
이동체의 위성 수신용 안테나 설계에 관한 연구

주상호* · 고정호* · 김영구*** · 최익권**

A study on the design for mobile satellite receiver antenna

Sangho Ju* · Jeongho Ko* · Young-Goo Kim*** · Ik-Guen Choi**

요 약

본 논문에서는 Ku-band에서 동작하는 환형의 주름을 가진 코니컬 급전혼을 가진 축 이동 그레고리안 안테나를 개발하였다. 중심축을 기준으로 1.5° 정도 기울어진 부반사경을 회전하는 방식으로 위성 위치 추적이 가능하도록 설계하였으며, 축 이동 그레고리안 안테나의 주반사경, 부반사경의 곡률 및 급전 중심점을 안테나의 효율이 최대가 되도록 최적화하였다. 제안된 반사경 안테나는 12.2GHz에서 33dB(효율: 64%, 이론치: -1dB)의 이득을 가지며 교차편파 레벨은 -21dB 이하이다. 그리고 -14dB의 사이드브레벨을 특성을 보였다. 또한 제작된 안테나로 무궁화 위성수신 실험에서 C/N비는 19dB임을 실제 측정을 통하여 확인하였다.

ABSTRACT

In this paper, we propose a Axially displaced ellipse gregorian antenna with conical feed horn operating in Ku-band. For fast searching satellite position, it is designed the sub-reflector rotates about 1.5° tilted by the central axis. the curvature and feed center of the main-reflector and sub-reflector are optimized to achieve maximum antenna efficiency. The designed reflector antenna shows the gain of 33dB and the cross polarization level of less than -21dB and the side-lobe level of less than -14 dB at 12.2 GHz. and C/N ratio of 19dB is proved by reception experiment of Koreasat with fabricated antenna.

키워드

Ku밴드, 듀얼 모드, 급전 혼, ADE 안테나, 안테나 효율

Key word

Ku-band, Dual mode, Feed Horn, ADE Antenna, Antenna Efficiency

* 충북대학교 전자정보대학 (demian0618@hotmail.com)

** 충북대학교 전자정보대학 교수

*** 한국전자통신연구원

접수일자 : 2010. 05. 18

심사완료일자 : 2010. 06. 20

I. 서 론

정보화 사회에서는 많은 새로운 미디어들이 경쟁적으로 정보를 제공하고 있으며 특히 인터넷 서비스 및 위성 방송의 대중화 시대를 맞아 국내 위성 서비스 수요도 가파른 증가 추이를 보이고 있다. 그러나 선박, 항공기, 차량과 같은 이동체에서는 유선에 의한 정보의 제공이 불가능하고 기존의 공중파 방송은 수신품질이 매우 떨어진다. 그래서 유선이나 무선을 이용한 지상 통신망 접근이 어려운 지역에서 직접위성방송(DBS : Direct Broad-casting system)의 수신은 매우 중요한 정보 전달 매체가 된다. 특히 항해기간이 긴 선박에서는 장기간 육지와 고립되어 있게 된다. 그러나 DBS를 이용하면 훨씬 더 광범위한 해역까지 방송서비스를 제공할 수 있기 때문에 생활환경을 보다 개선할 수 있는 유익한 수단이 될 것이다. 따라서 우리나라에서도 선박과 같은 이동체에서 위성방송을 수신할 수 있는 장치의 개발과 보급이 시급히 요망되고 있다.

현재 주로 사용되는 위성 안테나의 종류는 오프셋 안테나 구조이다. 이는 축대칭 구조의 안테나가 급전 안테나 및 지지 구조물에 의한 블로킹 현상으로 인해 안테나 이득 및 사이드로브 특성이 저하되므로 이를 방지하기 위함이다. 하지만 오프셋 안테나의 경우 축 비대칭 구조이므로 교차편파 레벨이 높다는 단점을 가지고 있다[1].

또한, 이동체에서 위성 방송을 수신하기 위해서는 위성 안테나가 가지는 지향성 특징 때문에 실시간으로 위성에 대한 위치 추적할 수 있는 기능을 기구적 및 전자적으로 구현하여야 한다. 일반적으로 알려진 시스템의 제어방식인 Step-Tracking 방식은 일정한 시간 간격으로 안테나를 미소 각도씩 스텝형태로 이동시키며 수신레벨의 변화를 비교하여 수신 레벨이 증가되는 방향으로 이동해가는 방식이다. 하지만 이런 추적 방식으로 움직임이 빠른 선박등의 이동체에서 위성신호의 추적하기에는 어려움이 있다[2].

따라서 이런 문제를 해결하기 위해서 본 논문에서는 제안된 주름흔 구조의 급전안테나를 이용하여 사이드 로브 레벨 및 안테나의 효율을 개선한 축이동 그레고리안 안테나를 설계하였으며 부반사경의 회전에 의하여 위치추적이 가능하도록 하였다. 제작된 위성 안테나의

이득, 사이드로브 및 편파 분리도에 따른 수신레벨에서의 잡음 등의 특성을 측정하였다.

II. 축 이동 그레고리안 이중 반사경 안테나의 설계

2.1. 축이동 그레고리안 이중 반사경 안테나

카세그레인 안테나와 그레고리안 안테나 등의 이중 반사경 안테나는 일반적인 파라볼릭 안테나의 구조에 급전 안테나와 주반사경 사이에 부반사경이 추가된 구조이다. 이중 반사경 안테나는 포물면 형태의 주반사경과 쌍곡선 형태의 부반사경의 기하학적 특징을 가진다. 때문에 초점을 지나 부반사경과 주반사경을 거친 모든 전파는 입사각과 반사각의 원리에 의하여 반사경 축과 평행으로 진행하며 초점에서 주반사경과 부반사경을 통해 개구면에 도달하는 모든 전파가 이동한 경로의 길이는 일정하다. 반사경안테나는 이러한 원리를 바탕으로 설계된다. 따라서 추가된 부반사경은 부반사경 쌍곡선의 변화에 따라서 유효 초점거리가 길어지고 스페셜 효율을 향상할 수 있다.

그러나 부반사경이 추가된 이중 반사경 안테나는 부반사경에 의한 블로킹 현상 때문에 안테나의 효율이 감소하며, 사이드로브 레벨이 높아지게 된다. 또한 기하학적 구조상 주반사경의 개구면에서 가장 전계의 세기가 강한 부분에서 부반사경으로 반사된 전계의 일부가 급전 안테나로 반사되는 경우도 있는데 이러한 경우 안테나의 효율을 감소시키는 요인으로 작용한다[3].

기존의 이중 반사경 안테나의 단점을 보완하기 위하여 제안된 ADE(Axially Displaced Ellipse) 반사경 안테나는 일반적인 그레고리안 안테나의 특별한 경우로 원점을 중심으로 Φ 만큼 회전된 좌표축 위에 새로운 초점을 위치시키고 회전된 타원축 위에 위치한 초점과 주반사경의 초점을 일치시켜 안테나를 구성한다는 점에서 그레고리안 안테나와 차이가 있다. 이러한 특별한 기하학적 구조로 초점이 축에서 벗어난 그레고리안 안테나를 사용하여 급전안테나에서 복사된 전계가 가장 강한 부분은 주반사경의 가장자리로 진행하고 가장 약한 부분은 주반사경의 가장 안쪽으로 진행하여 급전 안테나로 인한 블로킹 현상으로 발생하는 효율저하를

개선한다. 또한 급전 안테나에서 방사된 전계가 부반사경에 반사되어 급전 안테나로 역유입되어 발생하는 부정합을 개선할 수 있다. 따라서 반사손실 특성이 좋고 일반적인 이중 반사경 안테나에 비하여 크기를 감소시킬 수 있어 안테나의 효율 및 사이드로브를 개선할 수 있다.

그림 1은 축이동 그레고리안 안테나의 기하구조를 나타내며, 표 1은 그림 1의 축이동 그레고리안 반사경 안테나의 대표적인 파라미터들을 정의하였다.

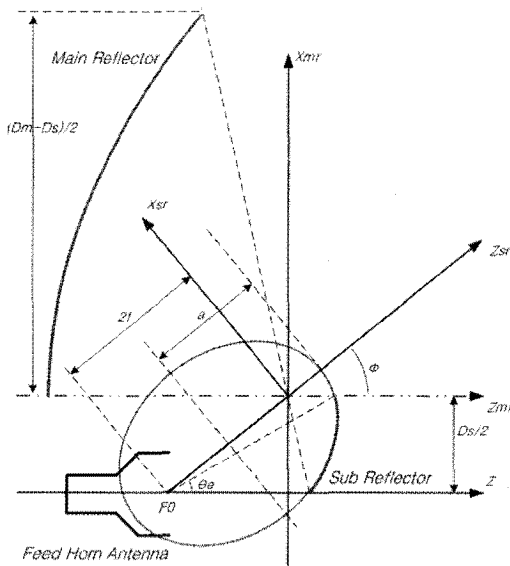


그림 1. ADE 그레고리안 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry for the ADE gregorian antenna.

표 1. 그레고리안 안테나의 파라미터
Table 1. Parameters of the gregorian antenna.

변수	변수의 정의
D_m	포물면 주 반사경의 지름
D_s	쌍곡면 부 반사경의 지름
F	포물면 주 반사경의 초점거리
f	쌍곡면 부 반사경의 초점거리
L_m	포물면에서 혼 위상 중심까지의 거리
L_s	혼 위상 중심에서 쌍곡면까지의 거리
a	쌍곡면의 중심에서 쌍곡면까지의 거리
θ_c	Z축과 부 반사경 가장자리 조사각도

$$z_{mr}(x_{mr}, y_{mr}) = \frac{x_{mr}^2 + y_{mr}^2}{4F} - F \tag{1}$$

$$\text{with } (x_{mr}^2 + y_{mr}^2) \leq \frac{Dm^2}{4}$$

$$z_{sr}(x_{sr}, y_{sr}) = a\sqrt{1 + \frac{x_{sr}^2 + y_{sr}^2}{f^2 - a^2}} - f \tag{2}$$

$$\text{with } (x_{sr}^2 + y_{sr}^2) \leq \frac{Ds^2}{4}$$

$$z_{mr}(x_{mr}) = \frac{x_{mr}^2}{4F} - F \tag{3}$$

$$\text{with } 0 \leq x_{mr} \leq \frac{Dm - Ds}{2}$$

$$z_{sr}(x_{sr}) = a\sqrt{1 + \frac{x_{sr}^2}{f^2 - a^2}} - f \tag{4}$$

$$\text{with } -\frac{Ds}{2} \leq [x_{sr}] \leq 0$$

일반적인 포물면 주반사경과 쌍곡면 부반사경의 기하구조는 각각 식 (1),(2)와 같이 표현된다. 축이동 그레고리안 반사경 안테나는 앞서 언급한 바와 같이 타원축이 원점을 중심으로 Φ 만큼 회전되어있다. 따라서 그림 1에 보이는 바와 같이 원점과 일치하고 있는 타원의 초점 F_0 은 회전 대칭축상에 위치하고 부반사경의 초점은 Φ 만큼 회전된 타원축상에 위치하게 된다[4],[5]. 식 (3),(4)는 축이동그레고리안 안테나의 포물면 주반사경과 쌍곡선 부반사경의 기하구조를 수식적으로 정의한다. 주반사경의 포물면은 회전축인 Z축에서 $Ds/2$ 만큼 움직인 (X_{mr}, Z_{mr}) 축에 위치하며 부반사경의 쌍곡선은 좌표 (X_{sr}, Z_{sr}) 에 위치한다[6].

2.2. 급전 혼 안테나의 설계

반사경 안테나의 급전 안테나로는 원뿔형, 주름형, 이중모드 혼 안테나가 일반적으로 사용된다. 급전안테나의 개구면 크기나 반사경 안테나에 있어서 급전 안테나는 전체 안테나 성능을 좌우할 만큼 중요하다. 특히 급전 혼 안테나에서의 개구면의 크기는 반사경 안테나 전체의 스페어 효율을 결정하므로 정확한 설계가 필요하

다. 일반적인 원뿔형 혼 안테나는 개구면 지름과 혼의 길이에 따라 최적의 이득 특성을 얻을 수 있는 장점이 있으나 방사패턴이 회전 대칭이 아님으로 얻을 수 있는 반사경 안테나의 효율은 제한적이다. 반면 주름형 혼 안테나는 부엽이 거의 없고 대칭적인 복사 패턴을 형성하나 구조가 복잡하다. 그에 반해 이중모드 혼 안테나는 설계가 쉽고 원형 대칭적이며 이중모드를 사용함으로써, 혼 안테나의 전체적인 길이를 줄일 수 있고, 반사경 안테나의 형태나 방향에 따라 혼 안테나의 방사패턴을 자유로이 조절할 수 있다.

본 논문에서는 고효율을 가지며 사이드 로브 특성을 개선한 45cm 크기의 반사경 안테나를 설계하고자 원형의 주름을 가진 프린지를 이용한 코니컬 혼 안테나를 이용하였다. 그림 2는 설계된 급전 혼 안테나의 구조를 나타낸다.

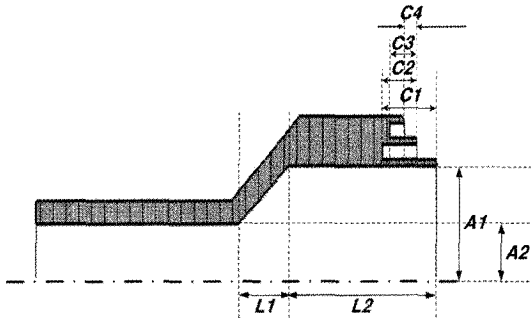


그림 2. 급전 혼 안테나의 구조
Fig. 2. Structure of feed horn antenna.

III. 설계된 안테나의 제작 및 측정

3.1. 급전 혼 안테나의 제작 및 측정

반사경 안테나에 이용되는 급전 혼 안테나는 낮은 부엽 레벨의 방사패턴을 가져야 하고, 양호한 임피던스 정합특성을 가져야 한다. 또한 빔 폭의 대칭성을 확보하여 위상중심에서 전계와 자계가 일치하도록 하여야 한다. 설계 목표치를 만족하는 안테나를 설계하기 위해 급전 혼 안테나의 크기 및 스펙오버효율을 고려하여 혼 안테나는 반사경의 테두리에서 -10dB의 edge taper를 만족하

도록 설계하였다. 표 2는 설계된 급전 혼 안테나의 설계 변수를 나타내며 그림 3은 설계된 혼 안테나의 반사손실 시뮬레이션 결과이며 -20dB이하로 양호한 정합 상태를 보인다.

표 2. 제안된 급전 혼의 설계 변수(단위:mm)
Table. 2. Design parameters of the proposed feed horn.

A1	A2	L1	L2
8.75	17	15	43
C1	C2	C3	C4
16	10	8	4

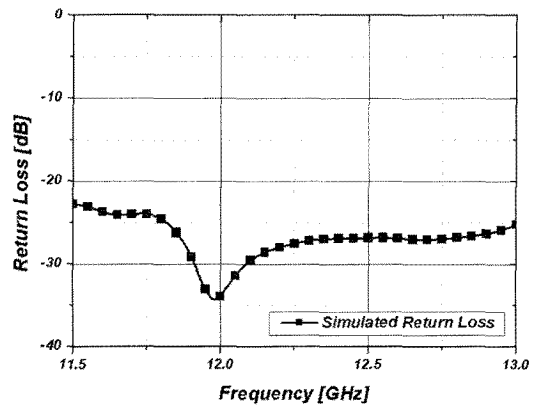


그림 3. 급전 혼의 반사손실
Fig. 3. Return Loss of feed horn.

또한 그림 4는 혼의 개구면의 위상중심에서의 자계 및 전계의 시뮬레이션결과를 나타내며 위상중심은 급전 혼의 개구면에 위치하며 위상중심에서의 근거리 전계와 자계는 거의 일정함을 확인할 수 있다.

그리고 그림 5의 측정된 혼 안테나의 원거리 복사패턴을 확인해 보면 10dB 대역폭이 12.2GHz에서 계산된 결과가 88.4°, 측정된 결과가 90.8°로 계산된 결과와 측정된 결과가 거의 일치함을 알 수 있다. 또한 일반 코니컬 혼 안테나와 비교하여 부엽레벨이 약 7-10dB 감소하였음을 확인하였다. 측정된 급전 혼 안테나의 이득은 11.75GHz, 12.25GHz, 12.75GHz에서 각각 12.2dB, 12.3dB, 13dB을 가진다.

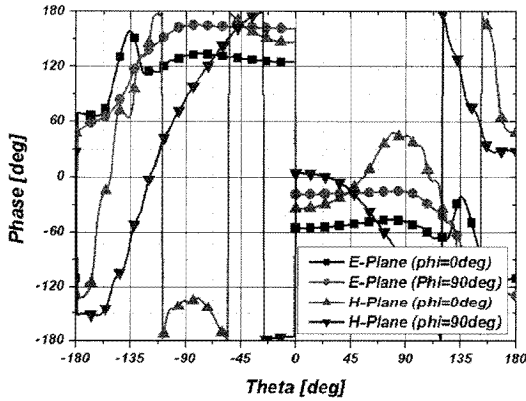


그림4. 급전 혼의 근거리 복사패턴
Fig. 4. Nearfield radiation pattern of feed horn.

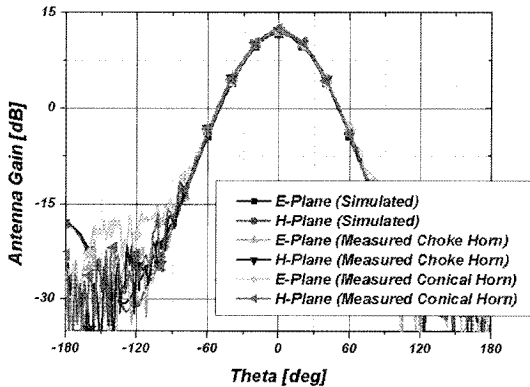


그림5. 급전 혼의 원거리 복사패턴
Fig. 5 Farfield radiation pattern of feed horn.

3.2. 반사경 안테나의 제작 및 측정

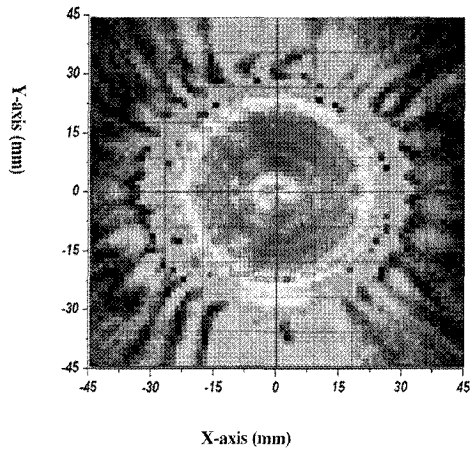
반사경 안테나의 주반사경과 부반사경을 설계할 때 목표하는 안테나의 이득과 안테나의 효율을 고려하여 주반사경의 크기와 곡률을 결정하고 부반사경으로 인하여 발생하는 블로킹 효율 및 피드 혼의 크기, 부반사경의 회전을 위한 모터부의 크기를 고려하여 부반사경의 크기를 결정한다. 그리고 설계된 급전 혼 안테나의 위상 중심에서 부반사경의 테두리로 향하는 확장각 (Subtended angle)을 고려하여 부반사경의 곡률을 결정한다. 표3은 설계된 반사경 안테나의 설계 변수를 나타낸다.

표3. 설계된 반사경 안테나의 파라미터
Table. 3. Parameters of designed reflector antenna.

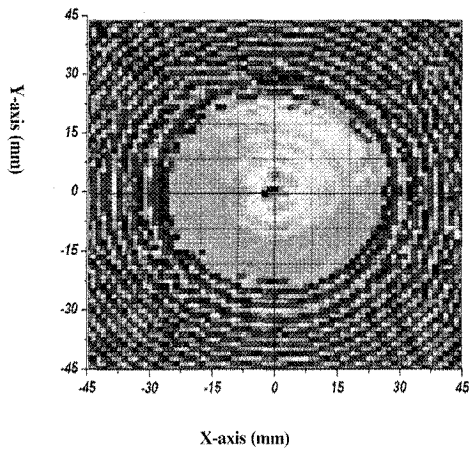
변수	값	비고
D_m	450mm	
D_s	67mm	모터부의 크기: 45mm
F	112.5mm	$F/D_m = 0.25$
f	18.615mm	
L_m	96.26mm	
L_s	21.664mm	
a	27.8mm	
θ_e	45°	-10dB Edge Taper

다음 그림6와 그림7은 제작된 안테나의 개구면 전계 분포 및 원거리 방사패턴 측정결과를 나타낸다. 먼저 NSI 장비를 이용하여 측정된 개구면 전계 분포를 확인하면 전계의 세기 및 위상은 동위상의 일정한 전계가 주반사경의 개구면에 분포하고 있음을 확인할 수 있다. 위상분포에서 Y축 0 ~ 22.5mm부분에서 분포하는 물결 현상은 부반사경이 기울어져 있기 때문에 생기는 현상으로 사료된다. 다음으로 전파 무반사실에서 측정된 원거리 방사패턴을 먼저 수행하였던 시뮬레이션 결과와 비교해 보면 시뮬레이션 결과와 안테나의 최대이득이 11.7GHz, 12.2GHz, 12.7GHz에서 각각 33.6 dB, 34.0dB, 34.1dB였고, 측정결과는 33.1dB, 33.1 dB, 33.2dB로 약 0.5 ~ 1dB의 차이를 가진다. 부엽의 크기는 약 -14dB였다. 시뮬레이션 결과와 측정 결과의 차이는 급전 혼 안테나의 위상중심과 주반사경의 초점이 일치하지 않음으로써 나타나는 위상오차와 부반사경을 고정하기 위하여 사용된 3각 지지대에 의한 블로킹 현상이라고 사료된다. 또한 측정된 교차편파는 E-평면에서 -29dB이하, H-평면에서 -21dB이하로 위성통신에 적합함을 확인할 수 있다. 안테나에서 출력된 반송파 대 잡음의 비 즉 C/N (Carrier to Noise)비는 위성방송의 수신 품질을 평가하는 척도가 된다. C/N을 구하는 계산식은 식(5)와 같다[7].

$$C/N = \frac{EIRP \cdot L_f \cdot R \cdot a \cdot G_a \cdot N_a}{KB[aT_a + (1-a)T_0 + (N/F-1)T_0]} \quad (5)$$



(a)

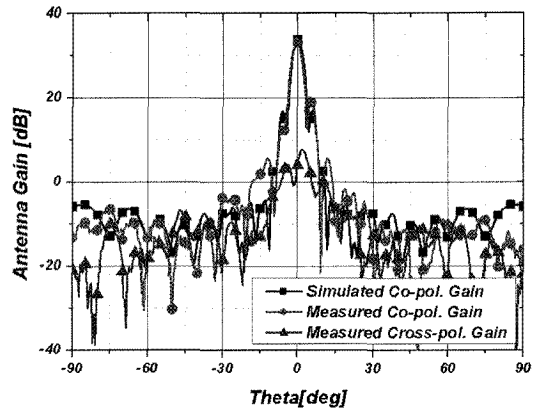


(b)

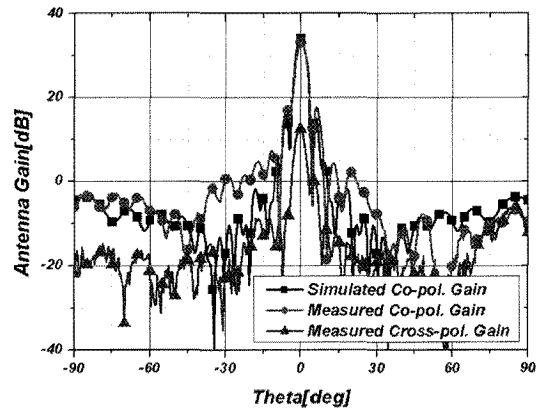
그림6. 주반사경의 개구면 전계 분포
(a) 측정된 전계세기 분포
(b) 측정된 전계위상 분포

Fig. 6 The E-field distribution of main reflector aperture.
(a) Measured E-field Amplitude distribution
(b) Measured E-field Phase distribution

여기서 EIRP는 유효 등방성 복사전력, L_f 는 자유공 간손실, R은 강우감쇠, a 는 총커플링 손실, C_n 는 수신 안테나 이득, N_s 는 상향회선 C/N에 의한 수신 C/N 열화, K는 볼츠만 상수, B는 수신기의 채널 대역폭, T_a 는 안테나 잡음온도, T_0 는 290°K 기준온도, N/F는 LNB의 잡음지수를 나타낸다.



(a)



(b)

그림7. 축이동 그레고리안 안테나의 이득

(a) E-평면 이득 (b) H-평면 이득

Fig. 7 The Gain of ADE antenna.
(a) The E-plane gain (b) The H-plane gain

그림8은 맑은 날 안테나에 55dB의 이득을 갖는 상용 LNB를 결합하여 스펙트럼 분석기를 이용하여 측정된 C/N이다. 측정된 위치(청주)에서의 EIRP가 63dBW라고 가정하면 맑은 날 기준 C/N비 계산결과는 19dB이며 측정된 C/N비는 평균 18dB로 제안된 안테나는 위성신호 수신상태가 스파클 잡음이 전혀 없는 우수한 등급으로 분류될 수 있다.

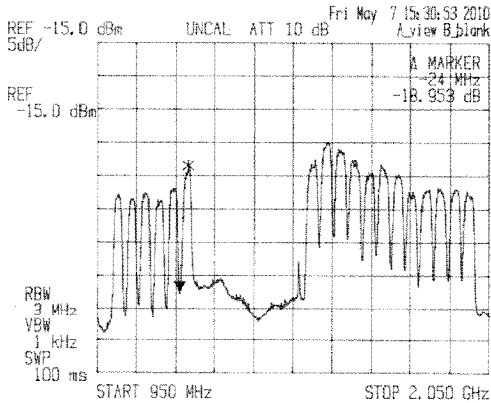


그림8. 무궁화 위성의 반송파 신호 수신
Fig. 8 Measured Carrier signal of Koreasat.

IV. 결론

본 논문에서는 환형의 주름을 가진 코니컬 안테나를 이용하여 고효율의 사이드로브가 낮은 Ku대역의 직경 45cm의 소형 경면수정 ADE 반사경 안테나를 설계 제작 하였고 복사특성을 고찰하였다. 반사경 안테나에 이용할 수 있는 최적의 급전 혼 안테나를 설계하여 설계된 1차 복사기를 바탕으로 생성되는 주반사경의 전계분포를 고려하여 edge Taper 및 주반사경과 부반사경의 곡률을 결정하였다. 제작된 안테나의 최대이득은 12.2GHz에서 33.1dB (효율: 64%, 이분치: -1dB), 사이드 로브 레벨은 -14dB, 교차편파 레벨은 -21dB 이하로 측정되었다. 본 논문에서 제안된 바와 같이 주름을 가진 프리즈를 이용한 코니컬 혼을 이용하여 설계된 반사경 안테나는 선박과 같은 빠른 이동체에서의 위성 송수신 안테나로 사용이 가능할 것이다.

참고문헌

[1] 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.

[2] 엄광식, 박명관, "부반사판 회전에 의한 함정용 위성 안테나의 위성 추적 방법", 전자공학회 논문지, 제 44권, SC편, 제3호, 198-203, 2007.

[3] Alexandre, Tom Milligan, "Amplitude Aperture Distribution Control in Dislocated-Axis Two-reflector antenna", *IEEE Magazine*, vol. 139, no. 6, pp. 58-63.

[4] C. Granet, "Desinging axially symmetric casse-grain or gregorian dual reflector antennas from combinations of prescribed geometric parameters", *IEEE Antennas and propagation*, vol. 40, no. 2, pp. 76-82, Apr. 1998.

[5] 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.

[6] C. Granet, "A simple procedure for the design of classical displaced axis dual reflector antennas using a set of geometric parameters", *IEEE Antennas and propagation*, vol. 41, no. 6, pp. 64-72, Dec. 1999.

[7] Dennis Roddy, *Satellite Communications*, 3rd Ed., McGraw-Hill, 2001.

저자소개

주상호 (Sangho Ju)



2007년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)

2007년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정

※ 관심분야: RF/안테나

고정호 (Jeongho Ko)



2009년 2월 : 충북대학교 전자공학과 (공학사)

2010년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전파공학과 석사과정

※ 관심분야: RF/안테나



김영구 (Young-Goo Kim)

1999년 2월 : 청주대학교
반도체공학과 (공학사)
2002년 2월 : 충북대학교 전파공학과
(공학석사)

2009년 8월 : 충북대학교 전파공학과 (공학박사)
2002년 3월 ~ 현재 : 한국전자통신연구원 근무
※ 관심분야 : 위성 배열 안테나, 스마트 안테나,
RF/MW 부품 및 시스템



최익권 (Ik-guen Choi)

1974년 2월 : 서울대학교 자원공학과
(공학사)
1976년 2월 : 서울대학교 자원공학과
(공학석사)

1986년 9월 : 미국 오하이오 주립대 대학원 전자공학과
(공학박사)
1976년 3월 ~ 1979년 6월 : 육군 제3 사관학교 교수부
물리학 전임강사
1981년 10월 ~ 1986년 8월 : 미국 오하이오 주립대
Electro Science Lab. 연구조교
1986년 9월 ~ 1987년 8월 : 미국 메사추세츠 주립대
안테나 연구실 연구원
1987년 9월 ~ 1993년 3월 : 한국 전자통신연구원
이동통신연구소 전파공학연구실 실장
1993년 9월 ~ 1994년 3월 : 전북대학교 정보통신공학과
조교수
1994년 3월 ~ 현재 : 충북대학교 전자정보대학
(전파공학전공) 교수
※ 관심분야 : 적응 배열 안테나, EMI/EMC, RF/MW
통신소자