

# 국내위성을 위한 경면수정 오프셋 그레고리안 안테나의 설계 Design of Shaped Offset Gregorain Antennas for Domestic Satellites

이동진\* · 최학근\* · 윤소현\*\* · 한재홍\*\* · 박종흥\*\* · 이성팔\*\*

Dong-Jin Lee\* · Hak-Keun Choi\* · So-Hyeun Yun\*\* · Jae-Hung Han\*\*  
· Jong-Heung Park\*\* · Seong-Pal Lee\*\*

## 요 약

본 논문에서는 향후 발사될 국내 통신·방송위성의 Ku 밴드 FSS 경면수정 오프셋 그레고리안 안테나를 전기적으로 설계하였다. 이를 위하여 경면수정 오프셋 그레고리안 안테나의 설계과정을 명확하게 하고 이를 이용하여 위성탑재 안테나를 설계하였다. 설계안테나의 복사특성을 평가하여 설계목표와 비교하였다. 설계안테나는 Tx 12.25 GHz에서 빔폭 1.2°, EOC 이득 38.57 dBi, 이득 43.19 dBi, Rx 14.0 GHz에서 빔폭 1.08°, EOC 이득 38.12 dBi, 이득 44.11 dBi의 특성을 갖는 것으로 나타났으며, 사이드로브 레벨과 교차편파 레벨도 각각 -30 dB, -33dB 이하로 나타났다. 이상으로부터 설계된 안테나는 국내 위성탑재용 FSS 안테나로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

## Abstract

In this paper, a shaped offset gregorian antenna is electrically designed for Ku band FSS antennas of the domestic communications and broadcasting satellite which will be launched in the near future. For this, a design procedure for shaped offset gregorian antennas is described in detail, and a satellite antenna is designed by using the described design procedure. The radiation characteristics of the designed antenna are evaluated and compared with the design goals. The designed antenna is found to have 1.2° beamwidth, 38.57 dBi EOC gain, and 43.19 dBi gain at Tx frequency 12.25 GHz and 1.08° beamwidth, 38.12 dBi EOC gain, and 44.11 dBi gain at Rx frequency 14.0 GHz. And also, side lobe levels and cross-polarization levels are less than -30 dB and -33 dB, respectively. From these results, the designed antenna is found to be able to use for the domestic satellite FSS antennas.

## I. 서 론

1995년 8월 국내 최초의 통신방송위성 무궁화 1호가 발사된 이래 현재 3호가 발사되어 통신 및 방송 서비스를 하고 있다. 무궁화 3호 위성은 1, 2호 위성의 서비스 연계뿐 아니라, 신규 서비스 및 수요 증가

에 대처할 수 있도록 1, 2호 위성보다 대용량, 고출력의 제원을 갖도록 설계되어 있다. 무궁화 3호 위성은 Ku 밴드 DBS(Direct Broadcasting Satellite) 안테나와 Ku 밴드와 Ka 밴드 FSS(Fixed Satellite Service) 안테나와 동남아 지역의 수요 발생을 대비하여 가변이므로 서비스할 수 있는 Ku 밴드 FSS 안테나가 탑재되

「이 연구는 한국전자통신연구원의 연구비 지원으로 수행되었음.」

\*단국대학교 전자컴퓨터학부(School of Electronics Eng. and Computer Sci., Dankook Univ.)

\*\*한국전자통신연구원(Electronics and Telecommunications Research Institute)

· 논문 번호 : 20010424-059

· 수정완료일자 : 2001년 6월 29일

어 있다<sup>[1]</sup>. 위성탑재안테나는 우주공간에 발사되기 때문에 형태, 강도, 중량 등의 기계적 요구조건을 만족하여야 하며 특히 중요한 전기적 성능으로서 우주공간에서 대전력을 공급할 수 있어야 한다. 또한 위성전력을 효율적으로 사용하기 위하여 서비스영역을 가능한 높은 이득으로 조사하고, 서비스영역 이외의 외국에는 전파가 거의 복사되지 않도록 사이드로브 레벨과 교차편파 레벨이 가능한 낮아야 한다<sup>[2]</sup>.

위성탑재 안테나로는 오프셋 형식의 안테나가 널리 사용되고 있다. 오프셋 형식의 안테나는 축대칭 구조의 파라볼라 반사경 안테나나 카세그레인 안테나 등에서 발생하는 1차 복사기 또는 부반사경과 이를 지지하는 구조물에 의한 블로킹 현상이 없기 때문에 안테나 이득 및 사이드로브 특성이 우수하다. 뿐만 아니라 초점 근처에 여러 개의 1차 복사기를 배열하여 요구되는 빔 패턴을 성형하거나 멀티 빔을 형성할 수 있어 오늘날 위성탑재 안테나로 널리 쓰이고 있으며 그 성능 또한 지속적으로 연구되고 있다.<sup>[3]~[5]</sup>

오프셋 형식의 안테나로 한 장의 반사경을 사용하는 오프셋 파라볼라 안테나(Offset parabolic antenna)<sup>[6]~[8]</sup>와 두 장의 반사경으로 구성되는 오프셋 복반사경 안테나(Offset dual reflector antenna)<sup>[9]~[11]</sup>가 있다. 오프셋 파라볼라 안테나는 낮은 사이드로브 특성을 가지고 원편파 사용시 원편파를 구성하는 각 선형편파 성분들은 교차편파를 생성하지만 두 개의 주편파(co-polarization) 성분과 두 개의 교차편파(cross-polarization) 성분은 같은 방향으로 회전하여 완전히 원편파가 되어 반사경 비대칭성에 의한 교차편파가 나타나지 않는다. 그러나 직선편파 사용시 비대칭 구조에 의한 교차편파 성분이 높게 나타난다. 따라서 원편파를 사용하는 DBS 안테나 경우는 오프셋 파라볼라 안테나가 사용되고 직선편파를 사용하는 FSS 안테나의 경우는 직교하는 수직 및 수평 편파용 오프셋 그리드 반사경을 두 장 겹쳐서 만든 이중 그리드 반사경 안테나(Dual-grided reflector antenna)가 사용되고 있다<sup>[12]</sup>. 오프셋 복반사경 안테나도 축비대칭 구조를 가지고 있어 직선편파 동작시 교차편파 성분이 높게 나타나지만 주 반사경의 회전축과 부반사경의 회전축을 어긋나게 하여 교차편파를 소거하는 구조를 하면 직선편파나 원편파 어느 경우에도 반사경 비대칭성에 의한 교

차편파 성분이 나타나지 않는다. 또한 경면수정기술을 적용할 경우 사이드로브 레벨과 안테나의 효율을 조정할 수 있어 동일한 이득 및 사이드로브 특성을 갖는 오프셋 파라볼라 안테나 보다 개구면의 크기를 다소 작게 할 수 있다.

여기서는 향후 발사될 국내 통신·방송위성의 Ku 밴드 FSS 안테나로서 ITU-R 사이드로브 권고사항<sup>[13]</sup>을 만족하며 한반도 전역을 서비스 가능지역으로 하는 위성탑재 안테나를 전기적으로 설계한다. 이를 위하여 안테나 개구면 전계분포에 따른 빔폭, 사이드로브 레벨과 개구면 손실의 복사특성 그래프를 도출하고, 이를 이용하여 경면수정 오프셋 그레고리안 안테나(Shaped offset gregorian antenna)를 설계한다. 설계된 경면수정 오프셋 그레고리안 안테

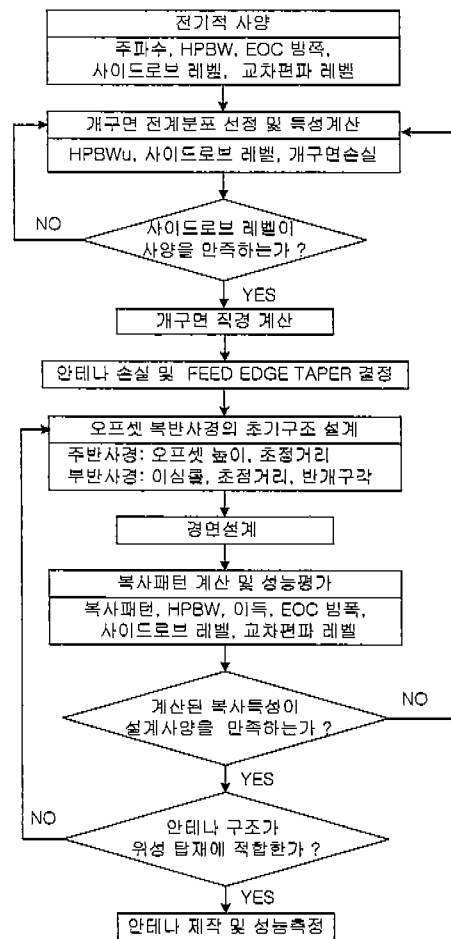


그림 1. 위성탑재 안테나의 설계흐름도  
Fig. 1. Design flowchart of satellite antennas.

나를 해석하여 전기적 성능을 평가하고, 설계목표와 비교·검토하여 도출된 그래프를 이용한 설계결과 의 타당성을 조사한다.

## II. 안테나 설계법

그림 1은 위성탑재 오프셋 복반사경 안테나를 설계하기 위한 흐름도이다. 안테나의 가장 중요한 전기적 사양은 HPBW(Half Power Beam Width), 안테나 이득, EOC 빔폭(Beam Width at the Edge of Coverage), 사이드로브 레벨, 교차편파 레벨이다. 주어진 사양을 만족하는 안테나 설계시 우선 사이드로브 레벨을 만족하는 안테나의 개구면 전계분포를 결정하고, 결정된 전계분포에 의하여 복사되는 빔이 서비스영역을 만족하도록 개구면의 크기를 결정한다. 개구면 크기가 결정되면 위성체의 배치 공간을 고려하여 오프셋 복반사경 안테나의 기하학적 초기구조를 결정하고 1차 복사기를 설계한다. 그리고 설계된 1차 복사기를 사용했을 때 안테나 개구면 전계분포가 결정된 전계분포를 갖도록 경면을 수정한다. 이하에 세부적인 사항을 나타낸다.

### 2-1 개구면 전계분포 및 설계 파라미터 선정

안테나 전기적 사양 중 HPBW, 이득, 사이드로브 레벨은 FSS 안테나인 경우 ITU-R의 권고사항인 그림 2의 복사패턴을 만족하도록 하여야 한다. 그림 2에서 복사패턴함수는 다음과 같이 정의된다<sup>[13]</sup>.

$$\begin{aligned}
 G(\theta) &= G_m - 3\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right)^2 & \text{dBi: } \theta_0 \leq \theta \leq a\theta_0 \\
 G(\theta) &= G_m + L_s & \text{dBi: } a\theta_0 < \theta \leq b\theta_0 \\
 G(\theta) &= G_m + L_s + 20 - 25 \log\left(\frac{\theta}{\theta_0}\right) & \text{dBi: } b\theta_0 < \theta \leq \theta_1 \\
 G(\theta) &= 0 & \text{dBi: } \theta_1 < \theta
 \end{aligned} \tag{1}$$

여기서,  $G(\theta)$ 는 축으로부터  $\theta$ 만큼 떨어진 각에서의 이득이고,  $G_m$ 은 안테나의 최대이득,  $\theta_0$ 는 3 dB 점,  $\theta_1$ 은  $G(\theta) = G_m + L_s + 20 - 25 \log(\theta/\theta_0)$ 가 0 dBi가 되는 각,  $L_s$ 는 사이드로브 레벨이다. 식 (1)

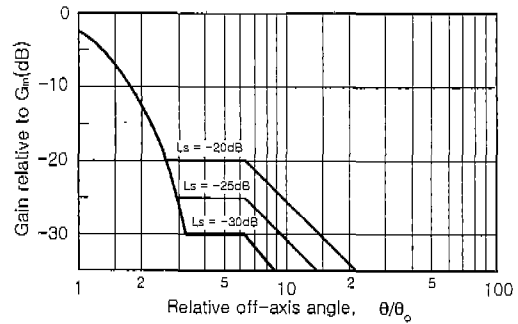


그림 2. 위성탑재 안테나의 복사패턴  
Fig. 2. Radiation pattern of satellite antennas.

에서  $a, b$ 는  $L_s = -20$  dB 일 때  $a = 2.58, b = 6.32$ ,  $L_s = -25$  dB 일 때  $a = 2.88, b = 6.32$ ,  $L_s = -30$  dB 일 때  $a = 3.16, b = 6.32$ 이다.

위성탑재 안테나의 HPBW는 서비스영역과 관계하며 EOC 빔폭은 안테나의 포인팅 정밀도(Pointing accuracy)에 관계하며 보통 HPBW의 1/5 빔폭 이하의 정밀도가 요구된다<sup>[14]</sup>. 그러나 위성시스템 설계시 다소 변경이 가능하다.

반사경 안테나의 효율, 사이드로브 레벨, 빔폭 등의 복사특성은 개구면의 전계분포, 반사경 테두리에서의 회절전계, 스피로버(spillover), 경면오차 등에 의하여 결정된다. 이중에서 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 요구하는 복사특성을 갖는 안테나를 설계하기 위해서는 개구면 전계분포를 올바르게 선정하여야 한다. 지상에서 사용되는 반사경 안테나에서 개구면 크기와와 빔폭의 관계는  $HPBW = 70^\circ \lambda/D$ 으로 잘 알려져 있다. 그러나 이 식은 주반사경 테두리에서 edge taper가 10 dB 정도인 안테나에서 적용할 수 있는 식이고, 사이드로브 레벨을 낮추기 위하여 edge taper를 크게 한 경우에는 많은 오차를 포함한다. 따라서 주어진 HPBW로부터 개구면의 크기를 계산할 경우 개구면 전계분포에 의한  $U = ka \sin \theta$  공간에서의  $HPBW_U$ 을 구하여

$$\frac{D}{\lambda} = \frac{HPBW_U}{2\pi \sin(HPBW/2)} \tag{2}$$

로부터 구해야 한다.

위성탑재 안테나의 이득은 개구면 전계분포 외에 안테나의 손실과 부반사경 테두리에서의 전계 레벨 과도 관계한다. 위성탑재 안테나는 안테나 급전시스템 및 제작시 나타나는 손실 외에 지상에서 사용되는 안테나와 달리 우주공간의 영향에 의한 안테나 손실을 고려하여야 한다. 경면수정 오프셋 복반사경 안테나에서는 주어진 1차 복사기의 복사패턴으로부터 요구하는 개구면분포를 형성하도록 경면이 수정되므로 부사경 테두리에서 1차 복사기의 edge taper가 작을수록 좋다. 부반사경의 테두리에서 1차복사기의 edge taper 작으면 1차 복사기의 크기는 작아 지지만 부반사경에서 주반사경의 전면 방향의 스피오버 성분이 커져 스피오버 효율이 감소하고 안테나의 사이드로브 레벨이 증가된다. 반면에 edge taper가 크면 스피오버 효율이 증가하고 스피오버에 의한 사이드로브 레벨의 증가를 막을 수 있지만 1차 복사기의 크기가 증가하게 된다. 따라서 1차 복사기의 edge taper 선정시 적절한 타협이 이루어져야 한다. 부반사경 테두리의 전계레벨에 따른 스피오버 손실은 근사적으로 다음 식에 의하여 계산된다<sup>[3]</sup>.

$$\eta_s(dB) = 10 \log(1 - 0.88e^{-0.23ET}) \quad (3)$$

개구면 직경과 안테나 손실이 결정되면 안테나 최대이득은

$$G_m = 20 \log\left(\frac{\pi D}{\lambda}\right) + \eta_a(dB) + \eta_s(dB) + \eta \quad (4)$$

으로부터 계산할 수 있다. 여기서  $\eta$ 는 스피오버 손실  $\eta_s$ 와 개구면 손실  $\eta_a$ 를 제외한 안테나시스템의 모든 손실이다. EOC 빔폭이 주어졌을 때 EOC 이득은 설계된 안테나의 복사패턴으로부터 구할 수 있지만 근사적으로 다음 식에 의하여 구할 수 있다.

$$G_{EOC} = G_m - 3\left(\frac{BW_{EOC}}{HPBW}\right)^2 \quad (5)$$

$BW_{EOC}$ 는 EOC 빔폭으로  $\Delta G = G_m - G_{EOC}$ 가 4.34 dB 되도록 선정할 경우 서비스영역이 가장 효과적으로 조사되는 것으로 알려져 있다<sup>[14]</sup>.

오프셋 복반사경 안테나에서 초기구조는 계산된 개구면의 크기를 유지한 채로 교차편파, 위성체의

설치공간, 1차 복사기의 크기를 고려하여 결정한다.

## 2-2 오프셋 복반사경 안테나의 초기구조

일반적으로 오프셋 복반사경 안테나는 요구되는 복사특성을 만족시키기 위하여 경면을 수정하여 사용된다. 여기서는 경면수정을 하기 위한 초기구조로서 표준형 오프셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 고찰한다. 오프셋 그레고리안 안테나는 주반사경과 부반사경 그리고 1차 복사기로 구성되어 있으며 주반사경은 파라볼라 곡면이고, 부반사경은 타원면이다. 부반사경의 한 초점은 1차 복사기의 위상 중심에 있고 다른 한 초점은 주반사경의 초점과 일치한다. 오프셋 그레고리안 안테나는 1차 복사기로부터 오는 구면파를 부반사경에서 반사시켜 주반사경의 초점으로부터 오는 구면파처럼 변환하고 주반사경에서 다시 반사시켜 평면파로 변환한다.

그림 3은 오프셋 그레고리안 안테나의 기하학적 구조를 나타낸다. 그림에서 주반사경의 회전축으로부터 개구면 중심까지의 높이인 오프셋 높이  $h$ 와 개구면의 직경  $D$ 는 다음과 같이 주어진다<sup>[15]</sup>.

$$h = 2f \tan \frac{\theta_c}{2} = \frac{4f \sin \beta}{1 + e^2 - 2e \cos \beta} \quad (6)$$

$$D = 4f M \tan\left(\frac{\theta_c}{2}\right) \quad (7)$$

식 (5)에서  $f$ 는 주반사경의 초점거리,  $\theta_c$ 는 1차

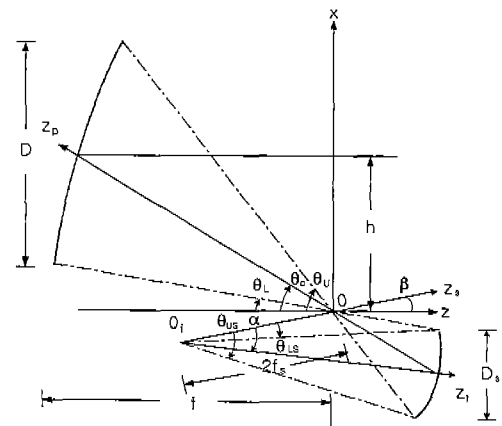


그림 3. 오프셋 그레고리안 안테나 구조

Fig. 3. Geometry of offset gregorian antennas.

복사기의 최대빔이 부반사경에서 반사되어 주반사경으로 향할 때 주반사경의 회전축과 이루는 각도이다.  $e$ 는 부반사경의 이심률이고,  $\beta$ 는 오프셋 그레고리안 안테나에서 교차편파를 소거하기 위한 각도로서 다음과 같이 주어진다<sup>[15]</sup>.

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

여기서  $\alpha$ 는 부반사경의 회전축과 1차 복사기의 중심 축이 이루는 각도이다

식 (7)에서  $M$ 은 magnification으로 다음과 같이 주어진다.

$$M = \frac{1 - e^2}{1 + e^2 - 2e \cos \beta} \quad (9)$$

그림 3에서 주반사경의 회전대칭 축으로부터 반사경의 상, 하 끝 부분까지의 각도  $\theta_U$ 와  $\theta_L$ 은  $h$ 와  $f$ 를 이용하여 나타내면

$$\theta_U = 2 \tan^{-1} \left[ \frac{h + D/2}{2f} \right] \quad (10)$$

$$\theta_L = 2 \tan^{-1} \left[ \frac{h - D/2}{2f} \right] \quad (11)$$

이 되고, 부반사경의  $\theta_{US}$ ,  $\theta_{LS}$ 은 주반사경의  $\theta_U$ ,  $\theta_L$  사이에 다음의 관계가 있다.

$$\cos \theta_{US} = \frac{(1 + e^2) \cos(\theta_U + \beta) + 2e}{1 + e^2 + 2e \cos(\theta_U + \beta)} \quad (12)$$

$$\cos \theta_{LS} = \frac{(1 + e^2) \cos(\theta_L + \beta) + 2e}{1 + e^2 + 2e \cos(\theta_L + \beta)} \quad (13)$$

또한 부반사경의 개구면 직경  $D_s$ 는 주반사경의 형태, 부반사경의 초점거리  $f_s$ 와 이심률  $e$ 이 주어지면 다음 식으로부터 구할 수 있다.

$$D_s = f_s \frac{e^2 - 1}{e} \left[ \frac{\sin(\theta_U + \beta)}{e \cos(\theta_U + \beta) + 1} - \frac{\sin(\theta_L + \beta)}{e \cos(\theta_L + \beta) + 1} \right] \quad (14)$$

이상으로부터 오프셋 그레고리안 안테나의 초기 구조가 결정되면 경면을 수정한다.

### 2-3 경면수정법

개구면의 전개분포, 반사경의 초기구조, 1차 복사기의 복사패턴이 주어지면 경면수정법을 이용하여 경면을 수정할 수 있다. 경면수정은 광로장 일정조건, 전력조건, 반사법칙을 적용하여 이루어진다. 그림 4는 경면수정을 위한 오프셋 그레고리안 안테나의 좌표계이다.  $(x_f, y_f, z_f)$ 는 1차 복사기의 좌표계이고,  $(x, y, z)$ 는 반사경을 나타내기 위한 좌표계이다. 부반사경의 축은 교차편파 소거조건을 만족하도록 주반사경의 축에 대하여  $\beta$ 만큼 기울어져 있고 1차 복사기는 부반사경의 축에 대하여  $\alpha$ 만큼 기울어져 있다. 여기서 초기조건으로서 1차 복사기의 중심 축을 따라 진행한 중심광선은 부반사경의 점  $N_o$ , 주반사경의 점  $M_o$ 를 거쳐 개구면의 중심에 도달되는 것으로 한다. 주반사경에 도달되는 모든 광선의 위상이 동일하게 되기 위해서는 1차 복사기로부터 개구면에 이르는 광로장이 일정해야 한다. 따라서 다음 식이 성립한다.

$$r_f + S - z = L \quad (15)$$

여기서,  $r_f$ 는 1차 복사기의 위상중심  $F_1$ 으로부터 부반사경의 한 점  $N$ 까지의 거리,  $S$ 는 부반사경의 점  $N$ 에서 주반사경의 점  $M$ 까지의 거리,  $z$ 는 점  $M$

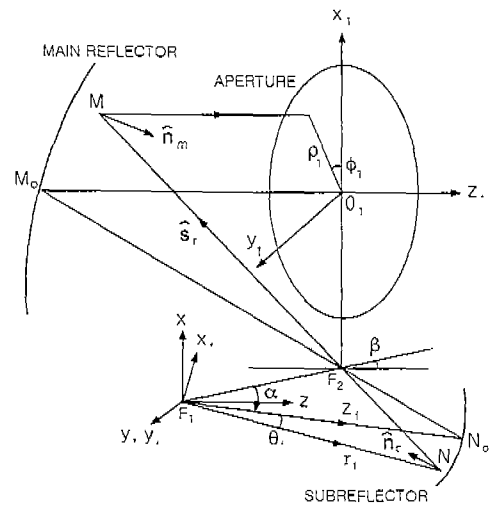


그림 4. 경면수정을 위한 안테나 좌표계  
Fig. 4. Coordinate of shaped reflector antennas.

의  $z$  좌표이고,  $L$ 은 중심광선의 광로장이다.

그림 4에서 점  $F_1$ 에 위치한 1차 복사기로부터 부 반사경에 도달된 전전력에 대한  $0 \sim \theta_1$ 내에 포함된 1차 복사기의 전력과 부반사경과 주반사경을 거쳐 개구면에 도달된 전전력에 대한  $0 \sim \rho_1$ 내에 포함된 전력이 에너지보존법칙에 의하여 서로 같아야만 한다. 따라서

$$\frac{\int_0^{\theta_1} |E_f(\theta_f)|^2 \sin \theta_f d\theta_f}{\int_0^{\theta_2} |E_f(\theta_f)|^2 \sin \theta_f d\theta_f} = \frac{\int_0^{\rho_1} |E_a(\rho_1)|^2 \rho_1 d\rho_1}{\int_0^{D/2} |E_a(\rho_1)|^2 \rho_1 d\rho_1} \quad (16)$$

의 관계가 성립한다. 여기서,  $E_f(\theta_f)$ 는 1차 복사기의 복사전계,  $E_a(\rho_1)$ 는 소요 개구면의 전계분포이고  $\theta_a$ 은 부반사경의 반개구각이다.

또한 부반사경에서의 반사법칙에 의하면 1차 복사기의 각  $\theta_f$  및  $\phi_f$ 의 변화량  $d\theta_f$  및  $d\phi_f$ 에 따른 1차 복사기로부터 부반사경까지의 거리  $r_f$ 에 대한 미소 증분은

$$dr_f = \frac{\partial r_f}{\partial \theta_f} d\theta_f + \frac{\partial r_f}{\partial \phi_f} d\phi_f \quad (17)$$

이 된다. 여기서  $\partial r_f / \partial \theta_f$ 와  $\partial r_f / \partial \phi_f$ 는 부반사경의 한 점 ( $r_f, \theta_f, \phi_f$ )에서 법선단위벡터

$$\hat{n}_s = \frac{\hat{r}_f - \frac{1}{r_f} \frac{\partial r_f}{\partial \theta_f} \hat{\theta}_f - \frac{1}{r_f \sin \theta_f} \frac{\partial r_f}{\partial \phi_f} \hat{\phi}_f}{\sqrt{1 + \left(\frac{1}{r_f} \frac{\partial r_f}{\partial \theta_f}\right)^2 + \left(\frac{1}{r_f \sin \theta_f} \frac{\partial r_f}{\partial \phi_f}\right)^2}} \quad (18)$$

와 부반사경에서의 반사에 대한 관계식

$$\hat{s}_r = \hat{r}_f - 2(\hat{r}_f \cdot \hat{n}_s) \hat{n}_s \quad (19)$$

로부터 구해지며 그 결과는 다음과 같다.

$$\frac{\partial r_f}{\partial \theta_f} = \frac{U}{Q} \quad (20)$$

$$\frac{\partial r_f}{\partial \phi_f} = \frac{V}{Q} \quad (21)$$

단,  $U, V$  및  $Q$ 는 다음과 같다.

$$\begin{aligned} U &= r_f [A(\cos \theta_f \cos \phi_f \cos(\alpha - \beta) \\ &\quad - \sin \theta_f \sin(\alpha - \beta)) + B \cos \theta_f \sin \phi_f \\ &\quad - C(\cos \theta_f \cos \phi_f \sin(\alpha - \beta) \\ &\quad + \sin \theta_f \cos(\alpha - \beta))] \\ V &= r_f \sin \theta_f (-A \sin \phi_f \cos(\alpha - \beta) \\ &\quad + B \cos \phi_f + C \sin \phi_f \sin(\alpha - \beta)) \\ &\quad - C(\cos \theta_f \cos \phi_f \sin(\alpha - \beta) \\ &\quad + \sin \theta_f \cos(\alpha - \beta))] \\ Q &= S - A(\sin \theta_f \cos \phi_f \cos(\alpha - \beta) \\ &\quad + \cos \theta_f \sin(\alpha - \beta)) - B \sin \theta_f \sin \phi_f \\ &\quad + C(\sin \theta_f \cos \phi_f \sin(\alpha - \beta) \\ &\quad - \cos \theta_f \cos(\alpha - \beta))] \end{aligned}$$

식 (22)에서  $A, B, C$ 는 점  $N$ 에서 점  $M$ 으로 향하는 거리벡터의  $x, y, z$  성분이다.

### III. 안테나 설계 및 복사특성

#### 3-1 안테나 설계 사양

여기서는 우리 나라 전역을 서비스영역으로 하는 Ku 대역(Tx : 12.25~12.75 GHz, Rx : 14.0~14.5 GHz) 위성탑재 FSS 오프셋 그레고리안 안테나를 설계하고 그 성능을 평가한다. 그림 5는 설계하(22)하는 안테나의 서비스 영역을 나타낸다. 한반도 전역을 서비스 영역으로 하기 위하여 HPBW는  $1.2^\circ$ ,

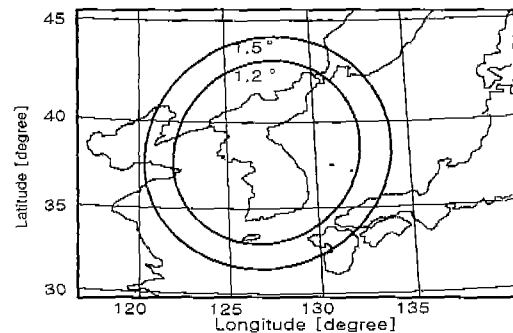


그림 5. 서비스 영역  
Fig. 5. Service area.

표 1. Ku 대역 위성안테나의 설계목표

Table 1. Design goals of Ku band satellite antenna.

구분	사양	
	Tx	Rx
주파수	12.25~12.75 GHz	14.0~14.5 GHz
HPBW	1.2° 이하	1.1° 이하
EOC 빔폭	1.5°	1.5°
이득	> 43 dBi	> 44 dBi
편파	HP	VP
교차편파 레벨	> 33 dB	> 33 dB
사이드로브 레벨	> 30 dB	> 28 dB

EOC 빔 폭은 1.5° 로 하고, 사이드로브 레벨은 30 dB 이하로 그림 2를 만족하도록 한다. 안테나 설계 목표는 표 1로 정한다.

### 3-2 안테나 설계

#### 3-2-1 개구면 전계분포 결정

개구면 전계분포는 안테나의 사이드로브 특성 및 빔폭 특성을 결정한다. 주어진 안테나의 사이드로브 레벨 30 dB 이하를 만족할 수 있도록 광각 저사이드로브 특성을 주는 포물면 분포를 사용한다. 포물면 분포는 다음 식으로 주어진다.

$$E_a(\rho_1) = K + (1-K) \left[ 1 - \left( \frac{\rho_1}{a} \right)^2 \right]^n \quad (23)$$

단, K는 개구면 테두리에서의 전계레벨을 나타내는 상수로 ET(Edge Taper)와는  $K = 10^{-\frac{ET(dB)}{20}}$  의 관계가 있다.

그림 6은 식 (23)의 포물면 전계분포를 갖는 개구면의 edge taper에 따른  $U = ka \sin \theta$  공간에서 나타낸 HPBW이다. 그림에서 개구면의 edge taper가 증가할수록 빔폭이 넓어짐을 알 수 있고, 그림 7은 사이드로브레벨 특성을 나타내고, 그림 8은 개구면 전계분포에 의한 개구면 손실을 나타낸다.

여기서는 안테나 실제 제작시 나타날 수 있는 사이드로브 레벨의 증가를 고려하여 그림 6~8로부터 개구면 edge taper를 14 dB로 한다. 이 때 사이드로브레벨은 -31.74 dB,  $HPBW_U = 3.867$ ,  $ATL =$

-1.01 dB (개구면효율 : 79.25 %)이다. 그림 9는 선정된 개구면의 전계분포를 나타낸다.

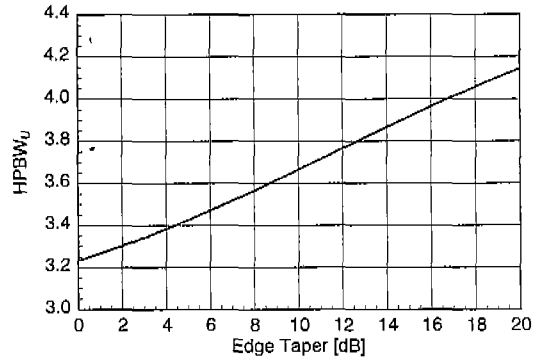


그림 6. HPBW

Fig. 6. HPBW.

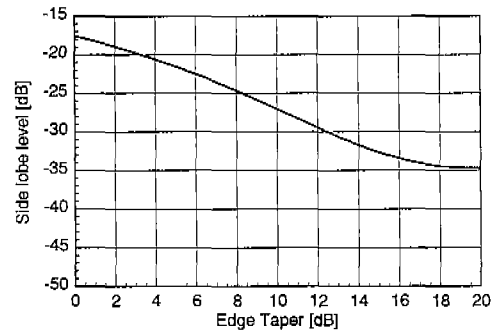


그림 7. 사이드로브 레벨

Fig. 7. Side lobe level.

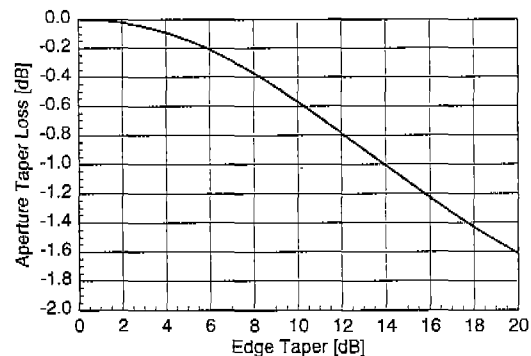


그림 8. 개구면 손실

Fig. 8. Aperture taper loss.

### 3-2-2 개구면 직경 계산

주파수  $f = 12.25$  GHz에서 그림 9의 개구면 전계분포를 가지면서 HPBW  $1.2^\circ$ 를 갖는 개구면의 직경  $D$ 는 식 (2)에  $HPBW_U = 3.867$ 을 대입하여 계산하면 1440 mm가 된다. 그림 10은 직경 1440 mm의 개구면이 그림 9 전계분포를 갖는 경우의 복사패턴이다. 그림 10으로부터 계산된 개구면의 직경과 결정된 개구면분포가 12.25 GHz에서 빔폭  $1.2^\circ$ , 사이드로브 레벨 31.7 dB로 설계목표 30 dB 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

### 3-2-3 안테나 손실 결정

위성탐재 안테나의 손실로서 우주공간의 영향과

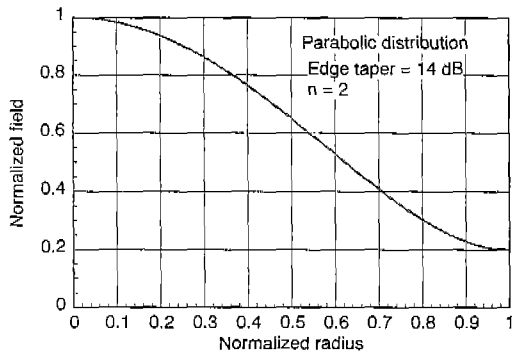


그림 9. 개구면 전계분포  
Fig. 9. Aperture field distribution.

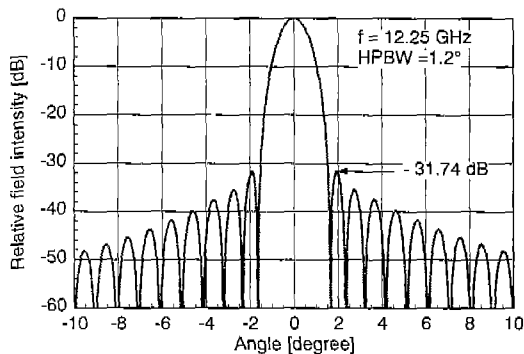


그림 10. 개구면 전계분포에 의한 복사패턴  
Fig. 10. Radiation pattern from aperture field.

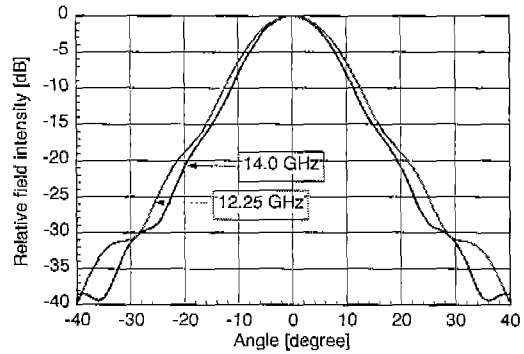


그림 11. 설계된 코루게이트 혼 안테나의 복사패턴  
Fig. 11. Radiation patterns of designed corrugated horn antenna.

안테나 급전시스템 및 제작시 나타나는 손실을 고려하여야 한다. 안테나 손실은 VSWR 손실, W/G 손실, OMT 손실, 1차 복사기의 손실, 반사경면의 손실 등을 포함하여 TX 밴드에서 1.07 dB, RX 밴드에서 1.17 dB로 가정한다.

### 3-2-4 1차 복사기

위성통신용 반사경 안테나의 1차 복사기로서는 대역폭이 넓고 교차편파 특성이 우수한 코루게이트 혼 안테나(Corrugated Horn Antenna)가 널리 사용되고 있다. 1차 복사기는 부반사경에서 스피오버 효율 및 1차 복사기의 길이 등을 고려하여 설계되어야 한다. 여기서는 안테나의 스피오버손실과 반사경 테두리에서의 회절손실을 작게 하기 위하여 1차 복사기의 ET는 TX의 하한 주파수 12.25 GHz에서 18 dB로 한다. 이때 부반사경에서의 스피오버 손실은 0.061 dB(98.6%)가 된다. 오프셋 그레고리안 안테나의 1차 복사기는 주파수 12.25 GHz에서 18 dB 빔폭이  $38^\circ$ 인 코루게이트 혼으로 한다. 설계된 혼 안테나의 개구면 직경은 139 mm. 반개구각은  $12^\circ$ 이다. 그림 11은 설계된 코루게이트 혼의 복사패턴으로  $38^\circ$  빔폭에서의 ET는 12.25 GHz에서 -18.02 dB, 14.0 GHz에서 -19.44 dB이다.

### 3-2-5 초기구조 설계 및 경면수정

계산된 개구면의 크기를 유지한 채 1차 복사기의



표 2. 안테나의 초기구조

Table 2. Initial antenna geometry.

항 목		크 기
주 반사경	개구면직경( $D$ )	1440 mm
	초점거리( $f$ )	788 mm
	오프셋 높이( $h$ )	847 mm
	오프셋각( $\theta_0$ )	49.443°
	반개구각( $\theta_E$ )	40.229°
	최대빔방향( $\theta_C$ )	56.510°
부 반사경	이심률( $e$ )	0.48
	초점거리( $f_s$ )	200 mm
	1차 복사기 경사각( $\alpha$ )	25.521°
	반개구각( $\theta_0$ )	19.038°
	부반사경 축의 틸트각( $\beta$ )	9.099°

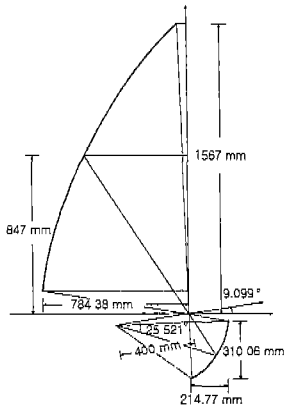


그림 12. 설계안테나의 기하학적 구조  
Fig. 12. Geometry of designed antenna.

배치, 안테나 설치공간 등을 고려하여 안테나의 초기구조를 결정한다. 표 2는 설계된 오프셋 그레고리안 안테나의 초기구조이다.

안테나 경면은 표 2의 초기구조로부터 그림 9의 개구면 전계분포가 되도록 설계하였다. 그림 12는 설계안테나의 구조이다.

### 3-3 설계안테나의 복사특성

여기서는 설계한 Ku 대역 위성탑재 오프셋 그레고리안 안테나의 성능을 평가한다. 설계안테나의 복사패턴은 짧은 시간에 비교적 정확한 계산결과를 주는 Zernike 다항식법을 이용하여 계산하였다<sup>[9]</sup>.

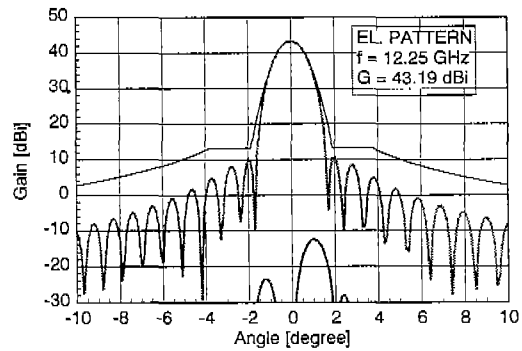
표 3은 설계안테나의 성능을 나타낸다. 설계안테

표 3. 설계안테나의 복사특성

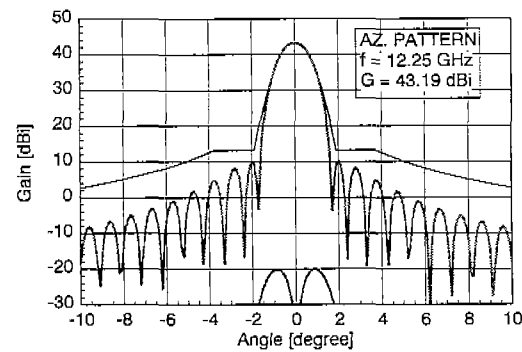
Table 3. Radiation characteristics of designed antenna.

구 분	Tx 12.25 GHz	Rx 14.0 GHz
이 득 (dBi)	43.19	44.11
3dB 빔폭(°)	1.20	1.08
EOC 이득 (dBi)	38.57	38.12
교차편파 레벨 (dB)	55.67	49.99
사이드로브 레벨 (dB)	32.54	35.49

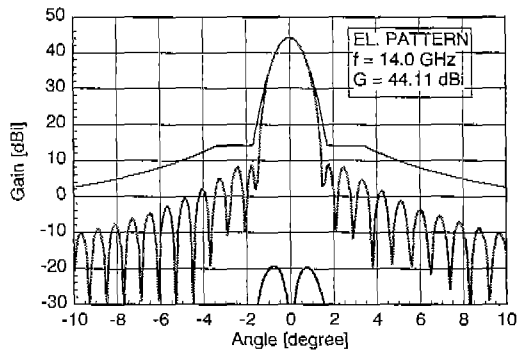
나는 모든 특성이 설계목표를 만족하는 것으로 나타나고 있다. 표 3에서 EOC 이득은 RX의 경우가 TX의 경우보다 작게 나타나고 있다. 이는 주파수가 12.25 GHz에서 14.0 GHz로 증가됨으로써 HPBW가 1.2°에서 1.08°로 좁아졌기 때문에 나타나는 현상이다. 그림 13은 설계안테나의 계산된 복사패턴



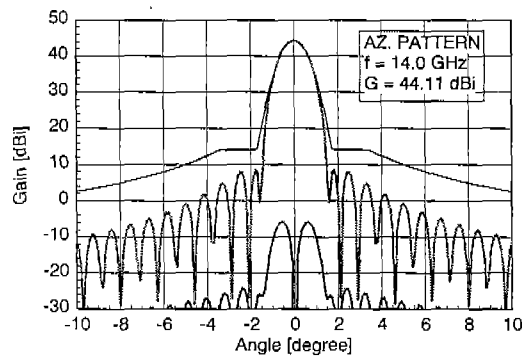
(a) Tx 수직패턴 (수평편파)



(b) Tx 수평패턴 (수평편파)



(c) Rx 수직패턴 (수직편파)



(d) Rx 수평패턴 (수직편파)

그림 13. 설계된 오프셋 그레고리안 안테나의 복사 패턴

Fig. 13. Radiation patterns of designed offset gregorian antenna.

이다. 사이드로브 레벨, 교차편파 레벨이 설계목표를 만족하는 것으로 나타났다.

#### IV. 결 론

본 논문에서는 향후 발사될 통신·방송위성을 위하여 Ku 밴드 FSS 안테나로서 한반도 전역을 서비스 영역으로 하는 오프셋 그레고리안 안테나를 설계하고 복사특성을 고찰하였다. 안테나 설계시 개구면 전계분포에 따른 복사특성 변화를 도출하고 이를 안테나 설계에 이용하였다. 설계안테나는 Tx 12.25 GHz에서 빔폭  $1.2^\circ$ , 이득 43.19 dBi, Rx 14.0 GHz에서 빔폭  $1.08^\circ$ , 이득 44.11 dBi를 갖는 것으로 나타났고, 사이드로브 레벨은 설계목표인 30 dB

이하로 ITU-R의 사이드로브 권고사항을 만족하였고, 교차편파 레벨도 설계목표인 33 dB 이하를 만족하는 것으로 나타났다.

본 논문에서 설계된 경면수정 오프셋 그레고리안 안테나에 우주환경이 안테나에 미치는 영향을 좀더 보완한다면 한반도 전역을 서비스 영역으로 하는 Ku 밴드 위성탐재 안테나로 사용될 수 있을 것으로 생각된다.

#### 참 고 문 헌

- [1] 황보 한, 장상구, "무궁화 1, 2, 3호 위성의 개요 및 활용계획", 한국통신학회지, 제 14권 7호, pp. 669-682, 1997. 7.
- [2] 일본방송협회, 방송위성기술, 일본방송출판협회, pp. ch. 3, 1982.
- [3] 최학근, 박정기, 박성룡, "국내 방송위성을 위한 오프셋 파라볼라 안테나의 설계에 관한 연구", 대한전자공학회 논문지, 26(2), pp. 66-75, 1989. 2.
- [4] Y. Rahmat-Samii and V. Galindo-Israel, "Shaped reflector antenna analysis using the Jacobi-Bessel series", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. AP-28, pp. 425-435, July 1979.
- [5] 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. Antenna Propagat.*, vol. AP-27, pp. 294-304, May 1980.
- [6] 최학근, 이돈신, 최학윤, "Ku 밴드 VSAT 반사경 안테나의 설계 및 복사특성해석", 한국통신학회논문지, 제 18 권 1호, pp. 39-46, 1993. 1.
- [7] 최학근, "오프셋 반사경 안테나의 빔 스캔 특성 해석", 한국전자파학회논문지, 제 10권 제 2호, pp. 207-217, 1999. 4.
- [8] 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. Antenna Propagat.*, vol. AP-27, pp. 294-304, May 1980.
- [9] 최학근, "Zernike 다항식을 이용한 오프셋 복 반사경 안테나의 해석", 대한전자공학회 논문

지, 제 28 권 제 9호, 1991. 9.

[10] R. Mitra, F. Hyjajie and V. Galindo-Israel: "Synthesis of offset dual reflector antennas transforming a given feed illumination pattern into a specified aperture distribution", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. AP-30, pp. 251-259, March 1982.

[11] W. V. T. Rusch, A. Prata, JR., Y. Rahmat-Samii, and R. A. Shore, "Derivation and application of the equivalent paraboloid for classical offset cassegrain and gregorian antennas", *IEEE Trans. Antenna Propagat.*, vol. AP-38, pp. 1141-1149, Aug. 1990.

[12] J. D. Mahony, S. S. Chana, L. Hilliard and M. S. Jessup, "Cross Polar Performance Characteristics of Shaped Gridded Reflector", *IEE Conference Publication*, no. 436, ICAP, April 1997.

[13] ITU, ITU-R Recommendations : Fixed-Satellite Service, pp. 762-678, ITU Publications, 1997.

[14] T. Kitsuregawa, *Advanced Technology in Satellite Communication Antennas : Electrical and Mechanical Design*, ch. 4, Artech House, Boston, 1990.

[15] 최학근, 통신방송위성용 반사판 안테나 RF 설계 및 해석, 한국전자통신연구원 최종보고서, ch.5, 2001.

이 동 진



1986년 2월: 한양대학교 기계공학과 (공학사)  
 1991년 2월: 한양대학교 대학원 기계공학과 (공학석사)  
 1997년 8월~현재: 단국대학교 대학원 전자공학과 박사과정  
 1986년 3월~현재: (주)하이게인

안테나 이사

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파

최 학 근



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

퓨터학부 교수

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파

윤 소 현



2000년: 충북대학교 전파공학과 (공학석사)  
 2000년~현재: 한국전자통신연구원  
 [주 관심분야] 통신위성 안테나, M/W

박 중 흥



1997년: 한양대학교 대학원 기계공학 (공학박사)  
 1992년: 영국 MMs(Matru Marconi Space) 파견(무궁화위성)  
 1994년: 미국 LMAS(Lockheed Martin Astro Space) 파견 (무궁화위성)

1982년~현재: 한국전자통신연구원 통신위성탑재체연구팀장(책임연구원)

[주 관심분야] 위성시스템

한 재 홍



나

1998년: KAIST 항공우주공학과 박사  
1998년~1999년: 일본 동북대 연구원  
2000년~현재: 한국전자통신연구원 통신위성탑재체팀 (선임연구원)  
[주 관심분야] 위성통신, 위성안테

이 성 팔

1990년: Polytechnic Institute of New York(미국) 전기공학 (박사)  
1992년~1995년: Matra Marconi Space (영국) 파견연구원 (무궁화 위성 OJT)  
1988년~1990년: Polytechnic Institute of New York(미국) 연구조교  
1980년~현재: 한국전자통신연구원 통신위성개발센터장 (책임연구원)  
[주 관심분야] 위성시스템