

수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나 설계

문 성 익* · 양 두 영**

Design of the Shaped Dual Offset Gregorian Antenna

Seong-Ig Moon* and Doo-Yeong Yang**

ABSTRACT

In this paper, design procedure of the shaped dual offset gregorian antenna is proposed. The electric field distribution of aperture for main reflector is calculated by using taper factor and $\cos-q$ factor. The approximated equations of parameters are derived by the geometrical optics theory which determines the geometrical structure of the antenna. The results using the taper factor show characteristics that maximum side lobe level, spillover efficiency and illumination efficiency are -23dB , 89% and 89% . In case of the $\cos-q$ factor, they show that those are -27dB , 91% and 91% , respectively. Finally, the shaped dual offset gregorian antenna system by using $\cos-q$ factor with the improved characteristics has been designed.

Key words : Dual offset gregorian antenna, taper factor, $\cos-q$ factor

1. 서 론

반사경 안테나는 19세기말 Hertz가 전자파의 존재를 확인하기 위하여 원통형 포물면 반사경을 제작한 이래로 위성통신이나 이동통신 및 레이더 등에 널리 사용되고 있다.¹⁾ 반사경 안테나는 급전 혼이나 부반사경의 지지대에 의한 블러킹(blocking) 효과로 인하여 부엽준위(sidelobe)와 교차편파(cross polarized)가 증가되어 안테나 시스템의 전체 이득을 감소시키고, 이중 편파간의 주파수 간섭현상을 유발한다.²⁾ 이러한 단점을 극복하기 위해서 오프셋된 두 개의 반사경으로

구성된 비대칭 이중 오프셋 반사경 안테나(dual offset reflector antenna)가 개발되었으며, 대부분의 위성 통신에서 사용되고 있다. 이중 오프셋 반사경 안테나는 1차 복사기와 주반사경 및 부반사경으로 이루어져 있으며 이중 오프셋 캐서그레인 안테나와 이중 오프셋 그레고리안 안테나로 분류된다. 이중 오프셋 캐서그레인 안테나는 주반사경 개구면에서 전체의 위상과 크기가 다르기 때문에 조사효율이 저하되고, 안테나 이득이 감소되며 높은 부엽준위 특성을 갖고 있다. 또한 주편파와 교차편파의 차가 크지 않아 이중 편파를 사용하는 안테나 시스템에는 적합하지 못하다.³⁾ 이러한 문제를 해결하기 위해 고 효율과 낮은 부엽준위 특성을 갖는 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 사용이 바람직하다. 하지만 그레고리안 안테나의 반사경으로부터 산란된 전자계를 구하기 어렵기 때문에 이 안테나의

* 제주대학교 대학원

Graduate School, Cheju Nat'l Univ.

** 제주대학교 통신공학과, 산업기술연구소

Dept. of Telecom. Eng., Res. Inst. Ind. Tech., Cheju Nat'l Univ.

설계에 관한 연구는 미흡한 실정이다.

본 논문에서는 에너지 보존 법칙과 전반사 원리인 스넬의 법칙의 기본 원리인 기하광학 이론을 토대로 수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나를 설계하고 그 특성을 고찰한다. 그리고 수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터의 근사식을 유도하고, 양호한 편파 특성과 안테나 이득 및 복사특성을 얻을 수 있도록 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수를 이용하여 개구면의 전계분포를 모델링한다. 안테나의 설계 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수(taper factor)와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포에 대한 수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 복사특성과 이득특성 및 효율 등을 비교하고 분석한다.

II. 이중 오프셋 반사경 안테나

수정곡면 이중 오프셋 반사경 안테나는 고효율과 고이득 및 양호한 교차편파 특성을 요구되기 때문에 주로 전파를 반사경에 반사시켜 송신하고 수신하는 장치이다. 이러한 이중 오프셋 반사경 안테나의 기하학적 구조를 Fig. 1에 나타내었다.

반사경 안테나의 성능을 결정하는데 중요한 요소에는 스피로버 효율과 조사효율 및 블러킹 효율이 있

다. 스피로버 효율은 급전된 에너지에 대한 반사경에 의해 반사되는 에너지의 비율 나타낸다. 조사효율은 빔 패턴의 균일성을 나타내는 값으로 스피로버 효율과 함께 부반사경의 크기를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 그 이외에도 송·수신 신호의 간섭현상과 안테나의 성능을 결정하는 요인에는 낮은 교차편파가 요구되는 편파 특성과 안테나 이득 특성 등이 있다.

일반적으로 반사경 안테나를 해석하는 방법에는 모멘트법과 기하광학 이론 그리고 기하학적 회절 이론 등이 있다. 모멘트법은 적분 방정식을 수치 해석적으로 풀기 때문에 비교적 정확한 해를 구할 수 있으나, 반사경의 크기가 수 파장 이상이 되면 많은 컴퓨터 기억용량과 계산시간을 필요로 하기 때문에 마이크로파 주파수대의 반사경 안테나를 해석함에 있어서 적합하지 못하다.⁴⁾⁵⁾ 기하학적 회절 이론은 기하광학 근사에 의하여 반사파를 구하고, 반사경 가장자리에서 발생되는 회절파를 합성함으로써 완전한 복사패턴을 얻는 고주파 해석법이다.⁶⁾ 하지만 곡면을 갖는 반사경 안테나의 경우, 반사경 가장자리 부분에서의 회절계수를 구하기가 어렵다.

본 논문에서 적용한 기하광학 이론은 전자파를 광파로 간주하는 해석법으로써 에너지 보존 법칙과 경로일정의 법칙 및 스넬의 법칙에 기초하여 반사경의 곡면을 구한다.

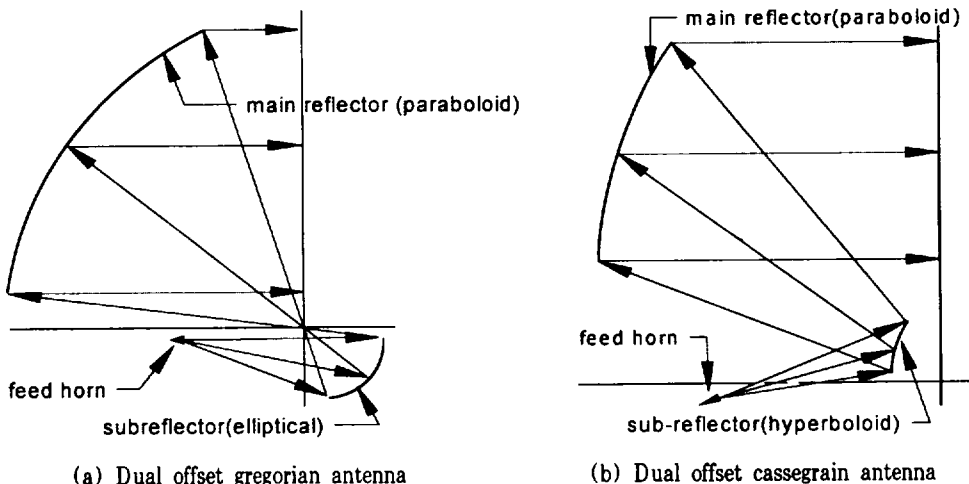


Fig. 1 Configurations of the dual offset reflector antennas

III. 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나

3.1. 기하학적 구조

수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나 시스템의 주반사경을 회전 포물면으로 사용하는 이유는 포물면의 특성상 초점을 통과한 후 주반사경에 반사된 전파는 반드시 평면파를 형성하는 특성을 갖게하기 위해서이다. 수정곡면 이중 읍셋 반사경 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터를 산출하는 데에는 많은 어려움이 있다. 하지만 Mizuguchi, Dragone, Rusch등에 의해 수정곡면 이중 읍셋 반사경 안테나의 최적화된 파라미터를 계산하는 근사식이 제시되었다. Fig. 2는 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 측면도와 단면도를 나타낸 그림이다.

혼 안테나를 급전으로 사용하는 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나 설계 방법에는 여러 가지가 있다. 그중 가장 흔히 사용하는 방법은 주반사경의 직경 D , 부반사경의 높이 (V_s), 읍셋 거리 (d_0), 초점 거리 (F), 축 기울기 각 (β)를 입력 파라미터로 이용하는 것이다.⁷⁾ 주반사경은 포물면이고, 부반사경은 타원면으로 구성되어 있다. 1차 복사기에서 방사된파가 부반사경에 부딪쳐 포물면인 주반사경의 초점과 타원의 한 초점 P 에 모이도록 주반사경과 부반사경

을 설계한다.

포물면의 초점 P 에서 주반사경의 임의의 표면점까지의 거리는

$$\rho_m = \frac{2F}{1 + \cos \theta} \quad (1)$$

이다. 여기서 θ 는 z 축의 주반사경에서 ρ_m 까지의 각이고, 이를 Fig. 3에 나타내었다. 식(1)에서 초점 P 에서 z 축을 기준으로 포물면의 아래 부분의 각

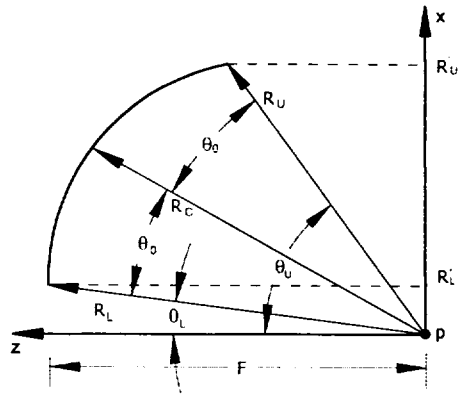
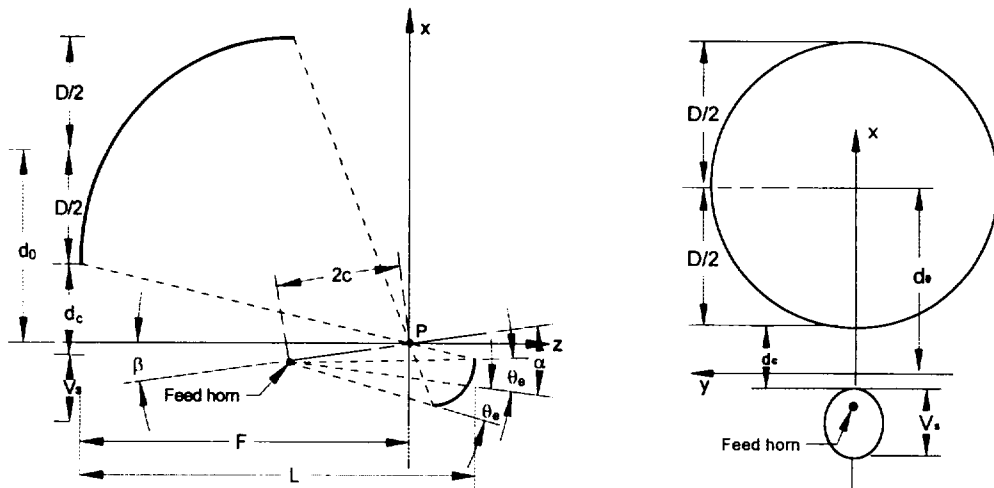


Fig. 3 Definitions of angles for the main reflector



(a) Side view
(b) Front view
Fig. 2 Side and front view of the shaped dual offset gregorian antenna

(lower angle)이고, θ_U 는 포물면의 윗부분의 각 (upper edge angle)을 나타낸다. θ_0 는 주반사경의 중심각이다.

입력 파라미터 중 β 를 결정하면 Rusch 조건에 의해 타원면인 부반사경의 이심률(eccentricity)은 다음과 같은 식으로 표현된다.⁸⁾

$$e = \frac{1 - \sigma \sqrt{\frac{\tan \beta/2}{\tan[(\beta - \theta_0)/2]}}}{1 + \sigma \sqrt{\frac{\tan \beta/2}{\tan[(\beta - \theta_0)/2]}}} \quad (2)$$

식(2)에서 그레고리안 안테나 시스템의 경우 타원면의 특성상 $\sigma = +1$ 이 되어, 이심률은 $0 < e < 1$ 인 범위 내에 놓이게 된다. Mizuguchi와 Rusch는 수정곡면 이중 읍셋 반사경 안테나의 최적화된 방정식을 나타내었다. 먼저 Mizuguchi는 기하광학 이론을 토대로 영(zero)에 가까운 교차면파 특성을 얻기 위한 급전점의 각 α 에 대한 식을 식(3)에 나타내었다. Rusch는 스펬오버 효율을 최소화하기 위한 축기울기 각 β 에 대하여 식(4)와 같이 나타내었다.^{8),9)}

$$\tan \alpha = \frac{|e^2 - 1| \sin \beta}{(1 + e^2) \cos \beta - 2e} \quad (3)$$

$$\tan \frac{\beta}{2} = \left(\frac{e-1}{e+1} \right)^2 \tan \left(\frac{\beta - \theta_0}{2} \right) \quad (4)$$

Fig. 2에서 부반사경의 기하학적 구조를 표현하면

$$\rho_f + \sigma \rho_s = \frac{2c}{e} \quad (5)$$

이다. 여기서

$$\rho_s = -\sigma \left(\frac{c}{e} \right) \frac{(e^2 - 1)}{e \cos \gamma_s + 1} \quad (6)$$

$$\tan \left(\frac{\gamma_f}{2} \right) = \frac{1 - e}{1 + e} \tan \left(\frac{\gamma_s}{2} \right) \quad (7)$$

이다. c 는 타원의 두 초점 길이의 반이고, ρ_f 는 급전점에서 부반사경의 임의의 점까지의 거리이고, ρ_s 는 부반사경의 임의의 한점에서 타원의 한 초점 P 까지의 거리이다. 그리고 γ_f 와 γ_s 는 Fig. 4에 나타내었다.

여기서 $\gamma_f = \alpha + \theta_e$ 이고, $\gamma_s = \theta_U + \beta$ 이다.

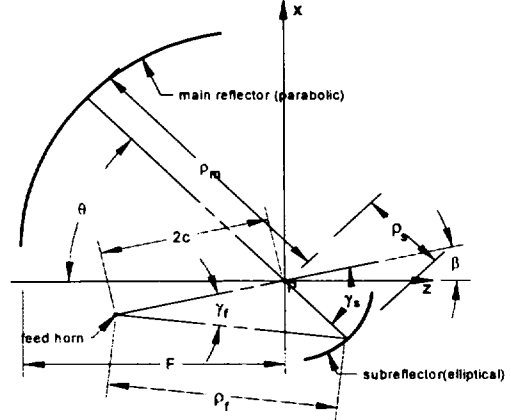


Fig. 4 Definitions for parameters of the shaped dual offset Gregorian antenna

입력 파라미터 중 D , V_s , β 가 주어지면 안테나 시스템의 급전점에서 부반사경의 기울기 각은 식(7)에 r_f , r_s 를 대입함으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan \left(\frac{\alpha + \theta_e}{2} \right) = \frac{1 - e}{1 + e} \tan \left(\frac{\theta_U - \beta}{2} \right) \quad (8)$$

부반사경의 직경 V_s 는 부반사경의 x 축의 큰 값 x_{sU} 와 작은 값 x_{sL} 사이의 차로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$V_s = \sigma \left[\left(\frac{c}{e} \right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} - \left(\frac{c}{e} \right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} \right] \quad (9)$$

이 된다.

식(9)을 c 에 대한 표현식으로 나타내면

$$c = \frac{-\sigma e V_s}{(e^2 - 1) \left[\frac{\sin \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} - \frac{\sin \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} \right]} \quad (10)$$

이다.

주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분 사이의 거리 d_c 는 부반사경의 윗부분 (x_{sU})과 주반사경의 아래 부분 (x_{mL})의 차로써 다음과 같이 표현된다.

$$d_c = d_0 - \frac{D}{2} + \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} \quad (11)$$

xz 평면에서 주반사경과 부반사경 z 축의 좌표값은 식(1), (6)에 의해 다음과 같이 주어진다.

$$z_m = \rho_m \cos \theta = \frac{2F \cos \theta}{1 + \cos \theta} \quad (12)$$

$$z_s = -\sigma \rho_s \cos \theta = \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \cos \theta}{e \cos(\theta - \beta) + 1} \quad (13)$$

안테나 시스템의 전체길이 L 은 주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분사이의 거리 차로써 나타낼 수 있다. 전체길이 L 은 식(12)과 (13)를 대입함으로써 얻을 수 있다.

$$L = \frac{2F \cos \theta_L}{1 + \cos \theta_L} + x_U + x_L \quad (14)$$

여기서

$$x_U = \frac{c}{e} \frac{(e^2 - 1)}{2} \left[(\sigma - 1) \frac{\cos \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} \right] \quad (15)$$

$$x_L = -\frac{c}{e} \frac{(e^2 - 1)}{2} \left[(\sigma + 1) \frac{\cos \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} \right] \quad (16)$$

이다.

3.2. 개구면 전계분포

반사경 안테나의 효율과 부엽준위 및 빔폭등의 특성은 개구면의 전계분포와 반사경의 가장자리에서의 회절전계, 스피로버 등에 의하여 결정된다. 이 중에서 가장 큰 영향을 미치는 것이 개구면 전계분포이다. 개구면 가장자리의 전계 레벨이 감소하면 낮은 부엽준위 특성을 얻을 수 있으나 이득이 감소하고 빔폭이 넓어진다. 반면에 전계 레벨이 높으면 이득은 증가하지만 부엽준위가 증가하게 된다. 따라서 양호한 복사 특성을 갖는 수정곡면 이중 옴셋 그레고리안 안테나

를 설계할 때는 적절한 개구면 전계분포를 설정하는 것이 중요하다.

개구면의 전계분포를 $E_a(\rho, \phi')$ 라할 때 복사 전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.¹⁰⁾

$$E(r, \theta, \phi) \cong j \frac{e^{-jkr}}{\lambda r} \int_0^{2\pi} \int_{R_L}^{R_U} E_a(\rho, \phi') \cdot e^{jk\rho \sin \theta \cos(\phi - \phi')} \rho \, d\rho d\phi' \quad (17)$$

여기서 k 는 전파상수로써 $2\pi/\lambda$ 이고, R'_U, R'_L 은 주반사경의 윗부분과 아래 부분에서의 x 축 값이다. 그리고 r 은 원 거리 영역을 나타낸 것으로써 $2D^2/\lambda$ 보다 크게 설정한다.

3.2.1. 테이퍼 함수의 개구면 전계분포

식(17)에서 개구면의 전계분포 $E_a(\rho, \phi')$ 는 ϕ' 방향에 대하여 대칭이므로 ρ 에 관한 테이퍼 함수의 전계분포를 적용하면

$$E_a(\rho) = K_0 + (1 - K_0) \left[1 - \left(\frac{\rho}{D}\right)^2 \right]^n \quad (18)$$

이 된다.¹⁰⁾ 여기서 ρ 는 R'_L, R'_U 인 범위내에 존재하고, D 는 주반사경의 직경, n 은 포물분포의 형상을 결정하는 지수이다. K_0 는 개구면 가장자리에서의 전계 레벨을 나타내는 상수이고, ET(Edge Taper)와 는 다음과 같은 관계식이 성립한다.¹⁰⁾

$$K_0 = 10^{-\frac{ET[dB]}{20}} \quad (19)$$

여기서 ET는 edge taper를 dB로 나타낸 값이다.

3.2.2. $\cos - q$ 함수의 개구면 전계분포

개구면의 전계분포 $E_a(\rho, \phi')$ 가 다음과 같은 전계분포를 갖는다고 가정하여 복사전계식에 적용한다.¹¹⁾

$$E_a(\rho) = \cos^q(\rho) \quad (20)$$

여기서 q 는 반사경 테두리에서 1차 복사기의 복사패턴에 대한 edge taper를 나타낸 값이고, ρ 는 주반사

경의 윗부분과 아래부분인 R_L , R_U 의 범위내에 놓이게 된다.

식(20)에서 빔의 형태를 결정하는 q 의 값은

$$q = \left| \frac{FT}{20 \log_{10}(\cos \theta_0)} \right| \quad (21)$$

이 된다. 여기서 급전 테이퍼(feed taper)는

$$FT = ET + PL \quad (22)$$

이고, 반사경 안테나의 경로 손실은

$$PL = 20 \log_{10} \left(\frac{R_C}{R_U/R_L} \right) \quad (23)$$

이 된다. R_C 는 반사경 표면의 중심점까지의 거리이고, R_L 과 R_U 는 각각 반사경의 아래 부분과 윗부분까지의 거리이다.

식(21)에서 주반사경의 중심 각 θ_0 는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_0 = \frac{(\theta_U - \theta_L)}{2} \quad (24)$$

3.3. 편파 특성

급전 점에서 방사된 파가 주반사경과 부반사경에 입사되면 고차모드가 발생된다. 고차모드의 발생으로 입사파의 주편파에 대하여 반사파에 교차편파성분이 발생된다. 특히, 위성통신용으로 사용되는 반사경 안테나를 설계할 때에는 낮은 교차편파 특성이 요구된다. 주편파와 교차편파를 계산하기 위하여 전류와 자류를 동시에 고려한 Chu의 모델을 이용한다.^{11),12)}

xy 평면에서의 편파성분 P_x , P_y 는

$$P_x = \int \int_{AP} E_{ax}(x, y) e^{jk(x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi)} dx dy \quad (25)$$

$$P_y = \int \int_{AP} E_{ay}(x, y) e^{jk(x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi)} dx dy \quad (26)$$

이다. 여기서 k 는 파수(wave number)이고, E_{ax} 와 E_{ay} 는 각각 x, y 평면에서의 개구면 전계분포를 나타낸다.

원거리 영역에서 chu의 전계 모델식은

$$E_\theta = j \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) (P_x \cos \phi + P_y \sin \phi) \quad (27)$$

$$E_\phi = j \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \left(\frac{1 + \cos \theta}{2} \right) (-P_x \sin \phi + P_y \cos \phi) \quad (28)$$

으로 표현된다. 여기서 r 은 원거리 영역을 나타낸다.

윗셋 안테나의 전계가 y 방향으로 편파 되었을 경우, 주편파와 교차편파는 Ludwig정의에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{CP} = E_\theta \sin \phi + E_\phi \cos \phi \quad (29)$$

$$E_{XP} = E_\theta \cos \phi - E_\phi \sin \phi \quad (30)$$

여기서 E_{CP} 와 E_{XP} 는 각각 주편파와 교차편파이다.

3.4. 효율 및 이득 특성

반사경을 갖는 안테나 시스템에서는 급전된 에너지의 일부가 반사경에서 반사되지 않고 반사경 밖으로 빠져나가는 손실이 발생한다. 스피오버 효율은 급전된 에너지에 대한 반사경이 반사시킬 수 있는 에너지의 비이다. 따라서 스피오버 효율은 수정곡면 이중 윗셋 반사경 안테나 시스템에서 반사경의 크기를 결정하는 중요한 요소로서, 70% 이상의 스피오버 효율을 갖도록 반사경의 크기를 결정해야 한다.¹³⁾

급전 복사전계식을 $E(\theta, \phi)$ 라 하고, 반사경의 윗부분과 아래 부분으로 복사되는 각을 각각 θ_L , θ_U 라 하면 스피오버 효율 η_s 는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\eta_s = \frac{\int_0^{2\pi} \int_{\theta_L}^{\theta_U} E_a^2(\rho, \phi') \sin \theta d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^\pi E_a^2(\rho, \phi') \sin \theta d\theta d\phi} \quad (31)$$

조사효율은 개구면에서의 에너지 분포가 일정할수록 실효 개구면적은 커지고 이득은 증가하게 된다. 주반사경의 개구면적을 A 라하면 개구면 조사 효율 식은 다음과 같다.

$$\eta_i = \frac{\left| \int \int_A E_a(\rho, \phi') dA \right|^2}{\int \int_A |E_a(\rho, \phi')|^2 dA} \quad (32)$$

여기서 $E_a(\rho, \phi')$ 는 1차 복사기의 개구면 전계분포이다.

수정곡면 이중 읍셋 반사경 안테나의 경우, 블러킹 효율은 부반사경의 윗부분과 주반사경의 아래 부분 사이의 이격거리를 설정함으로써 블러킹 효율은 제거된다. 즉, 블러킹 효율은 100%가 된다. 따라서 안테나 시스템의 전체 효율은 앞에서 제시한 모든 효율을 곱한 값으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \eta_i \eta_s \quad (33)$$

여기서 η_i 는 조사효율이고, η_s 는 스피오버 효율을 나타낸다.

수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나 이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \left(\frac{\pi D}{\lambda} \right)^2 \eta \quad (34)$$

여기서 η 는 수정곡면 이중 읍셋 반사경 안테나의 조사효율, 스피오버 효율을 곱한 전체효율을 나타낸 값이고, D 은 주반사경의 직경이다.

IV. 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나 설계

본 논문에서는 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 근사식을 토대로 복사전계식을 구하기 위해 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포를 이용하였고, 안테나 이득과 편파특성 및 전체효율을 개선시킨 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나를 설계하였다. 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 최적의 파라미터를 얻기 위한 흐름도를 Fig. 6에 나타내었다.

먼저 안테나 설계 주파수 (f)와 입력 파라미터 D, V_s, d_0, F, β 를 결정한다. 여기서 주파수 f 는 29.2 GHz로 설정한다. 그리고 주반사경의 직경 (D)과 부

반사경의 높이 (V_s)의 초기값을 각각 $100\lambda, 10\lambda$ 로 설정한다.

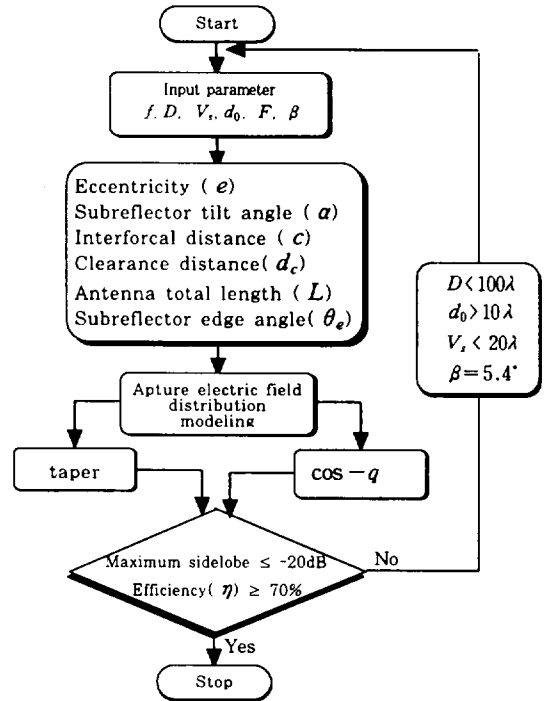


Fig. 6 Program flow chart for designing the shaped dual offset gregorian antenna

양호한 교차편파의 복사특성을 산출하기 위하여 축 기울기 각 (β)은 식(4)에 의해 5.4° 로 둔다. 식(2)와 식(3)에 의해 타원의 이심률 (e)과 급전 각 (α)을 구할 수 있다. 또한 식(8)에 의해 부반사경의 기울기 각 (θ_e)를 얻을 수 있다. 계산된 타원의 이심률과 θ_L 및 θ_U 그리고 부반사경의 높이 V_s 값을 이용하여 타원의 초점사이의 거리 (c)를 구할 수 있다. 식(10)에 의해 계산된 타원의 초점 사이의 거리 (c)를 이용하여 주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분사이의 거리 (d_c)를 계산하고, 이를 식(14)에 대입하면 안테나 시스템의 전체 길이 L 를 구할 수 있다. 이렇게 계산된 안테나의 설계 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포를 식(17)의 복사 전계식에 적용하여 안테나의 복

사특성과 이득 특성 및 효율 그리고 편파 특성 등을 계산한다.

V. 계산 결과 및 고찰

본 논문에서는 기하광학이론을 토대로 수정곡면 이중 오프셋 반사경 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터의 근사식을 유도하였고, 이를 토대로 안테나의 설계 파라미터를 산출하였다. 계산된 설계 파라미터를 토대로 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포를 해석하고, 식(17)의 복사 전계식에 적용하여 안테나의 복사특성과 이득 특성 및 효율 그리고 편파 특성을 고찰하였다.

Table 1은 Fig. 6의 설계 프로그램을 통하여 산출된 안테나의 설계 파라미터값을 나타낸 것이고, 이러한 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포에 따른 수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나 시스템의 기하학적 구조를 산출하였다.

Table 1 Designed parameters of the dual offset gregorian antenna

Frequency [GHz]	f	29.2
Main reflector diameter [cm]	D	62
Focus length [cm]	F	57
Antenna total length [cm]	L	68.6
Clearance distance [cm]	d_c	18.7
Eccentricity	e	0.44
Subreflector height [cm]	V_s	12.5
Offset distance	d_0	48
Feed pointing angle [degree]	α	-17.1°
Axis tilt angle [degree]	β	5.4°
Subreflector edge angle [degree]	θ_e	4.6°

Fig. 7은 Table 1의 설계 파라미터를 토대로 개구면 전계분포에 따른 수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 나타낸 그림이다. Fig. 7에서 “◆”는 1차 복사기인 혼 안테나를 나타낸 것이고,

“Origin”은 일정한 개구면 전계분포를 가질 때 안테나의 기하학적 구조를 나타내었다. “Taper”와 “Cosine-q”는 각각 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포에 따른 안테나의 기하학적 구조를 나타낸 것이다. Fig. 7에 나타낸 것처럼 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포를 이용한 안테나의 기하학적 구조는 거의 비슷하게 나타났지만, 개구면 전계분포가 일정한 안테나의 기하학적 구조와는 다른 차이를 갖는다.

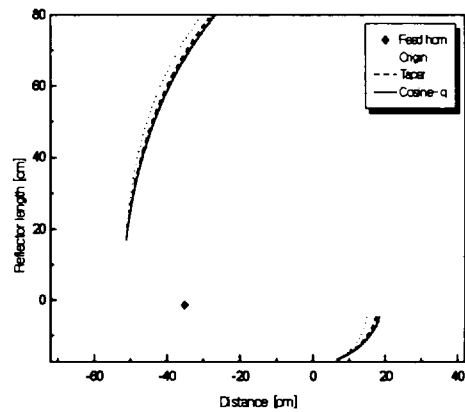


Fig. 7 Configurations of designed the shaped dual offset gregorian antenna by electric field distribution of aperture

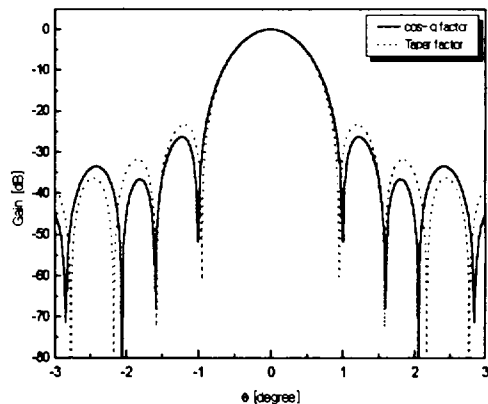
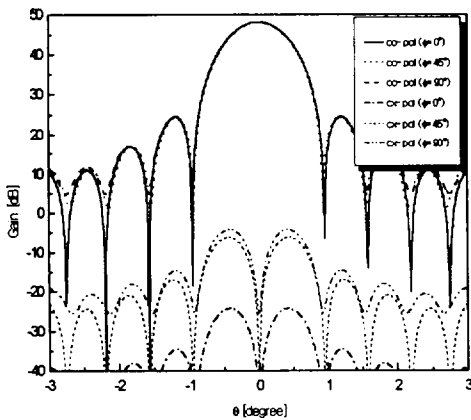


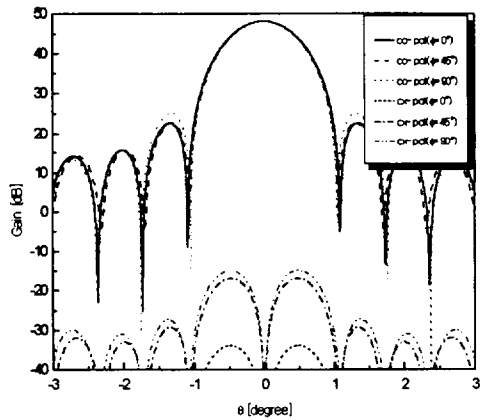
Fig. 8 Gain characteristic pattern of taper factor and $\cos -q$ factor ($q=3$)

Fig. 8은 ET가 15dB이고 $q=3$ 일 때 테이퍼 함수와 $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포에 따른 수정곡면 이중 육섯 그레고리안 안테나의 복사특성을 나타낸 그림이다. $\cos -q$ 함수에서 빔의 형태는 q 에 의해 결정되는데, 테이퍼 전계분포의 특성과 비교하기 위하여 q 값은 식(22)에 의해 계산된 최적의 값 3을 사용한다.

Fig. 9(a)는 ET=15dB일 때 ϕ 에 따른 테이퍼 함수의 개구면 전계분포에 대한 편파 특성을 나타낸 그림이다. Fig. 9(a)에 나타낸 것처럼 테이퍼 함수의 개구면 전계분포를 이용한 안테나의 편파 특성을 살펴보면 주편파 특성은 $\phi=0^\circ, 45^\circ, 90^\circ$ 일 때 거의 동일하게 나타났지만, 교차편파 특성은 ϕ 에 따라 약간의 차이를 보이고 있다.

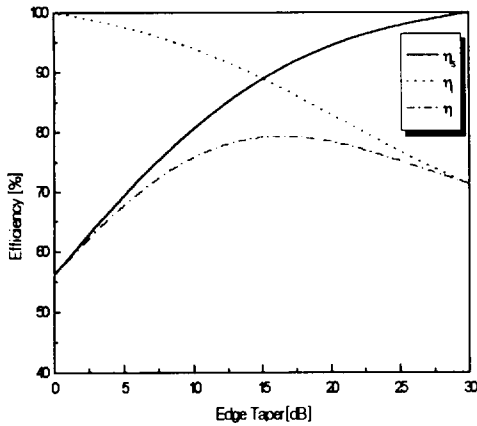


(a) Taper factor

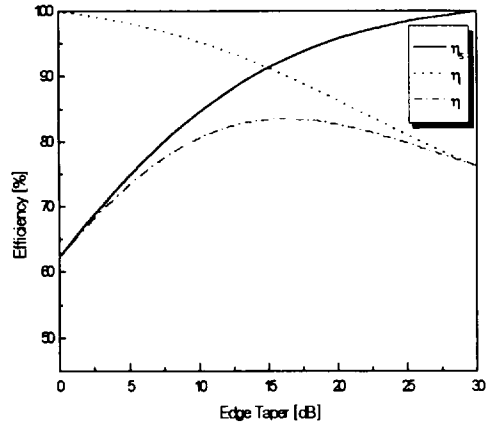


(b) $\cos -q$ factor

Fig. 9 Co-polarized and cross-polarized radiation pattern of the taper factor and the $\cos -q$ factor by ϕ ($q=3$)



(a) Taper factor



(b) $\cos -q$ factor

Fig. 10 Efficiency of the taper factor and $\cos -q$ factor

Fig. 9(b)는 $ET=15\text{dB}$ 이고, $q=3$ 일 때 $\cos-q$ 함수의 개구면 전계분포를 토대로 안테나의 편파 특성을 나타낸 그림이다. 여기서 보면 $\phi=0^\circ$ 와 $\phi=45^\circ$ 일 때의 주편파 특성은 거의 비슷하게 나타났지만, $\phi=90^\circ$ 일 때의 주편파의 부엽준위가 약 2dB 정도 증가하였다. 그리고 Fig. 9(a)와 비교해 볼 때 $\cos-q$ 함수의 개구면 전계분포를 갖는 안테나가 테이퍼 함수의 개구면 전계분포를 갖는 안테나보다 양호한 주편파의 부엽준위와 교차편파 준위 특성을 얻었다.

Fig. 10(a), (b)는 ET 가 15dB일 때 테이퍼 함수와 $\cos-q$ 함수의 개구면 전계분포를 토대로 안테나의 효율을 나타낸 그림이다. Fig. 10(a)에 나타낸 것처럼 안테나의 조사효율(η_i)과 스페일오버 효율(η_s)은 각각 89%로 나타났고, 이 효율들을 곱한 전체 효율 η 는 79%이다. 이렇게 산출한 전체 효율을 식(34)에 대입하여 구한 안테나 이득(G)은 44.1dB로 나타났다. 반면 Fig. 10(b)에 나타낸 것처럼 $\cos-q$ 함수를 이용한 안테나의 조사효율과 스페일오버 효율은 각각 91%의 우수한 특성을 가졌고, 이들을 곱한 전체 효율은 약 83%로 나타났다. 그리고 식(34)을 이용하여 계산한 안테나 이득은 약 44.4dB이다. 테이퍼 함수와 $\cos-q$ 함수의 안테나 효율 특성을 비교해 볼 때 대체적으로 $\cos-q$ 함수의 개구면 전계분포를 이용한 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나가 높은 효율 특성을 갖는다.

Fig. 11는 q 에 따른 $\cos-q$ 함수의 복사특성을 나타낸 그림이다. q 값이 증가할수록 반 전력 빔폭은 커지고, 다소 넓은 빔 특성을 보였으며 최대 부엽준위는 감소하여 양호한 복사특성과 높은 효율을 얻을 수 있다. 하지만 식(20)에 표현된 것처럼 q 가 증가할수록 반사경의 직경이 증가하는 동시에 주반사경의 중심에서 타원의 한 초점(P)까지의 거리도 멀어지는 단점이 있다. 따라서 q 를 적절히 선택하는 것이 중요하다.

VI. 결 론

본 논문에서는 안테나의 효율특성과 이득특성을 개선시킨 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나를 설

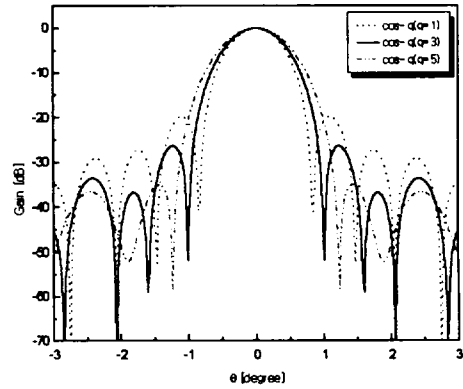


Fig. 11 Gain characteristics for the $\cos-q$ factor by q

계하고 그 특성을 고찰하였다. 주반사경 개구면의 전계분포는 테이퍼 함수와 $\cos-q$ 함수를 이용하였고, 기하광학 이론을 토대로 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터들의 근사식을 유도하였다. 최적화된 안테나의 설계 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수와 $\cos-q$ 함수의 개구면 전계분포를 복사전계식에 적용하여 수정곡면 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 복사특성과 이득 특성 그리고 효율 등을 살펴보았다. 그 결과 테이퍼 함수에 의한 최대 부엽준위와 스페일오버 효율 및 조사효율은 각각 -23dB, 89%, 89%로 나타났으며, 스페일오버 효율과 조사효율을 곱한 안테나 전체 효율과 이득은 각각 79%와 44.1dB이다. 하지만 $\cos-q$ 함수에 의한 최대 부엽준위는 -27dB이고, 스페일오버 효율 및 조사효율은 각각 91%, 91%로 나타났다. 안테나 시스템의 전체 효율과 이득은 각각 83%, 44.4dB로 나타났다. 테이퍼 함수와 $\cos-q$ 함수의 안테나 복사특성과 편파 특성 및 효율 등을 비교해 볼 때 반 전력 빔폭은 거의 비슷하게 나타났지만, 최대 부엽준위와 효율 및 이득 그리고 편파특성 면에서는 $\cos-q$ 함수가 더 우수한 특성을 얻었다. 테이퍼 함수의 개구면 전계분포를 이용하는 것보다 $\cos-q$ 함수의 개구면 전계분포를 이용하여 설계하면 더욱 양호한 수정곡면 이중 읍셋 반사경 안테나 시스템을 설계하고 제작할 수 있다.

본 논문에서는 최적의 q 값이 3일 때 $\cos -q$ 함수의 개구면 전개분포를 이용하여 수정곡면 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 설계 데이터를 산출하였다. 개구면의 전개분포인 $\cos -q$ 함수의 복사특성에 맞게 1차 복사기인 급전 혼 안테나를 설계하면 특성이 양호한 위성통신이나 이동통신 및 레이더 등 마이크로파 통신에서 사용하는 안테나를 설계·제작할 수 있다.

참고문헌

- 1) Ruze, J. 1968, Feed support blockage loss in parabolic antenna. *Microwave Jour.*, 11, No.12, pp. 76-82.
- 2) Albertsen, N., K. Pontoppidan. 1993, Analysis of sub reflectors for dual reflector antennas. *IEE Proceedings*, Vol.131, No.3, pp.205-213.
- 3) Collins, G. W., 1973, Shaping of sub-reflectors in cassegrain antenna for maximum aperture efficiency, *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-21, pp.309-313.
- 4) Kline, M. I. Kay. 1965, *Electromagnetic Theory and Geometrical Optics*. New York : Academic.
- 5) Kouyoumjian, R. G. and Pathak, P. H., 1974, A Uniform geometrical theory of diffraction for an edge in a perfectly conducting surface. *Proc. IEEE*, Vol.62, pp.1448-1461.
- 6) Griesser, T. Balanis, C. A., 1987, Backscatter analysis of dihedral corner reflectors using physical optics and physical theory of diffraction. *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, Vol. AP-35, No.10, pp.1137-1147.
- 7) Brown, K. W., Y. Lee, and A. Prata, Jr., 1993, A systematic design procedure for classical offset dual reflector antennas with optimal electrical performance. *IEEE trans. antennas Propagat. Soc. Symp. Dig.*, Ann Arbor, Mi, pp.772-775.
- 8) Rusch, W. V. T., A. Prata, Jr., Y. Rahmat-Samii, and R. Shore, 1990, Derivation and application of the equivalent paraboloid for classical offset cassegrain and gregorian antennas. *IEEE trans. antennas Propagat.*, Vol. AP-38, No. 8, pp.1141-1149.
- 9) Mizuguchi, Y., M. Akagawa, and H. Yokoi, 1976, Offset dual reflector antennas. *IEEE trans. antennas Propagat. Soc. Symp. Dig.*, Amherst, MA, pp.2-5.
- 10) Rahmat-Samii, Y., R. A. Hoferer, and H. Mosallaei, 1998, Beam efficiency of reflector antennas : The simple formula. *IEEE trans. Antennas Propagat.*, Vol.40, No.5.
- 11) Stutzman, W. L., G. A. Thiele, 1981, *Antenna Theory and Design*. New York, John Wiley & Sons.
- 12) Tanaka, H. and M. Mizusawa, 1975, Elimination of cross-polarization in offset dual reflector antennas. *Trans. Inst. Electron. Communication Eng. Japan*, Vol.58-B, No.12, pp.643-650.
- 13) Williams, W. F., 1965, *High Efficiency Antenna Reflector*. *Microwave Journal*, Vol.8, pp.79-82.