

경면수정 ADE 반사경 안테나의 설계 및 그 특성

Design and Characteristics of Shaped ADE Reflector Antennas

최 학 근

Hak-Keun Choi

요 약

본 논문에서는 37~40 GHz 대의 직경 30 cm의 소형 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계 제작하고 복사 특성을 고찰하였다. 안테나 설계시 개구면 전계분포는 균일분포와 포물분포가 결합된 전계분포로 가정하고 빔폭, 개구면효율, 사이드로브 레벨 특성의 변화를 고찰하고 이것을 설계에 이용할 수 있도록 하였다. 설계 제작된 안테나의 이득과 사이드로브 레벨은 40 GHz에서 39.9 dBi(효율 : 61.9 %)와 -18.8 dB로 측정되었다. 이는 설계시 목표했던 효율 60 % 이상, 사이드로브 레벨 -20 dB 이하에 근접한 것으로 나타났다.

Abstract

In this paper, a shaped small-size ADE(Axially Displaced Ellipse) reflector antenna of 30 cm in diameter operating from 37 to 40GHz was designed. The experimental antenna was manufactured, and the radiation characteristics evaluated. In the procedure of antenna design, aperture field distribution was assumed to uniform + parabolic distribution. And the variations of beam width, aperture efficiency, and sidelobe level as functions of aperture field distributions were investigated, and these results presented to be used in antenna design. The measured gain and sidelobe level of experimental antenna were found 39.9 dBi(efficiency : 61.9 %) and -18.8 dB for 40 GHz. These values show good agreement in design goal of efficiency more than 60 % and sidelobe level less than -20 dB.

I. 서 론

위성통신 지구국 안테나로서 널리 사용되고 있는 카세그레인 안테나와 그레고리안 안테나는 고 이득, 저잡음, 낮은 사이드로브 특성을 갖도록 하기 위하여 경면수정법을 이용하여 설계된다^{[1]-[4]}. 이들 경면수정 안테나의 부반사경에 의한 블로킹 현상은 대형보다 소형 안테나에서 더 크게 나타나

므로 주로 대형 안테나로 설계 제작되고 있다^[5]. 백 파장 이하의 소형 안테나로는 파라볼라 반사경 안테나와 오프셋 반사경 안테나가 사용되고 있다. 오프셋 반사경 안테나는 1차 복사기나 지지대에 의한 블로킹이 없어 낮은 사이드로브 특성을 가지고 있으나 축 비대칭 구조로 교차편파 레벨이 높고^{[6]-[8]}, 파라볼라 반사경 안테나는 1차복사기와 지지대에 의한 블로킹으로 오프셋 반사경 안테나

「이 논문은 단국대학교 대학연구지원비의 지원으로 연구되었음.」

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronics Engineering, Dankook University)

· 논문 번호 : 981017-105

· 수정완료일자 : 1998년 11월 19일

보다 사이드로브 레벨이 다소 높으나 제작이 용이하다. 파라볼라 반사경 안테나는 위성통신용뿐만 아니라 주파수 2GHz~12GHz 대의 마이크로파 중계용 안테나로도 널리 사용되고 있다. 파라볼라 반사경 안테나를 마이크로파 중계용 안테나로 사용할 경우 반사경 테두리에 전파흡수체를 부착한 원통을 설치한 구조로 하여 사이드로브 특성을 개선시켜 사용하고 있다^[9]. 파라볼라 반사경 안테나는 구조적으로 축 대칭이지만 반사경 뒷면에서 초점에 설치된 1차 복사기까지 도파관을 통하여 급전되며 1차 복사기와 도파관이 접속되기 위해서는 초점 부근에서 도파관이 구부러져야 한다. 이 때문에 급전구조는 축 대칭이 되지 않고 사이드로브 특성이나 교차편파 특성이 악화된다. 이런 문제를 해결하기 위해서는 소형이면서 고효율 및 낮은 사이드로브 특성을 갖는 축 대칭 구조의 ADE 반사경 안테나(Axially Displaced Ellipse Reflector Antenna)의 사용이 바람직하다. ADE 반사경 안테나에 관한 연구로는 간단한 연구보고가 있을 뿐 아직 충분한 연구가 이루어지고 있지 않다^{[10]~[12]}.

ADE 반사경 안테나는 그레고리안 안테나의 특별한 형태로 생각할 수 있다. 주반사경의 경면은 안테나 회전축으로부터 축 변위된 포물선의 회전된 형태로 주반사경의 초점은 링초점(ring focus)을 형성한다. 부반사경은 한 초점이 안테나 회전축에 다른 한 초점이 포물선의 초점과 일치하는 타원의 회전된 형태이다. 그러므로 1차복사기로부터 부반사경에 입사한 빔은 부반사경에서 반사되어 주반사경의 링초점을 지나므로 1차복사기 내부로 들어오는 빔이 존재하지 않는다. 따라서 안테나의 VSWR 특성이 우수하고 카세그레인 안테나나 그레고리안 안테나보다 부반사경의 크기를 수배 작게 할 수 있어 블로킹에 의한 사이드로브 레벨의 증가나 이득 감소를 줄일 수 있다^[12]. 그러나 다른 반사경 안테나와는 달리 개구면 중심보다 테두리 쪽의 전계 레벨이 높아 개구면 전계분포에 의한 사이드로브 레벨이 높은 것이 단점으로 지적되고

있다^[12].

따라서 본 논문에서는 ADE 반사경 안테나가 갖는 단점을 해결하기 위하여 위성통신 지구국용 카세그레인 안테나의 설계에 이용되고 있는 경면수정법을 ADE 반사경 안테나에 적용하여 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계한다. 경면을 수정할 때 선정해야 할 개구면 전계분포는 균일분포와 포물분포가 결합된 분포로 가정하고 빔폭, 개구면 효율, 사이드로브 레벨 특성의 변화를 개구면 전계분포에 따라 나타낸다. 그리고 이것을 이용하여 37~40GHz 대의 사이드로브 레벨 -20dB 이하, 효율 60%의 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계하고 시험 제작한다. 설계 제작된 안테나의 복사특성을 측정하여 계산결과와 비교 검토한다.

II. 경면수정

2-1 ADE 반사경의 구조와 좌표계

경면수정법을 이용하여 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계할 때 요구되는 복사특성을 만족시키기 위해서는 ADE 반사경의 초기구조와 개구면 전계분포가 적절히 선정되어야 한다.

그림 1은 ADE 반사경 안테나의 구조를 나타낸다. 주반사경은 포물선의 초점 축이 안테나 회전대칭축으로부터 축 변위되어 회전된 형태의 경면이고 부반사경은 두 초점이 각각 회전 대칭축과 포물선의 초점에 있는 타원의 회전 형태이다. 점 F_1 는 1차복사기의 위상중심이며 부반사경의 한 초점이고, 점 F_3 는 주반사경의 초점이며 부반사경을 형성하는 타원의 다른 한 초점이다. 그림 1이 회전축 z 를 중심으로 회전하면 F_3 의 궤적은 원이 되어 링초점(ring focus)를 형성한다. 그림 1에서 주반사경의 초점거리 F_m 은 포물선의 정점으로 부터 점 F_3 까지의 거리이고, 부반사경의 초점거리 F_s 는 $\frac{1}{2} \sqrt{F_1 F_3}$ 이고, β 는 타원축과 회전축이

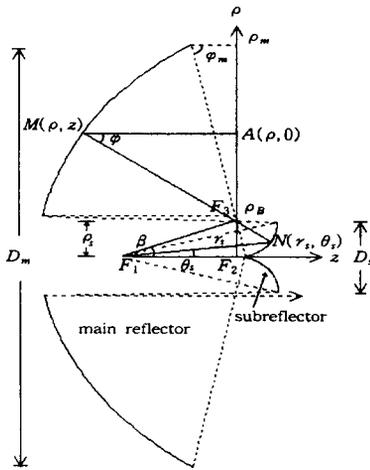


그림 1. ADE 반사경 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of ADE reflector antenna.

루는 각이다. 점 F_1 으로부터 임의 각 θ_s 로 출발한 빔은 부반사경의 점 $N(r_s, \theta_s)$ 과 주반사경의 점 $M(\rho, z)$ 에서 반사되어 개구면의 한 점 $A(\rho, 0)$ 에 수직으로 도달한다. 그림 1에서 D_m 과 D_s 는 주반사경과 부반사경의 직경이고, ρ_m 와 ρ_B 는 각각 주반사경의 반경과 블로킹 높이, ρ_s 는 z 축으로부터 초점 F_3 까지의 거리이다.

그림 1처럼 주반사경을 $\rho-z$ 면상에서 나타내면 포물선이므로 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$z = -F_m + \frac{(\rho - \rho_s)^2}{4F_m} \quad (1)$$

또한 ADE 반사경 안테나 주반사경의 반개구각 φ_m 은 다음과 같다.

$$\varphi_m = 2 \tan^{-1} \frac{\rho_m - \rho_s}{2F_m} \quad (2)$$

부반사경은 축이 회전 대칭축에 대하여 β 만큼 기울어져 있는 타원의 회전체이므로 1차 복사기의 위상중심 F_1 으로부터 부반사경의 한 점 N 까지

의 거리 r_s 와 점 N 으로부터 점 F_3 까지의 거리 r'_s 는 각각 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$r_s = \frac{F_s}{e} \frac{1 - e^2}{1 - e \cos(\beta - \theta_s)} \quad (3)$$

$$r'_s = \frac{F_s}{e} \frac{1 - e^2}{1 - e \cos(\beta + \varphi)} \quad (4)$$

여기서, e 는 타원의 이심률이다. 식 (1)~(4)를 이용하면 ADE 안테나의 반사경의 기하학적 구조를 결정할 수 있다.

2-2 개구분포 및 경면 파라미터 결정

반사경 안테나의 효율, 사이드로브 레벨, 빔 폭 등의 복사특성은 개구면의 전계분포, 반사경 테두리에서의 회절전계, 스피로버(spillover), 경면오차 등에 의하여 결정된다. 이 중에서 가장 큰 영향을 미치는 것이 개구면 전계분포이다. 개구면 가장자리의 전계 레벨이 낮으면 광각 저 사이드로브 특성은 얻을 수 있으나 이득이 감소하고 빔폭이 넓어진다. 반면에 전계 레벨이 높으면 이득은 높아지지만 사이드로브 레벨도 따라서 높아진다. 따라서 양호한 복사특성을 갖는 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계할 때는 개구면 전계분포를 올바르게 선정하여야 한다.

여기서는 블로킹 영역을 갖는 개구면의 전계분포에 따른 복사특성을 고찰하고 ADE 반사경 안테나 설계에 이용한다.

그림 2는 블로킹 영역을 갖는 개구면의 좌표계이다. 개구면의 전계분포를 $E_a(\rho, \phi')$ 라 할 때 복사전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다^[13].

$$E(r, \theta, \phi) \approx j \frac{e^{-jkr}}{\lambda r} \int_0^{2\pi} \int_{\rho_B}^{\rho_m} E_a(\rho, \phi') \cdot e^{jk\rho \sin \theta \cos(\phi - \phi')} \rho d\rho d\phi' \quad (5)$$

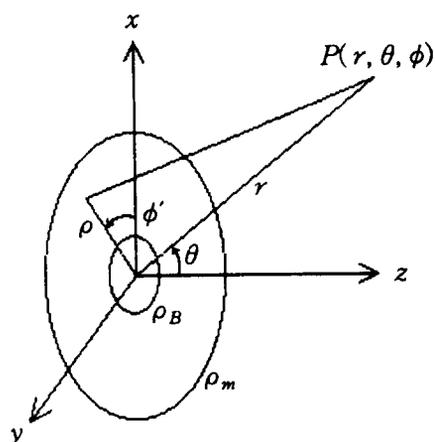


그림 2. 블로킹 영역을 갖는 개구면의 좌표계
Fig. 2. Coordinate of aperture with blocking area.

여기서, k 는 전파정수로 $2\pi/\lambda$ 이고 ρ_B 와 ρ_m 은 각각 블로킹 반경과 개구면 반경이다. 식 (5)에서 개구면의 전개분포 $E_a(\rho, \phi')$ 가 ϕ' 방향에 대하여 대칭이라 하고 다음과 같이 균일분포와 포물분포가 합성된 전개분포로 가정한다.

$$E_a(\rho) = \begin{cases} 0 & : 0 \leq \rho \leq \rho_B \\ 1 & : \rho_B \leq \rho \leq \rho_0 \\ K + (1-K) \left[1 - \left(\frac{\rho - \rho_0}{\rho_m - \rho_0} \right)^{2n} \right] & : \rho_0 \leq \rho \leq \rho_m \end{cases} \quad (6)$$

여기서, K 는 개구면 가장자리에서의 전개 레벨을 나타내는 상수이며 ET (Edge Taper)와는 $K = 10^{-\frac{ET(dB)}{20}}$ 의 관계가 있다.

식 (6)에서 $0 \leq \rho \leq \rho_B$ 는 블로킹 영역, $\rho_B \leq \rho \leq \rho_0$ 는 전개분포가 균일한 영역, $\rho_0 \leq \rho \leq \rho_m$ 는 포물분포를 갖는 영역을 나타낸다. 식 (6)의 n 은 포물분포의 형상을 결정하는 지수이다. ρ_m .

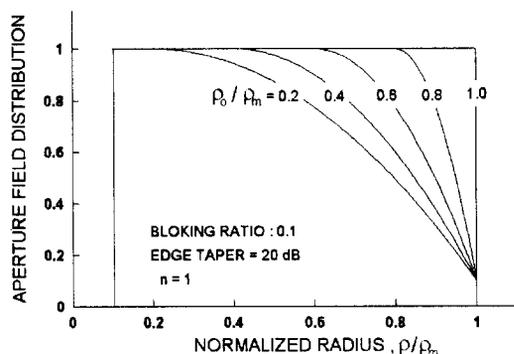


그림 3. 개구면 전개분포
Fig. 3. Aperture field distributions.

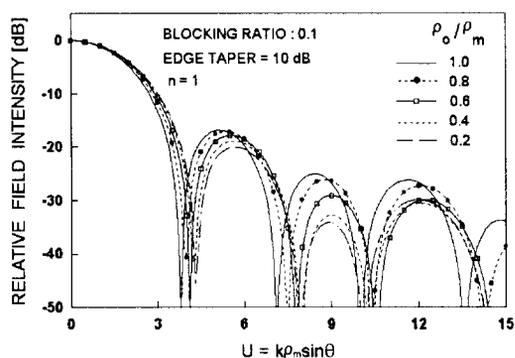
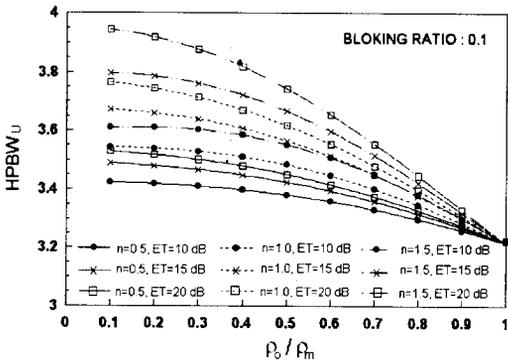


그림 4. 개구면의 복사패턴
Fig. 4. Radiation patterns of aperture.

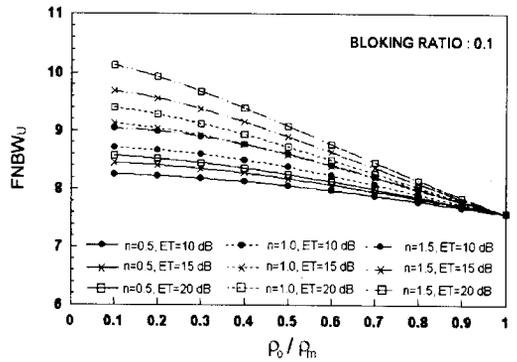
K, n, ρ_0 에 따라 다양한 형태의 개구면 전개분포를 생각할 수 있다.

그림 3은 $n = 1, ET = 20 \text{ dB}$ ($K = 0.1$), 개구면 반경과 블로킹 반경의 비로 나타내는 블로킹 비(blocking ratio)가 0.1일 때, $\rho_0/\rho_m = 0.2, 0.4, 0.6, 0.8, 1$ 에 대한 개구면 전개분포를 나타내고 있다. ρ_0/ρ_m 이 증가할수록 개구면에서 균일분포 영역이 증가한다.

그림 4는 $n = 1, ET = 10 \text{ dB}$ ($K = 0.316$), 블로킹 비가 0.1인 전개분포에 대한 복사패턴을 $U = k\rho_m \sin \theta$ 공간에서 나타낸 것으로 식 (5)을 이용하여 계산한 것이다. ρ_0/ρ_m 이 작을수록, 즉 균일분포 부분이 작을수록 사이드로브 레벨이



(a)



(b)

그림 5. 빔폭 (a) HPBW (b) FNBW

Fig. 5. Beam width. (a) HPBW (b) FNBW.

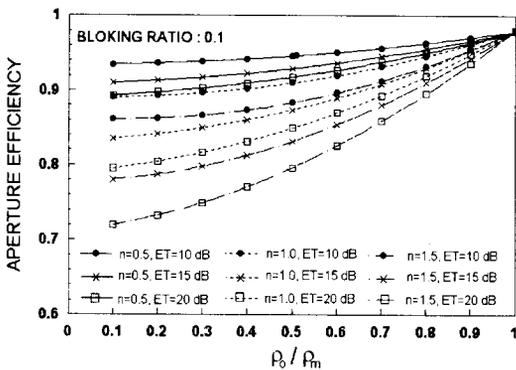


그림 6. ρ_0/ρ_m 에 따른 개구면효율

Fig. 6. Aperture efficiency versus ρ_0/ρ_m .

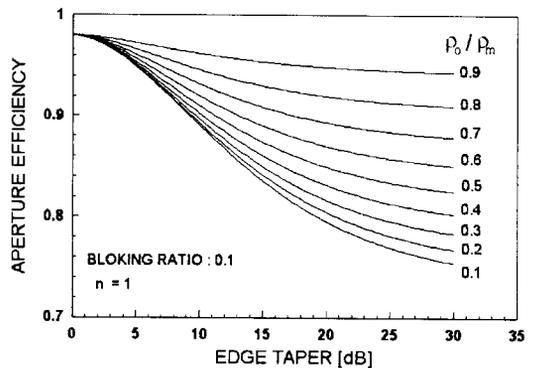


그림 7. ET에 따른 개구면효율

Fig. 7. Aperture efficiency versus ET.

낮아지고 빔폭이 넓어진다.

그림 5는 개구면 전계분포에 따른 U 공간의 HPBW(Half Power Beam Width)와 FNBW(First Null Beam Width)를 나타내고 있다. 그림 5에서 n 과 ET 가 증가할수록 빔폭이 넓어짐을 알 수 있다. 또한 ρ_0/ρ_m 가 작을수록, 즉 균일분포 영역이 작을수록 n 과 ET 에 따른 빔폭의 변화는 커지고, ρ_0/ρ_m 커지면 빔폭의 변화가 매우 작게 나타난다.

그림 6과 그림 7은 블로킹 손실을 포함한 개구면효율을 나타내고 있다. 그림 6에서 n 이 증가

할수록 ET 가 증가할수록 개구면효율이 감소한다. ρ_0/ρ_m 이 1에 근접하면 n 과 ET 의 변화에 따른 효율 변화가 작다. 그림 7은 $n = 1$, 블로킹 비가 0.1일 때 ET 와 ρ_0/ρ_m 의 변화에 따른 개구면효율을 나타낸다.

그림 8은 개구면 전계분포에 따른 사이드로브 레벨의 변화를 나타낸다. ρ_0/ρ_m 이 1에 근접하면 n 과 ET 의 변화에 따라 사이드로브 레벨의 변화가 작고, ρ_0/ρ_m 이 작아지면 변화가 크게 나타난다.

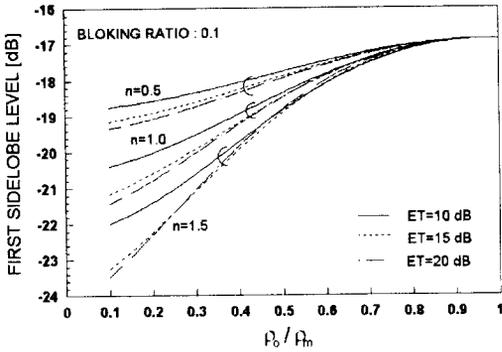


그림 8. ρ_0/ρ_m 에 따른 사이드로브 레벨

Fig. 8. Sidelobe level versus ρ_0/ρ_m .

안테나의 복사특성의 가장 중요한 파라미터는 사이드로브 레벨과 안테나 이득이다. 그림 6, 7, 8로부터 n , ET , ρ_0/ρ_m 를 적절히 선정하면 동일한 사이드로브 레벨을 갖으면서 개구면 효율을 다소 높게 할 수 있다. 그러므로 경면수정 안테나를 설계할 때 요구되는 복사특성을 만족시키기 위해서는 개구면 전계분포를 잘 선정하여야 한다.

경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계할 때 개구면 전계분포가 선정되면 반사경의 초기구조를 결정하여야 한다. 초기구조 파라미터를 선정할 때는 안테나 구조가 선정된 개구면 전계분포에 의한 복사특성에 미치는 영향이 최소가 되도록 해야 한다.

ADE 반사경 안테나의 주반사경의 직경은 개구면효율, 부반사경의 spillover 효율, 경면오차, 1차 복사기 손실 등이 포함된 이득을 고려하여 결정한다. 일반적으로 회전대칭 복 반사경 안테나에서 주반사경의 초점거리는 안테나를 제작하고 설치할 때 발생하는 경면오차와 1차 복사기로부터 부반사경에서 반사되어 1차 복사기로 다시 들어오는 빔을 고려하여 선정한다^[4]. 위성통신 지구국 안테나로 사용되는 대형의 복 반사경 안테나에서는 F_m/D_m 가 작아지면 제작시 경면오차가 증가하고 커지면 안테나 설치 후

반사경의 처짐이 발생한다^[4]. 또한 1차 복사기에서 복사된 빔이 부반사경에서 반사되어 주반사경으로 향할 때 1차 복사기로 들어오는 빔이 없으면서 주반사경에서의 블로킹이 최소가 되도록 초점거리를 결정한다. 이 때 반사경이 대형인 경우보다는 소형인 경우가 초점거리 선정에 많은 제한을 받는다.

경면수정 카세그레인 안테나에서 부반사경과 주반사경의 직경비 D_s/D_m 은 0.08~0.11 범위 내에서 주반사경의 직경이 클수록 D_s/D_m 을 작게 하고 주반사경의 직경이 작을수록 초점거리는 짧게 하고 D_s/D_m 은 크게 하여 설계한다^{[4],[5]}.

그러나 ADE 반사경 안테나는 1차 복사기에서 복사된 빔이 부반사경에 반사되어 주반사경으로 향할 때 1차 복사기로 들어오는 빔이 없으므로 초점거리를 짧게 할 수 있으며 부반사경의 크기도 작게 할 수 있다. 따라서 소형 안테나의 제작이 가능하고 부반사경에 의한 블로킹효율도 높다^[12].

경면수정 ADE 반사경 안테나의 1차 복사기는 1차 복사기의 길이와 부반사경에서의 스피로버효율(spillover efficiency) 등을 고려하여 설계된다. 스피로버효율을 증가시키려면 1차복사기의 직경을 크게 하여 부반사경 테두리의 전계 레벨을 낮추어야 한다. 경면수정 카세그레인 안테나의 경우 부반사경에 반사되어 주반사경으로 향하는 빔이 1차 복사기로 들어오지 않도록 해야 하는 이유 때문에 1차 복사기의 직경을 크게 하는데 한계가 있다. 그러나 ADE 반사경 안테나에서는 1차 복사기에서 복사된 빔이 부반사경에서 반사되어 주반사경으로 향할 때 1차복사기로 들어오는 빔이 없으므로 1차 복사기의 크기를 부반사경의 직경보다 작은 범위 내에서 스피로버효율과 1차 복사기의 위상오차만을 생각하여 비교적 자유롭게 선정할 수 있다.

경면수정 ADE의 안테나를 설계할 때 부반사경의 반개구각은 카세그레인 또는 그레고리안 형태의 축 대칭 복 반사경 안테나보다 크게 할 수 있다. 부반사경 테두리에서 1차 복사기로부터 복사된 전계의 레벨이 낮을수록 스피로버

효율은 증가하고 높을수록 감소한다. 부반사경의 개구각이 클 때 부반사경에서의 전계 레벨을 감소시키기 위하여 1차 복사기의 직경을 증가시키면 1차 복사기의 복사패턴에 사이드로브가 나타난다. 사이드로브가 부반사경 내에 도달되면 안테나의 복사성능이 저하된다. 사이드로브를 없애기 위하여 1차 복사기의 개구각을 크게 할 수는 있으나 1차 복사기의 복사패턴에 위상 변화가 커져 주반사경의 개구면에서의 일정한 위상분포를 기대할 수 없어 안테나 성능이 저하된다. 따라서 부반사경 테두리의 조사레벨은 스피로버효율과 1차 복사기의 위상 변화와 사이드로브를 고려하여 선정되어야 한다.

2-3 경면수정법

개구면의 전계분포, 반사경의 초기구조, 1차 복사기의 복사패턴이 결정되면 경면수정법을 이용하여 ADE 안테나를 설계할 수 있다. 경면수정은 기하광학적 원리에 의한 광로장조건, 전력조건, 반사법칙으로부터 유도되는 편미분방정식을 수치계산함으로써 이루어진다^[4]. 경면수정을 위한

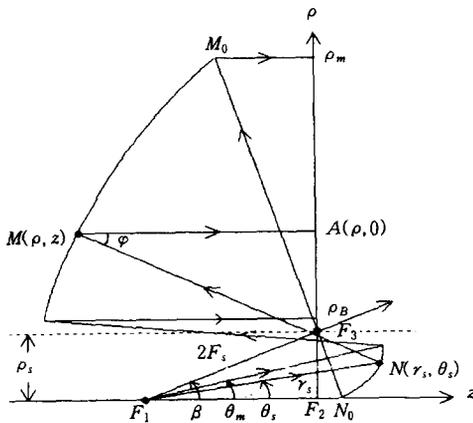


그림 9. 경면수정 반사경을 위한 좌표계
Fig. 9. Coordinate for shaped reflector.

좌표계를 그림 9와 같이 설정한다. 그림 9에서 점 F_1 은 부반사경의 한 초점으로 1차 복사기의 위상 중심이며 부반사경의 좌표계의 중심이다. 점 F_2 는 회전대칭 주반사경의 중심이다. F_3 는 주반사경의 초점이며 부반사경의 링초점이다. 점 F_1 으로부터 임의 각 θ_s 로 출발한 빔이 부반사경의 점 $N(r_s, \theta_s)$ 과 주반사경의 점 $M(\rho, z)$ 에서 반사되어 개구면의 점 $A(\rho, 0)$ 에 수직으로 도달하는 것으로 한다. 여기서, 임의 광선경로 $\overline{F_1 N M A}$ 는 항상 일정하여야 한다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$L_0 = r_s + \frac{r_s \cos \theta_s - z - 2F_s \cos \beta}{\cos \varphi} - z \tag{7}$$

여기서, r_s 는 1차 복사기의 위상중심 F_1 으로부터 부반사경의 점 N 까지의 거리, F_s 는 부반사경의 초점거리, L_0 는 기준광선의 광로길이, β 는 부반사경의 형상을 결정하는 타원축과 안테나의 회전대칭축과 이루는 각이다. 식 (7)에서 L_0 는 1차 복사기의 위상중심 F_1 으로부터 부반사경의 정점 N_0 주반사경 테두리의 점 M_0 을 거쳐 개구면에 도달된 광선의 이동거리이다.

그림 8에서 점 F_1 에 위치한 1차 복사기로부터 부반사경에 도달된 전전력에 대한 $0 \sim \theta_s$ 내에 포함된 1차 복사기의 전력과 부반사경과 주반사경을 거쳐 개구면에 도달된 전전력에 대한 $\rho \sim \rho_m$ 내에 포함된 전력이 에너지보존법칙에 의하여 서로 같아야만 한다. 따라서

$$\frac{\int_0^{\theta_s} E_j^2(\theta_s) \sin \theta_s d\theta_s}{\int_0^{\theta_m} E_j^2(\theta_s) \sin \theta_s d\theta_s} = \frac{\int_{\rho_B}^{\rho} E_a^2(\rho) \rho d\rho}{\int_{\rho_B}^{\rho_m} E_a^2(\rho) \rho d\rho} \tag{8}$$

의 관계가 성립한다. 여기서, $E_f(\theta_s)$ 는 1차 복사기의 복사전계, $E_a(\rho)$ 는 소요 개구면의 전계분포이고 θ_m 은 부반사경의 반개구각, ρ_m 은 개구면의 반경, ρ_B 는 블로킹 높이이다.

또한 주반사경과 부반사경에 대하여 반사법칙을 적용하면

$$\frac{dz}{d\rho} = \tan \frac{\varphi}{2} \quad (9)$$

$$\frac{1}{r_s} \frac{dr_s}{d\theta_s} = \tan \frac{\varphi + \theta_s}{2} \quad (10)$$

이 된다. 식 (7)~(10)을 정리하면

$$\frac{dz}{d\rho} = \frac{d\rho}{d\theta_s} \tan \frac{\varphi}{2} \quad (11)$$

$$\frac{dr_s}{d\theta_s} = r_s \tan \frac{\varphi + \theta_s}{2} \quad (12)$$

처럼 θ_s 를 독립변수로 하고, r_s, z 를 종속변수로 하는 연립방정식이 된다. 여기서

$$\varphi = \cos^{-1} \frac{r_s \cos \theta_s - z - 2F_s \cos \beta}{L_0 - r_s + z} \quad (13)$$

$$\frac{d\rho}{d\theta_s} = - \frac{E_f^2(\theta_s) \sin \theta_s}{E_a^2(\rho) \rho} \frac{\int_{\rho_B}^{\rho_m} E_a^2(\rho) \rho d\rho}{\int_0^{\theta_m} E_f^2(\theta_s) \sin \theta_s d\theta_s} \quad (14)$$

이다. 식 (11)~(14)를 연립하여 해를 구하면 주반사경 및 부반사경의 경면 구해진다.

III. 시작안테나의 설계 및 복사특성

3-1 시작안테나의 초기구조 및 설계

여기서는 앞 절의 내용을 토대로 37~40 GHz에

서 동작하는 직경 300 mm 경면수정 ADE 안테나를 설계한다. 설계주파수는 40 GHz로 한다. 설계안테나의 복사특성은 40 GHz에서 효율 60% 이상(이득 : 39.08 dBi 이상), 사이드로브 레벨 -20 dB 이하를 목표로 한다. 여기서 안테나효율 60%는 개구면효율, 스페일오버효율, 1차 복사기의 손실, 경면오차, 편파 부정합, feedome에 의한 손실 등 모든 손실 관련 항이 포함된 것이다. ADE 반사경 안테나의 초기구조는 다음과 같이 정한다.

표 1. ADE 반사경 안테나의 초기구조

Table 1. Primary geometry of ADE reflector antennas.

항목	치수	항목	치수
D_m	300 mm	D_s	28.935 mm
F_m	80 mm	F_s	8.04 mm
ρ_B	15 mm	e	0.667975
β	64.388°	θ_m	50°

ADE 반사경 안테나의 초점에 위치할 1차 복사기는 직경 14 mm, 개구각 10°로 한다. 이때 1차 복사기의 H-면 패턴을 계산한 결과 부반사경 테두리에서 전계 레벨은 37 GHz에서 -14.6 dB, 40 GHz에서 -17.2 dB이다. 경면을 수정할 때 1차 복사기의 E-면 및 H-면 패턴은 동일한 것으로 가정한다. 40 GHz에서 부반사경의 스페일오버효율은 98.3%이다.

그림 10은 표 1의 ADE 반사경 안테나에 대하여 40 GHz에서 계산한 복사패턴으로 HPBW은 1.43°, 사이드로브 레벨은 -13.8 dB이다. 스페일오버효율과 개구면효율만을 고려한 이득은 41.6 dBi이다.

표 1의 ADE 반사경 안테나에서 경면을 수정하여 사이드로브 레벨이 -20 dB가 되도록 하기 위하여 개구면 전계분포를 식 (6)에서 $n = 1, ET =$

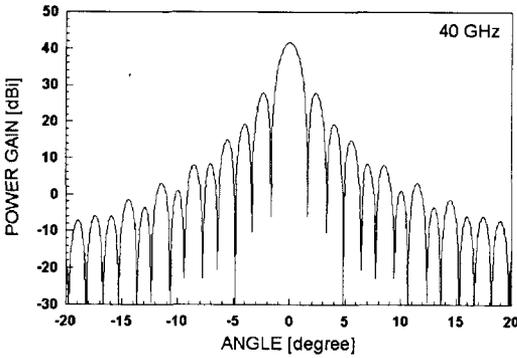


그림 10. 초기 ADE 안테나의 복사패턴
Fig. 10. Radiation pattern of primary ADE antennas.

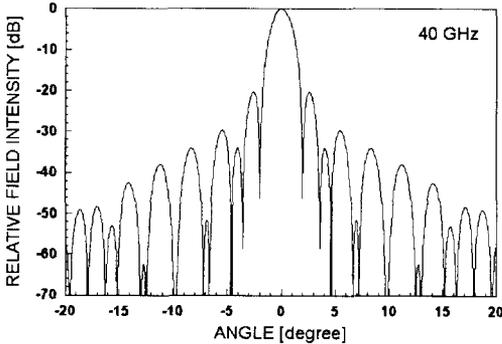


그림 11. 개구면 전계분포에 의한 복사패턴
Fig. 11. Radiation pattern of aperture field distribution.

10 dB, $\rho_o/\rho_m = 0.1$ 로 선정한다. 선정된 개구면 전계분포에 의한 복사특성은 다음과 같다. 블로킹 손실을 포함한 개구면효율은 그림 7에서 89%, 사이드 로브 레벨은 그림 8에서 -20.4 dB, $HPBW_U$ 과 $FNBW_U$ 는 그림 5로부터 각각 3.5287과 8.708이다. 이것을 각도로 나타내면 $HPBW = 1.61^\circ$, $FNBW = 3.97^\circ$ 이다. 또한 개구면효율과 스피오버 효율만을 고려한 안테나의 이득은 41.4 dBi이다. 초기 ADE 반사경 안테나의 복사특성과 비교할 때 사이드로브는 -20 dB를 만족하면서도 이득은 0.2 dB만 감소하였다. 그림 11은 선정된 개구면 전계 분포에 대한 복사패턴이다.

40 GHz에서 그림 11과 같은 복사패턴을 갖도록 표 1의 초기 ADE 안테나에 대하여 선정된 개구면 전계분포($n = 1$, $ET = 10$ dB, $\rho_o/\rho_m = 0.1$, $\rho_o = 15$ mm, $\rho_m = 150$ mm)를 사용하여 경면을 수정하였다.

3-2 시작안테나의 복사특성

그림 12는 경면수정법에 의하여 설계된 ADE 반사경 안테나의 H-면 복사패턴이다. 그림 12(a)는 40 GHz에서 설계된 안테나를 37 GHz에서 계산한 복사패턴과 측정패턴이다. 복사패턴의 계산결과로부터 HPBW는 1.8° (측정치 : 1.82°), FNBW는 4.5° (측정치 : 5.1°) 사이드로브 레벨은 -22.33 dB (측정치 : -20.3 dB, -22.8 dB)로 나타났다. 그림 12(b)는 40 GHz에서 계산된 복사패턴과 측정패턴으로 계산된 복사패턴은 그림 11의 가정된 개구면 전계분포로부터 계산된 복사패턴과 거의 동일하다. 복사패턴의 계산결과로부터 HPBW는 1.62° (측정치 : 1.72°), FNBW는 4° (측정치 : 4.8°), 사이드로브 레벨은 -20.24 dB (측정치 : -18.8 dB, -20.3 dB)로 나타났다.

그림 13은 경면수정 ADE 반사경 안테나의 H-면 광각 복사패턴을 나타낸다. 측정이득은 37 GHz에서 38.9 dBi (효율 : 57.5%) 40 GHz에서 39.9 dBi (효율 : 61.9%)로 나타났다. 개구면효율과 스피오버효율만 고려하여 계산한 이득은 37 GHz와 40 GHz에서 각각 40.626 dBi와 41.486 dBi로 나타났다. 계산이득과 측정이득의 차이는 1차 복사기를 설치할 때 1차 복사기의 위상중심과 반사경의 초점이 일치 않음으로써 나타나는 위상오차, 경면 제작시 경면오차, 1차 복사기에 부반사경을 고정시키기 위한 feedome의 사용에 의한 손실, 편파 부정합 등에 의한 것으로 생각된다.

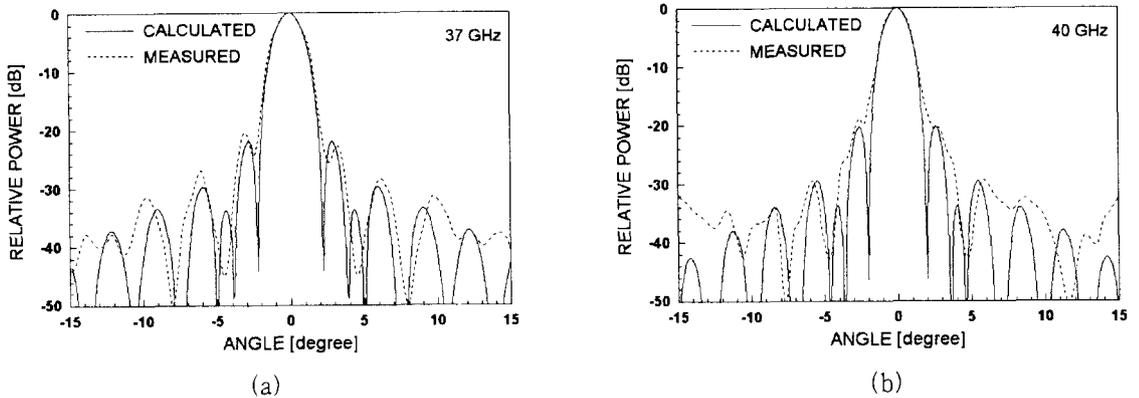


그림 12. 경면수정 ADE 안테나의 복사패턴 (a) 37 GHz (b) 40 GHz
 Fig. 12. Shaped ADE antenna pattern. (a) 37 GHz. (b) 40 GHz.

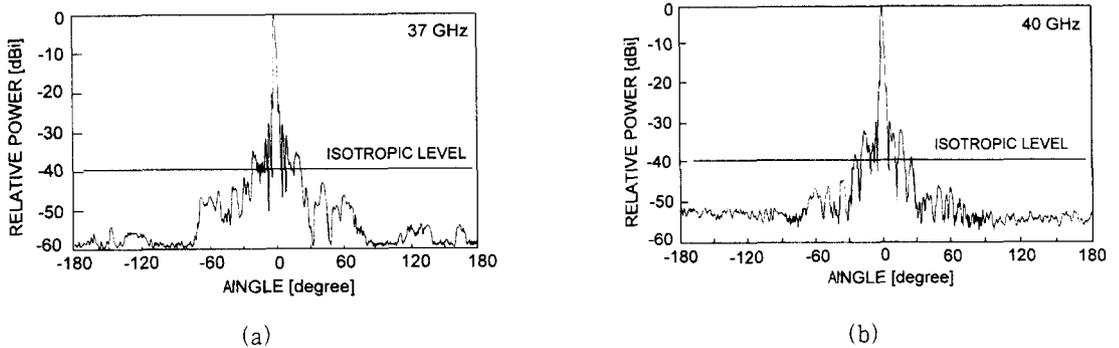


그림 13. 광각 복사패턴 (a) 37 GHz (b) 40 GHz
 Fig. 13. Wide angle pattern. (a) 37 GHz (b) 40 GHz.

IV. 결 론

본 논문에서는 37~40 GHz 대의 직경 300 mm의 소형 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계 제작하고 복사특성을 고찰하였다. 경면수정은 위성통신 지구국용 카세그레인 안테나의 설계에 이용되는 경면수정법을 이용하였고, 경면을 수정할 때 선정해야 할 개구면의 전계분포는 균일분포와 포물분포가 결합된 전계분포로 가정하고 빔폭, 개구면효율, 사이드로브 레벨 특성의 변화를 개구면 전계분포에 따라 나타내고 이것을 설계에 이용할 수 있도록 하였다.

설계 안테나의 이론적 복사특성은 설계시 선정된 개구면의 전계분포에 의한 복사특성과 거의 일치하였으나 측정결과와는 약간의 차이가 있었다. 안테나이득은 37 GHz와 40 GHz에서 각각 38.9 dBi (효율 : 57.5 %)와 39.9 dBi(효율 : 61.9 %)으로 측정되었다. 이는 40 GHz에서 설계목표인 60 % 효율을 만족하는 것으로 나타났다. 사이드로브 레벨은 37 GHz에서 -20.3 dB와 -22.8 dB(이론치 : -2.33 dB), 40 GHz에서 -18.8 dB와 -20.3 dB(이론치 : -20.24 dB)로 측정되었다. 측정치와 이론치 사이의 약간의 차이가 있는데 이는 1차 복사기를 설치할 때 1차 복사기의 위상중심과 반사경의 초점이 일치하지 않

음으로서 나타나는 위상오차, 경면 제작시 경면오차, 1차 복사기에 부반사경을 고정시키기 위하여 사용된 feedome의 손실에 의한 것으로 생각된다.

참 고 문 헌

[1] Victor Galindo, "Design of dual reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distributions", *IEEE Trans. AP-12*, pp. 403-408, July 1964.

[2] W. F. Williams, "High efficiency antenna reflector", *Microwave J.* vol. 8, pp. 79-82, July 1965.

[3] P. J. B. Clarricoats, G. T. Poulton, "High-efficiency microwave reflector antenna-areview", *Proc. IEEE*, vol. 65, no. 10, pp. 1470-1504, Oct. 1977.

[4] 최학근, 김규인, 이돈신, "INTELSAT 위성을 위한 표준 A 지구국 안테나의 설계", 한국통신학회논문지, 17(9), pp. 1001-1009, 1992. 2.

[5] T. Kitsuregawa, *Advanced Technology in Satellite Communication Antennas : Electrical and Mechanical Design*, ch. 2, Artech House, Boston, 1990.

[6] Y. Rahmat-Samii and V. Galindo-Israel, "Shaped reflector antenna analysis using the Jacobi-Bessel series", *IEEE Trans. AP-28*, pp. 425-435, July 1979.

[7] R. Mittra, Y. Rahmat-Samii, V. Galindo-Israel and R. Norman, "An efficient technique for the computation of vector secondary pattern of offset paraboloid reflectors", *IEEE Trans. AP-27*, pp. 294-304, May 1980.

[8] 최학근, 박정기, 박성룡, "국내 방송위성을 위한 오프셋 파라볼라 안테나의 설계에 관한

연구", 대한전자공학회논문지, 26(2), pp. 66-75, 1989. 2.

[9] E. R. Freeman, *Interference Suppression Techniques for Microwave Antennas and Transmitters*, ch. 6, Artech House, 1984.

[10] A. C. Leifer, W. Rotman, "GRAPS: An improved displaced-axis dual-reflector antenna design for EHF applications", *IEEE AP International Symposium*, pp. 507-510, 1986.

[11] Y. A. Yerukhimovich, "Development of double reflector antennas with a displaced focal axis", *Telecommunication and Radio Engineering*, vol. 29, no. 9, pp. 90-94, 1975.

[12] W. Rotman, J. C. Lee, "Compact dual frequency reflector antennas for EHF mobile satellite communication terminals", *IEEE AP International Symposium*, pp. 771-773, 1984.

[13] W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, ch. 7, John Wiley & Sons, 1998.

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학사 (공학사)
 1981년 2월: 고려대학교 대학원 전자공학사(공학석사)
 1988년 8월: 고려대학교 대학원 전자공학과(공학박사)
 1991년~현재: 단국대학교 전자공학과 부교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파