인 WR-28에서 발생된 TE_{10} 모드가 원형 도파관 부분인 L_1 을 지나면서 TE_{11} 모드로 전환되며 모드 변환 부분인 L_2 를 지나면서 혼성(hybrid) 모드인 HE_{11} 모드로 전환되게 된다[3].

그림 2는 주름 원형 혼 안테나의 개구면에서의 근거리장 분포를 나타내고 있다. 전개와 자계 모두 원형 혼 내에서 전파의 진행 방향과 수직인 방향으로 전자기장이 분포하는 HE_{11} 모드가 존재함을 확인할 수 있으며, 모드의 세기가 혼의 중앙에서 강하게 생성됨을 알 수 있다.



(a) E-field 분포



(b) H-field 분포

그림 2 주름 원형 혼의 개구면 근거리장 분포

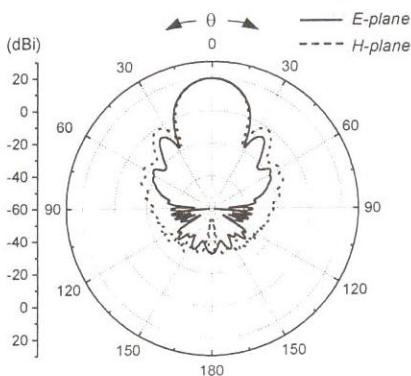
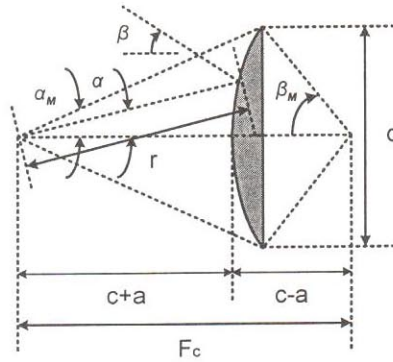


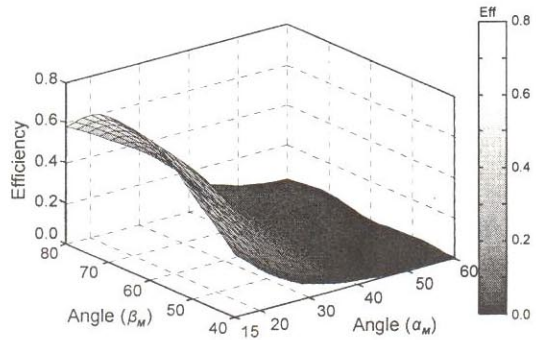
그림 3 주름 원형 혼 안테나 이득

그림 3 은 급전용 주름 원형 혼 안테나의 θ 각도에 따른 시뮬레이션 이득 분포를 나타내고 있으며, 실선과 점선은 각각 E-plane 과 H-plane 에서의 이득 분포를 나

타내고 있다. E-plane 과 H-plane 의 이득 분포가 유사하며 최대 이득은 $\theta=0^\circ$ 일 때 19 dBi 이상을 갖는다. 또한 부엽의 크기는 주엽과 25 dB 이상 차이를 가지며 HPBW (half power beam width) 가 14° 정도로 좁은 빔폭을 갖는다. 이는 카셋그레인의 급전용 안테나로써 필요한 대칭적인 복사 패턴과 낮은 부엽의 크기, 30° 이하 빔폭 조건을 만족하였다.



(a) 부경의 구조



(b) 주·부경 각도의 따른 효율

그림 4 부경의 구조와 효율

카셋그레인 안테나 설계는 원하는 값의 안테나 이득을 결정하여 포물면 반사경인 주경의 크기를 결정하고 주경과 부경의 크기 비율을 변화시켜 효과적인 복사 패턴이 나올 수 있는 부경의 크기를 결정한다. 주·부경의 크기가 결정되면 각도를 변화시켜 안테나 효율을 최적화한다. 또한 쌍곡면 반사경 형태로 안테나가 설계 되면 안테나의 개구면 효율을 더욱 높이기 위해 식 (1)

을 이용하여 부경의 모양을 변형시키며, 이때 안테나의 개구면 효율은 식 (2)와 같이 정의된다[4].

$$\frac{1}{r} \frac{dr}{d\alpha} = \tan\left(\frac{\alpha + \beta}{2}\right) \quad (1)$$

$$\epsilon_{ap} = G \frac{\lambda^2}{D^2 \pi^2} \quad (2)$$

r 은 급전 중심에서 부경까지의 거리를 나타내고 α 와 β 는 부경의 두 초점과 각 지점에서의 각도를 나타내며 G 는 안테나 이득을 D 는 주경의 직경을 나타낸다. 그림 4 (a)는 카셋그레인 안테나의 부경 구조를 나타내고 있으며 β_M 은 주경과 부경의 한쪽 각도를 α_M 은 부경의 다른 한쪽 각도를 나타낸다. 그림 4 (b)는 α_M 과 β_M 의 변화에 따른 안테나 효율을 보여주고 있으며 각각 15°와 70°로 설계하였을 때, 안테나 효율이 0.72 로 가장 큰 값을 가졌다.

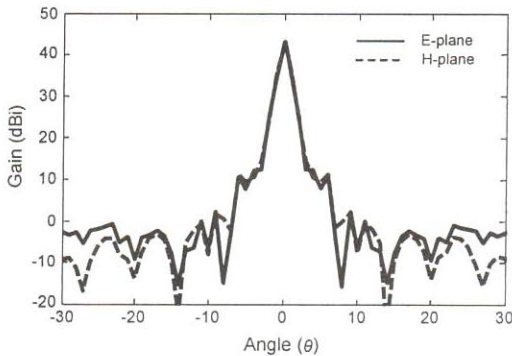


그림 5 카셋그레인 안테나의 원거리장 이득

그림 5 는 안테나의 개구면 효율이 최적화된 카셋그레인 안테나의 원거리장 이득 분포를 나타내고 있다. 안테나의 최대 이득은 전파의 진행 방향에서 43.2 dBi 로 가장 큰 값을 보였으며, E-plane 과 H-plane 의 분포가 동일했다. 또한 부엽의 크기는 주엽과 30 dB 이상 차이를 가지며 HPBW (half power beam width) 가 0.5° 정도로 매우 좁은 빔폭을 갖는다.

III. 결론

본 논문에서는 Ka-band 에서 동작하는 급전 혼과 카셋그레인 안테나를 설계하였으며 급전 혼 안테나를 표면 등가 이론을 이용하여 근거리장으로 계산하고 이를 카셋그레인 안테나의 등가전원으로 사용함으로써 기존의 해석방법에 비해 계산 시간 단축과 정확한 시뮬레이션 결과를 확인하였다. 또한 전자기장이 전파의 진행 방향과 수직인 HE₁₁ 모드가 존재하는 급전 혼을 설계하였고 카셋그레인의 주·부경의 각도를 조절하여 안테나 효율을 최적화 하였다. 제안된 안테나는 40 dBi 이상의 이득을 보였고, 부엽의 크기가 주엽과 비교하여 30 dB 이상 차이를 보였으며, 3 dB 빔폭이 0.5° 이하로 위성통신용 안테나에 적합한 특성을 가진다.

참고문헌

- [1] P. W. Hannan, "Microwave antenna derived from the cassegrain telescope," *IRE Trans. Antennas Propaga.*, vol. 9, pp. 140-153, Mar. 1961.
- [2] <http://www.feko.info>, EM Software & Systems, "FEKO Suite 5.2."
- [3] X. Zhang, "Design of conical corrugated feed horns for wide-band high frequency applications," *IEEE Trans. Microwave Theory and Techniques*, vol. 41, pp. 1263-1274, Aug. 1993.
- [4] G.W. Collins, "Shaping of subreflectors in cassegrainian antennas for maximum aperture efficiency", *IEEE Trans. Antennas Propaga.*, vol. 21, pp. 309-313, May. 1973.