

論文95-32A-12-4

위성 반사경 안테나 변형으로 인한 초점영역의 전자장 분포에 관한 연구

(A Study of the field distribution in focal plane for
the shape deformations of Satellite antenna)

李相檜 *

(Yi Sang-Hoi)

요 약

본 연구는 위성 반사경 안테나의 변형으로 인한 초점거리의 이동과 전자장의 분포를 기하광학적 방법과 개구면장 해석법을 이용하여 수치적으로 해석한다. 안테나는 파라볼라형과 오프셋형 안테나를 기본 모형으로 하여 1차 직선, 2차 포물선, 3차 곡선 효과와 복합적 변형 효과를 첨가한다. 이상의 결과는 반사안테나의 초점 위치와 복사패턴을 조정하는 목적으로 사용한다.

Abstract

The main purpose of this paper is to determine a new focal point and field distribution due to the shape deformation of reflector antenna by numerical method such as geometrical optics and the aperture field method. It is shown the 4 types deformations to be added into original shape of parabola antenna and offset antenna: linear, quadratic, cubic and hybrid distortion. These results can be applied to deformed reflector antenna in order to fit a focal point and radiation pattern.

I. 서 론

위성안테나의 복사패턴은 피더의 형태를 바꾸거나 반사경의 모양을 바꾸어 원하는 패턴을 만들 수 있다. 피더는 원하는 전력패턴을 만드는데 필요하고, 이 패턴을 반사경을 통해 직접 복사하는 경우 피더의 구조가 결론적으로 안테나 시스템의 전력패턴이 될 수 있다. 또한 일정한 전력패턴을 복사하는 피더와 변형이 가능한 반사경을 사용한다면 원하는 전력패턴을 구할 수 있다. 이러한 위성안테나의 원하는 복사패턴을 만들기 위해서는 일반적으로 두가지 방법의 해석 설계한다.

첫번째 방법은 간접법으로 원거리 복사패턴에 관계되

는 기하광학적 방법(geometric optics method)과 개구면장 해석법(aperture field method)이다.^[1] 이것은 반사경의 표면을 광학적으로 해석하는 것이다. 이 경우 피더의 복사패턴이 여러가지로 변화 가능하다면 반사경은 오직 전파의 반사에만 사용하게 될 것이다. 즉 주어진 피더패턴에 의해 반사경의 표면구조를 계산할 수 있는 기하광학적 방법을 사용하는 해석방법이다. 그러나 광학적 해석방법에 의해 반사경 표면을 최적화하는 여러 단계의 설계 절차가 필요하며, 부분사경이 존재할 경우에는 더 많은 절차가 필요하게 된다.

둘째 방법은 직접법으로 원거리 복사패턴을 직접 조정하여 해석한다. 이것은 일정한 복사패턴을 갖는 피더를 사용하고 반사경의 모양을 변화시켜 원하는 복사패턴을 얻는 방법이 될 것이다. 이 방법은 PJB Clarricoats^[2,3,4]에 의해 개발된 것으로 원하는 원거리 복사패턴을 얻기 위해 반사경의 계속적인 변형으

* 正會員, 大宥工業專門大學 電子科

(Dept. of Elec. Dae Yeu Tech. Junior College)

接受日字: 1995年1月31日, 수정완료일: 1995年11月27日

로 최적화하는 방식이다. 이 방식은 첫번째 방식의 최적화 단계의 번거러움과 복잡함을 최소한으로 줄일 수 있고 원하는 복사패턴을 여러개의 어레이 피더를 사용하지 않고, 반사경의 모형을 변화시켜 얻을 수 있는 장점이 있다. 즉 최근의 위성 안테나 시스템은 복잡한 복사패턴을 얻기 위해 피더어레이 방식을 채택하고 있으나, 이때 많은 수의 피더 어레이 중량으로 인해 위성의 수명이 단축되고, 시스템의 구조가 복잡하게 된다. 이러한 단점을 극복하기 위해 하나의 피더와 반사경의 모양을 임의로 변형시켜 원하는 복사패턴을 얻고자 '80년대 중반부터 Clarricoats에 의해 시도되었다. 이 안테나 시스템을 재구성안테나(reconfigurable reflector antenna)라 한다. 최근에는 적은 수의 피더와 변형할 수 있는 반사경을 장착하여 차세대 위성 안테나 시스템으로 인정 받고 있다.^[5]

본 연구에서는 직접법을 사용한 재구성 안테나 반사경의 형태함수 변형원리를 이용하고, 간접법인 기하광학적 방법과 개구면장 해석법을 사용하여 변화된 초점 위치와 전자장의 분포를 수치적으로 해석한다. 이것은 실험에 의해 얻어진 직접법의 이론적 근거를 간접법을 근거로 하여 제시하고자 하는 것이다. 이 해석 방법은 위성안테나 반사경의 변형을 반대로 피더에서 위상지연으로 예측하여 지속적으로 원하는 전력패턴을 공급하는데 사용하게 될 것이다.

II. 반사경 안테나의 변형

본 단원에서는 반사경 모양이 변형 될때 초점의 위치와 전자장의 크기 변화를 이론적으로 해석하여 변형 요인에 의한 새로운 초점의 위치와 이 부분의 전자장 크기를 계산하는 것이다. 해석하고자 하는 안테나 시스템 모형은 파라볼라형과 움셀형 안테나를 사용하고 변형효과를 첨가한다. 해석 방법은 물리학의 기하광학적 방법과 개구면장 이론을 반사경 안테나 시스템에 적용하여 수치유도 한다.

1. 기하광학적 해석

본 절에서는 광선의 반사 해석에서 처럼 기하광학적 방법을 이용하여 반사경 안테나의 변형 상태에 따른 전자장을 해석하도록 한다. 평면파 전계 E_y 가 입사 될 때 초점에서 빛이 집중하는것 같이 전계도 벡터적으로 합하게 된다.

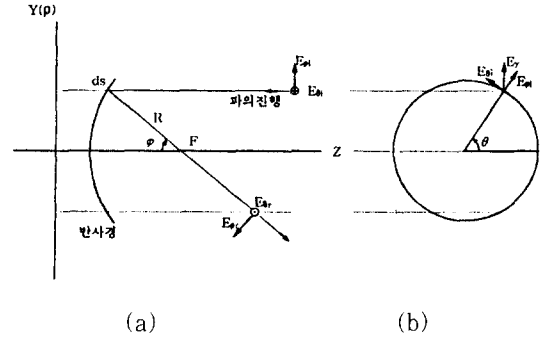


그림 1. 축방향 대칭 파라볼라 반사경의 구조

(a) 측면구조 (b) 정면 입사 평면파 E_y

Fig. 1. Geometry of axisymmetric parabolic reflector.

(a) side view (b) incident plane wave at front view (E_y polarized)

그림 1에서는 파라볼라형 반사경 안테나에 선형 복소평면파 전계 E_y 가 E_0 크기로 입사되고, Z축과 φ 각도로 반사되며, R은 반사파의 진행거리이다. 각각의 방향과 크기를 4 사분면에서 고려하여 XY평면에서 입사파 E_y 는 원통좌표계 θ 에 관계되는 전계 성분 $E_{\rho i}$ 와 $E_{\theta i}$ 로 한다.^[1,6,7,8]

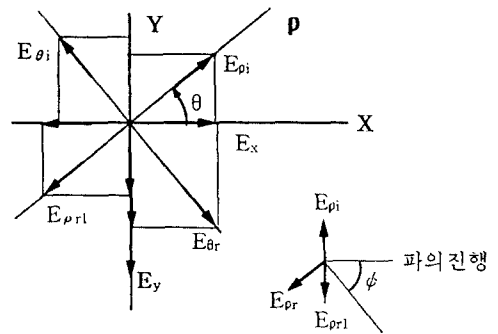


그림 2. 1 상한과 3 상한에서 전계 E_ρ , E_θ 의 E_y 성분

Fig. 2. E_y field components (E_ρ , E_θ) at 1st and 3rd quadrant.

그림2와 그림3은 입사된 평면파가 파라볼라형 반사경에 반사되어 다시 초점으로 모이는 경우 E_x 와 E_z 는 기하구조적으로 반사된 각 상한의 전계 성분이 상쇄되어 E_y 성분만이 남게 되며, 움셀형에서는 E_y 와 E_z 성분만이 남게되는 것을 표시한다. 구좌표계 (R ,

θ, φ 의 반사파 전계 성분 $E_{\rho r}$ 과 $E_{\theta r}$ 은 사분면 전체에서 입사파로 부터 나타낸다.(첨자 i과 r은 입사와 반사방향, $E_{\rho i} = E_{\rho r}$, $E_{\theta r}$ 는 $E_{\theta r}$ 의 XY면 성분 크기이다.)

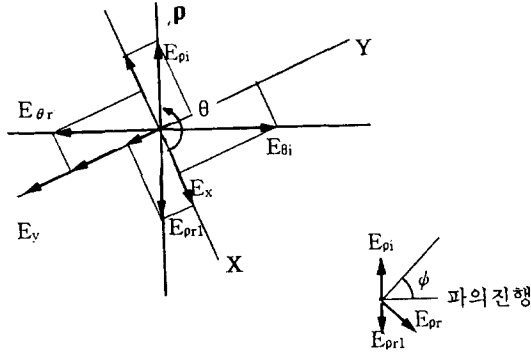


그림 3. 2상한과 4상한에서 전계 E_{ρ} , E_{θ} 의 E_y 성분
 Fig. 3. E_y field components(E_{ρ} , E_{θ}) at 2nd and 4th quadrant.

또한 Z축상에 임의의 점에서 $E_{\rho r}$ 크기를 촛점에서 크기와 비교 한다면 빛의 회절에서 처럼 $\cos(\varphi_0 - \varphi)$ 인수의 함께 변화 된다.

$$\begin{aligned} E_{\rho r} &= -E_0 \cos(\varphi_0 - \varphi) \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \quad (1) \\ E_{y\theta} &= +E_0 \cos \theta \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \end{aligned}$$

Z축에서 반사파 $E_{\rho r}$ 를 XY면 크기 $E_{\rho r i}$ 로 변환하여 직각좌표계의 $E_{x\rho}$ 와 $E_{y\rho}$ 성분으로 나타내면 다음과 같다.

$$\begin{aligned} E_{x\rho} &= +E_{\rho r} \cos \varphi = +E_0 \sin \theta \cos(\varphi_0 - \varphi) \cos \varphi \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \quad (2) \\ E_{x\theta} &= -E_{\rho r} \cos \theta = +E_0 \sin \theta \cos(\varphi_0 - \varphi) \cos \theta \cos \varphi \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \\ E_{y\rho} &= +E_{\rho r} \sin \theta = +E_0 \sin^2 \theta \cos(\varphi_0 - \varphi) \cos \varphi \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \end{aligned}$$

입사면에 수직성분인 $E_{\theta r}$ 은 직각좌표계 $E_{x\theta}$ 와 $E_{y\theta}$ 로 구분할 수 있다.

$$\begin{aligned} E_{x\theta} &= +E_{\theta r} \sin \theta = +E_0 \cos \theta \sin \theta \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \quad (3) \\ E_{y\theta} &= +E_{\theta r} \cos \theta = -E_0 \cos^2 \theta \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \end{aligned}$$

전계 $E_{x\rho}$, $E_{y\rho}$, $E_{x\theta}$, $E_{y\theta}$ 의 ρ 와 θ 는 원통좌표계 성분이다. 그래서 촛점에서 전계 성분 E_x 와 E_y 는 다음과

같다.

$$\begin{aligned} E_x &= 0 \\ E_y &= E_{y\rho} + E_{y\theta} = -E_0(\sin^2 \theta \cos \varphi + \cos^2 \theta) \exp(-j \mathbf{k} \cdot \mathbf{R}) \quad (4) \\ E_z &= 0 \end{aligned}$$

그림 1에서 ds 는 구좌표계에서 파라볼릭 반사경의 적분인수로서 다음과 같다.^[6]

$$\begin{aligned} ds &= \rho d\theta \frac{R}{\cos(\frac{\varphi_0}{2})} d\varphi = R \sin \varphi_0 d\theta \frac{R}{\cos(\frac{\varphi_0}{2})} d\varphi \\ &= R^2 \sin \varphi_0 \frac{1}{\cos(\frac{\varphi_0}{2})} d\theta d\varphi = 2R^2 \sin(\frac{\varphi_0}{2}) d\theta d\varphi \quad (5) \end{aligned}$$

그러나 Z축상 임의의 점에서 전계 성분은 기하구조상 식(4)의 조건을 만족할 수 없다. 또한 적분인수 ds 의 φ_0 값은 φ 로 치환되며, 파라볼라 반사경 적분에서 구 표면 적분과 비교하여 많은 오차를 갖게 된다.^[6]

Z축상 임의의 점에서 전계 성분의 계산식은 다음 절의 개구면장 해석에서 좀더 깊이 다루도록 한다.

2. 개구면장 해석

반사경 안테나에서 입사파는 빔처럼 반사된다는 것을 앞절에서 보였다. 이 단원에서는 파라볼라에서 파의 회절에 대한 해석을 위해 개구면장 해석법을 사용하도록 한다. 이 방법은 경계적분방정식 이론과 동일하다. Silver와 Stratton에 의해 유도된 이식을 반사경 안테나 해석에 적용하여 유도한다.^[1,9]

$$\begin{aligned} E(x, y, z) &= -\frac{1}{4\pi} \int_A (\Psi \frac{\partial E}{\partial n} - E \frac{\partial \Psi}{\partial n}) ds + \frac{1}{4\pi} \int_{r_1} \Psi (E \times \tau) ds \\ &\quad - \frac{1}{4\pi} \frac{1}{j\omega \epsilon} \int_{r_1} (\nabla \Psi (\tau \cdot H)) ds \quad (6) \end{aligned}$$

여기서 Ψ 는 그린함수, A 는 개구면 영역, Γ_A 는 개구 경계면, τ 는 개구 경계면의 방향벡터이다. 그림 4에서 프레넬 영역(Fresnel region) 안에서 근거리가 아닌 영역에서 거리 R 과 매우 작은 각 θ_R 가 있다면 식(6)의 2,3번째 항은 생략할 수 있다. 그러므로 전자장 회절방정식은 스칼라 적분식에서 부터 포텐셜 함수 $U(P)$ 를 구할 수 있다.

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_A (\Psi \frac{\partial u}{\partial n} + u \frac{\partial \Psi}{\partial n}) ds \quad (7)$$

단 P 는 임의의 점이며, 함수 u 는 다음과 같이 표현된다.

$$u = -A(x, y) \exp(jk\zeta(x, y)(1 + \gamma))$$

그리고 첫번째와 두번째 항은 다음과 같이 근사시킬 수 있다.

$$\frac{\partial u}{\partial n} = \mathbf{n} \cdot \nabla u = -jk_0 \mathbf{u} \cdot \nabla L + u \frac{1}{A} \frac{\partial A}{\partial n} \approx -jk \mathbf{u} \cdot \nabla L = -jk \mathbf{n} \cdot \mathbf{s}$$

$$\frac{\partial \psi}{\partial n} = \mathbf{n} \cdot \nabla \psi = \frac{d}{dr} \left\{ \frac{1}{r} \exp(-jk_0 r) \right\} \mathbf{n} \cdot \mathbf{r} = (jk_0 + \frac{1}{r}) \mathbf{n} \cdot \mathbf{r} \left\{ \frac{1}{r} \exp(-jk_0 r) \right\}$$

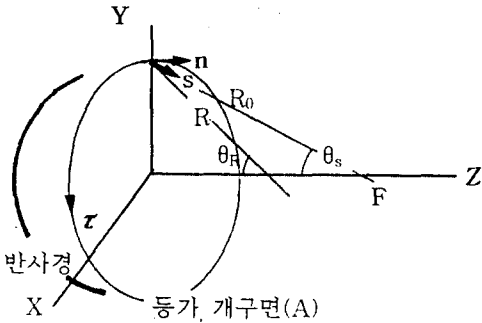


그림 4. 반사경에 개구면장 해석의 응용
Fig. 4. Application of aperture field method to a reflector.

이식에서 $k_0 \nabla L = k_0 \mathbf{s}$ 이고 \mathbf{s} 는 파의 전파 진행방향이고, 식 (7)에 대입하여 변환하면 다음과 같은 스칼라 회절방정식(Scalar diffraction formula)이 된다.

$$U(P) = \frac{1}{4\pi} \int_A u \frac{1}{r} \exp(jk\zeta(x, y)(1 + \gamma) + r) \left\{ (jk + \frac{1}{r}) \mathbf{n} \cdot \mathbf{r} + jk \mathbf{n} \cdot \mathbf{s} \right\} ds \quad (8)$$

식 (8)과 그림 4에서 A면은 반사경의 등가 개구면이고, $\zeta(x, y)$ 는 반사경의 형태함수(shape function)로써 구좌표계에서 γ 각스펙트럼($\gamma = -\cos\theta$)과 등가 크기 $A(x, y)$ 으로 표시 된다. \mathbf{n} 은 A면의 수직방향 단위벡터이고, \mathbf{s} 는 A면에서 파의 전파방향의 단위벡터이다.

프레넬 영역에서 전계의 등가 크기는 크기항 A가 촛점에서 회절파를 고려한 프레넬 영역에서 프라운호퍼영역(Fraunhofer region) 까지 변이를 계산 할 수 있다면 그 값은 거의 단위함수로서 회절파를 쉽게 계산 할 수 있도록 할 것이다. 촛점에서 등가 크기와 전자장의 실제값의 좀더 자세한 관계는 참고문헌 [1.8]에서 보이고 있다.

그래서 전계의 크기 E_a 와 위상항 $\exp \{-jk\zeta$

$(x, y)(1 + \gamma)$ 가 선형분극(linear polarise) 만으로 교차분극(cross polarise) 성분이 없다면 훨씬 쉬운 해석이 될 것이고, 식(8)은 Z축을 따라 다음과 같은 전개식으로 표현될 수 있다.

$$E_y(0, 0, z) = \frac{1}{4\pi} \int_A E_a(x', y') \frac{1}{r} \exp\{-jk[-\zeta(x', y')(1 + \gamma) + r]\} \left\{ (jk + \frac{1}{r}) \mathbf{n} \cdot \mathbf{r} + jk \mathbf{n} \cdot \mathbf{s} \right\} ds \quad (9)$$

식(9)는 Z축상 임의의 점에서 전계 E_y 의 관계식으로 적분인수 ds 는 개구면의 원 표면을 적분하면 된다. 이식은 앞절에서 언급된 식(5)의 파라볼라면을 적분하는 것 보다 훨씬 수월한 방식이 되고, 위상지연 항은 항상 반사경 모양의 기하구조와 관계한다.

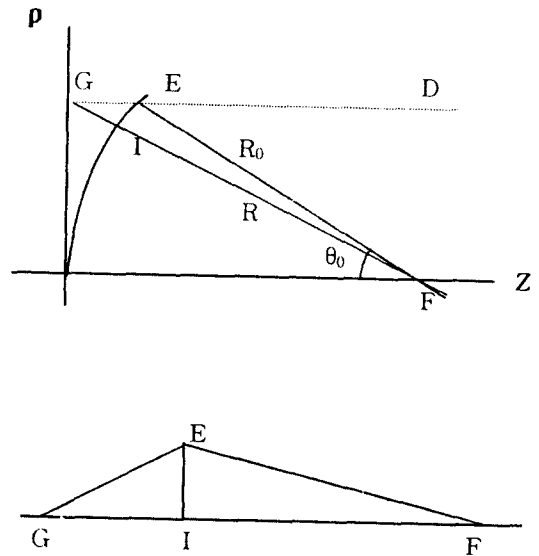


그림 5. 위상지연의 기하구조
Fig. 5. Geometry for phase delay.

그림 5에서 XY평면에 ρ 축 GO면이 반사경의 등가 개구면이다. 평면파 E_y 가 D점과 E점을 통과하여 촛점 F점을 지나가게 되면 위상지연 총거리는 $DE + EF$ 가 된다. 등가 개구면을 통과하는 위상지연 거리 $DG + GF$ 는 오차 $\epsilon = (DG + GF) - (DE + EF)$ 를 포함하고 있어 오차 $EG + GI = \zeta(x, y) + \zeta(x, y)\cos\theta$ 로 표현되고, 근사하여 $EF = IF$ 로 대치될 수 있어 위상지연항은 다음과 같이 표시할 수 있다.

$$-\{\zeta(x, y) + \zeta(x, y) \cos \theta\} + r = -\zeta(x, y) (1 + \gamma) + r$$

그러므로 식 (9)의 위상지연 항은 기하광학적 방법과 개구면장 해석에서 결론적으로 동일한 값이 된다.

또한 파의 진행거리는 초점면에서 출발하여 파라볼라 반사경을 거쳐 초점까지 이동한 총거리로서 초점거리의 2배가 된다.^[8] 그러나 초점이 아닌 Z축위의 어떤점(f_1)에서 파의, 이동거리(위상지연)는 식 (9)로부터 다음과 같은 관계식을 만들 수 있다. 이때 사이각 θ_r 는 벡터 \mathbf{r} 과 \mathbf{n} 사이에 존재하고, θ_s 는 벡터 \mathbf{s} 와 \mathbf{n} 사이에 존재하는 각이다.

$$f_1 = -\zeta(x, y)(1+\gamma) + r \cos(\theta_r - \theta_s) = -\zeta(x, y)(1+\gamma) + r \cos \theta_t \quad (10)$$

단 변수 $\theta_t = \theta_r - \theta_s$ 이고, 거리 r_0 와 파의 방향 벡터 \mathbf{s} 가 같은 방향이며, $\theta_t = 0$ 일때 이동거리 $f_1/2$ 는 초점거리 f 와 정확하게 일치한다. 반면에 위상지연 관계는 Z축위의 어떤점에서 r방향과 만나지 않을때 임의의 값으로 변화 될 것이다.

이 개념은 개구면 한점에서 위상지연을 계산하기에 매우 간편한 방법으로 파라볼라 반사면의 기하구조적 모양에 기초하게 된다. 위상 관계항 식 (10)을 식 (9)에 대입하여 임의의 관측점(x,y,z)에서 전계성분 E_y 는 다음과 같이 표현할 수 있다.

$$E_y(x, y, z) = \frac{j}{2\lambda} \int_A E_a(x', y') \exp[-jk\{-\zeta(x', y')(1+\gamma) + r \cos \theta_t\}] (\cos \theta_r + \cos \theta_s) ds \quad (11)$$

본 단원에서 유도한 식 (11)이 일반식과 같은 형태인 것을 증명하기 위해서는 다음과 같은 근사과정의 필요하다.

여기서 $\cos \theta_t$ 는 θ_t 가 작을때 정규화된 값이 되고, 거리 $1/r$ 은 상대적으로 큰값인 jk 에 비교하여 무시할 수 있어 원통좌표계의 1차 베셀함수(J_1)와 같이 나타낼 수 있다.^[7,8]

$$E_y(\rho, \phi, z) = -\frac{j}{\lambda} \int_0^{\rho} \int_0^{2\pi} E_a(\rho', \phi') \exp(-jk \frac{\rho}{z} \rho' \cos(\theta - \theta')) \rho' d\rho' d\theta' \\ = -\frac{j\zeta}{\lambda} \frac{2J_1(\theta)}{\theta} \quad (12)$$

ζ 는 상수이고, θ 는 원통좌표계에서 변수이며, z 는 Z축 위에 있는 점이다. 이것은 프레넬 영역 $R \gg \lambda$ 에 서 가능한 조건이 된다.

거리 R 은 식 (9-11) 위상항에서 다음과 같이 근사

될 수 있다.

$$R = \{(x-x')^2 + (y-y')^2 + z^2\}^{1/2} \approx z + \frac{(x-x')^2}{2z} + \frac{(y-y')^2}{2z} = z + R_a \\ \approx R_1 - (\alpha x + \beta y) + \frac{x'^2 + y'^2 - (\alpha x' + \beta y')^2}{2R_1} = R_1 - R_b \quad (13)$$

단 R_1 은 개구면 중심점에서 관측점(x,y,z)까지의 거리이며, R_a 와 R_b 는 다음과 같다.

$$R_a = \frac{(x-x')^2}{2z} + \frac{(y-y')^2}{2z} \\ R_b = \frac{x'^2 + y'^2 - (\alpha x' + \beta y')^2}{2R_1}$$

여기서 α, β, γ 는 구좌표계의 각스펙트럼의 방향을 나타낸다. 식(11)에 위식의 관계를 대입하여 프레넬 영역에서 전계를 구할 수 있다.

$$E_y(x, y, z) = \frac{j \exp(-jkz)}{2\lambda R_1} \int_A E_a(x', y') \frac{1}{R} \exp(+jkR_a) [\cos \theta_r + \cos \theta_s] ds \quad (14-a)$$

$$E_x(x, y, z) = \frac{j \exp(-jkz)}{2\lambda R_1} \int_A E_a(x', y') \frac{1}{R} \exp(+jkR_b) [\cos \theta_r + \cos \theta_s] ds \quad (14-b)$$

예를 들어 식 (14-a,b)가 식 (9,11)로부터 원거리에서 작은 θ 를 가지고 있으며, $\gamma=1$ 과 $E_a(x', y') = E_0 \exp(jk(x'^2 + y'^2)/2f)$ 에서 다음과 같이 표현 될 수 있다.

$$E_y(x, y, z) = \frac{jE_0}{\lambda R_1} \exp(-jk(z + \frac{x^2 + y^2}{2f})) \int_A \exp(+jk \frac{xx' + yy'}{f}) dx' dy'$$

이식은 $f \gg d$ 관계에서 전계 E_y 를 구하는 일반식이 다.

그러므로 식 (9,11)은 이상에서 보인 일반 근사식보다 프레넬 영역에서 좀더 정확한 값에 접근되는 결과를 기대할 수 있고, Z축위에서와 초점 영역에서 전계분포 E_y 를 계산할 수 있을 것이다.

3. 반사경 안테나의 변형

반사경의 개구면을 넘어 발생하는 전자계의 변화는 초점의 피드나 반사경의 변형이 원인이 된다. 위상과 전자장의 크기 변화는 식(9,11)을 사용하여 형태함수 $\zeta(\rho)$ 에 기인하는 ρ 의 관계로 계산할 수 있다. (ρ 는 반사경의 개구면 원점에서 소스점(x',y')까지의 거리이다.) 만약에 형태함수 $\zeta(x,y)$ 가 변화 한다면 복사패턴

은 원래의 복사형태에서 변형을 갖게 될 것이다.

이것은 반사면이 불규칙 하다면 반사빛이 촛점에 집중되지 않고 산란하게 되는 것과 같은 형상으로 촛점 영역에 최대 전력이 집중되지 못하고 일부가 산란 된다면 안테나의 효율이 그만큼 낮아지게 된다. 변화된 촛점의 위치와 위상 및 복사패턴을 알 수 있다면 최대한 많은 량의 전력을 전송할 수 있을 것이다.

본 연구에서는 반사경의 다양한 변형을 4가지 형태로 묶어 수식으로 고려하도록 한다. 이들 형태는 일차 선형변형(linear distortion), 이차 포물선변형(quadratic distortion), 삼차 곡선변형(cubic distortion), 복합적 변형(hybrid distortion)이다.^[11]

반사경의 2차 변형에는 좀더 원래 모형에 근접된 변형이 된다. 실제로 반사경 변형의 해석은 복합된 형태 함수의 첨가를 필요로 한다. 이러한 복합 변형의 관계식과 해석은 검토사항에서 다루도록 한다.

III. 계산결과 및 검토사항

컴퓨터 모의실험은 파라볼라형 안테나와 오프셋형 안테나를 기본 모델로 하고, 재구성안테나 크기와 사양을 가지고 계산한다. 해석방법은 단원 2에서 유도된 두가지 방법의 수식을 적용하여 해석한다.

첫번째 단계로 그림 1의 파라볼라 반사경을 해석하고 다른 연구 결과들과 비교하도록 한다.^[10-13] 다음 단계로 이들 방법을 이용한 오프셋안테나를 해석한다. 여기서 오프셋형은 구조적으로 파라볼라형의 부분이므로 동일한 결과를 기대 할 수 있다.

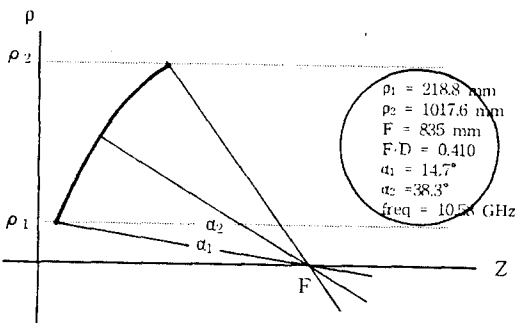


그림 6. 오프셋 반사경 안테나의 구조
Fig. 6. Configure of offset reflector antenna.

그림 6의 오프셋형 안테나는 재구성 안테나와 동일한 구조를 갖는다.^[2-5]

기본 조건은 파라볼라형과 동일하게 선형 평면파가 입사하고, 구조적으로 파라볼라형 안테나 1.2 상한의 부분적인 해석과 동일하다.

1. 파라볼라형 안테나 해석

그림 7은 파라볼라 안테나에서 전계 E_y 크기를 계산한 것이다. E_y 크기가 일정한 선형 평면파로 반사경에 입사하고, 주파수 10.58 GHz, 촛점거리 $f=0.835$ [m]인 조건에서 반사경 안테나 직경 d 를 변화시켜 각 f/d 비율에 따른 전계의 크기를 Z축을 따라 구한 것이다.

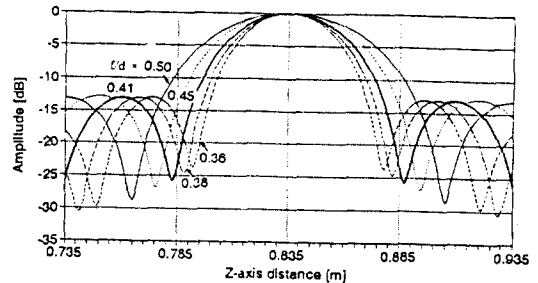


그림 7. 파라볼라 반사경에서 f가 고정 될때 f/d비가 변화 되는 경우
Fig. 7. The case of f/d ratio changed with f fixed at parabolic reflector.

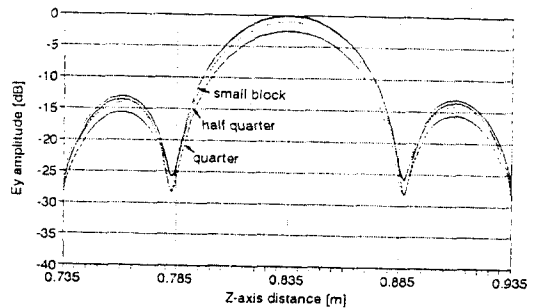


그림 8. 파라볼라 반사경에 부분 제거가 된 경우
Fig. 8. The case of small section blocking at parabolic reflector.

그림 7에서 E_y 크기는 주빔과 첫번째 부빔사이의 -13.2 dB 차이를 나타내고 있으며, 다른 부빔들은 점차적인 감소 형태를 이루며 주빔의 중심축에 대칭하고 있다. 만약 등가 개구면장의 전계 크기가 단일 구형파가 아닌 반파 정현파나 단일 삼각파형 등으로 하면 크기는 -13.2 dB 이하의 차이를 갖게 되는데 본 연구에서는 해석의 간편함을 위해 전계의 크기를 단일 구형

파로 하고 해석한다.^[1,6,8]

여기서 f/d 비율은 각각 0.36, 0.38, 0.41, 0.45, 0.50 이며, 첫번째 영준위(nulling)점까지 거리는 f/d 비율이 증가 할 수록 간격이 넓어진다. f/d 가 0.41에서 거리 간격은 약 1.8λ 이다. 이들 결과는 다른 연구 결과들과 좋은 일치를 보이고 있다.^[10-13]

그림 8은 전체 반사경 면적의 1/8이 제거된 경우 (45° 부채꼴 형태) 주빔이 -1.0 dB, 1/4이 제거 된 경우 (90° 부채꼴 형태) 주빔이 -2.5 dB 정도의 감소 하는 것을 보이고 있다. 이때 E_z 은 -50 dB 이하의 미소변화로 발생하여 전력전송에 거의 영향을 주지 않는 요소로 무시 될 수 있다. 그리고 반사경에 미소 구멍이나 불룩이 생긴 경우에는 주빔에 변화가 발생하지 않았다. 이것은 주파수 파장보다 적은 면적의 제거가 전력 전송에 커다란 변화를 주지 않는 것과 일치하는 현상이다.

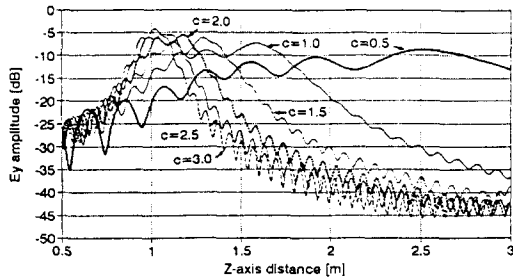


그림 9. 파라볼라 반사경의 선형함수 변형 효과에 따른 Z축상의 E_y 크기

Fig. 9. E_y amplitude on Z-axis by deformation of parabolic reflector with linear shape function.

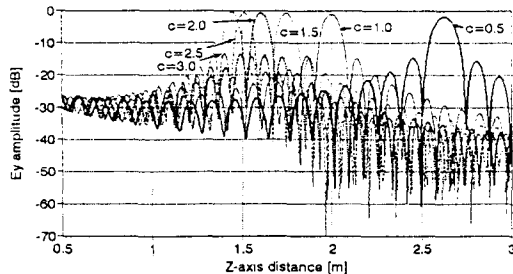


그림 10. 파라볼라 반사경의 이차함수 변형 효과에 따른 Z축상의 E_y 크기

Fig. 10. E_y amplitude on Z-axis by deformation of parabolic reflector with quadratic shape function.

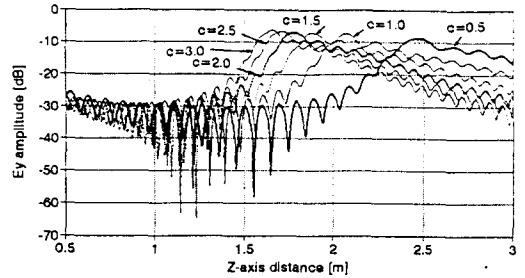


그림 11. 파라볼라 반사경의 삼차함수 변형 효과에 따른 Z축상의 E_y 크기

Fig. 11. E_y amplitude on Z-axis by deformation of parabolic reflector with cubic shape function.

그림 9-11은 기본형 반사경에 1차 직선, 2차 포물선, 3차 곡선의 변형효과를 첨가하여 새로운 촛점위치와 주빔의 크기 변화를 나타낸 것이다. 변형함수 $z=c_n \rho^n = f(y)$ 에서 기울기 c_n 는 0.5에서 3.0까지 $+0.5$ 씩 증가하며 각각의 변형효과를 주게 된다.

표 1. 변형함수 $z=f(\rho)$ 의한 파라볼라 반사경의 새로운 촛점 위치와 E_y 크기 (단위: m, dB)

Table 1. New focal point and E_y amplitude at parabolic reflector with shape function $z=f(\rho)$. (unit: m, dB)

변형 함수 \ c_n	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
일차	2.51-8.73	1.59-7.22	1.28-6.25	1.18-5.55	1.06-5.45	1.02-4.17
이차	2.63-1.88	2.00-1.18	1.75-0.88	1.61-0.71	1.51-0.61	1.45-0.52
삼차	2.48-8.95	2.07-7.44	1.88-7.19	1.78-7.15	1.72-6.70	1.66-6.27

표 1은 그림 9-11의 결과에서 촛점위치와 주빔 크기를 변형함수의 변화에 따라 표시한 것이다. 파라볼라형 안테나에 이러한 변형효과를 c 의 크기에 따라 변화되는 촛점의 위치와 주빔의 크기로 표시한 것이다. 기울기 c 는 증가 할 수록 원거리에서 원래의 촛점 위치에 접근하는 것을 보이고 있어, 기울기가 증가하는 것은 z축에 근접하여 변형 효과를 크게 미치지 못하는 것으로 나타나고 있다. 또한 변형함수가 일차나 삼차보다는 이차에서 원형에 더욱 근접된 복사패턴을 보이고 있어 원래 반사경 모양에 가까운 변형 효과를 주는 것으로

집작 할 수 있다. 이 변형의 관계에 대해서는 고려사항에서 다루도록 한다.

2. 오프셋형 안테나 해석

표준 결과는 그림 12에 제시한다. 구조적으로 파라볼라형의 1.2상한에서 고려하게 되므로 Z축 방향에 비대칭이 된다. 또한 피더의 지향각은 Y축으로 38.3° 상향 조정한다. 이것은 선형분극(linear polarise)만 존재하고 직교분극(cross polarise)의 발생을 최소화 하기 위한 것이다. 단면분극 E_z 성분의 주빔은 -16 dB 이하에서 존재하게 되는데 이것은 반사체 구조의 비대칭 효과에 의한 것이고, 단면분극 E_x 성분은 1.2상한 대칭 구조로써 존재하지 않는다. [12,14,15]

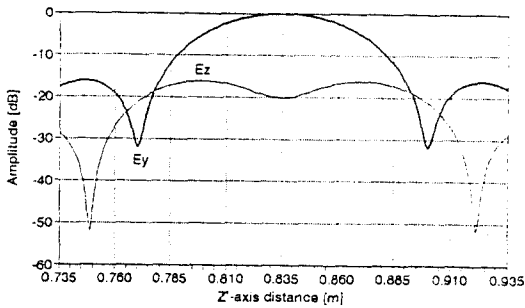


그림 12. 오프셋 반사경의 Z축을 따라 전계 E_y 크기 변화

Fig. 12. E_y and E_z fields amplitude on Z-axis at offset reflector.

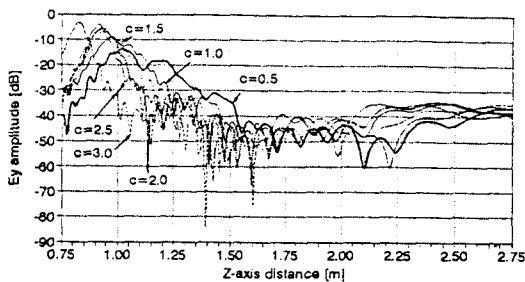


그림 13. 오프셋 반사경의 선형함수 변형 효과에 따른 Z축상의 E_y 크기

Fig. 13. E_y amplitude on Z-axis by deformation of offset reflector with linear shape function.

오프셋형 반사경에 미소구멍이나 블럭이 있는 경우 파라볼라형과 동일하게 E_y 와 E_z 성분에 거의 영향을 주지 못하고 있으나, 파라볼라 형의 경우와 동일하게 반사경

이 일부 제거가 된 때는 E_z 성분의 발생과 E_y 성분의 감소가 있으나 본 논문에서는 반사경의 변형 만을 언급하도록 한다. 그림 13-15는 파라볼라 경우와 동일하게 기본형 오프셋반사경에 1차 직선, 2차 포물선, 3차 곡선의 변형효과를 첨가하여 새로운 초점위치와 주빔의 크기 변화를 표시한 것이다. 변형함수 $z=f(\rho)$ 에서 기울기 c 는 0.5에서 3.0까지 +0.5씩 증가하며 각각의 변형효과를 주게 된다.

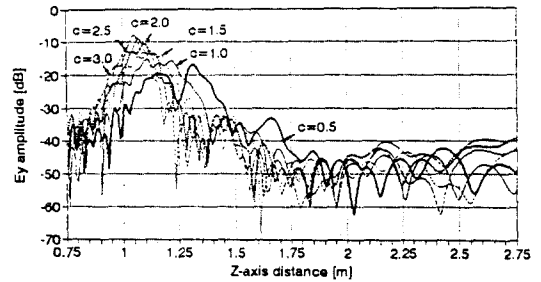


그림 14. 오프셋 반사경의 이차함수 변형 효과에 따른 Z축상의 E_y 크기

Fig. 14. E_y amplitude on Z-axis by deformation of offset reflector with quadratic shape function.

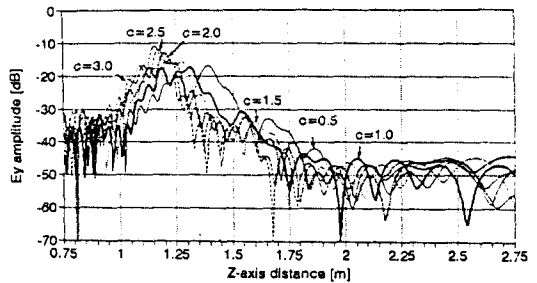


그림 15. 오프셋 반사경의 삼차함수 변형 효과에 따른 Z축상의 E_y 크기

Fig. 15. E_y amplitude on Z-axis by deformation of offset reflector with cubic shape function.

표 2는 그림 13-15의 결과에서 주빔의 초점위치와 크기를 변형함수의 변화에 따라 표시한 것이다. 여기서 보는바와 같이 변형함수에 의한 변형 효과는 파라볼라 안테나에서 보다 더욱 심하게 나타나고 있는데 이러한 효과의 원인은 구조적으로 오프셋이 비대칭이기 때문이다.

표 2. 변형함수 $z=f(\rho)$ 의한 옴셀반사경의 초점 위치와 크기(단위: m, dB)

Table 2. New focal point and E_y amplitude at offset reflector with shape function $z=f(\rho)$ (unit: m, dB)

변형함수 \ C_n	0.5	1.0	1.5	2.0	2.5	3.0
일차	1.02, 13.82	0.98, 9.05	0.94, 6.96	0.94, 5.53	0.92, 4.12	0.91, 3.28
이차	1.31, 16.93	1.11, 15.32	1.11, 12.69	1.09, 10.54	1.07, 8.95	1.06, 7.94
삼차	1.39, 16.86	1.31, 17.37	1.22, 14.72	1.20, 13.09	1.17, 12.06	1.16, 10.95

3. 검토사항

변형함수에 의한 주빔의 위치와 크기가 변화 할 때 이들 효과는 반사경이 완전한 초점을 맺지 못하고 전력의 산란되는 경우이다. 변형된 반사경을 사용한 변경된 새로운 초점의 전력패턴도 변형효과가 클 경우 완전한 전력패턴을 나타낼 수 없다. 즉 안테나의 효율이 저하된다는 것으로 하나의 완전한 초점은 파라볼라형에서 보듯이 하나의 구조형태에서만 가능하다.(옴셀의 경우도 파라볼라형의 일부로 취급) 이러한 변형과 기본형의 종합적인 관계식으로 형태함수를 표시할 수 있다.

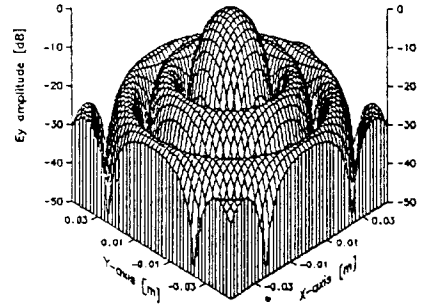
$$z = \frac{\rho}{4f_0} + c_0 + c_1\rho + c_2\rho^2 + c_3\rho^3 + \dots \quad (15)$$

식 (15)는 반사경의 형태함수로써 기본 모형인 우변 첫째항에 변형함수 항들을 첨가한 복합 변형의 일반식이다.

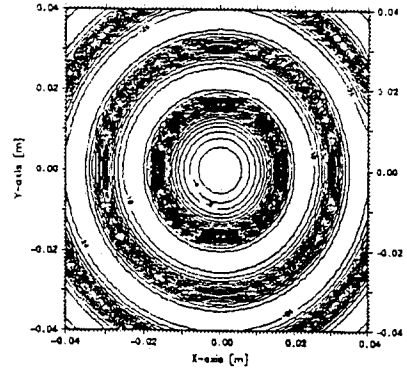
$$(z-b) = \frac{(\rho-a)^2}{4f_1} \quad (16)$$

이 식은 변형요인이 일차와 이차항 만이 존재하게 되는 복합적인 경우로 식 (16)과 같은 형태를 취할 수 있다. ρ 축은 XY 좌표면에 존재하고, 이동된 새로운 초점 f_1 은 ρZ 좌표면의 (a,b)점이 된다. 이 경우 반사경의 초점은 완전하게 전력 집중이 되는 곳이다. 그러나 다항식 식 (15)가 완전하게 식 (16) 같이 변화되지 않는 경우는 초점에 전력이 집중될 수 없다.

그림 16-19는 형태함수 식(16)처럼 변형된 파라볼라형과 옴셀형 안테나의 전계분포를 보인 것이다. 그림 17은 Z축으로 0.1m, XY축으로 (+0.01m,+0.01m) 초점 이동한 경우의 결과로써 초점 위치는 (+0.01,+0.01,+0.845)이다.



(a)



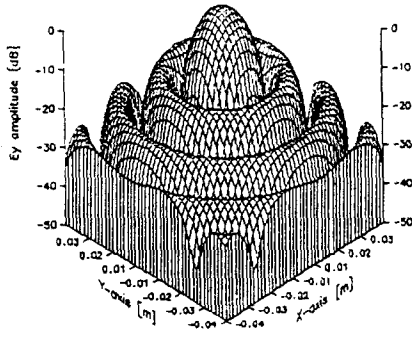
(b)

그림 16. 파라볼라형 반사경의 초점영역에서 기본 필드패턴 (a) 필드패턴의 모양 (b) 필드패턴의 지도

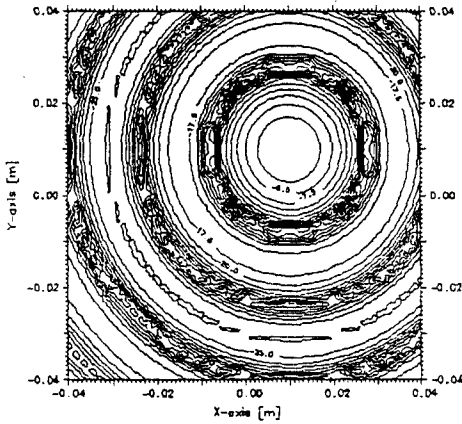
Fig. 16. Standard field pattern at focal region of parabolic reflector. (a) A view of field pattern (b) A map of field pattern.

그림 19는 Z축으로 0.05m, XY축으로 (-0.02m, -0.02m) 초점 이동한 경우의 결과로 초점의 좌표는 (-0.02,-0.02,+0.885)이다. 옴셀형의 경우 파라볼라형의 전력패턴에서처럼 완전한 대칭이 만들어지지 않는 것은 피더 지향각 위치가 38.3°의 오차와 구조 자체의 비대칭 효과에 기인하는 것으로 추정 된다.

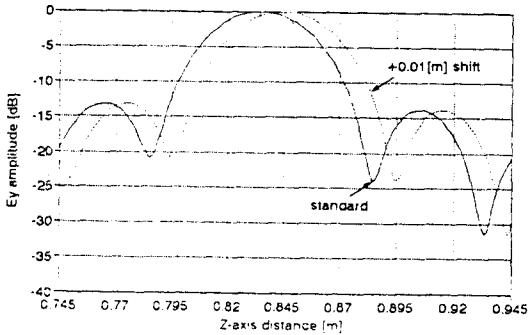
이상의 결과에서 반사경에 변형효과를 식 (15)처럼 다항식 형태로 표시하여 복합적인 경우를 만들 수 있다. 이것은 1차, 2차, 3차 각각의 변형효과에서처럼 축방향의 대칭 형태가 복합적인 변형에서는 축방향이 아닌 임의의 점에 초점이 놓이게 되는 경우이다. 또한 식(16)처럼 완전한 형태가 되지 않는 경우 식 (15) 다항식처럼 근사하여 초점의 위치를 예측할 수 있을 것이며, 전력분산에 의한 안테나 효율도 저하되는 것을 알 수 있다.



(a)



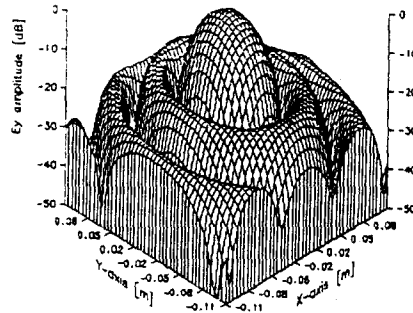
(b)



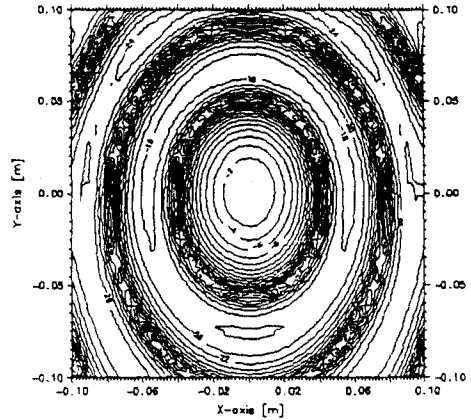
(c)

그림 17. 복합적 변형에 의한 파라볼라형 반사경의 필드패턴 (a) 필드패턴의 모양 (b) 필드패턴의 지도 (c) Z축의 전계 크기

Fig. 17. Field pattern of parabolic reflector with hybrid deformation. (a) A view of field pattern (b) A map of field pattern (c) Field amplitude on Z-axis.



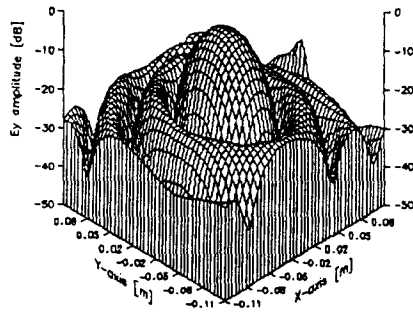
(a)



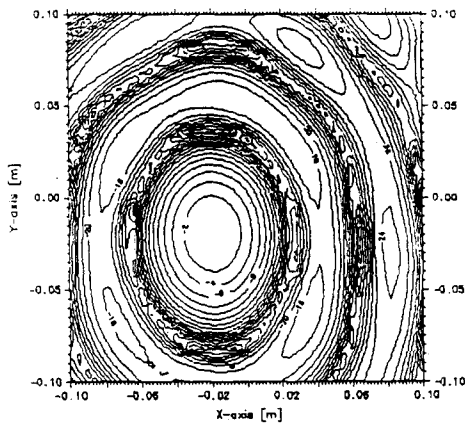
(b)

그림 18. 음셀형 반사경의 초점영역에서 기본 필드패턴 (a) 필드패턴의 모양 (b) 필드패턴의 지도

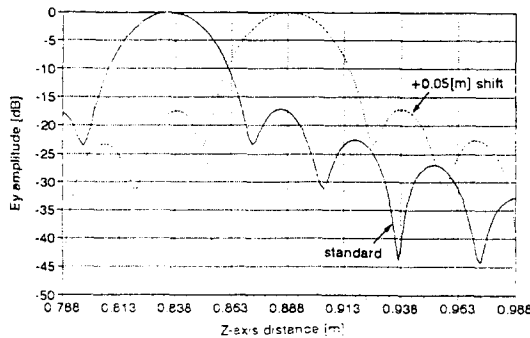
Fig. 18. Standard field pattern at focal region of offset reflector. (a) A view of field pattern (b) A map of field pattern.



(a)



(b)



(c)

그림 19. 복합적 변형에 의한 오프셋형 반사경의 필드패턴 (a) 필드패턴의 모양 (b) 필드패턴의 지도 (c) Z축의 전계 크기.

Fig. 19. Field pattern of offset reflector with hybrid deformation (a) A view of field pattern (b) A map of field pattern (c) Field amplitude on Z-axis.

IV. 결론

본 연구는 위성안테나 시스템의 반사경 변형에 의한 촛점 위치와 필드패턴을 해석하였다. 해석방법은 형태함수를 이용하여 기하광학적 방법과 개구면장 방법에서 유도된 수식에 반사경 변형을 해석하였다. 두가지 해석 방법은 파라볼라형과 오프셋형에서 다른 연구 결과들과 정확한 일치치를 보이는 신뢰할 수 있는 방법이다. 물리적인 변형 해석은 수식적으로 1차, 2차, 3차 변형함수를 사용하고 다항식을 복합적으로 사용하였다.

이상의 결과는 위성안테나 시스템의 반사경이 외부의 효과에 의해 변형이 일어나는 경우 정확한 촛점 위치와 복사패턴 조정용으로 사용하며, 재구성안테나 촛점에 위치한 피더의 이동과 전력패턴 계산에 도움을 줄 수 있다.

앞으로의 연구는 좀더 복잡한 다항식에 의해 변형함수를 만들고 촛점위치를 예측하는 일과 촛점영역에 피더 어레이를 하는 경우 변형된 촛점의 위상지연의 정확한 계산을 하고자 한다.

참고 문헌

- [1] S. Silver, *MICROWAVE ANTENNA THEORY AND DESIGN*, chapter 5-6, Peter Peregrinus Ltd, 1986.
- [2] PJB.Clarricoats and et al, "Synthesis of shaped-beam reflector antenna patterns," IEE Proceedings, vol. 135, Pt.H, no. 1, pp 48-53, Feb. 1988.
- [3] PJB.Clarricoats and et al, "Design and performance of a reconfigurable mesh reflector antenna -part 1: Antenna design," IEE Proceeding-H, vol. 138, no.6, pp 485-492, Dec. 1991.
- [4] PJB.Clarricoats and et al, "Design and performance of reconfigurable mesh reflector antenna -part 2: Antenna performance," IEE Proceedings-H, vol.138, no.6, pp 493-496, Dec. 1991.
- [5] PJB.Clarricoats and et al, "An array-fed reconfigurable reflector for spacecraft applications", IEE Proceeding-H, 1994.
- [6] H.C.Minnett and et al, "Fields in the image space of symmetrical focusing reflectors," Proc., IEE, vol.115, pp. 1419-1430, Oct. 1968.
- [7] Born and Wolf, *PRINCIPLES OF OPTICS*, chapter 9, 1958.
- [8] R.H.Clarke and J.Brown, *DIFFRACTION THEORY AND ANTENNAS*, chapter 5-7, John wiley & sons, 1980.
- [9] J. A. Stratton, *ELECTROMAGNETIC THEORY*, chapter 3, 1943.
- [10] P.A.Matthews and A.L.Cullen, "A Study

of the field distribution at an axial focus of a square microwave lens." Monograph no. 186R, pp. 449-456, July 1956.

- [11] A.W.Rudge and et al, "Electronically controllable primary feed for profil error compensation of large parabolic reflectors." Proc., IEE, vol. 117, no.2, pp351-358, Feb. 1970.
- [12] J.Ruze. "Antenna Tolerance Theory - A Review." Proceeding of IEEE. vol. 54, pp. 633-640, April 1966.
- [13] P.G.Ingerson and W.V.T.Rusch, "Radiation from a Paraboloid with an Axially Defocused Feed." IEEE Trans. Antenna Propagat., vol. AP-21, pp. 104-106, Jan. 1973.
- [14] Ta-Shin Chu and R.H.Turrin, "Depolarization Properties of Offset Reflector Antennas." IEEE Trans., Antennas Propagat., vol. AP-21, pp339-345, May 1973.
- [15] A.W. Ruge. "Multiple-Beam Antennas: Offset Reflectors with Offset Feeds." IEEE Trans., Antennas Propagat., vol. AP-23, pp317-322, May 1975.

— 저 자 소 개 —



李 相 楹(正會員)

1958년 9월 3일생. 1983년 2월 중앙대학교 전자공학과(학사). 1985년 2월 동대학 대학원 전자공학과(석사). 1989년 2월 동대학 대학원 전자공학과(박사). 1993년 8월~1994년 8월 London 대학 Academic Visitor(Post-Doc.). 1989년 3월~현재 대우공업전문대학 전자과 교수. 주관심분야는 위

성안테나 및 UHF 안테나, EMC 분야 등임