

CPTR용 카세그레인 오프셋 복 반사경의 해석

Analysis of Cassegrain Dual Offset Reflectors for Compact Payload Test Range

노 성 민 · 최 학 근 · 임 성 빈*

Sung-Min Rho · Hak-Keun Choi · Sung-Bin Lim*

요 약

일반적으로 카세그레인 오프셋 복 반사경(Cassegrain Dual Offset Reflector)은 위성 통신용 안테나로 사용되지만, 여기서는 CPTR(Compact Payload Test Range)을 위한 반사경 시스템으로 해석하였다. 시험 영역의 근접 전계는 물리 광학법(Physical Optics)을 적용하여 계산하였다. CPTR은 균일한 평면파 제공을 목적으로 하며, 이를 위해 최소한의 진폭과 위상 리플(ripple)을 가져야 하며, 교차 편파 또한 작아야 한다. 따라서 본 논문에서는 반사경 구조 및 시험 영역의 위치에 따른 근접 전계 패턴을 구하여 전계의 리플, 테이퍼와 교차 편파를 고찰하였다. 특히 통신용 반사경 안테나에서는 나타나지 않는 안테나 축방향의 교차 편파 성분을 고찰하였다.

Abstract

In general, the cassegrain dual offset reflector is used for the satellite communication antenna, but is analyzed as the reflector system for the CPTR(Compact Payload Test Range) facility in here. The near-field at the test zone of the CPTR is obtained by using the physical optics approximation. The CPTR has to provide a uniform plane wave with the minimum amplitude and phase ripple and the low cross polarization. Therefore, in this paper, the near-field pattern are calculated, and the ripple and taper of the field and the cross polarization are investigated with the variation of the reflector geometry and the position of the test region. Especially, the cross polarization of the antenna axis direction which is not found in the satellite reflector antennas is investigated.

Key words : CPTR, Near Field, Offset Cassegrain, Dual Reflector

I. 서 론

선진국에서는 오랜 전부터 위성 통신의 중요성을 인식하고 경쟁적으로 우주 개발에 많은 투자를 하고 있다. 위성 시스템은 설계하고 제작하는 데 많은 비용이 들 뿐 아니라, 제작된 후에는 수정 또한 용이하지 않기 때문에 설계 초기부터 정확한 성능 검증이 이루어져야 한다. 통신 위성용 안테나의 성능을 정밀하게 측정하기 위해서는 이론적으로 소스 안테나

(source antenna)와 측정 안테나 사이의 거리가 $2D^2/\lambda$ (D =측정 안테나의 직경, λ =파장) 이상이 되어야 한다. 이는 안테나 크기에 따라 수 km에서 수십 km가 되므로 실제 이 거리를 만족하는 시험 공간을 확보하는 것은 매우 어려운 일이다. 또한, 시험 공간이 비록 확보되었다고 하더라도 외부의 복잡한 신호들과 기후 변화 때문에 정밀한 측정을 기대하기 어렵다. 이런 문제점들을 극복하기 위하여 외부 환경에 영향을 받지 않는 시험 시설로 CPTR(Compact Pay-

「본 논문은 항공우주연구원의 다목적실용위성 5호 프로그램에 의하여 지원되었음.」

단국대학교 전자공학과(Dept. of Electronic Engineering, Dankook University)

*한국항공우주연구원(Korean Aerospace Research Institute)

· 논문 번호 : 20071128-135

· 수정완료일자 : 2008년 1월 2일

load Test Range) 또는 CATR(Compact Antenna Test Range)이 개발되어졌다^[1].

CPTR의 목적은 위성 시스템의 성능을 실내에서 정확하게 측정하는 데 있다. 이를 위하여 진폭이 균일하고 교차 편파(cross polarization)가 거의 존재하지 않는 평면파가 나타나는 시험 영역이 요구되며, 외부 신호로부터 독립된 공간에서 운용되어야 하기 때문에 전파 흡수체로 구성된 전파 무향실(anechoic chamber)이 필요하다^[2]. 균일한 평면파를 제공하기 위해서는 단일 반사경(single reflector) 또는 복 반사경(dual reflector)이 사용된다^[3]. 초기에는 급전 혼(feed horn)이 반사경의 가운데에 놓이는 단일 반사경의 축 대칭 파라볼라 반사경(parabola reflector)이 주로 이용되었으나, 급전 혼에 의한 블로킹(blocking) 현상 때문에 오프셋 구조로 변환되었다. 그러나 오프셋 구조 역시 공간 감소로 인한 진폭 테이퍼(taper)가 나타나고, 비대칭 구조로 인한 교차 편파가 나타나는 단점이 있다^{[4]~[7]}. 그러나 복 반사경의 경우, 주 반사경의 축을 기준으로 부 반사경의 축을 기울이도록 설계하면 교차 편파를 줄일 수가 있다^{[8],[9]}.

CPTR은 far-field 영역에서 동작하는 통신용 반사경 안테나와 달리, 안테나의 축 방향(z축)에 대한 횡방향(x, y 방향) 뿐만 아니라, z축 방향의 교차 편파 성분도 고려되어야 한다. x, y 방향의 교차 편파는 교차 편파 소거 조건^{[8],[9]}을 통해 소거가 가능하지만, 축 방향(z-방향)의 교차 편파는 실제 소거하기가 어렵고, 그와 관련된 연구도 좀처럼 이루어지고 있지 않다. 따라서 여기서는 복 반사경의 구조를 변화시켜 가면서 축 방향(z-방향)의 교차 편파를 계산하여 구조에 따른 편파 특성을 고찰한다.

CPTR의 가장 큰 특징은 한정된 공간 내에서 균일한 평면파 영역을 생성시키는 것이다^[10]. 이를 위해 평면파의 진폭과 위상의 리플(ripple) 또 진폭 테이퍼가 최소가 되어야 한다^[11]. 부 반사경의 표면에 의하여 반사된 전계는 반사경 가장자리에서 불연속성을 갖게 되고 이로 인하여 회절파가 생성되며, 이것이 결과적으로 평면파에 리플이 실리게 된다. 회절 성분을 줄이기 위해서는 반사경의 테두리를 서레이션(serration)이나 곡면 에지(rolled edge)를 사용하여 성형하기도 한다^{[12]~[14]}.

본 논문에서는 CPTR용 오프셋 카세그레인 복 반

사경 시스템을 해석하여 근접 전계(near-field) 특성을 고찰한다. 시험 영역의 근접 전계를 계산하기 위해 급전 혼에 의해 부 반사경에 유기되는 전류 밀도를 구하고, 이 전류 밀도에 의하여 부 반사경에서 산란되는 전자계를 구한 다음 이것에 의해 다시 주 반사경에 유기되는 전류 밀도를 구하고 그로부터 근접 전계를 구한다. 이 때, 부 반사경의 전계는 부 반사경의 유기 전류 밀도에 대한 이중 적분으로 주어지고, 결과적으로 복 반사경의 근접 전계는 4중 적분이 되어 계산 시간이 매우 오래 걸리나, 여기서는 부 반사경의 산란 전계를 스넬의 반사 법칙을 적용하여 계산함으로써 계산 시간을 단축시킨다. 또한, 복 반사경 구조를 변화시키면서 시험 영역에서의 근접 전계 패턴을 구하여 전계의 리플과 테이퍼를 분석하고, 안테나 축방향의 교차 편파를 포함한 모든 교차 편파를 분석한다.

II. 복 반사경의 구조

CPTR을 위한 카세그레인 오프셋 복 반사경 시스템은 주 반사경과 부 반사경 그리고 급전 혼으로 구성되며, 주 반사경은 포물면, 부 반사경은 쌍곡면이다. 그림 1은 카세그레인 오프셋 복 반사경 시스템의 구조이다. 급전 혼으로부터 오는 구면파를 부 반사경에서 반사시켜 주 반사경의 초점에서 나오는

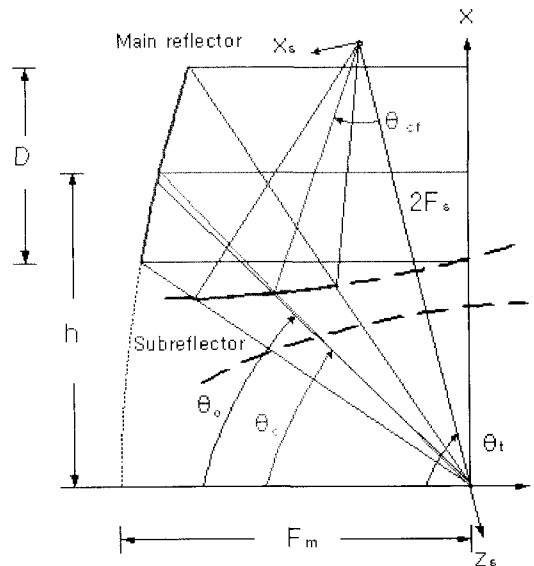


그림 1. 카세그레인 오프셋 복 반사경의 구조
Fig. 1. Geometry of cassegrain dual offset reflector.

구면과처럼 변환시켜 준다. 이 구면파는 주 반사경에서 다시 반사되어 평면파로 변환된다. 그림 1에서 D 는 주 반사경 개구면의 길이, h 는 오프셋 높이, F_m 은 초점 길이, θ_c 는 최대 빔 각이다. 또한, 부 반사경의 경우, F_s 는 초점 거리, θ_{cf} 는 급전 혼의 경사 각이다. 포물면과 쌍곡면의 방정식에 따라 주 반사경과 부 반사경의 각 한 점은 다음 식을 만족한다.

$$z = -F_m + \frac{x^2 + y^2}{4F_m} \quad (1)$$

$$r_s = \frac{F_s/e(e^2-1)}{e \cos \theta_s + 1} \quad (2)$$

여기서 e 는 부 반사경의 이심률, θ_s 는 부사경의 축 z_s 로부터 부 반사경의 한 점까지 이루는 각도이다.

카세그레인 오프셋 복 반사경 구조는 축 비대칭 구조이기 때문에 구조에 의한 교차 편파가 발생한다. 교차 편파는 주 반사경의 축을 기준으로 부 반사경의 축과 혼의 각도를 기울이도록 설계하여 줄일 수 있다. 쌍곡면의 축 z_s 를 θ_t 만큼 회전시키고, 혼의 각도를 쌍곡면의 축으로부터 θ_{cf} 만큼 이동시키면서

$$\tan\left(\frac{\theta_t}{2}\right) = \left(\frac{e-1}{e+1}\right)^2 \tan\left(\frac{\theta_t - \theta_c}{2}\right) \quad (3)$$

$$\tan\left(\frac{\theta_{cf}}{2}\right) = \left(\frac{e-1}{e+1}\right) \tan\left(\frac{\theta_t - \theta_c}{2}\right) \quad (4)$$

를 만족시키면 교차 편파는 이론적으로 나타나지 않는다^{[15],[16]}.

III. 근접 전계 해석

CATR의 경우, 일반적으로 실내에서 동작, 즉 최소한의 거리에서 균일한 평면파를 생성해야 하기 때문에 근접 전계를 이용한다. 근접 전계의 해석을 위하여 여기서는 카세그레인 오프셋 복 반사경에 의한 산란 전계를 PO(Physical Optics)^{[17]-[19]}를 이용하여 해석한다.

3-1 부 반사경의 산란 전계

오프셋 복 반사경에서 급전 혼에 의하여 부 반사경의 표면에 유기되는 전류를 구하고, 이로부터 부 반사경의 산란 전계를 구한다.

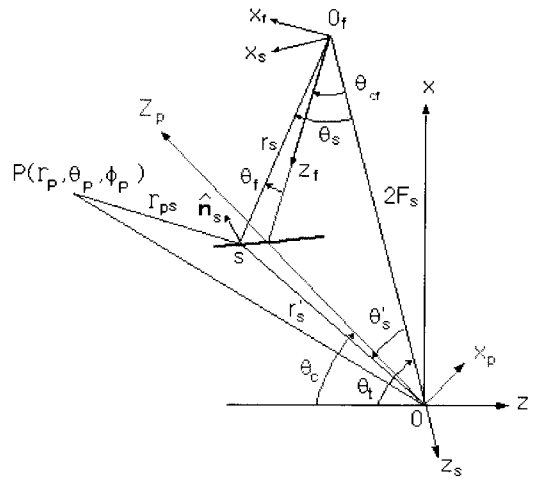


그림 2. 부 반사경의 좌표계
Fig. 2. Subreflector coordinates.

그림 2는 부 반사경의 좌표계이다. 그림에서 (x_s, y_s, z_s) 와 (r_s, θ_s, ϕ_s) 는 부 반사경의 좌표계이고, (x_f, y_f, z_f) 와 (r_f, θ_f, ϕ_f) 는 급전 혼의 좌표계이다. 반사경면의 한 점 s 에서의 입사 전계 즉, 급전 혼의 복사 전계는

$$E_f = \frac{e^{-jkr_f}}{4\pi r_f} [V_1(\theta_f, \phi_f) \widehat{\theta}_f + V_2(\theta_f, \phi_f) \widehat{\phi}_f] \quad (5)$$

로 가정한다. $V_1(\theta_f, \phi_f)$ 와 $V_2(\theta_f, \phi_f)$ 는 급전 혼의 패턴 함수이다. 반사경의 유기 전류 밀도 J_s 는 물리 광학 근사(physical optics approximation)에 의하여

$$J_s = 2 \widehat{n}_s \times H_f \quad (6)$$

로 표현된다^{[18],[19]}. 여기서 H_f 는 입사 자계이고, \widehat{n}_s 는 부 반사경에서의 법선 단위 벡터로

$$\widehat{n}_s = \frac{N_s}{N_s} \quad (7)$$

$$N_s = \widehat{r}_s - \frac{1}{r_s} \frac{\partial r_s}{\partial \theta_s} \widehat{\theta}_s - \frac{1}{r_s \sin \theta_s} \frac{\partial r_s}{\partial \phi_s} \widehat{\phi}_s \quad (8)$$

로 주어진다. 여기에 부 반사경의 기하학적 구조식 (2)를 대입하여 정리하면 법선 단위 벡터 \widehat{n}_s 는 다음과 같이 된다.

$$\widehat{n}_s = \frac{[n_{sr} \ n_{st} \ n_{sf}]}{\sqrt{e^2 + 1 + 2e \cos \theta_s}} \begin{bmatrix} \widehat{r}_f \\ \widehat{\theta}_f \\ \widehat{\phi}_f \end{bmatrix} \quad (9)$$

단,

$$\begin{aligned} n_{sr} &= 1 - e \sin \theta_{cf} \sin \theta_f \cos \phi_f + e \cos \theta_{cf} \cos \theta_f \\ n_{st} &= -e (\sin \theta_{cf} \cos \theta_f \cos \phi_f + \cos \theta_{cf} \sin \theta_f) \\ n_{sf} &= e \sin \theta_{cf} \sin \phi_f \end{aligned}$$

부 반사경에 의한 산란 전계는 식 (6)에 식 (9)를 대입하여 적분 형태로 나타내면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \begin{bmatrix} E_p \cdot \widehat{\theta}_p \\ E_p \cdot \widehat{\phi}_p \end{bmatrix} &= -\frac{j}{\lambda} \int_{-H_s/2}^{H_s/2} \int_{-W_s/2}^{W_s/2} (E_f - \\ &\frac{\widehat{n}_s \cdot E_f}{\widehat{n}_s \cdot \widehat{r}_f} \widehat{r}_f) \cdot \begin{bmatrix} \widehat{\theta}_p \\ \widehat{\phi}_p \end{bmatrix} \frac{e^{-jkr_{ps}}}{r_{ps}} dx_f dy_f \end{aligned} \quad (10)$$

여기서, H_s 는 부 반사경의 높이, W_s 는 폭이다. 또한 r_{ps} 는 반사경의 한 점 s 와 관측점 사이의 거리이다.

3-2 주 반사경의 근접 전계

여기서는 주 반사경 표면에 유기되는 전류를 구하여 이로부터 근접 전계를 구한다.

그림 3은 주 반사경과 관측점 사이의 좌표계를 나타낸다. 주 반사경 표면에 유기된 전류 밀도를 J_m 이라 할 때, 이에 의해 복사되는 근접 전계는 다음과 같이 표현할 수 있다^[9].

$$\begin{aligned} E(r) &= -j\omega\mu \int_{\Sigma} [J_m G(R) + 1/k^2 \\ &\cdot (J_m \cdot \nabla) \nabla G(R)] d\Sigma \end{aligned} \quad (11)$$

여기서

$$G(R) = \frac{e^{-jkR}}{4\pi R} \quad (12)$$

$$\begin{aligned} (J_m \cdot \nabla) \nabla G(R) &= \left[-k^2 (J_m \cdot \widehat{R}) \widehat{R} + \frac{3}{R} \right. \\ &\left. \left(jk + \frac{1}{R} \right) (J_m \cdot \widehat{R}) \widehat{R} - \frac{1}{R} \left(jk + \frac{1}{R} \right) J_m \right] G(R) \end{aligned} \quad (13)$$

이고, Σ 는 반사경 표면, R 은 주 반사경 표면의 한 점과 관측점 사이의 거리이다.

식 (11)의 전류 밀도 J_m 은 부 반사경에서 산란되

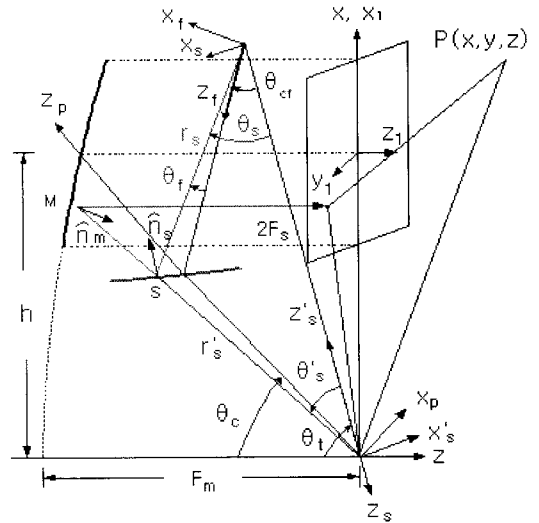


그림 3. 주 반사경의 좌표계
Fig. 3. Main reflector coordinates.

는 전자계를 구한 다음 이것에 의해 다시 주 반사경에 유기되는 전류 밀도를 구함으로써 얻어진다. 이때, 부 반사경의 전계는 이중 적분으로 주어지므로 복 반사경의 근접 전계는 이중 적분이 되어 계산 시간이 매우 오래 걸린다. 따라서 여기서는 부 반사경의 반사 전계를 다음의 반사 법칙에 의해 구한다.

$$E_f^R = 2(\widehat{n}_s \cdot E_f) \widehat{n}_s - E_f \quad (14)$$

주 반사경에 입사하는 전자계는 전파 경로와 주 반사경의 좌표계 및 급전 혼의 좌표계 사이의 관계식을 이용하여 구해지며 이로부터 반사경 표면에 유기되는 전류 밀도 J_m 은 물리광학 근사에 의하여 다음 식으로 구해진다.

$$J_m = 2 \widehat{n}_m \times H_p \quad (15)$$

여기서, H_p 는 주 반사경의 입사 자계이고, \widehat{n}_m 은 주 반사경의 법선 단위 벡터로서

$$\widehat{n}_m = -\frac{(x_1 + h) \widehat{x}_1 + y_1 \widehat{y}_1 - 2F_m \widehat{z}_1}{\sqrt{4F_m^2 + (x_1 + h)^2 + y_1^2}} \quad (16)$$

으로 주어진다^[18].

식 (1)과 (2)로부터 부 반사경과 주 반사경의 구조를 도출하고, 거기에 식 (3)과 (4)를 적용시켜 교환편파를 줄일 수 있는 복 반사경 구조를 얻을 수 있

다. 여기에 식 (5)의 급전 혼 패턴과 부 반사경의 구조를 이용하여 부 반사경에서 반사되는 복사 패턴을 구하고, 이 복사 패턴을 이용하여 주 반사경에 유기되는 전류 및 그에 의한 복사 패턴, 즉 근접 전계를 계산할 수 있다.

IV. 수치 계산 및 검토

여기서는 CPTR를 위한 카세그레인 오프셋 복 반사경 시스템의 급전 혼의 위치와 시험 영역의 거리에 따라 달라지는 근접 전계의 특성을 계산하여 비교 검토한다.

그림 4는 이를 위하여 설계된 복 반사경의 구조로 개구면의 크기는 600×600 cm이고, 이중 약 74 % (440×440 cm)를 평면파 영역으로 사용하도록 설계하였다.

4-1 급전 혼 위치에 따른 패턴 변화

그림 5와 6은 위의 설계된 구조에서 θ_i 를 55°($\theta_{cf}=14.084^\circ$), 60°($\theta_{cf}=23.213^\circ$), 65°($\theta_{cf}=30.544^\circ$)로 변화시키면서 계산한 근접 전계이다. 주파수는 5 GHz 이고, 급전 혼은 수직 편파로 동작하며, 부 반사경 테두리에서 2 dB의 ET(Edge Taper)를 갖는 것으로 가정했다. 그림 5와 6은 개구면으로부터 $z=250 \lambda$ 떨어진 거리에서 계산한 수직 편파 동작시의 수평 패턴 및 수직 패턴이다.

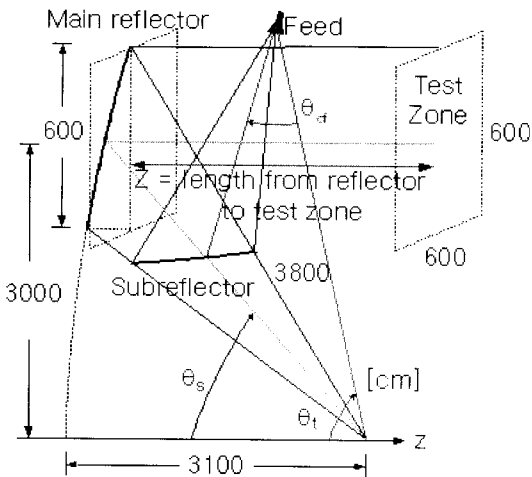
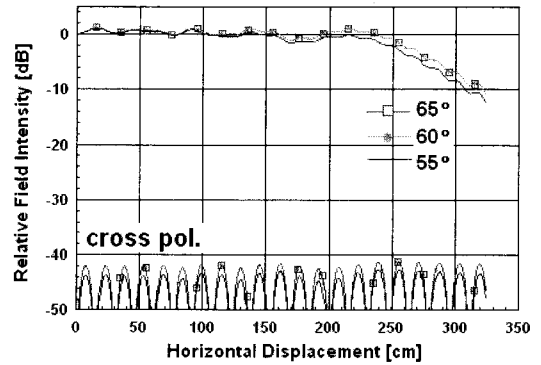
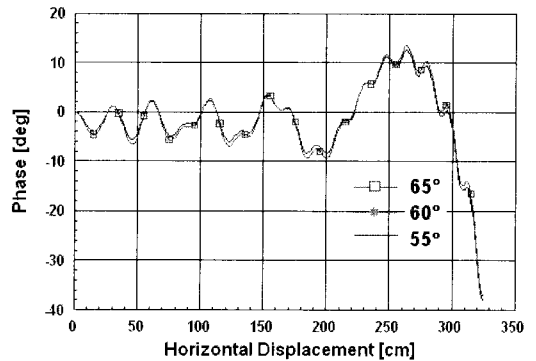


그림 4. 설계된 복 반사경 구조
Fig. 4. Geometry of designed dual reflector.



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns

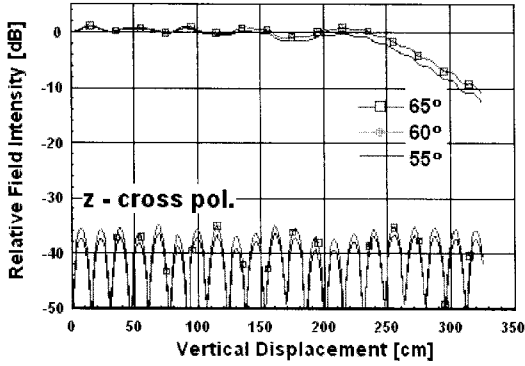


(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

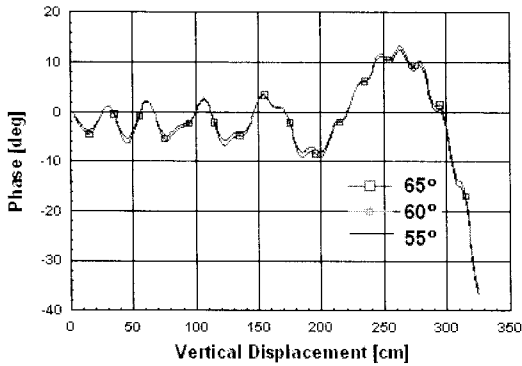
그림 5. 혼의 위치 변화에 따른 수평 패턴($z=250 \lambda$)
Fig. 5. Horizontal patterns with feed position variation ($z=250 \lambda$).

그림 5에서 θ_i 가 65°와 60°의 경우, 전체의 진폭 테이퍼(리플)은 시험 영역($\pm 220 \text{ cm}$) 내에서 1.2 dB($\pm 1.1 \text{ dB}$)로 거의 동일하게 나타나고 있다. 하지만 55°의 경우, 진폭 테이퍼(리플)은 1.5 dB($\pm 1.3 \text{ dB}$)로 중심에서 벗어날수록 리플이 증가한다. 교차 편파는 65°와 60° 및 55° 모두 -40 dB 이하를 보였고, 위상 테이퍼(리플)은 9°($\pm 6.5^\circ$)로 거의 동일하게 나타나고 있다.

그림 6의 수직 패턴의 경우도 수평 패턴의 경우와 마찬가지로 55°에서 진폭 테이퍼가 약간 증가하는 현상을 보였고, 축방향 (z -방향) 편파는 65°, 60°와 55°에서 모두 -35 dB 이하를 보이고 있다. 위상 테이퍼(리플)은 9°($\pm 6.5^\circ$)로 거의 동일하게 나타나고 있다.



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns



(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

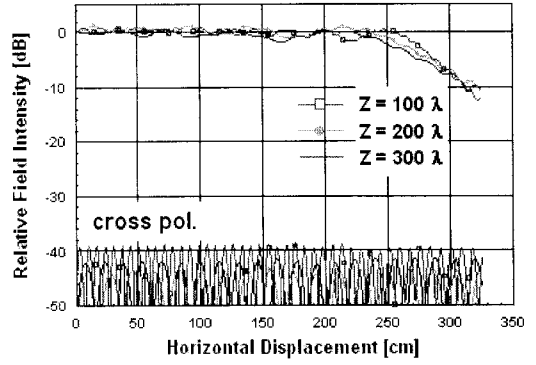
그림 6. 혼의 위치 변화에 따른 수직 패턴($z=250 \lambda$)
Fig. 6. Vertical patterns with feed position variation ($z=250 \lambda$).

개구면에서 평면파 영역까지의 거리가 250λ 일 때, feed tilt에 따른 근접 전계를 계산하여 비교한 결과, 60° 부근에서 진폭 및 위상, 편파 특성이 가장 양호하게 나타났다.

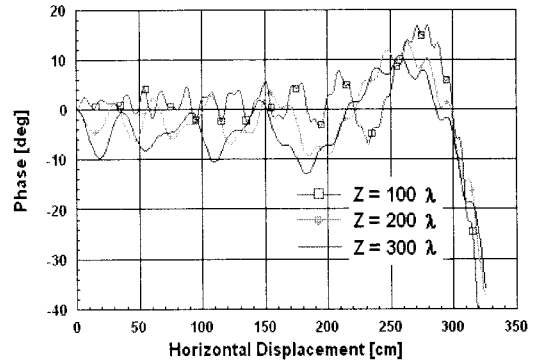
4-2 반사경으로부터 시험 영역까지의 거리에 따른 패턴 변화

여기서는 θ_i 를 60° ($\theta_{cf}=23.213^\circ$)로 고정시키고 반사경에서 시험 영역까지의 거리 z 를 변화시키면서 근접 전계를 계산하였다. 그림 7과 그림 8은 그림 5의 경우와 동일하게 혼을 가정하고 반사경으로부터 $z=100 \lambda$, $z=200 \lambda$ 와 $z=300 \lambda$ 떨어진 거리에 대하여 계산한 근접 전계이다.

그림 7의 수평 패턴의 경우, 진폭 테이퍼는 100λ



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns

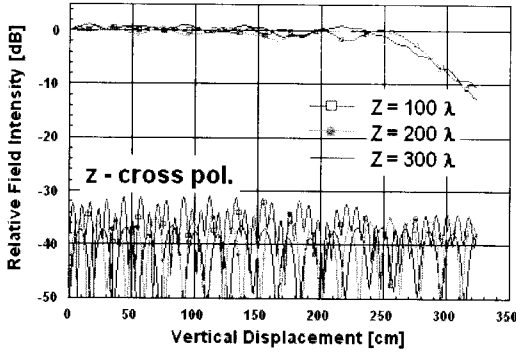


(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

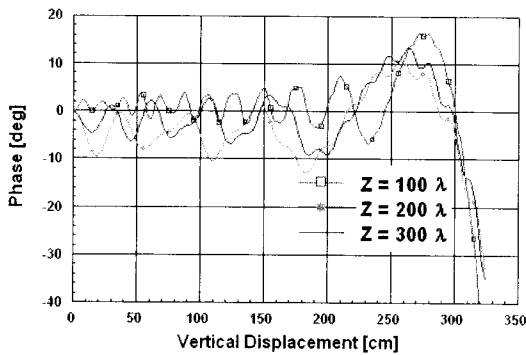
그림 7. 반사경에서 시험 영역까지의 거리에 따른 수평 패턴($\theta_i=60^\circ$, $\theta_{cf}=23.213^\circ$)
Fig. 7. Horizontal patterns with distance variation from reflector to test zone ($\theta_i=60^\circ$, $\theta_{cf}=23.213^\circ$).

떨어진 거리에서는 1.3 dB , 200λ 는 1.2 dB , 300λ 는 1.2 dB 로 나타났다. 교차 편파는 200λ 와 300λ 떨어진 경우 -40 dB 이하를 보였지만, 100λ 떨어졌을 경우는 -38.5 dB 로 약간 높게 나타났다. 위상 테이퍼(리플)의 경우는 100λ 에서 $8^\circ(\pm 6^\circ)$, 200λ 와 300λ 의 경우는 $10^\circ(\pm 7^\circ)$ 를 보였다.

그림 8의 수직 패턴 또한 진폭 테이퍼의 경우, 1.2 dB 정도로 모두 비슷하게 나타났으며, 축 방향(z -방향)의 교차 편파는 200λ (-35 dB)와 300λ (-36.5 dB)보다 100λ (-31 dB) 떨어진 거리에서 높게 나타났다. 위상 테이퍼(리플)의 경우는 100λ 에서 $8^\circ(\pm 6^\circ)$, 200λ 에서 $10^\circ(\pm 7.5^\circ)$, 300λ 에서 $9^\circ(\pm 6.5^\circ)$ 로 나타났다.



(a) 진폭 패턴
(a) Amplitude patterns



(b) 위상 패턴
(b) Phase patterns

그림 8. 반사경에서 시험 영역까지의 거리 변화에 따른 수직 패턴 ($\theta_i=60^\circ$, $\theta_{cf}=23.213^\circ$)

Fig. 8. Vertical patterns with distance variation from reflector to test zone ($\theta_i=60^\circ$, $\theta_{cf}=23.213^\circ$)

이상으로 CPTR 용 복 반사경 시스템으로 설계한 오프셋 카세그레인 반사경의 근접 전계를 급전 혼의 위치와 측정 거리에 따라 계산하여 검토하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 CPTR을 위한 카세그레인 오프셋 복 반사경 시스템을 해석하고 급전 혼과 시험 영역의 위치에 따른 근접 전계를 구하여 비교 검토하였다. 혼의 위치에 따른 특성 변화는 θ_i 가 60° ($\theta_{cf}=23.213^\circ$)일 때, 진폭 및 위상 테이퍼가 가장 작았고 리플 또한 가장 좋은 특성을 보였으며, 시험 영역의 위치에 따른 특성은 시험 영역의 위치가 200λ 에서 성능이 비교적 양호하게 나타났다.

본 논문의 내용은 CPTR용 반사경 시스템 설계할 때 급전 혼의 위치, 시험 영역의 위치가 주어질 경우, 리플, 테이퍼, z축 교차 편차 등을 계산하여 최적의 반사경을 설계하는데 이용될 수 있으리라 생각된다.

참 고 문 헌

- [1] W. H. Kummer, E. S. Gillespie, "Antenna measurements-1978", *Proc. IEEE*, vol. 66, no. 4, pp. 483-507, Apr. 1978.
- [2] W. H. Emerson, "Electromagnetic wave absorbers and anechoic chambers through the years", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, AP-21, no. 4, pp. 484-490, Jul. 1973.
- [3] V. Galindo-Israel, W. Imbriale, and R. Mittra, "On the theory of the synthesis of single and dual offset-shaped reflector antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagat.*, AP-35, pp. 887-896, Aug. 1987.
- [4] T. S. Chu, R. H. Turrin, "Depolarization properties of offset reflector antennas", *Trans. Antennas and Propagat.*, AP-21, no. 3, pp. 339-345, May 1973.
- [5] J. Dijk et al., "The polarization losses of offset paraboloid antennas", *Trans. Antennas and Propagat.*, AP-22, no. 4, pp. 513-520, Jul. 1974.
- [6] W. A. Wong, "On the equivalent parabola technique to predict the performance characteristics of a Cassegrain system with an offset feed", *Trans. Antennas and Propagat.*, AP-21, no. 3, pp. 335-339, May 1973.
- [7] W. V. T. Rush, A. Prata, Y. Rahmat-Samii, and R. A. Shore, "Derivation and application of the equivalent paraboloid for classical offset Cassegrain and Gregorian antennas", *Trans. Antennas and Propagat.*, AP-38, pp. 1141-1149, Aug. 1990.
- [8] Y. Mizugutch, M. Akagawa, and H. Yokoi, "Offset dual reflector antenna", in *Dig. IEEE Int. Symp. Antennas Propagat.*, 1976.
- [9] H. Tannaka, M. Mizusawa, "Elimination of cross-polarization in offset dual reflector antennas", *Elec. and Comm. in Japan*, vol. 58-B, no. 12, pp. 71-78,

- 1975.
- [10] R. C. Johnson, "Determination of far field antenna patterns from near field measurements", *Proc. IEEE*, vol. 61, no. 12, pp. 1668-1698, Dec. 1973.
- [11] N. A. Adata, "Diffraction effects in dual offset Cassegrain antenna", in *Dig. IEEE Int. Symp. Antennas Propagat.*, AP-Session 10, pp. 235-238, May 1978.
- [12] C. W. Pistorius, W. D. Burnside, "An improved main reflector design for compact range reflector", *Trans. Antennas and Propagat.*, AP-35, pp. 342-347, Mar. 1987.
- [13] I. J. Gupta, D. G. Brown, W. D. Burnside, and W. Lin, "A serrated edge Gregorian subreflector for dual chamber compact range systems", *Trans. Antennas and Propagat.*, AP-39, pp. 1258-1261, Aug. 1991.
- [14] W. D. Burnside, M. C. Gilreath, and B. Kent, "A rolled edge modification of compact range reflectors", *Proc. 1984 AMTA Symposium*, San Diego, CA., session 4B, Sep. 1984.
- [15] C. Dragone, "Offset multireflector antennas with perfect pattern symmetry and polarization discrimination", *Bell Syst. Tech. J.*, vol. 57, pp. 2663-2684, Sep. 1978.
- [16] K. W. Brown, A. Prata Jr., "A design procedure for classical offset dual reflector antennas with circular apertures", *IEEE Trans. Antennas Propagat.*, AP-42, no. 8, pp. 1145-1153, Aug. 1994.
- [17] H. F. Schluper, "Compact antenna test range analysis using physical optics", *Proc. 1987 AMTA Meeting, FL.*, pp. 309-312, 1987.
- [18] 최학근, "오프셋 반사경 안테나의 빔 스캔 특성 해석", *한국전자과학회논문지*, 10(2), pp. 207-217, 1999년 4월.
- [19] Y. T. Lo, S. W. Lee, *Antenna Handbook, ch. 15*, New York, Van Nostrand Reinhold Company Inc., 1988.

노 성 민



2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 2007년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로

임 성 빈



1988년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1993년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
 1994년 3월~현재: 한국항공우주연구원 선임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
 1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
 1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
 1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수

2006년 7월~현재: 단국대학교 공학교육혁신센터장
 1989년 3월~현재: (주)하이게인 안테나 기술고문
 [주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파회로