

碩士學位論文

# Ka 帶域 衛星通信用 이중 음셋 그레고리안 안테나 解析 및 設計



濟州大學校 大學院

通信工學科 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

文 盛 益

1999年 12月

# Ka 帶域 衛星通信用 이중 옵셋 그레고리안 안테나 解析 및 設計

指導教授 梁 斗 榮

文 盛 益

이 論文을 工學 碩士學位 論文으로 提出함



文盛益의 工學 碩士學位 論文을 認准함

審査委員長 金 興 洙 印

委 員 林 載 允 印

委 員 梁 斗 榮 印

濟州大學校 大學院

1999年 12 月

# Design and Analysis of the Dual Offset Gregorian Antenna for Satellite Communication at Ka-Band

Seong-Ig Moon

(Supervised by professor Doo-Yeong Yang)



A THESIS SUBMITTED IN PARTIAL FULFILLMENT  
OF THE REQUIREMENTS FOR THE DEGREE OF  
MASTER OF ENGINEERING

DEPARTMENT OF TELECOMMUNICATION ENGINEERING  
GRADUATE SCHOOL  
CHEJU NATIONAL UNIVERSITY

1999. 12.

# 목 차

Abstract .....	1
I. 서론 .....	2
II. 이중 읍셋 반사경 안테나 .....	5
1. 기본 개념 .....	5
2. 해석 방법 .....	7
III. 이중 읍셋 그레고리안 안테나 .....	9
1. 기하학적 구조 .....	10
2. 개구면 전계분포 .....	19
(1) 테이퍼 함수의 개구면 전계분포 .....	20
(2) $\cos -q$ 함수의 개구면 전계분포 .....	21
3. 편파 특성 .....	23
4. 효율 및 이득 특성 .....	25
IV. 이중 읍셋 그레고리안 안테나 설계 .....	27
V. 계산 결과 및 고찰 .....	29
VI. 결론 .....	42
참고 문헌 .....	43
부록 A .....	46
부록 B .....	47
부록 C .....	48

# Abstract

In this thesis, the dual offset gregorian antenna for the satellite communication at Ka-band is analyzed. The equivalent source of the primary feeder is identified with the electric field distribution of the aperture of main reflector. The electric field distribution of aperture for main reflector is calculated by using taper factor and  $\cos\text{-}q$  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  $-23\text{dB}$ ,  $89\%$  and  $89\%$  . In case of  $\cos\text{-}q$  factor, they show characteristics that those are  $-27\text{dB}$ ,  $91\%$  and  $91\%$ , respectively.

We calculated the radiation pattern, gain, and efficiency of antenna by modeling the electric field distribution of aperture based on the designed data of the optimized antenna.

Comparing taper factor with  $\cos\text{-}q$  factor about radiation pattern, the half power beamwidth has almost the same value. But in point of maximum side lobe level, gain and efficiency, the  $\cos\text{-}q$  factor has better property than taper factor.

Finally, the dual offset gregorian antenna system at Ka-band by using  $\cos\text{-}q$  factor with the electric field distribution of aperture has been designed.

# I. 서론

반사경 안테나는 19세기말 Hertz가 전자파의 존재를 확인하기 위하여 원통형 포물면 반사경을 제작한 이래로 위성통신이나 이동통신 및 레이다 등에 널리 사용되고 있다.(Ruze, 1968) 그후 1970년대 중반부터는 전파 천문학의 발달로 인하여 여러 주파수대에서 빔 방향을 자유롭게 변경할 수 있는 안테나와 우주공간에서 통신을 위한 안테나가 필요하게 되어 반사경 안테나(reflector antenna)를 개발하게 되었다.(Hannan, 1961, Williams, 1965, Collins, 1973)

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. 이를 개선한 오프셋 포물면 안테나(offset paraboloid antenna)는 반사경과 급전부를 오프셋시켜 블러킹을 없애고, 반사경을 통한 급전 혼 상호간의 상호결합이 일어나는 것을 방지할 수 있다. 하지만 최근 위성 통신에 대한 수요가 급증함에 따라 통신량의 증가로 인한 편파성분간의 상호간섭을 줄이기 위해서 부엽준위와 교차편파 성분이 낮은 안테나가 필요하게 되었다.(Albertsen, 1993)

이러한 단점을 극복하기 위해서 오프셋된 두 개의 반사경으로 구성된 비대칭 이중 오프셋 반사경 안테나(dual offset reflector antenna)가 개발되었으며, 대부분의 위성 통신 시스템에 사용되고 있다. 이중 오프셋 반사경 안테나는 1차 복사기, 부반사경(subreflector) 및 주반사경(main reflector)으로 구성된다. 일반적으로 주반사경은 회전 포물면이며, 부반사경은 쌍곡면이나 타원면으로 이루어지는데 부반사경의 곡면에 따라 각각 이중 오프셋 캐서그레인 안테나(dual offset cassegrain antenna)와 이중 오프셋 그레고리안 안테나(dual offset gregorian antenna)로 구분한다.(Collins, 1973)

이중 오프셋 캐서그레인 안테나는 주반사경 개구면에서 전계의 위상과 크기가 다르기 때문에 조사효율이 저하되고, 안테나 이득이 감소되며 높은 부엽준위 특성을

갖는다. 또한 주편파와 교차편파의 차가 크지 않아 이중 편파를 사용하는 안테나 시스템에는 적합하지 못하다. 이러한 문제를 해결하기 위해 고 효율과 낮은 부엽 준위 특성을 갖는 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 사용이 바람직하다. 하지만 그레고리안 안테나의 반사경으로부터 산란된 전자계를 구하기 어렵기 때문에 이 안테나의 특성에 관한 연구는 미흡한 실정이다. 따라서 이중 읍셋 그레고리안 안테나에 관한 연구는 간단한 연구보고가 있을 뿐 아직 충분한 연구가 이루어지고 있지 않다.

위성통신용 Ka 주파수 대역은 상향링크(up link)인 경우 27.5GHz-31.0GHz 이고, 하향링크(down link)인 경우 17.7GHz-21.2GHz 대역을 사용하고 있다. 이처럼 송·수신 대역이 10GHz 이상 분리된 Ka 대역에서 사용되는 안테나는 안테나 이득과 효율 및 교차편파 특성이 매우 우수해야 이중 편파간의 주파수 간섭 현상을 줄일 수 있다. Ka 대역 위성통신용 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 설계 스펙은 주편파와 교차편파 비의 차가 -30dB이하이고, 최대 부엽준위 -20dB 이하 그리고 안테나의 조사효율(illumination efficiency)과 스피로버 효율(spillover efficiency)을 포함한 전체 효율은 70% 이상이 되어야 한다.

위성통신용 이중 읍셋 반사경 안테나는 부엽준위가 낮고 개구면 효율이 높으며 수직과 수평 패턴이 대칭이어야 한다. 그리고 회절에 의한 스피로버가 낮고 주편파와 교차편파의 비가 크도록 설계되어야 한다. 이러한 특성을 얻기 위해서는 적절한 개구면 전계분포와 교차편파 소거조건을 만족하는 최적의 파라미터를 산출하는 것이 중요하다.

본 논문에서는 에너지 보존 법칙과 전반사 원리인 스넬의 법칙의 기본 원리인 기하광학 이론을 토대로 Ka 대역 이중 읍셋 그레고리안 안테나를 해석하고 설계한다. 그리고 이중 읍셋 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.

급전부 초점에 전계분포는 주반사경 개구면의 전계분포와 동일한 등가 전원(equivalent source)이 분포되도록 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구

조를 해석한다. 안테나의 설계 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수(taper factor)와  $\cos^{-q}$  함수의 개구면 전계분포에 대한 이중 옴셋 그레고리안 안테나의 복사 특성과 이득특성 및 효율 등을 비교하고 분석한다.

본 논문의 구성으로는 II장에서는 이중 옴셋 반사경 안테나의 기본적인 이론과 안테나 해석방법에 대하여 기술하고, III장에서는 이중 옴셋 그레고리안 안테나의 파라미터를 산출하기 위한 근사식을 유도한다. IV장에서는 이러한 이론을 토대로 이중 옴셋 그레고리안 안테나의 설계 절차에 대하여 다룬다. V장에서는 안테나의 설계이론과 개구면의 전계분포에 따른 복사특성 및 이득 특성 그리고 편파 특성 등에 대한 시뮬레이션 결과를 나타내고, VI장에서 본 논문의 결론을 맺는다.





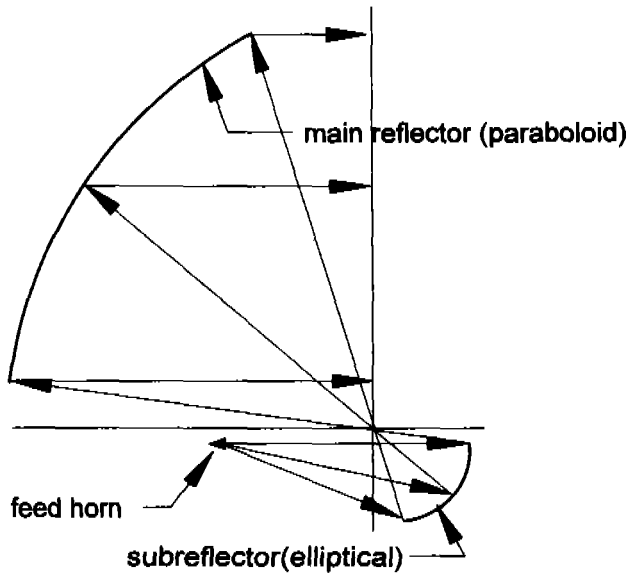
## II. 이중 옴셋 반사경 안테나

### 1. 기본 개념

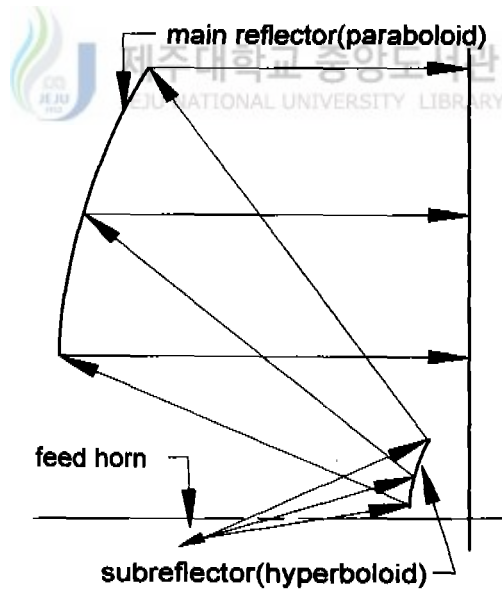
이중 옴셋 반사경 안테나는 마이크로파 통신이나 위성통신 및 이동통신 그리고 레이더 등에 주로 사용된다. 이중 옴셋 반사경 안테나는 고효율과 고이득 및 양호한 교차편파 특성을 요구되기 때문에 주로 전파를 반사경에 반사시켜 송신하고 수신하는 장치이다. 송신시 초점에 위치한 급전 안테나로부터 방사된 송신 신호를 반사경에 반사시켜 평면파를 만든다.

이중 옴셋 반사경 안테나는 주반사경과 부반사경으로 이루어져 있으며, 이중 옴셋 캐서그레인 안테나와 이중 옴셋 그레고리안 안테나로 분류된다. 이중 옴셋 그레고리안 안테나는 포물면인 주반사경과 타원면인 부반사경으로 이루어져 있고, 이중 옴셋 캐서그레인 안테나는 주반사경인 포물면과 부반사경인 쌍곡면으로 구성된다. 하지만 이중 옴셋 캐서그레인 안테나는 주반사경 개구면에서 전계의 위상과 크기가 다르기 때문에 조사효율이 저하되고, 안테나 이득이 감소되며 높은 부엽준위 특성을 갖고 있다. 또한 주편파와 교차편파의 차가 크지 않아 이중 편파를 사용하는 안테나 시스템에서는 부적합하다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 고효율과 낮은 부엽준위 그리고 높은 안테나 이득 특성을 갖는 이중 옴셋 그레고리안 안테나의 사용이 바람직하다.

이중 옴셋 반사경 안테나의 주반사경은 송신시 부반사경으로부터 전달된 전파를 외부로 보내거나 수신시 전파를 부반사경으로 보내는 역할을 하고, 부반사경은 급전부로부터 전파를 주반사경으로 전달하는 역할을 한다. 이러한 이중 옴셋 그레고리안 안테나와 이중 옴셋 캐서그레인 안테나의 기하학적 구조를 Fig. 1에 나타내었다.



(a) Dual offset gregorian antenna



(b) Dual offset cassegrain antenna

Fig. 1. Configurations of the dual offset reflector antennas

반사경 안테나의 성능을 결정하는데 중요한 요소에는 스피오버 효율과 조사효율 및 블러킹 효율이 있다. 스피오버 효율은 급전된 에너지에 대한 반사경에 의해 반사되는 에너지의 비를 나타낸다. 조사효율은 빔 패턴의 균일성을 나타내는 값으로 스피오버 효율과 함께 부반사경의 크기를 결정하는데 중요한 역할을 한다. 블러킹 효율은 부반사경이나 지지대에 의한 복사 에너지의 차단 정도를 나타낸다. 블러킹 효율은 지지대에 의한 전파차단 정도는 매우 적지만 부반사경을 거쳐 주반사경에서 반사된 파가 다시 부반사경에 의해 차단되는 정도가 블러킹 효율을 저하시키는 주된 원인이다. 하지만 Fig. 1에 나타낸 것처럼 이중 옹셋 반사경 안테나 시스템에서는 주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분 사이의 이격 거리를 뚫으로써 블러킹 효율은 제거된다. 이때 100%의 블러킹 효율을 갖는다. 따라서 안테나의 전체 효율은 조사효율과 스피오버 효율을 곱한 값이 된다.

그 이외에도 송·수신 신호의 간섭현상과 안테나의 성능을 결정하는 요인에는 낮은 교차편파가 요구되는 편파 특성과 안테나 이득 특성 등이 있다.



## 2. 해석 방법

반사경 안테나를 해석하는 방법에는 모멘트법(MoM : Method of Moment)과 기하광학 이론(GO : Geometric Optics) 그리고 기하학적 회절 이론(GTD : Geometric Theory of Diffraction) 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.(Kline, 1965, Kouyoumjian, 1974) 기하학적 회절 이론은 기하광학 근사에 의하여 반사파를 구하고, 반사경 가장자리에서 발생하는 회절파를 합성함으로써 완전한 복사패턴을 얻는 고주파 해석법이다.(Griesser, 1987) 하지만 곡면을 갖는 반사경

안테나의 경우, 반사경 가장자리 부분에서의 회절계수를 구하기가 어렵다.

본 논문에서 적용한 기하광학 이론은 전자파를 광파로 간주하는 해석법으로써 다음과 같은 세가지 원리에 기초하여 반사경의 곡면을 구한다.

가. 에너지 보존의 법칙

급전혼으로부터 복사되는 에너지는 안테나 개구면으로 모두 전달된다.

나. 경로 일정의 법칙

급전혼의 위상중심이 하나의 점인 경우, 개구면에서의 위상이 일정하려면 급전에서 개구면까지의 모든 파의 광 경로가 같아야한다.

다. 스넬의 법칙

안테나에서 복사된 전파가 반사경에 입사될 때 입사각과 반사각을 같게 반사경의 곡면을 설계해야 한다.



### III. 이중 읍셋 그레고리안 안테나

위성 통신에 대한 수요가 급증함에 따라 통신량의 증가로 인한 편파 성분간 상호간섭을 줄이기 위해서 부엽준위와 교차편파 성분이 낮은 안테나가 필요하게 되었다. 이러한 단점을 극복하기 위해서 읍셋된 두 개의 반사경으로 구성된 이중 읍셋 그레고리안 안테나가 개발되었다. 이중 읍셋 그레고리안 안테나는 포물면인 주 반사경과 타원면인 부반사경으로 구성된다.

이중 읍셋 그레고리안 안테나에서 부반사경은 넓은 형태의 복사특성을 갖는데 반해 주반사경은 일반적으로 날카로운(sharped) 빔 특성을 갖는다. 반사경으로부터 반사된 전자파를 정확히 해석하는 것은 안테나의 복사특성과 이득 및 편파특성을 해석하는데 있어 매우 중요하다.

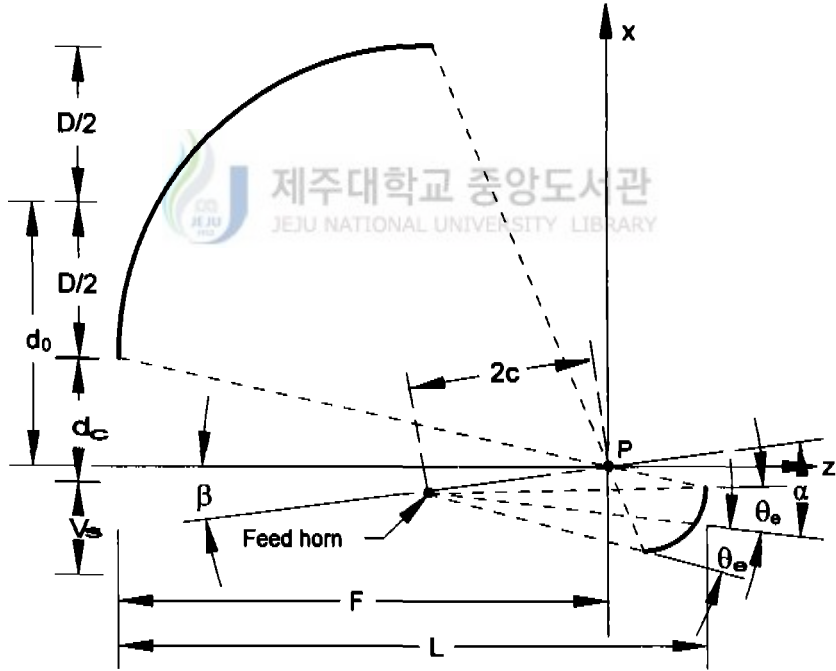
반사경 안테나의 해석 방법에는 모멘트법과 기하광학 이론 및 기하학적 회절이론 그리고 회절물리 이론(PTD : Physical Theory of Diffraction)과 같은 고주파 해석 방법들이 사용된다.

본 논문에서 적용한 기하광학 이론은 전자파를 광파로 간주하여 부반사경의 기하학적 구조에 의하여 반사파를 구하는 방법으로써, 계산이 간단한 장점을 가지고 있다. 또한 기하광학 이론은 에너지 보존법칙과 경로 일정의 법칙 및 전반사 원리인 스넬의 법칙에 기초를 두고 있어 반사경 안테나를 해석하는데 주로 사용한다.

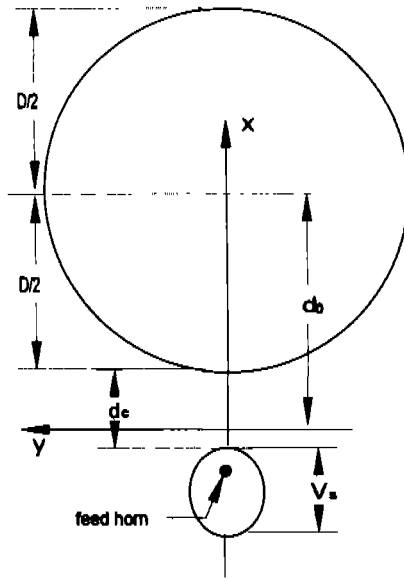
이 장에서는 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터의 근사식을 유도하고, 이를 토대로 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전계분포에 대한 이론을 기술한다. 그리고 안테나 시스템의 복사 특성과 이득 및 효율 그리고 편파특성에 대한 이론을 다룬다.

# 1. 기하학적 구조

이중 읍셋 그레고리안 안테나 시스템의 주반사경을 회전 포물면으로 사용하는 이유는 포물면의 특성상 초점을 통과한 후 주반사경에 반사된 전파는 반드시 평면파를 형성하는 특성을 갖게하기 위해서이다. 이중 읍셋 반사경 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터를 산출하는 데에는 많은 어려움이 있다. 하지만 Mizugutchi(1976), Dragone(1978), Rusch(1990) 등에 의해 이중 읍셋 반사경 안테나의 최적화된 파라미터를 계산하는 근사식이 제시되었다. Fig. 2는 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 측면도와 단면도를 나타낸 그림이다.



(a) Side view



(b) Front view

Fig. 2. Side and front view of the dual offset Gregorian antenna

혼 안테나를 급전으로 사용하는 이중 오프셋 그레고리안 안테나 시스템을 설계하는 방법은 여러 가지가 있다. 그중 가장 흔히 사용하는 방법은 주반사경의 직경(main reflector diameter)  $D$ , 부반사경의 가장자리 각(subreflector edge angle)  $\theta_e$ , 급전점(feed pointing angle)의 각  $\alpha$ , 주반사경의 아래부분(lower edge)과 부반사경의 윗부분(upper edge) 사이의 거리(clearance distance)  $d_c$ , 안테나 전체 시스템의 길이  $L$ 를 입력 파라미터(input parameter)로 선택하거나 주반사경의 직경  $D$ , 부반사경의 높이(subreflector height)  $V_s$ , 오프셋 거리(offset distance)  $d_0$ , 초점거리 (focal length)  $F$ , 축 기울기 각(axis tilt angle)  $\beta$ 를 입력 파라미터로 이용한다.(Brown, 1993)

본 논문에서는  $D$ ,  $V_s$ ,  $d_0$ ,  $F$ ,  $\beta$ 의 입력 파라미터를 가지고 안테나 설계에 적용한다. Fig. 2는 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 나타낸 것이다.

주반사경은 포물면이고, 부반사경은 타원면으로 구성되어 있다. 1차 복사기에서 방사된 파가 부반사경에 부딪쳐 포물면인 주반사경의 초점과 타원의 한 초점  $P$ 에 모이도록 주반사경과 부반사경을 설계한다.

주반사경의 직경  $D$ , 초점 거리  $F$ , 주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분 사이의 거리  $d_c$ , 부반사경의 높이를  $V_s$ 로 나타내었다. 그리고  $xy$  평면에 대해 축 기울기 각  $\beta$ , 타원의 초점사이 거리  $2c$ , 타원면의 이심률  $e$ , 부반사경의 가장자리 각  $\theta_e$ , 급전점의 각  $\alpha$ , 안테나의 전체길이  $L$  그리고 옵셋 거리  $d_0$ 를 갖는 이중 옵셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 Fig. 2에 나타내었다.

포물면의 초점  $P$ 에서 주반사경의 임의의 표면점까지의 거리는

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

이다. 여기서  $\theta$ 는  $z$ 축의 주반사경에서  $\rho_m$ 까지의 각이고, 이를 Fig. 3에 나타내었다. 식(1)에서 초점  $P$ 에서  $z$ 축을 기준으로 포물면의 아래 부분의 각(lower angle)이고,  $\theta_U$ 는 포물면의 윗부분의 각(upper edge angle)을 나타낸다.  $\theta_0$ 는 주반사경의 중심각이다.

식(1)을 이용하여  $\theta_0$ ,  $\theta_L$ ,  $\theta_U$ 에 대한 표현식을 나타내면

$$\theta_0 = -2 \tan^{-1} \left( \frac{d_0}{2F} \right) \quad (2)$$

$$\theta_U = -2 \tan^{-1} \left( \frac{d_0 + D/2}{2F} \right) \quad (3)$$

$$\theta_L = -2 \tan^{-1} \left( \frac{d_0 - D/2}{2F} \right) \quad (4)$$

이다.



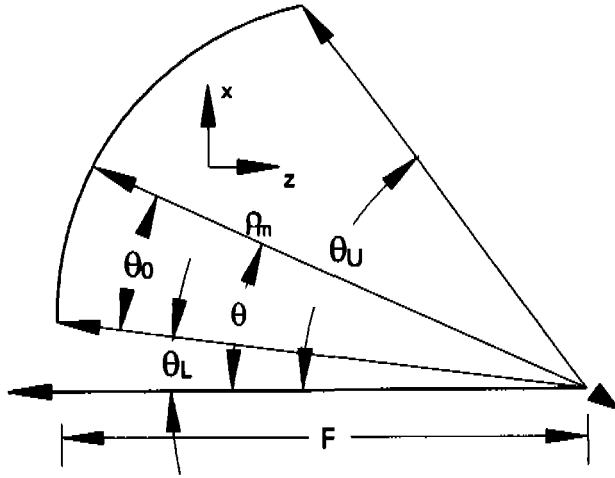


Fig. 3. Definitions of angles for the main reflector

입력 파라미터 중  $\beta$ 를 결정하면 Rusch 조건에 의해 타원면인 부반사경의 이심율(eccentricity)은 다음과 같은 식으로 표현된다. (Rusch, 1990)

$$e = \frac{1 - \sigma \sqrt{\frac{\tan(\beta/2)}{\tan[(\beta - \theta_0)/2]}}}{1 + \sigma \sqrt{\frac{\tan(\beta/2)}{\tan[(\beta - \theta_0)/2]}}} \quad (5)$$

식(5)에서 캐서그레인 안테나 시스템의 경우 쌍곡면의 특성상  $\sigma = -1$ 이 되어, 이심율은  $e > 1$  된다. 그리고 그레고리안 안테나 시스템의 경우 타원면의 특성상  $\sigma = +1$ 이 되어, 이심율은  $0 < e < 1$ 인 범위내에 놓이게 된다.

Fig. 2에서 부반사경의 회전축은 포물면의 회전축에 대하여 축 기울기 각  $\beta$ 만큼 기울어져 있고, 1차 복사기의 중심축은 부반사경의 회전축에 대하여 급전점 각  $\alpha$ 만큼 기울어져 있다.

Mizugutchi와 Rusch는 이중 읍셋 반사경 안테나의 최적화된 방정식을 나타내

었다. 먼저 Mizugutchi는 기하광학 이론을 토대로 영(zero)에 가까운 교차편파 특성을 얻기 위한 급전점의 각  $\alpha$ 에 대한 식을 식(6)에 나타내었다. Rusch는 스피로이드 효율을 최소화 하기 위한 축기울기 각  $\beta$ 에 대하여 식(7)과 같이 나타내었다.(Mizugutchi, 1976,Rusch,1990)

$$\tan \alpha = \frac{|e^2 - 1| \sin \beta}{(1 + e^2) \cos \beta - 2e} \quad (6)$$

$$\tan \frac{\beta}{2} = \left( \frac{e-1}{e+1} \right)^2 \tan \left( \frac{\beta - \theta_0}{2} \right) \quad (7)$$

식(7)에서 축 기울기 각  $\beta$ 를 구하고, Mizuguchi 조건식인 식(6)을  $\alpha$ 에 대하여 나타내면

$$\alpha = \tan^{-1} \left[ \frac{|e^2 - 1| \sin \beta}{(1 + e^2) \cos \beta - 2e} \right] \quad (8)$$

이된다.

Fig. 2에서 부반사경의 기하학적 구조를 표현하면

$$\rho_f + \sigma \rho_s = \frac{2c}{e} \quad (9)$$

이다. 여기서

$$\rho_s = -\sigma \left( \frac{c}{e} \right) \frac{(e^2 - 1)}{e \cos \gamma_s + 1} \quad (10)$$

$$\tan \left( \frac{\gamma_f}{2} \right) = \frac{1 - e}{1 + e} \tan \left( \frac{\gamma_s}{2} \right) \quad (11)$$

이다.

$c$ 는 타원의 두 초점 길이의 반이고,  $\rho_f$ 는 급전점에서 부반사경의 임의의 점까지의 거리이고,  $\rho_s$ 는 부반사경의 임의의 한점에서 타원의 한 초점  $P$ 까지의 거리이다. 그리고  $\gamma_f$ 는 급전점에서 부반사경의 임의의 점과  $P$ 점 사이의 각이고,  $\gamma_s$ 는 부반사경에서 점  $P$ 를 지나 주반사경에 도달되는 직선과 급전점에서 점  $P$ 를 지나가는 직선사이의 각을 나타낸 것으로써 Fig. 4에 나타내었다. 여기서  $\gamma_f = \alpha + \theta_e$ 이고,  $\gamma_s = \theta_U + \beta$ 이다.

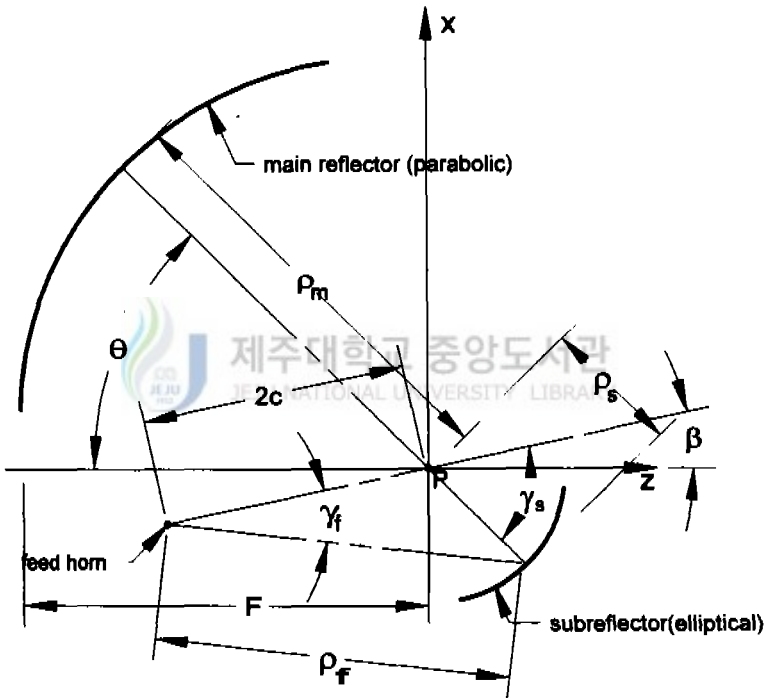


Fig. 4. Definitions for parameters of the dual offset Gregorian antenna

입력 파라미터 중  $D$ ,  $V_s$ ,  $\beta$ 가 주어지면 안테나 시스템의 급전점에서 부반사경의 기울기 각은 식(11)에  $r_f$ ,  $r_s$ 를 대입함으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tan\left(\frac{\alpha + \theta_e}{2}\right) = \frac{1-e}{1+e} \tan\left(\frac{\theta_U - \beta}{2}\right) \quad (12)$$

식(12)를  $\theta_e$ 에 대하여 표현하면

$$\theta_e = \left\{ 2 \tan^{-1} \left[ \frac{1-e}{1+e} \tan\left(\frac{\theta_U - \beta}{2}\right) \right] - \alpha \right\} \quad (13)$$

이다.

타원의 초점사이의 거리  $c$ 를 계산하기 위해서는 부반사경의 높이  $V_s$ 를 구해야 한다. 부반사경의 높이를 구하기 위해  $xz$  평면에서 부반사경의 표면 ( $x_s$ )은 다음식으로 계산한다.

$$x_s = \sigma \rho_s \sin \theta \quad (14)$$

식(10)을 식(14)에 대입하면 부반사경의 표면  $x_s$ 는

$$x_s = -\left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta}{e \cos(\theta - \beta) + 1} \quad (15)$$

이 된다.

부반사경의 직경  $V_s$ 는 부반사경의  $x$ 축의 큰 값  $x_{sU}$ 와 작은 값  $x_{sL}$ 사이의 차 (difference)로써 다음과 같이 표현된다.

$$V_s = x_{sU} - x_{sL} \quad (16)$$

식(15)을 이용하여  $x_{sU}$ ,  $x_{sL}$ 에 대한 표현식을 구하여 식(16)에 대입하면

$$V_s = \sigma \left[ \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} - \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} \right] \quad (17)$$

이 된다.

식(17)을  $c$ 에 대한 표현식으로 나타내면

$$c = \frac{-\sigma e V_s}{(e^2 - 1) \left[ \frac{\sin \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} - \frac{\sin \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} \right]} \quad (18)$$

이다.

식(18)에서  $c$ 가 결정되면 부반사경의 최소 곡면(curvature)  $R_{\min}$ 은 다음식을 만족해야 한다.(Albertsen, 1993)

$$R_{\min} = \frac{c |e^2 - 1|}{e} \quad (19)$$

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.

$$d_c = x_{mL} - x_{sU} \quad (20)$$

식(20)에서 그레고리안 안테나의 경우  $d_c$ 는 다음과 같다.

$$d_c = d_0 - \frac{D}{2} + \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} \quad (21)$$

식(17)을 이용하여 다시 정리하면 다음과 같다.

$$d_c = d_0 - \frac{D}{2} + \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \sin \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} - \left(\frac{\sigma}{2}\right) V_s \quad (22)$$

$xz$ 평면에서 주반사경과 부반사경  $z$ 축의 좌표값은 식(1), (10)에 의해 다음과

같이 주어진다.

$$z_m = \rho_m \cos \theta = \frac{2F \cos \theta}{1 + \cos \theta} \quad (23)$$

$$z_s = -\sigma \rho_s \cos \theta = \left(\frac{c}{e}\right) \frac{(e^2 - 1) \cos \theta}{e \cos(\theta - \beta) + 1} \quad (24)$$

안테나 시스템의 전체길이  $L$ 은 주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분사이의 거리 차로서 나타낼 수 있다. 전체길이  $L$ 은 식(23)과 식(24)를 대입함으로써 얻을 수 있다.

$$L = \frac{2F \cos \theta_L}{1 + \cos \theta_L} + x_U + x_L \quad (25)$$

여기서

$$x_U = \frac{c}{e} \frac{(e^2 - 1)}{2} \left[ (\sigma - 1) \frac{\cos \theta_U}{e \cos(\theta_U - \beta) + 1} \right] \quad (26)$$

$$x_L = -\frac{c}{e} \frac{(e^2 - 1)}{2} \left[ (\sigma + 1) \frac{\cos \theta_L}{e \cos(\theta_L - \beta) + 1} \right] \quad (27)$$

이다.

식(5), (8), (13), (18), (22), (25)를 사용하면 읍셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조가 결정된다. 하지만 이중 읍셋 그레고리안 안테나 시스템을 설계할 때에는 적절한 입력 파라미터를 선택하여야 양호한 안테나 이득 특성과 복사 특성 그리고 편파 특성 등을 얻을 수 있다.

다음절에서는 계산된 안테나의 설계 파라미터를 토대로 개구면의 전계 분포를 이용하여 안테나의 복사특성과 이득 그리고 편파특성 등을 살펴본다.

## 2. 개구면 전계분포

반사경 안테나의 효율과 부엽준위 및 빔폭등의 특성은 개구면의 전계분포와 반사경의 가장자리에서의 회절전계, 스피오버 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 복사특성을 갖는 이중 음셋 그레고리안 안테나를 설계할 때는 적절한 개구면 전계분포를 설정하는 것이 중요하다.

이 장에서는 개구면의 전계분포에 따른 복사특성을 고찰하고, 이를 이중 음셋 그레고리안 안테나 설계에 적용한다.

개구면의 전계분포를  $E_a(\rho, \phi')$ 라할 때 복사 전계는 다음과 같이 나타낼 수 있다.(Stutzman, 1981)

$$E(r, \theta, \phi) \cong j \frac{e^{-jkr}}{\lambda r} \int_0^{2\pi} \int_{R_L}^{R_U} E_a(\rho, \phi') \cdot e^{jk\rho \sin\theta \cos(\phi - \phi')} \rho d\rho d\phi' \quad (28)$$

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

Fig. 5는 반사경 안테나의 거리에 따른 파라미터를 나타낸 그림이다. Fig. 5에서  $F$ 는 초점 길이이고,  $R_U$ 와  $R_L$ 은 각각 점  $P$ 에서 반사경의 윗부분과 아래 부분까지의 거리이다.

식(28)를 베셀함수(bessel function)를 이용하면 다음과 같이 근사식으로 표현할 수 있다.

$$E(r, \theta, \phi) \cong j \frac{2\pi}{\lambda r} e^{-jkr} \int_{R_L}^{R_U} E_a(\rho, \phi') \rho J_0(k\rho \sin\theta) d\rho \quad (29)$$

여기서  $J_0$ 는 0차 제1종 베셀 함수이다.

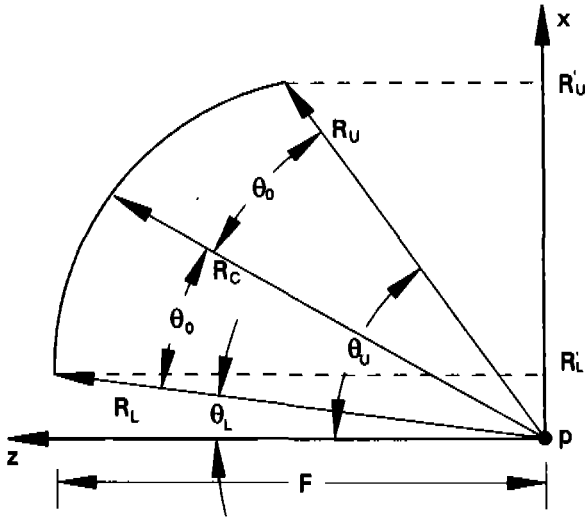


Fig. 5. Definitions of distance for the main reflector

본 논문에서는 식(29)의 복사전계식을 구하기 위하여 개구면의 전개분포  $E_a(\rho, \phi')$ 를 테이퍼 함수와  $\cos-q$  함수로 둔다.

(1) 테이퍼 함수의 개구면 전개분포

식(29)에서 개구면의 전개분포  $E_a(\rho, \phi')$ 는  $\phi'$  방향에 대하여 대칭이므로  $\rho$ 에 관한 테이퍼 함수의 전개분포를 적용하면

$$E_a(\rho) = K_0 + (1 - K_0) \left[ 1 - \left( \frac{\rho}{D} \right)^2 \right]^n \quad (30)$$

이 된다. (Rahmat-Samii, 1998) 여기서  $\rho$ 는  $R_L'$ 과  $R_U'$ 인 범위내에 존재하



고,  $D$ 는 주반사경의 직경,  $n$ 은 포물분포의 형상을 결정하는 지수이다.  $K_0$ 는 개구면 가장자리에서의 전계 레벨을 나타내는 상수이고, ET(Edge Taper)와는 다음과 같은 관계식이 성립한다. (Rahmat-Samii, 1998)

$$K_0 = 10^{-\frac{ET[dB]}{20}} \quad (31)$$

여기서 ET는 edge taper를 dB로 나타낸 값이다.

## (2) $\cos^{-q}$ 함수의 개구면 전계분포

Fig. 2에서 부반사경에 부딪친 전파가 타원의 한 초점  $P$ 에 모여 포물면인 주반사경으로 나간다고 하면 Fig. 5와 같이 나타낼 수 있다. Fig. 5에서  $\theta_U$ ,  $\theta_L$ 은 주반사경의 윗부분과 아래 부분의 각이고, 그 경로 길이를 각각  $R_U$ ,  $R_L$ 로 나타내었다.

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

$$E_a(\rho) = \cos^q(\rho) \quad (32)$$

여기서  $q$ 는 반사경 테두리에서 1차 복사기의 복사패턴에 대한 edge taper를 나타낸 값이고,  $\rho$ 는 주반사경의 윗부분과 아래부분인  $R'_L$ ,  $R'_U$ 의 범위내에 놓이게 된다.

반사경 개구면에서 급진 테이퍼(feed taper)는 ET(Edge Taper)와 경로손실 PL(Path Loss)의 합으로써 표현된다.

$$FT = ET + PL \quad (33)$$

반사경 안테나의 경로 손실은

$$PL = 20 \log_{10} \left( \frac{R_C}{R_U/R_L} \right) \quad (34)$$

이다. 여기서  $R_C$ 는 반사경 표면의 중심점까지의 거리이고,  $R_L$ 과  $R_U$ 는 각각 반사경의 아래 부분과 윗부분까지의 거리이다.

Fig. 5에서 주반사경의 중심 각  $\theta_0$ 는 다음과 같이 표현된다.

$$\theta_0 = \frac{(\theta_U - \theta_L)}{2} \quad (35)$$

여기서  $\theta_L$ ,  $\theta_U$ 는 Fig. 5에 나타낸 것처럼 포물면의 아래 부분과 윗부분의 각이다.

식(32)에서 빔의 형태를 결정하는  $q$ 의 값은

$$q = \left| \frac{FT}{20 \log_{10}(\cos \theta_0)} \right| \quad (36)$$

이 된다.

### 3. 편파 특성

급전 점에서 방사된 파가 주반사경과 부반사경에 입사되면 고차모드가 발생된다. 고차모드의 발생으로 입사파의 주편파(co-polarization)에 대하여 반사파에 교차편파(cross-polarization) 성분이 발생된다. 특히, Ka 대역 위성통신용으로 사용되는 반사경 안테나를 설계할 때에는 낮은 교차편파 특성이 요구된다.

주편파와 교차편파를 계산하는 방법에는 두 가지가 있다. 첫 번째 방법은 전류 (electric currents)와 자류(magnetic currents)를 동시에 고려한 Chu's 모델을 이용하는 것이고, 두 번째 방법은 단지 자류(magnetic currents)만을 고려한 E-필드(E-field) 모델이다.(Tanak, 1975, Stutzman, 1981) 본 논문에서는 전류와 자류를 동시에 고려한 Chu의 모델을 이용한다.

주편파와 교차편파를 계산하기 위하여 다음과 같은 편파 함수를 정의한다.(Stutzman,1981)

$$\vec{P} = \int \int_{S_a} \vec{E}_a e^{jk \hat{r} \cdot \vec{r}} d\vec{S} \quad (37)$$

여기서  $\vec{E}_a$ 는 개구면의 전개분포이고, 개구면 표면  $S_a$ 는  $xy$  평면에 존재한다. 또한  $\vec{r}$ 은 다음과 같다.

$$\vec{r} = x \hat{x} + y \hat{y} \quad (38)$$

식(37)에서 단위벡터인  $\hat{r}$ 을 직각좌표로 표현하면

$$\hat{r} = \sin \theta \cos \phi \hat{x} + \sin \theta \sin \phi \hat{y} \quad (39)$$

이 된다. 식(37)에서  $\hat{r} \cdot \vec{r}$ 를 구하면 다음과 같다.

$$\hat{r} \cdot \vec{r} = x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi \quad (40)$$

식(40)을 식(37)에 대입하면  $xy$ 평면에서의 편파성분  $P_x$ ,  $P_y$ 는

$$P_x = \int \int_{AP} E_{ax}(x, y) e^{jk(x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi)} dx dy \quad (41)$$

$$P_y = \int \int_{AP} E_{ay}(x, y) e^{jk(x \sin \theta \cos \phi + y \sin \theta \sin \phi)} dx dy \quad (42)$$

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

$$E_{\theta} = j \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \left( \frac{1 + \cos \theta}{2} \right) (P_x \cos \phi + P_y \sin \phi) \quad (43)$$

$$E_{\phi} = j \frac{e^{-jkr}}{2\pi r} \left( \frac{1 + \cos \theta}{2} \right) (-P_x \sin \phi + P_y \cos \phi) \quad (44)$$

으로 표현된다. 여기서  $r$ 은 원거리 영역을 나타낸다.

읍셋 안테나의 전계가  $y$  방향으로 편파 되었을 경우, 주편파와 교차편파는 Ludwig(1973) 정의에 의해 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$E_{CP} = E_{\theta} \sin \phi + E_{\phi} \cos \phi \quad (45)$$

$$E_{XP} = E_{\theta} \cos \phi - E_{\phi} \sin \phi \quad (46)$$

여기서  $E_{CP}$ 와  $E_{XP}$ 는 각각 주편파와 교차편파이다.

#### 4. 효율 및 이득 특성

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

ams, 1965)

급전 복사전계식을  $E(\theta, \phi)$ 라 하고, 반사경의 윗부분과 아래 부분으로 복사되는 각을 각각  $\theta_L$ ,  $\theta_U$ 라 하면 스펙오버 효율  $\eta_s$ 는 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$\eta_s = \frac{\int_0^{2\pi} \int_{\theta_L}^{\theta_U} E_a^2(\rho, \phi') \sin \theta \, d\theta d\phi}{\int_0^{2\pi} \int_0^{\pi} E_a^2(\rho, \phi') \sin \theta \, d\theta d\phi} \quad (47)$$

스펙오버 효율은 복사각  $\theta$ 가 커질수록 증가하는 반면 조사효율은 감소하는 특성을 갖는다. 따라서 부반사경의 크기를 결정할 때 두 개의 효율을 곱한 값이 가장 큰 값을 선정해야 한다.

조사효율은 개구면에서의 에너지 분포가 일정할수록 실효 개구면적은 커지고 이득은 증가하게 된다. 개구면 조사효율은 개구면에서 전계의 크기와 위상이 균일성을 나타낸 값으로 복사패턴이 테이퍼와 위상오차에 의하여 개구면 조사가 일정하지 못해 이득이 감소된다. 주반사경의 개구면적을  $A$ 라하면 개구면 조사 효율식은 다음과 같다.

$$\eta_i = \frac{\left| \int \int_A \mathbf{E}_a(\rho, \phi') \, dA \right|^2}{\int \int_A |\mathbf{E}_a(\rho, \phi')|^2 \, dA} \quad (48)$$

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

반사경 안테나에서 반사경에 의한 복사에너지의 차단정도를 나타내는 블러킹 효율은 주로 부반사경이나 지지대에 의해 발생되는데, 지지대에 의한 전파차단 정도는 매우 적지만 부반사경을 거쳐 주반사경에서 반사된 파가 다시 부반사경에 의해 차단되는 정도가 블러킹 효율을 감소시키는 주된 원인이다. 하지만 이중 오픈 반사경 안테나의 경우에는 부반사경의 윗부분과 주반사경의 아래 부분 사이의 이격

거리를 설정함으로써 블러킹 효율은 제거된다. 즉, 블러킹 효율은 100%가 된다.

안테나 시스템의 전체 효율은 앞에서 제시한 모든 효율을 곱한 값으로써 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\eta = \eta_i \eta_s \quad (49)$$

여기서  $\eta_i$ 는 조사효율이고,  $\eta_s$ 는 스펙오버 효율을 나타낸다.

이중 읍셋 그레고리안 안테나 이득은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$G = \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \eta \quad (50)$$

여기서  $\eta$ 는 이중 읍셋 반사경 안테나의 조사효율, 스펙오버 효율을 곱한 전체 효율을 나타낸 값이고,  $D$ 은 주반사경의 직경이다.



## IV. 이중 오프셋 그레고리안 안테나 설계

본 논문에서는 이중 오프셋 그레고리안 안테나의 근사식을 토대로 복사전계식을 구하기 위해 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전계분포를 이용하였고, 안테나 이득과 편파특성 및 전체효율을 개선시킨 이중 오프셋 그레고리안 안테나를 설계하였다.

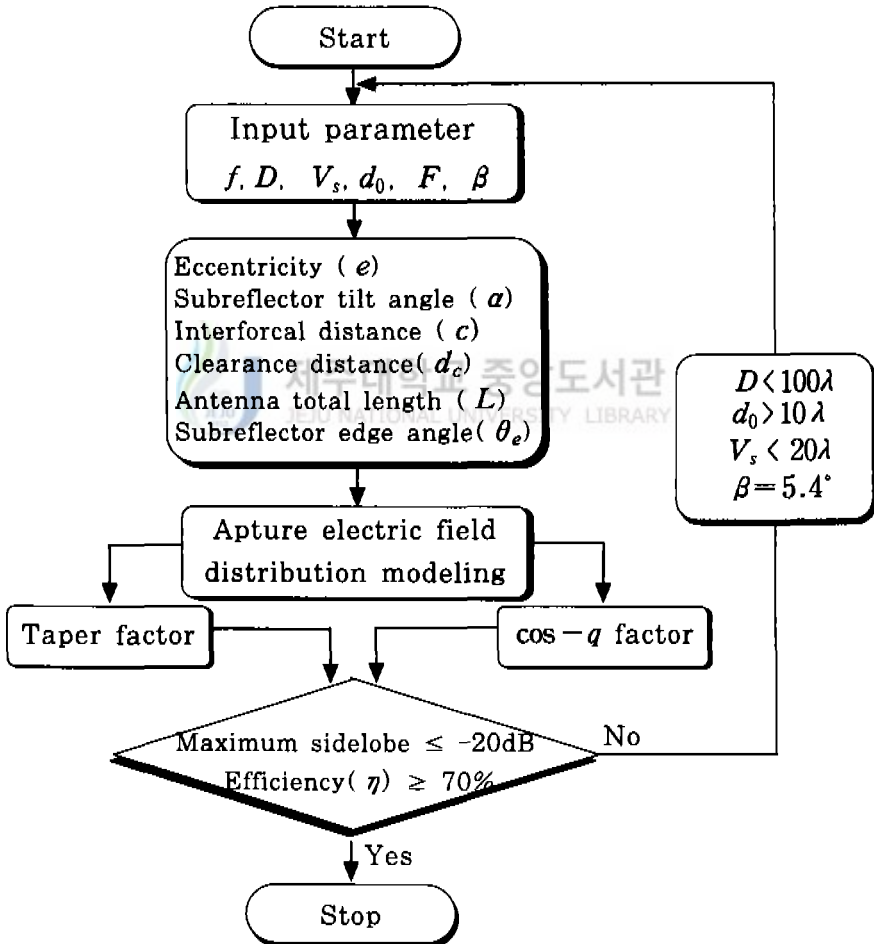


Fig. 6. Program flow chart for designing a dual offset gregorian antenna

Ka 대역 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 최적의 파라미터를 얻기 위한 흐름도를 Fig. 6에 나타내었다. 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 파라미터를 결정하는 방법에는 주로 축기울기 각, 급전점의 각을 변화시키거나 스펠오버 효율과 주 반사경의 직경을 최적화 파라미터로 이용한다. 먼저 안테나 설계 주파수 ( $f$ )와 입력 파라미터  $D$ ,  $V_s$ ,  $d_0$ ,  $F$ ,  $\beta$ 를 결정한다. 여기서 주파수  $f$ 는 Ka 대역 상향링크의 중심 주파수인 29.2GHz로 설정한다. 그리고 주 반사경의 직경( $D$ )과 부반사경의 높이( $V_s$ )의 초기값을 각각  $100\lambda$ ,  $10\lambda$ 로 설정한 후 식(2)-(4)에 대입하면 주반사경에 대한  $\theta_0$ ,  $\theta_L$ ,  $\theta_U$ 를 계산할 수 있다.

양호한 교차편파의 복사특성을 산출하기 위하여 축기울기 각 ( $\beta$ )은 식(7)에 의해  $5.4^\circ$ 로 둔다. 식(5)와 식(6)에 의해 타원의 이심율( $e$ )과 급전 각( $\alpha$ )을 구할 수 있다. 또한 식(13)에 의해 부반사경의 기울기 각 ( $\theta_e$ )를 얻을 수 있다. 계산된 타원의 이심율과  $\theta_L$  및  $\theta_U$  그리고 부반사경의 높이  $V_s$  값을 이용하여 식(18)에 대입하면 타원의 초점사이의 거리( $c$ )를 구할 수 있다. 식(18)에 의해 계산된 타원의 초점 사이의 거리( $c$ )를 이용하여 주반사경의 아래 부분과 부반사경의 윗부분사이의 거리( $d_c$ )를 계산하고, 이를 식(25)에 대입하면 안테나 시스템의 전체 길이  $L$ 를 구할 수 있다. 이렇게 계산된 안테나의 설계 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전개분포를 식(29)의 복사 전개식에 적용하여 안테나의 복사특성과 이득 특성 및 효율 그리고 편파 특성 등을 계산한다.

최대 부엽준위와 안테나 시스템의 전체 효율을 이용하여 최적화된 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 파라미터를 결정하였다. 계산된 복사특성과 효율 중 어느 하나라도 위의 조건에 만족하지 않으면 다시 입력 파라미터 중 읍셋거리  $d_0$ 와 부반사경의 직경  $V_s$  그리고 주반사경의 직경  $D$ 를 변화시키면서 Fig. 6과 같은 과정을 통하여 최대 부엽준위와 효율 조건을 만족하도록 안테나의 파라미터를 결정한다.



## V. 계산 결과 및 고찰

본 논문에서는 Ka 대역 위성통신용 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(29)의 복사 전계식에 적용하여 안테나의 복사특성과 이득 특성 및 효율 그리고 편파 특성을 고찰하였다.

Table 1은 Fig. 6의 설계 프로그램을 통하여 산출된 안테나의 설계 파라미터 값을 나타낸 것이고, 이러한 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전계분포에 따른 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]	$\alpha$	$-17.1^\circ$
Axis tilt angle [degree]	$\beta$	$5.4^\circ$
Subreflector edge angle [degree]	$\theta_e$	$4.6^\circ$

입력 파라미터 중 축 기울기 각  $\beta=5.4^\circ$  로 고정시키고, 주반사경의 직경  $D$ 와 부반사경의 직경 ( $V_s$ ) 및 옵셋 거리 ( $d_0$ )를 변화시키면서 최대 부엽준위와 안테나 전체 효율을 만족하도록 최적화된 파라미터를 산출하였다. Table. 1의 안테나 파라미터의 설계값을 토대로 개구면의 전개분포에 따른 이중 옵셋 그레고리안 안테나의 설계 데이터를 Appendix A, B, C에 나타내었다.

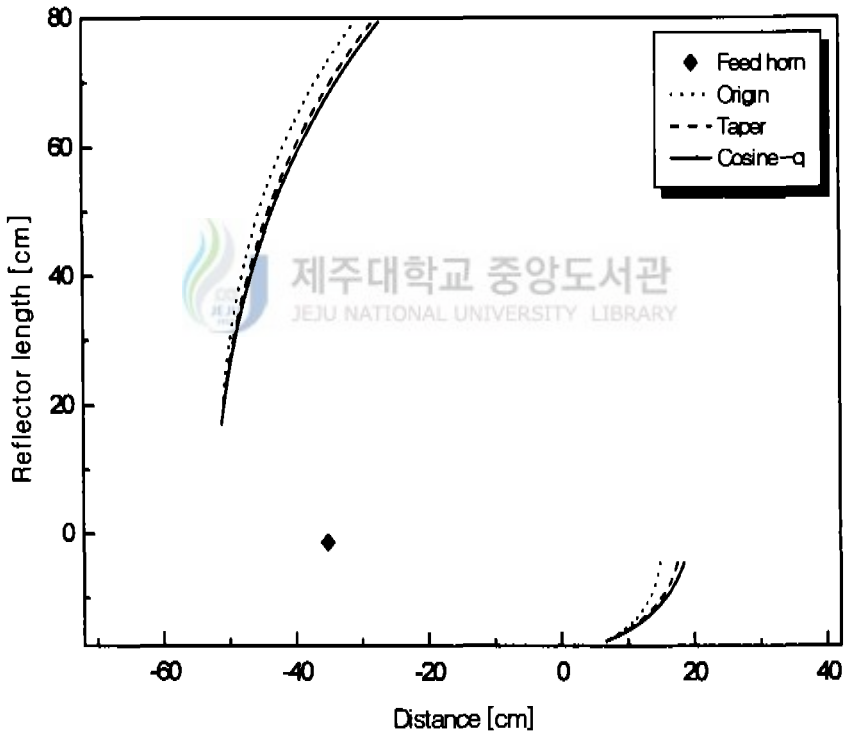
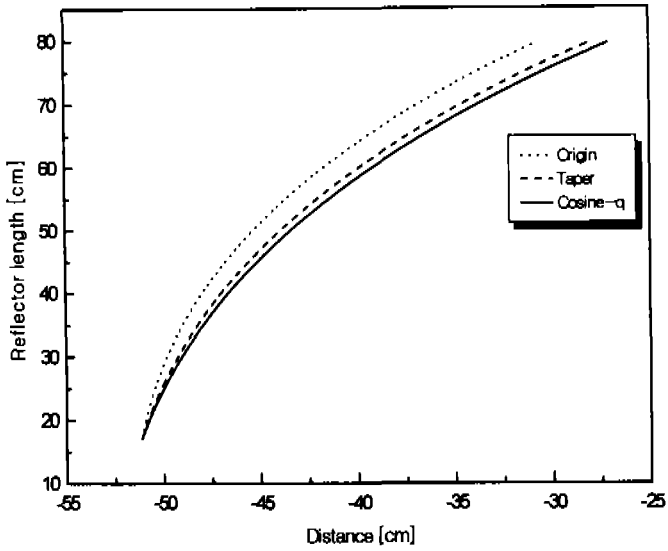
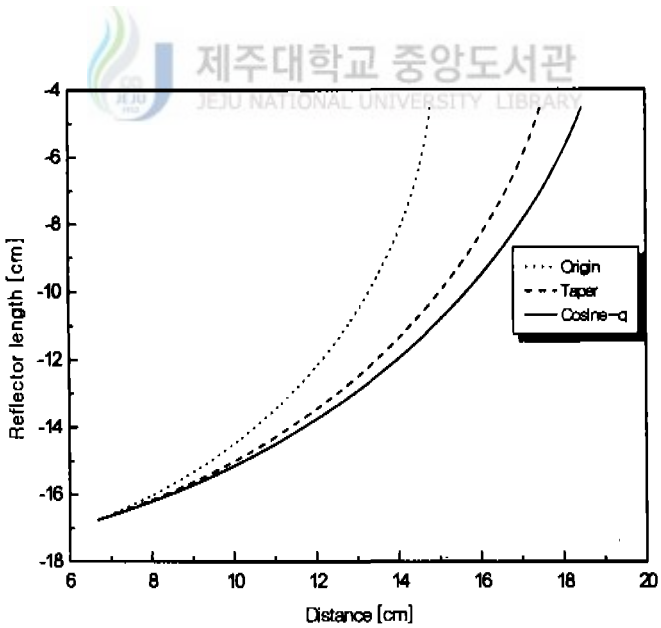


Fig. 7. Configurations of Designed the dual offset gregorian antenna by electric field distribution of aperture



(a) Main reflector



(b) Subreflector

Fig. 8. Configurations of the dual offset gregorian antenna

Fig. 7은 Table 1의 설계 파라미터를 토대로 개구면 전개분포에 따른 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 나타낸 그림이다. 그리고 Fig. 8은 안테나의 주반사경과 부반사경의 기하학적 구조를 나타내었다. Fig. 7에서 “◆”는 1차 복사기인 혼 안테나를 나타낸 것이고, “Origin”은 일정한 개구면 전개분포를 가질 때 안테나의 기하학적 구조를 나타내었다. “Taper”와 “Cosine-q”는 각각 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전개분포에 따른 안테나의 기하학적 구조를 나타낸 것이다. 에너지 보존법칙과 일정 경로의 법칙 및 스넬의 법칙에 기초를 둔 기하광학 법을 토대로 안테나의 기하학적 구조를 결정하고, 이에 따른 안테나의 설계제원을 부록 A, B, C에 나타내었다. Fig. 8에 나타낸 것처럼 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전개분포를 가정하여 계산한 안테나의 기하학적 구조는 거의 비슷하게 나타났지만, 개구면 전개분포가 일정한 안테나의 기하학적 구조와는 약간의 차이를 보이고 있다. 따라서 주반사경 개구면의 전개분포에 따라 안테나의 주반사경과 부반사경의 곡면형태가 변화됨을 알 수 있다.

본 논문에서는 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전개분포를 이용하여 복사 전개식에 적용하였다. 이를 토대로 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 이득특성과 편파특성 및 효율등을 비교하고 분석하였다. 또한 주반사경의 직경을  $100\lambda$ 보다 작게 설계함으로써 기존의 안테나의 크기를 최소화 할 수 있었고, 스펬오버와 조사 효율 및 블러킹 효율등을 개선시킬 수 있었다.

Fig. 9은 ET가 15dB이고  $q=3$ 일 때 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 개구면 전개분포에 따른 이중 읍셋 그레고리안 안테나의 복사특성을 나타낸 그림이다.  $\cos -q$  함수에서 빔의 형태는  $q$ 에 의해 결정되는데, 테이퍼 전개분포의 특성과 비교하기 위하여  $q$ 값은 식(36)에 의해 계산된 최적의 값 3을 사용한다. Fig. 9에 나타낸 것처럼 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수를 이용한 반전력 빔폭 특성은 각각  $0.76^\circ$ 와  $0.78^\circ$ 로 나타나 유사한 반전력 빔폭을 갖는다. 하지만 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수를 이용한 안테나의 최대 부엽준위는 각각 -23dB, -27dB로

나타났다. 따라서 주반사경의 개구면 전계분포가  $\cos -q$  함수의 분포를 가질 때 약  $-4\text{dB}$  정도의 양호한 특성을 나타낸다.

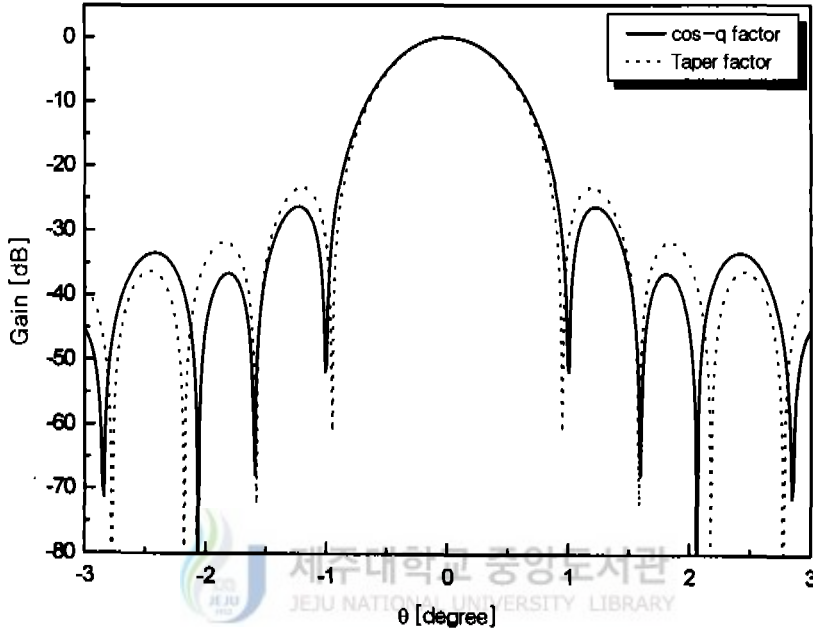


Fig. 9. Gain characteristic pattern of taper factor and  $\cos -q$  factor ( $q=3$ )

Fig. 10는  $\phi=0^\circ$ ,  $ET=15\text{dB}$ ,  $q=3$ 일 때 테이퍼 함수와  $\cos -q$  함수의 편파 특성을 나타낸 그림이다. Fig. 10에서 나타낸 것처럼 최소 교차편파 조건인 Mizuguchi 식을 이용한 결과, 주편파와 교차편파비의 차가  $-70\text{dB}$  이하로 떨어져 우수한 편파특성을 나타내었다. 따라서 이중 편파를 사용하는 안테나 시스템의 경우에는 편파 상호간 상호 간섭이 거의 없을 것이다. 그리고  $\cos -q$  함수와 테이퍼 함수의 편파 특성을 비교해 볼 때 테이퍼 함수의 교차편파 특성이 대체적으

로 높게 나타나  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포를 갖는 안테나를 설계한다면 우수한 편파특성을 얻을 수 있을 것이다.

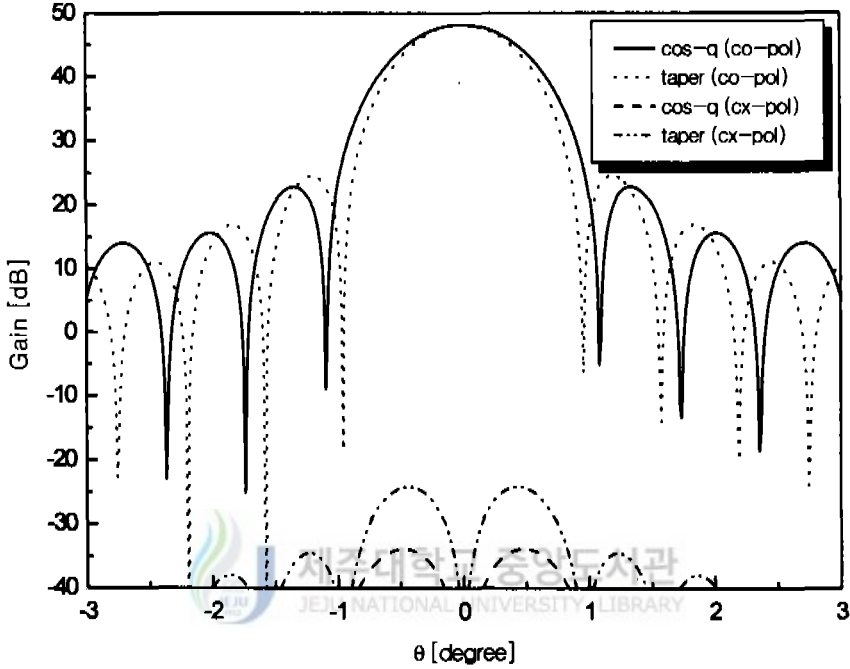


Fig. 10. Co-polarized and cross-polarized radiation pattern of taper factor and  $\cos - q$  factor ( $\phi = 0^\circ$  ,  $q = 3$ )

Fig. 11은  $\phi$ 가  $45^\circ$ 이고,  $q = 3$ 일 때 테이퍼 함수와  $\cos - q$  함수의 편파 특성을 나타낸 그림이다. 여기서 주편파 특성을 보면 반 전력 빔폭은 동일하게 나타났지만 전체적인 빔의 형태를 고려해 볼 때 테이퍼 함수보다 미소한 빔폭 갖는다. 그리고 Fig. 10과 비교해 볼 때 두 개의 개구면 전계분포 함수를 이용한 안테나의 교차편파 준위가 20dB 정도 증가하였고, 주반사경 개구면 전계분포가  $\cos - q$  함수를 가질 때 양호한 편파특성을 갖는다.

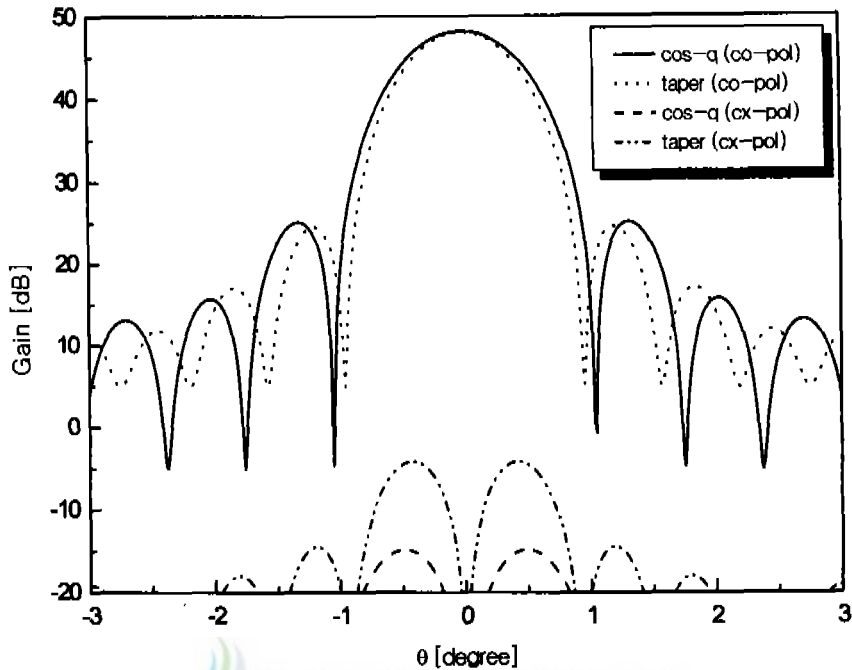


Fig. 11. Co-polarized and cross-polarized radiation pattern of taper factor and  $\cos - q$  factor ( $\phi = 45^\circ$  ,  $q = 3$ )

Fig. 12는  $q = 3$ ,  $ET = 15\text{dB}$ ,  $\phi = 90^\circ$  일 때 테이퍼 함수와  $\cos - q$  함수의 편파 특성을 나타낸 그림이다. Fig. 12에 나타낸 것처럼  $\phi = 45^\circ$  일 때보다 2dB 정도 증가한 교차편파 특성을 갖는다. 그리고 교차편파 특성을 비교해 볼 때  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포가 -10dB정도 떨어져 양호한 특성을 나타낸다.

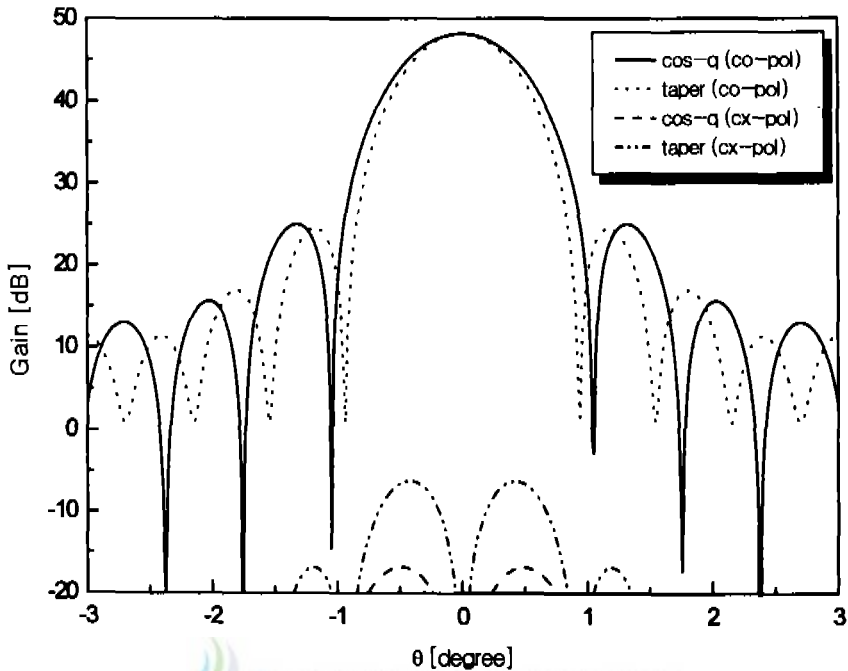


Fig. 12. Co-polarized and cross-polarized radiation pattern of taper factor and  $\cos - q$  factor ( $\phi = 90^\circ$  ,  $q = 3$ )

Fig. 13은  $ET = 15\text{dB}$ 일 때  $\phi$ 에 따른 테이퍼 함수의 개구면 전계분포에 대한 편파 특성을 나타낸 그림이다. Fig. 13에 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  $\phi$ 에 따라 약간의 차이를 보이고 있다. 즉,  $\phi = 0^\circ$  일 때 가장 양호한 교차편파 특성을 보였고,  $\phi = 45^\circ$  와  $\phi = 90^\circ$  일 때 순으로 나타났다.



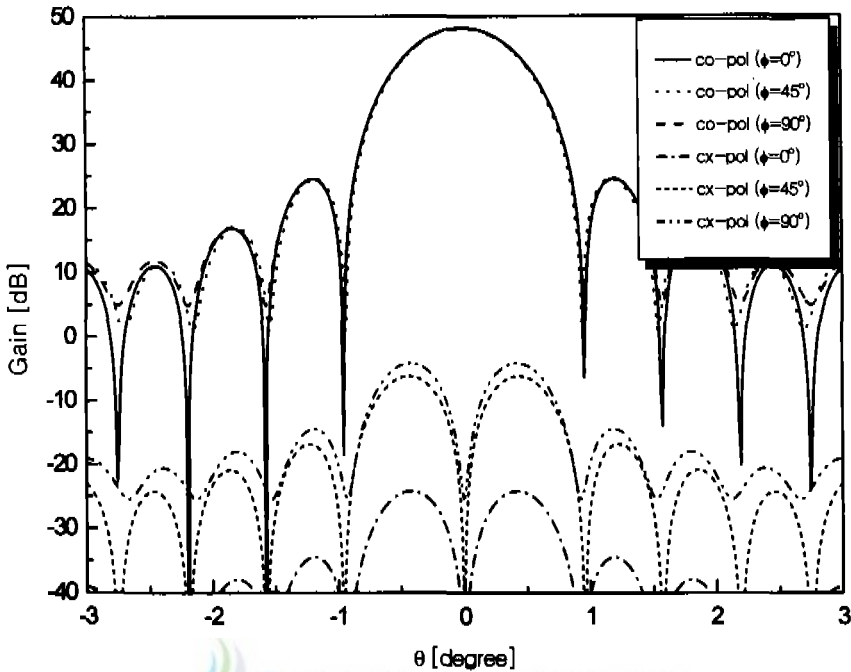


Fig. 13. Co-polarized and cross-polarized radiation pattern of the taper factor by  $\phi$  ( $q=3$ )

Fig. 14는  $ET=15\text{dB}$ 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,  $\phi=90^\circ$  일때의 주편파의 부엽준위는  $2\text{dB}$  정도 증가하였다. 그리고 Fig. 13과 비교해 볼 때  $\cos^{-q}$  함수의 개구면 전계분포가 테이퍼 함수의 개구면 전계분포보다 양호한 주편파의 부엽준위와 교차편파 준위 특성을 얻을 수 있었다.

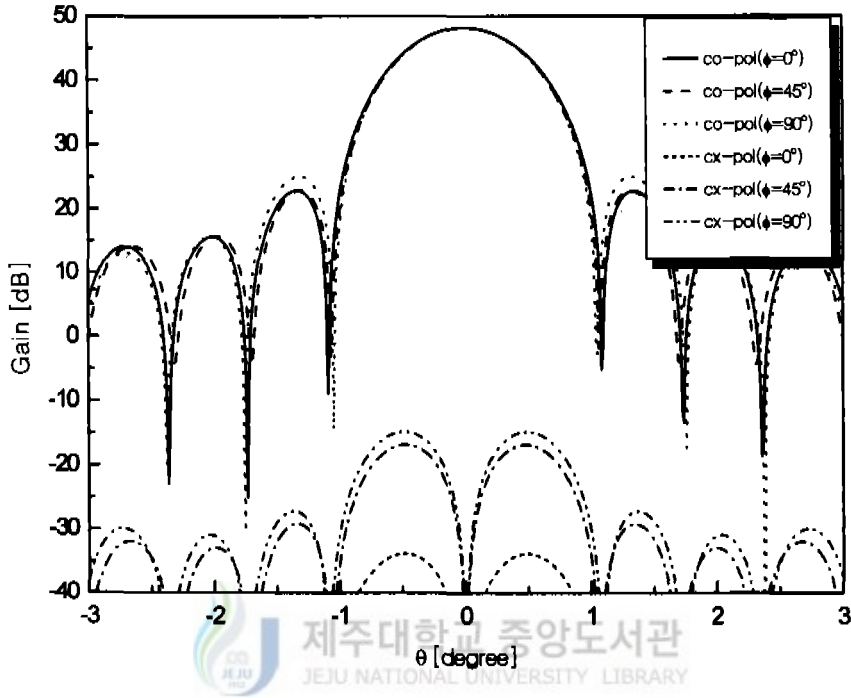


Fig. 14. Co-polarized and cross-polarized radiation pattern of the  $\cos^{-q}$  factor by  $\phi$  ( $q=3$ )

Fig. 15는 ET가 15dB일 때 테이퍼 함수의 개구면 전계분포를 토대로 안테나의 효율을 나타낸 그림이다. Fig. 15에 나타낸 것처럼 테이퍼 함수를 이용한 안테나의 조사효율( $\eta_i$ )과 스피오버 효율( $\eta_s$ )은 각각 89%로 나타났고, 이 효율들을 곱한 전체 효율  $\eta$ 는 79%이다. 이렇게 산출한 전체 효율을 식(50)에 대입하여 구한 안테나 이득( $G$ )은 44.1dB로 나타났다.

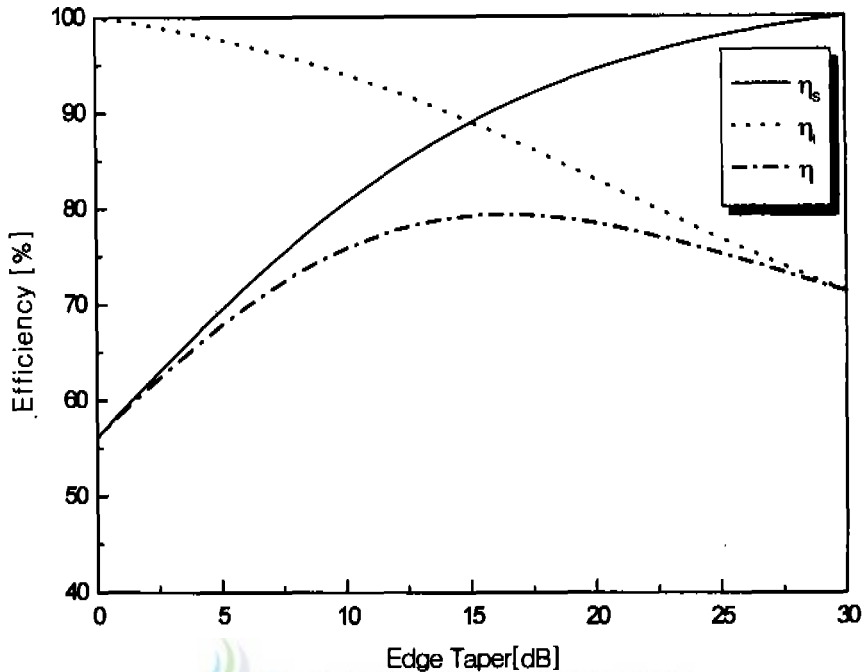


Fig. 15. Efficiency of the taper factor

Fig. 16은 ET가 15dB일 때  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포에 의한 안테나의 조사효율과 스피오버 효율 및 전체 효율을 나타낸 그림이다. 조사효율과 스피오버 효율은 각각 91%의 우수한 특성을 얻을 수 있었고, 이들을 곱한 전체 효율은 약 83%로 나타났다. 그리고 식(50)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 이중 옴셋 그레고리안 안테나가 높은 효율 특성을 갖는다. Fig. 15와 Fig. 16에 나타낸 것처럼 식(7)의 Rush 조건식을 이용한 결과 스피오버 효율과 조사효율 및 전체 효율을 개선시킨 안테나를 설계할 수 있었다.

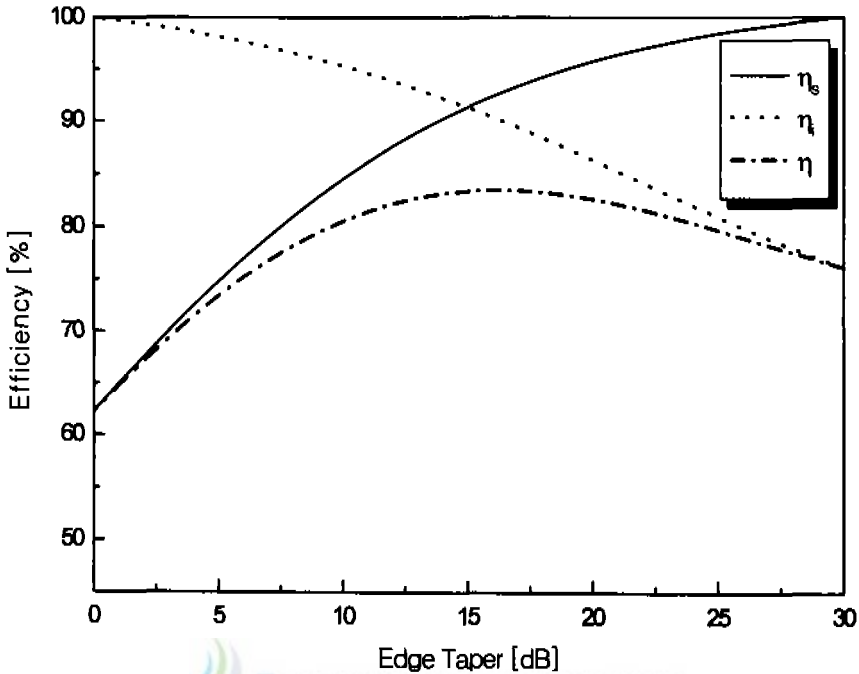


Fig. 16. Efficiency of the  $\cos - q$  factor

Fig. 17은  $q$ 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(32)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.

본 논문에서는 ET가 15dB이고, 테이퍼 함수와 비교하기 위하여 계산한 최적의  $q$ 값은 3이다. 이때 안테나의 전체 효율은 83%로 나타났다. 따라서 양호한 편파 특성과 이득 특성 및 교차편파 특성을 갖는 Ka 대역 위성통신용 이중 육섯

그레고리안 안테나의 설계 데이터를 산출하였다.

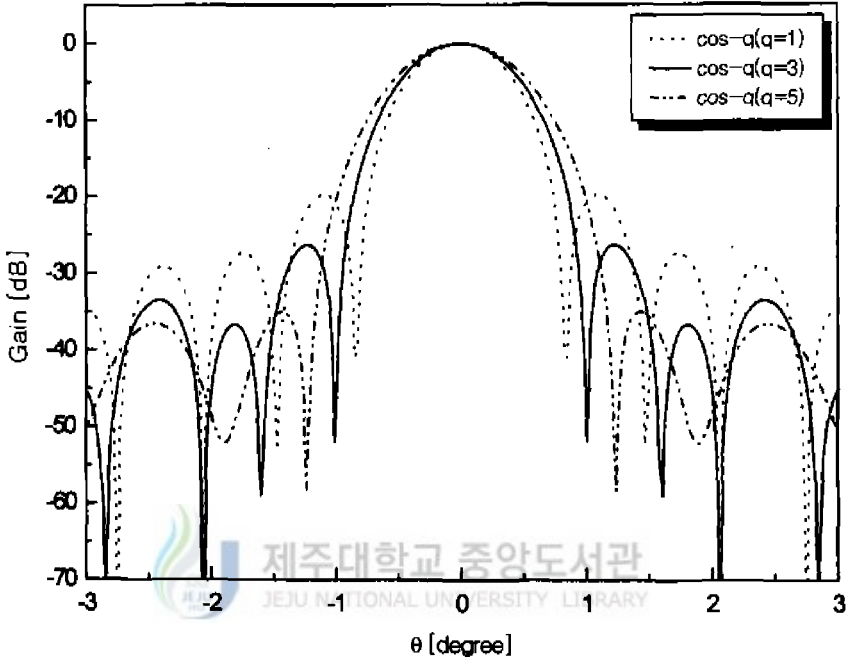


Fig. 17. Gain characteristics for the  $\cos^{-q}$  factor by  $q$

## VI. 결론

본 논문에서는 안테나의 효율특성과 이득특성을 개선시킨 Ka 대역 위성통신용 이중 옴셋 그레고리안 안테나를 해석하고 설계하였다. 주반사경 개구면의 전계분포는 테이퍼 함수와  $\cos - q$  함수를 이용하였고, 기하광학 이론을 토대로 안테나의 기하학적 구조를 결정하는 파라미터들의 근사식을 유도하였다.

본 논문에서는 테이퍼 함수와  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포에 따라 이중 옴셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조가 변화됨을 보였다. 최적화된 안테나의 설계 파라미터 값을 토대로 테이퍼 함수와  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포를 복사전계식에 적용하여 이중 옴셋 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%, 44.4dB 로 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 편파특성면에서는  $\cos - q$  함수가 더 우수한 특성을 얻을 수 있었다. 테이퍼 함수의 개구면 전계분포를 이용하는 것보다  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포를 이용하여 설계하면 더욱 양호한 이중 옴셋 반사경 안테나 시스템을 설계하고 제작할 수 있다. 본 논문에서는 최적의  $q$ 값이 3일 때  $\cos - q$  함수의 개구면 전계분포를 이용하여 이중 옴셋 그레고리안 안테나의 설계 데이터를 산출하였다. 개구면의 전계분포인  $\cos - q$  함수의 복사특성에 맞게 1차 복사기인 급전 혼 안테나를 설계하면 특성이 양호한 위성통신이나 이동통신 및 레이다 등 마이크로파 통신에서 사용하는 안테나를 설계·제작할 수 있다.

## 참고 문헌

Albertsen, N., and K. Pontoppidan, 1993, Analysis of sub reflectors for dual reflector antennas, IEE Proceedings, vol. 131, no. 3, pp. 205-213.

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 antennas Propagat. Soc. Symp. Dig., Ann Arbor, Mi, pp. 772-775.

Burnside, W. D. and L Peters, Jr., 1974, Edge diffracted caustic fields, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-22, no. 4, pp. 620-623.

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.

Dragone, C., 1978, Offset multireflector antennas with perfect pattern symmetry and polarization discrimination, Bell Syst. Tec. J., vol. 57, no. 7, pp. 2663-2684.

Galindo, V., 1964, Design of dual reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distribution, IEEE Trans. Antennas Propagat., AP-12, pp. 403-408.

Griesser, T. and 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.

Hannan, P. W., 1961, Microwave antennas derived from the casse grain telescope, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-9, pp. 140-153.

Kline, M. and I. Kay, 1965, Electromagnetic Theory and Geometrical Optics. New York : Academic.

Koffman, I., 1976, Feed polarization for parallel currents in reflectors generated by conic section, IEEE Trans. Antennas Propagat., Ap-14, pp. 37-40.

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.

Love, A. W., 1978, Reflector antenna, New York : IEEE.

Ludwig, A. C., 1973, The definition of cross polarization, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. Ap-21, no. 1, pp. 116-119.

Mizugutchi, Y., M. Akagawa, and H. Yokoi, 1976, Offset dual reflector antennas, IEEE antennas Propagat. Soc. Symp. Dig., Amherst, MA, pp. 2-5.

Rahmat-Samii, Y., R. A. Hoferer, and H. Mosallaei, 1998, Beam efficiency of reflector antennas : The simple formula, IEEE Antennas Propagat., vol. 40, no. 5.

Reber, G., 1974, Cosmic static., Astrophys. J., vol. 100, no. 3, p. 279-287.

Rudge, A. W. Ed., 1982, The Handbook of Antenna Design, IEEE Trans. Antennas Propagat., vol 1, pp. 128-134.

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. antenn



as Propagat., vol. Ap-38, no. 8, pp. 1141-1149.

Rusch, W. V. T., 1970, Analysis of Reflector Antennas. New York : Academic.

Ruze, J. 1968, Feed support blockage loss in parabolic antenna, Microwave Jour., 11, no. 12, pp. 76-82.

Stutzman, W. L., G. A. Thiele, 1981, Antenna Theory and Design, New York, John Wiley & Sons.

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.

Williams, W. F., 1965 High Efficiency Antenna Reflector, Microwave Journal, vol. 8, pp. 79-82.



제주대학교 중앙도서관  
JEJU NATIONAL UNIVERSITY LIBRARY

부록 A

Table 2. Profiles for the curvature of main reflector and sub-reflector for taper factor

Main reflector		Sub-reflector	
z1(cm)	x1(cm)	z2(cm)	x2(cm)
-51.14	17.03	17.45	-4.56
-50.93	19.03	17.31	-5.08
-50.68	21.03	17.14	-5.60
-50.42	23.03	16.97	-6.11
-50.12	25.03	16.78	-6.61
-49.80	27.03	16.57	-7.11
-49.45	29.03	16.35	-7.61
-49.08	31.03	16.12	-8.09
-48.67	33.03	15.87	-8.57
-48.24	35.03	15.60	-9.05
-47.77	37.03	15.32	-9.51
-47.28	39.03	15.03	-9.97
-46.75	41.03	14.73	-10.41
-46.18	43.03	14.41	-10.85
-45.59	45.03	14.07	-11.28
-44.95	47.03	13.73	-11.69
-44.28	49.03	13.37	-12.10
-43.57	51.03	13.00	-12.50
-42.82	53.03	12.62	-12.88
-42.03	55.03	12.23	-13.25
-41.19	57.03	11.83	-13.61
-40.31	59.03	11.41	-13.96
-39.38	61.03	10.99	-14.30
-38.40	63.03	10.56	-14.62
-37.37	65.03	10.11	-14.93
-36.28	67.03	9.66	-15.23
-35.13	69.03	9.20	-15.51
-33.92	71.03	8.73	-15.78
-32.65	73.03	8.25	-16.04
-31.31	75.03	7.77	-16.28
-29.90	77.03	7.28	-16.50
-28.41	79.03	6.78	-16.71

부록 B

Table 3. Profiles for the curvature of main reflector and sub-reflector for  $\cos-q$  factor

Main reflector		Sub-reflector	
z1(cm)	x1(cm)	z2(cm)	x2(cm)
-51.14	17.03	18.45	-4.56
-50.89	19.03	18.27	-5.08
-50.62	21.03	18.08	-5.60
-50.32	23.03	17.87	-6.11
-49.99	25.03	17.65	-6.61
-49.64	27.03	17.41	-7.11
-49.26	29.03	17.16	-7.61
-48.85	31.03	16.89	-8.09
-48.42	33.03	16.61	-8.57
-47.95	35.03	16.31	-9.05
-47.45	37.03	16.00	-9.51
-46.92	39.03	15.68	-9.97
-46.36	41.03	15.34	-10.41
-45.76	43.03	14.99	-10.85
-45.13	45.03	14.62	-11.28
-44.47	47.03	14.25	-11.69
-43.77	49.03	13.86	-12.10
-43.02	51.03	13.46	-12.50
-42.24	53.03	13.04	-12.88
-41.42	55.03	12.62	-13.25
-40.55	57.03	12.18	-13.61
-39.63	59.03	11.74	-13.96
-38.67	61.03	11.28	-14.30
-37.66	63.03	10.82	-14.62
-36.59	65.03	10.34	-14.93
-35.47	67.03	9.85	-15.23
-34.29	69.03	9.36	-15.51
-33.05	71.03	8.86	-15.78
-31.75	73.03	8.35	-16.04
-30.38	75.03	7.83	-16.28
-28.93	77.03	7.31	-16.50
-27.41	79.03	6.78	-16.71

## 부록 C

Table 4. Profiles for the curvature of main reflector and sub-reflector for the factor with uniform amplitude

Main reflector		Sub-reflector	
z1(cm)	x1(cm)	z2(cm)	x2(cm)
-51.14	17.03	14.78	-4.56
-51.01	19.03	14.72	-5.08
-50.86	21.03	14.65	-5.60
-50.68	23.03	14.56	-6.11
-50.47	25.03	14.46	-6.61
-50.23	27.03	14.34	-7.11
-49.97	29.03	14.20	-7.61
-49.68	31.03	14.05	-8.09
-49.36	33.03	13.89	-8.57
-49.01	35.03	13.71	-9.05
-48.63	37.03	13.52	-9.51
-48.22	39.03	13.31	-9.97
-47.78	41.03	13.09	-10.41
-47.30	43.03	12.86	-10.85
-46.79	45.03	12.61	-11.28
-46.24	47.03	12.35	-11.69
-45.66	49.03	12.08	-12.10
-45.03	51.03	11.80	-12.50
-44.37	53.03	11.51	-12.88
-43.66	55.03	11.20	-13.25
-42.91	57.03	10.88	-13.61
-42.12	59.03	10.55	-13.96
-41.27	61.03	10.22	-14.30
-40.38	63.03	9.87	-14.62
-39.43	65.03	9.51	-14.93
-38.43	67.03	9.15	-15.23
-37.37	69.03	8.77	-15.51
-36.25	71.03	8.39	-15.78
-35.06	73.03	8.00	-16.04
-33.81	75.03	7.60	-16.28
-32.48	77.03	7.19	-16.50
-31.08	79.03	6.78	-16.71

## 感謝의 글

지난 2년이란 시간을 되돌아보며...

희망과 기대감을 가득 안고 大學院 生活을 한지도 벌써 2년이란 시간이 흐릅니다. 그동안 저에게 힘과 용기를 주신 學科教授님과 先輩님들께 진심으로 感謝를 드립니다.

무엇보다도 본 論文이 완성되기까지 指導해 주시고 격려해주신 指導教授 梁斗榮 教授님께 깊은 感謝를 드립니다. 그리고 항상 곁에서 세심한 忠告와 激勵을 아끼지 않으신 金興洙 教授님과 바쁘신 와중에도 보다 나은 논문이 되도록 助言을 해주신 林載允 教授님께 진심으로 깊은 감사를 드립니다. 또한 李鎔鶴 教授님, 文建 教授님, 康鎭植 教授님의 많은 가르침에도 感謝의 말씀을 드립니다.

힘들고 어려울 때 항상 힘이 되어주신 李起台 先輩님, 康富植 先輩님, 洪性旭 先輩님, 鄭東星 先輩님, 李權益 先輩님께 감사를 드리며, 올바른 길로 이끌어주시고 많은 충고와 격려를 해주신 衛星通信 研究室의 金裁弘 課長님, 朴在信 先輩님, 徐守德 先輩님, 金東炫 先輩님께 깊은 감사를 드립니다. 또한 항상 밝은 미소로 저를 이끌어 주신 高京生 先生님과 항상 通信工學科의 발전을 위해 애쓰시는 金希宣 先生님과 金亨俊 先生님께 고마움을 전합니다. 제 동료인 호진, 정란, 정주누나에게 고마움을 전합니다. 그외 물신양면으로 도와주신 대학원 후배님들에게도 깊은 감사를 드립니다.

끝으로 오늘이 있기까지 獻身的인 사랑과 따뜻한 보살핌으로 저를 이끌어주신 아버님과 어머니 그리고 항상 곁에서 힘이 되어준 형님·형수님, 누나들과 함께 이 論文이 完成된 기쁨을 나누고 싶습니다.