

논문 2008-45TC-1-12

모노펄스안테나 시스템에 적용되는 2중 반사경 설계

(Design of Dual Reflector for Monopulse antennas System)

김 원 섭*

(Won-sub Kim)

요 약

본 논문에서는 모노펄스 안테나 시스템에 적용되는 2중 반사경에 관하여 연구하였다. 연구 결과 주반사판의 효율이 70% 이상인 경우 반사경의 크기가 설계에 사용되는 최저 주파수(11.7GHz)의 30파장(약77cm)이면 최저주파수의 이득은 37.9dBi, 최대 주파수(12.7GHz)에서는 38.6dBi의 이득을 얻을 수 있다. 또한 부반사판의 성능 개선을 위한 방안으로 반지름 D이고 초점거리 F_c 인 경우 초점거리 대 지름의 비가 더 클수록 원거리 장에서의 교차편파가 개선되며 반사판의 테두리에서의 구면 확산손실이 감소한다. 또한, 급전 안테나의 측면 변위(x_s, y_s 평면에서)에 따른 방사패턴의 약화 정도가 더 작아지기 때문에 주빔의 주사 성능이 개선됨을 확인하였다.

Abstract

In this paper, we studied on dual reflector adjusted to monopulse antenna system. As a result, when the efficiency of main reflector is more than 70%, The size of reflector is 30 wavelength of maximum frequency and minimum frequency gain is 37.9dBi, and Maximum frequency gain is 38.6dBi. Also, when a radius is D and Focus-distance is F_c , a scheme for efficiency improvement of Sub Reflector is to increase the Focus-distance to Diameter Ratio. In this case, Cross polarization in Far field improved and spherical spreading loss in circumference of reflector reduced. The influence of Radiation pattern followed by the side displacement of feed antenna(at x_s, y_s) is decreased, it is confirmed that performance of scanning is improved.

Keywords : 모노펄스안테나, 주반사판, 부반사판, 반사계수

I. 서 론

최근 고이득 안테나를 이용한 이동체 탑재 위성추적 안테나 시스템인 경우의 적용분야는 차량, 선박, 비행기 등의 이동체에 탑재 하여 이동 중에도 방송의 수신이나 통신을 할 수 있는 이동형 송수신 안테나 시스템의 중요성이 증대되고 있는 추세이며, 수요가 급증하고 있는 Reflector형 이동체 탑재 위성추적 안테나 시스템의 경우 안테나의 지름이 45cm 이상의 고이득 안테나가 사용되어야 되는 위성의 환경을 가진 지역(국가)이 많이 있어 사용이 증가하고 있다.

45cm 이상의 Reflector형 고이득 안테나를 이용하여 구현되는 기존의 위성 추적 시스템인 경우 이동시 위성 방송을 수신할 경우 일반적으로 알려진 시스템의 제어 방식인 Step-Tracking 방식으로는 추적 속도에 한계를 가지고 있다. 본 논문에서는 Horn Antenna를 포함하고 있는 2x2 Array Feed Antenna와 주 반사경을 사용하여 추적속도가 향상된 이동 위성방송 수신 안테나 시스템 설계를 위한 2중 반사경 설계 및 구현에 대하여 연구하였다.

II. 전체 시스템

본 논문 적용되는 전체 시스템 구조는 그림 1과 같다. 시스템의 구성은 Main 및 Sub Reflector와 2x2배열

* 정회원, 청주대학교 전자정보공학부
(Dept. of Electronics and Information Engineering,
Cheongju University)
접수일자:2007년10월2일, 수정완료일:2008년1월15일

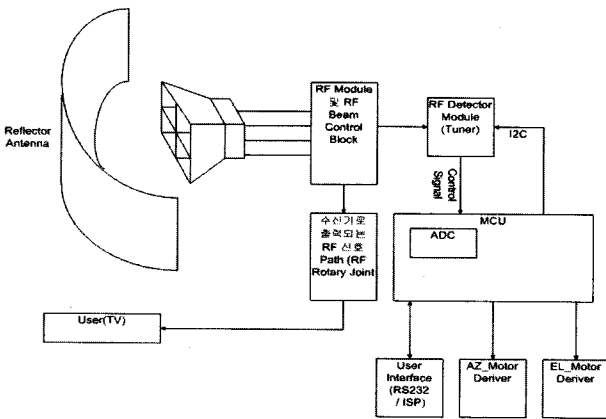


그림 1. 전체 시스템 구성도
Fig. 1. Block daigram of system.

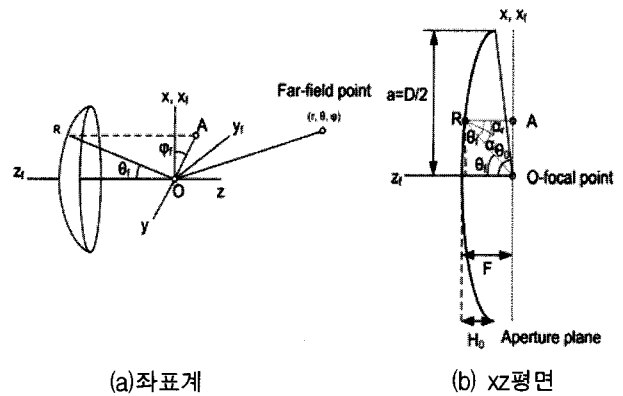


그림 2. 축대칭 포물선 반사판 안테나
Fig. 2. Axially symmetrical Reflector Antenna.

혼 안테나 Block, RF Beam Control Block, 제어회로 Block으로 구성된다.

1. 70%이상의 효율을 갖는 주 반사경 설계

이득이 높은 안테나를 사용하는 경우 위성의 신호를 안정적으로 수신할 수 있기 때문에 이득이 높은 안테나를 사용한다. 이득을 높이기 위해서는 안테나의 크기를 증가시키는 방법과 개구효율을 증가시키는 방법이 있다. 가공성과 적용성을 고려한다면 효율을 증가시키는 방법이 일반적으로 많이 사용된다.

모노펄스 피드를 사용하는 경우 합패턴과 차패턴의 빔의 형상 이 다르기 때문에 이에 따른 효율저하가 나타나는데 이를 고려하여 반사경을 설계한다.

가장 간단한 반사판 안테나는 파장에 비해 큰 반사 표면과 그 보다 훨씬 작은 급전 안테나 두 부분으로 구성된다. 가장 흔히 사용되는 형태는 그림 2에 보인 포물면 반사판 안테나이다. 반사판은 포물선을 회전시킨 것이다. 반사판과 반사판의 축을 포함하는 임의 평면과의 교차선은 아래의 그림 2에 보인 것과 같은 포물선 형태의 곡선이 된다. 포물면 반사판 표면의 모양을 기술하는 방정식을 (ρ', z_f) 를 이용한 구형좌표로 나타내면

$$(\rho')^2 = 4F(F - z_f), \rho' \leq a \tag{1}$$

이다. 접시의 정점은 $\rho'=0$ 와 $z_f=F$ 에, 접시의 가장자리는 $\rho'=a$ 와 $z_f=F-a^2/4F$ 에 대응된다.

주어진 반사판 축으로부터의 변위 ρ' 에 대해서, 반사판 표면 위의 점 R은 초점 O에서 거리 rf만큼 떨어져 있다. 포물면 곡선은 극좌표계(rf, θ_f)로 다음과 같이 표현될 수도 있다.

$$r_f = \frac{2F}{1 + \cos\theta_f} = F \sec^2 \frac{\theta_f}{2} \tag{2}$$

그러면 이 거리 rf 의 개구면상에서의 투영은

$$\rho' = r_f \sin\theta_f = \frac{2F \sin\theta_f}{1 + \cos\theta_f} = 2F \tan \frac{\theta_f}{2} \tag{3}$$

이다. 정점 ($\theta_f=0$)에서는 $rf = F$ 이고 $\rho'=0$ 이다. 반사판 가장자리 ($\theta_f=\theta_0$)에서는, $rf = 2F/(1+\cos\theta_0)$ 이고 $\rho'=a$ 이다.

축대칭 포물면 반사판은 두 변수, 즉 지름 D와 초점 거리 F로 완전하게 규정된다. 등 간격으로 각 크기와 모양을 나타내는 D와 F/D로 반사판을 기술하기도 한다. '초점거리 대 지름'의 비 F/D는 접시의 곡률을 나타낸다. F/D가 무한대로 접근하는 극한 에서는 반사판이 평면이 된다. 평탄한 반사판은 초점이 무한대에 있으므로, 수직으로 입사되는 평면파는 평면파로 반사된다^[1].

그림 3은 흔히 사용되는 반사판에 연관되는 모양들을 보인 것이다. F/D가 2.5일 때, 초점은 테두리를 통과하는 평면에 있다. 아래의 그래프에 표현된 바와 같이, 급전 축(zf)에서 반사판 테두리 까지 각도는, 점 E($\rho'=a$, $\theta_f=\theta_0$)에서 ρ' 에 대한 수식을 이용하면 F/D와 다음의

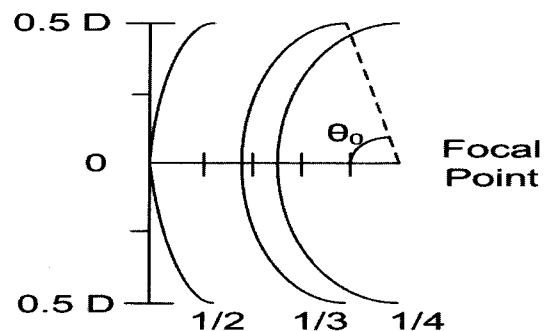


그림 3. F/D값에 대한 반사경의 형상
Fig. 3. Reflector Aspect for F/D Value.

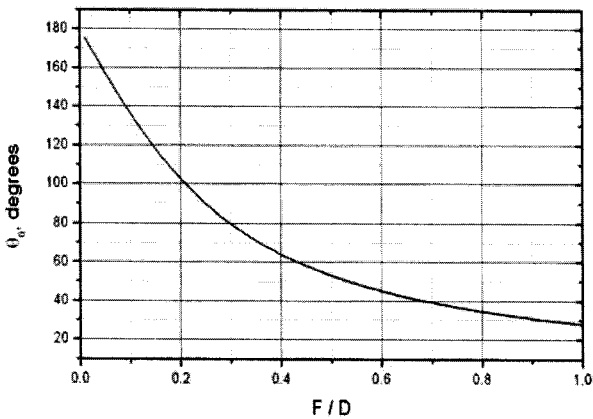


그림 4. 반사기 테두리 각도 θ_0 대 F/D
 Fig. 4. θ_0 ver F/D .

관계가 있다^[2].

$$\frac{F}{D} = \frac{1}{4 \tan \frac{\theta_0}{2}}, \quad \theta_0 = 2F \tan^{-1} \left(\frac{1}{4 \left(\frac{F}{D} \right)} \right) \quad (4)$$

다음 두 가지 중요한 성질 때문에 포물면 반사판이 안테나로 유용하게 사용된다.

- 초점 O를 지난 모든 광선들은 반사판에서 반사된 후 나란히 진행하고, 반사된 광선들은 반사판 축(z축)에 평행이다^[3].

- 초점에서 반사판, 그리고 개구면까지 이르는 모든 경로 길이는 동일하며 $2F$ 이다^[4].

본 논문에서는 주반사판의 크기가 최저주파수의 30 파장(77cm)을 기준으로 반사경 안테나 시스템을 설계하였다. 안테나의 효율이 안테나 이득에 지배적인 역할을 하므로 효율에 따른 이득을 구하였다. 반사판 안테나는 보통 그 곳을 통해 원거리장까지 전력이 흘러나가

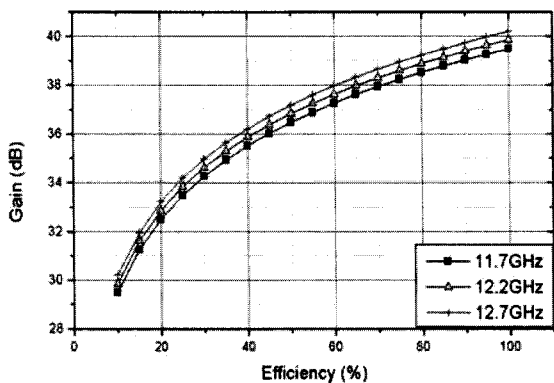
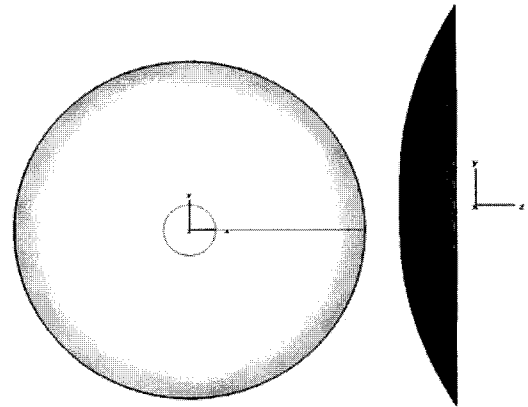


그림 5. 효율에 따른 이득 특성
 Fig. 5. Efficiency ver Gain(dB).



(a) 전방 형상 (b) 측면 형상

그림 6. 주 반사경 형상

Fig. 6. Main Reflector Aspect.

는 뚜렷한 물리적인 개구면적 A_p 를 가지고 있다. 개구면 안테나의 최대 도달 이득은

$$G_{max} = D_u = \frac{4\pi}{\lambda^2} A_p \quad (5)$$

이며 다음 그림 5에 나타내었다. 효율이 70%이상인 경우 설계주파수 대역에서 38dB이상의 이득을 갖는 것을 볼 수 있다.

F/D 의 비율은 0.35를 사용하여 주반사경의 초점에서 반사경을 바라보는 각도는 62.7도이다. 그림 6은 주 반사경의 형상을 보였다.

2. 부반사판 설계

단일 반사판 안테나의 급전과 주 반사판 사이에 부반사판을 삽입해 이중 반사판(dual reflector)을 구성할 수 있다. 가장 흔한 이중 반사판은 아래 그림에 보인 카세그레인 반사판 (Cassegrain reflector) 안테나이다. 주 반사판은 포물면(Parabolic)이고 부반사판은 쌍곡면(Hyperbolic) 또는 타원곡면(Elliptic)이다. 이중반사경의 기하구조도 역시 초점이 맞춰진 시스템을 구성한다. 즉 대칭축에 평행하게 입사되는 평면파에 연관된 광선들은 두 반사판에서 반사되어 한 점, 즉 초점 F' 에서 교차된다. 아래 그림의 가상초점(Virtual focal point) F 는 전달되는 광선들이 부 반사판에서 반사된 다음 구면파면의 형태로 그 곳에서 방출되는 것으로 보인다. 즉 급전은 부 반사판에 비쳐진 영상이다. 가상초점을 사용함으로써 유효 초점 거리가 증가하게 되는데 이러한 유효초점거리의 증가로 세 가지 장점들이 생긴다^[5].

- 반지름 D 이고 초점거리 F_e 가 되어 초점거리 대

지름의 비가 더 클수록 원거리 장에서의 교차편파가 개선되는 특성이 있다.

- 반사판의 테두리에서의 구면 확산손실이 감소한다.
- 초점거리 대 지름의 비가 더 클수록 급전 안테나의 측면 변위(x_s, y_s 평면에서)에 따른 방사패턴의 악화 정도가 더 작아지기 때문에 주빔의 주사 성능이 개선된다.

평탄한 주반 사판을 갖는 초점거리 대 지름의 비가 무한대인 극한의 경우에는 비수직 입사에 대한 반사에 따른 악화가 전혀 발생하지 않는다^[6].

그림 7은 카시그레인, 그레고리안 안테나의 경우 부 반사경에 반사된 파가 피드로 직접 반사되거나 피드에 의해 차폐영역이 발생하여 필드가 강한 부분은 실질적으로 방사가 나타나지 않는다. 그렇기 때문에 이를 보정하기 위해 초점이 축에서 벗어난 그레고리안 안테나를 사용하여 파가 가장 강한부분을 주 반사경의 테두리로 보내고 파가 약한 부분은 주반사경의 안쪽으로 보내 차폐에 의한 효율저하를 개선한다.

그림 8과 같은 구조를 사용함으로써 주 반사경의 초점을 사용하지 않고 z축의 중심에서 벗어난 초점을 사용함으로써 부 반사경과 피드에 의한 차폐영향을 배제한다.

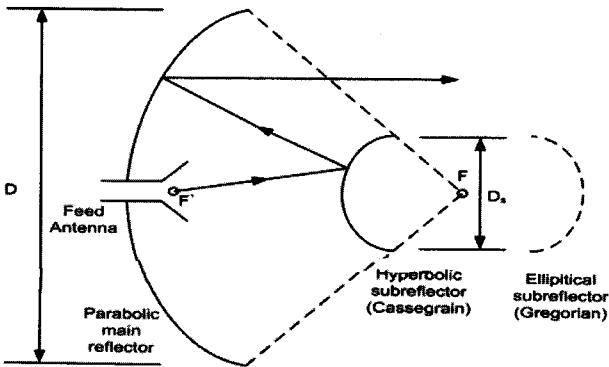


그림 7. 축대칭 이중반사판
Fig. 7. Axially symmetrical Dual Reflector.

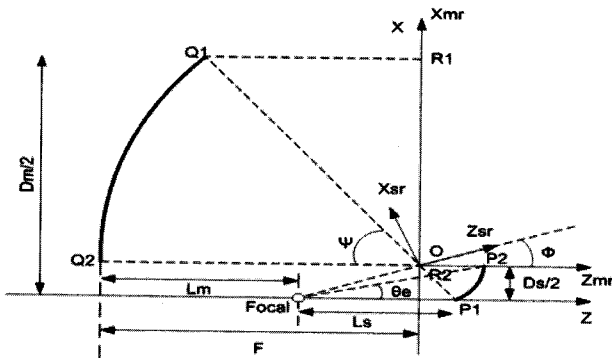


그림 8. 초점이 축에서 벗어난 안테나 형상
Fig. 8. Asymmetrical Antenna Aspect.

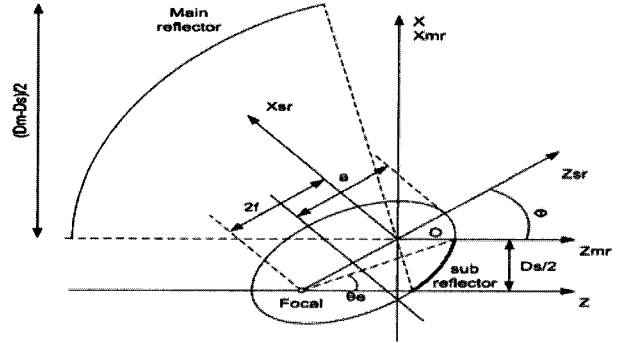


그림 9. 타원형 부반사경 좌표 시스템
Fig. 9. Oval Sub Reflector Coordinate System.

또한 피드에서 방사된 파가 부반사경의 반사에 의해 피드로 역유입되어 발생하는 부정합을 해소할 수 있다^[7].

반사경 안테나 시스템의 경우 파의 경로길이는 아래의 2가지 조건을 만족해야 된다^[8]. 여기서 F0는 피드의 위상중심점이 된다.

$$\|F_0P_1\| + \|P_1Q_1\| + \|Q_1R_1\| = \|F_0P_2\| + \|P_2Q_2\| + \|Q_2R_2\| \quad (6)$$

$$\|F_0P\| + \|OP\| = 2a \quad (7)$$

위의 조건을 바탕으로 주 반사경의 크기 D_m , 주 반사경과 초점간의 거리 F , 부 반사경의 크기 D_s , 부 반사경에 조사되는 피드의 빔폭의 반각 θ_e 의 네 가지 정해진 데이터를 이용하여 그림 9의 이중 반사경 시스템을 구현 할 수 있다. 설계된 각각의 파라미터 값은 실제 데이터표에 제시하였다.

$$L_m = \frac{FD_m}{D_m - D_s} - \frac{D_s}{4} \left[\frac{\cos(\theta_e) + 1}{\sin(\theta_e)} \right] \quad (8)$$

$$\tan(\Phi) = \frac{2}{\frac{\cos(\theta_e) + 1}{\sin(\theta_e)} - \frac{4F}{D_m - D_s}} \quad (9)$$

$$f = \frac{D_s}{4 \sin(\Phi)} \quad (10)$$

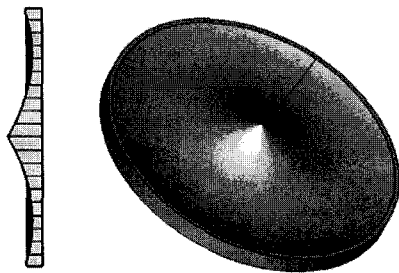
$$\tan(\Psi) = \frac{8F(D_m - D_s)}{(D_m - D_s)^2 - 16F^2} \quad (11)$$

$$L_s = 2f \cos(\Phi) + \frac{D_s}{2 \tan(\Psi)} \quad (12)$$

$$a = \frac{D_s}{8} \left[\frac{\cos(\theta_e) + 1}{\sin(\theta_e)} \right] + \frac{FD_s}{2(D_m - D_s)} \quad (13)$$

표 1. 실측 데이터 값
Table 1. Survey Data Value.

심볼	값	비고
Dm	770mm	
F	269.5mm	F/Dm=0.35
Ds	115.5mm	Ds/Dm=0.15
Θ_e	35°	
ϕ	52.683	
f	36.307mm	
Ψ	62.527°	
a	69.569mm	
b	59.344mm	



(a) 측면도 (b) 3차원도

그림 10. 설계된 부반사경의 형상
Fig. 10. Designed sub Reflector Aspect.

$$b = \sqrt{a^2 - f^2} \tag{14}$$

III. 설계된 안테나의 시뮬레이션 특성 분석

그림 10에서는 앞에 서술되어 구한 실제 데이터표를 이용하여 부 반사경의 형상을 나타내었다. 그림 11는 전체 모노펄스 안테나 시스템의 형상을 나타내었다. 주 반사경은 파라볼릭 함수를 사용하여 설계하였고, 부 반사경은 타원함수를 이용하여 설계하였다.

설계된 2중반사경 모노펄스 안테나 시스템의 반사계수 특성은 그림 12에 제시하였다. 설계주파수 대역에서 모든 패턴이 -10dB이하의 특성을 만족하는 것을 볼 수 있다.

그림 13은 설계된 안테나의 방사패턴을 나타내었다. 합패턴의 경우 중심주파수에서 33.4dBi의 이득을 갖고, 수직 차패턴은 26.31dBi와 수평 차패턴은 29dBi의 이득을 각각 갖는 것을 확인할 수 있다.

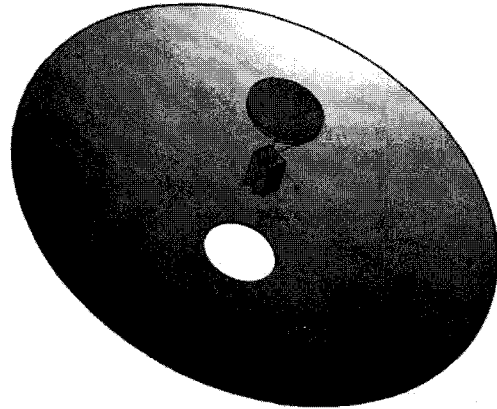


그림 11. 설계된 2중반사경을 사용한 모노펄스 안테나 시스템

Fig. 11. Monopulse Antenna System using Designed Dual Reflector.

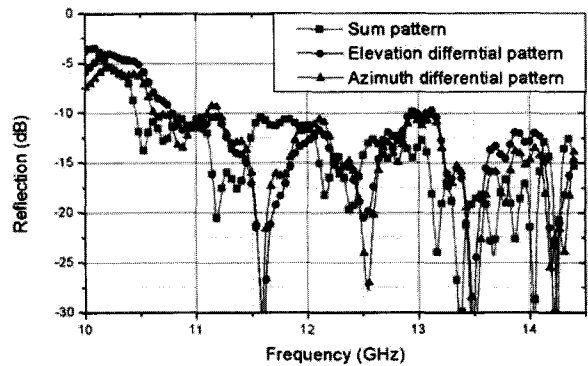


그림 12. 설계된 2중반사경 안테나 시스템의 반사계수 특성

Fig. 12. Frequency ver Reflection(dB) of Designed Antenna System.

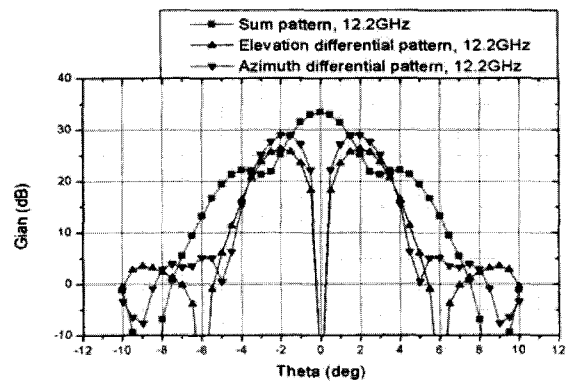


그림 13. 설계된 2중반사경 안테나 시스템의 방사패턴
Fig. 13. Theta(deg) ver Gain(dB) of Designed Antenna System.

IV. 결 론

본 논문에서는 모노펄스안테나 시스템에 사용되는 2중 반사경 안테나의 주반사판과 부반사판을 설계하였다. 주반사판의 효율이 70% 이상인 경우 반사경의 크기가 설계에 사용되는 최저 주파수(11.7GHz)의 30파장(약 77cm)이면 최저주파수의 이득은 37.9dBi, 최대 주파수(12.7GHz)에서는 38.6dBi의 이득을 얻을 수 있었으며, 부반사판의 성능 개선을 위한 방안으로 반지름 D이고 초점거리 F_e 인 경우 초점거리 대 지름의 비가 더 클수록 원거리 장에서의 교차편파가 개선되고 반사판의 테두리에서의 구면 확산손실이 감소한다. 또한, 급전 안테나의 측면 변위(x_s, y_s , 평면에서)에 따른 방사패턴의 약화 정도가 더 작아지기 때문에 주빔의 주사 성능이 개선됨을 확인할 수 있었다.

참 고 문 헌

- [1] A.C.leifer, W.Rotman, "GRAPS: An improved displaced-axis dual-reflector antenna design for EHF application" IEEE AP International Symposium, pp.507-510, 1986.
- [2] F.J.S.Moreira and A.Prata, Jr., "Generalized classical axially symmetric dual-reflector antenna," IEEE Trans. Antennas and propagat., vol.AP-49, pp.547-554
- [3] V.Galindo, "Design of Dual-reflector antennas with arbitrary phase and amplitude distributions," IEEE Trans. Antennas and propagat., vol.AP-12, pp.403-408
- [4] J.L.Lee, "Improvements in or relating to microwave aerals," U.K.patent 973 583
- [5] Alexandre, Tom Milligan, "Amplitude Aperture Distribution Control in Displaced-Axis Two-reflector antenna", IEEE Magazine, vol 139, no.6, pp.58-63
- [6] T. Kitsuregawa, Advanced Technology in Satellite Communication Antennas : Electrical and Mechanical Design, Artech House, Boston, 1990.
- [7] R.E.Collin, Antennas and Radiowave propagation, McGraw-Hill, 1988.
- [8] W.V.T.Rusch, Analysis of Reflector Antennas, Academic Press, 19701.

저 자 소 개



김 원 섭 (정회원)

1999년 청주대학교 전자공학과 학사 졸업.

2001년 청주대학교 전자공학과 석사 졸업.

2005년 청주대학교 전자공학과 박사 졸업.

2007년 4월~현재 청주대학교 전자정보공학부 전임강사

<주관심분야 : 이동통신, 위성통신, 통신시스템>