

論文95-32A-1-4

反射板의 表面거칠기와 構造의 誤整列에 依한 파라볼라 反射板 안테나 패턴 일그러짐 계산

(Calculation for the pattern degradation of the parabolic reflector caused by both the surface roughness of the reflector and the structural misalignment)

金柱完*, 金炳成*, 南相旭*, 李忠雄*

(Joo-Wan Kim, Byung Sung Kim, Sangwook Nam, and Choong Woong Lee)

요 약

本 論文에서는 反射板의 表面거칠기와 構造의 誤整列이 同時에 存在할 境遇의 안테나 平均輻射電力패턴의 變化를 效果的으로 計算하는 方法을 提案한다. 이 過程에는 非均一表面誤差(nonuniform surface error)들과 非均一照射函數(nonuniform illumination function)가 導入되었다. 式을 誘導하기 爲한 假定으로서는 안테나 의 어떤 高리領域에서 表面거칠기의 표준편차(rms[root mean square])값을 알고 있다는 것과, 高리내의 어떤 區間에서 誤整列에 依한 位相誤差값이 均一하며 그 값은 그 區間 中心에서의 값을 취한다는 것이다. 誘導된 式들에 對한 檢討를 通하여 各種 誤差들과 照射函數의 傾斜(illumination taper)가 利得이나 副葉 및 빔 指向方向에 어떤 影響을 미치는 가를 보인다.

Abstract

For a parabolic reflector antenna, a simple method is presented for computing efficiently the average power pattern degradations caused by the surface roughness of the reflector and misalignments between the reflector and the feed. In this procedure, both nonuniform surface errors and nonuniform illuminations are employed. The assumptions to derive the expressions are that in each annular region of the antenna, the rms value of the surface roughness is known, and in a zone in a annular region, the phase error by misalignments is constant, and can be taken to its value at the center of the zone. Detailed parametric studies are performed with derived expressions to determine the effects of those errors and illumination tapers on parameters such as gain and sidelobe levels.

I. 序 論

反射板 안테나의 크기가 커질 수록, 使用周波數가 높 아질 수록 안테나의 性能은 各種 製作誤差에 의해 急激 히 低下되게 된다. 또한, 안테나 패턴 형상 그 自體가 重要한 要素로 登場하게 되는 시스템에서는 設計 초반 부터 製作誤差에 關한 解析이 필히 隋伴되어야 한다.

* 正會員, 서울大學校 電子工學科
(Dept. of Elec. Eng., Seoul Nat'l Univ)
接受日字 : 1994년 6月 30日

本論文은 國內에서 向後 推進할 豫定인 電波望遠鏡用 안테나 開發이나 追跡레이더用 안테나 開發에 對備하여 實施한 反射板 안테나의 誤差에 對한 研究로서, 안테나가 願하는 性能을 내기 爲하여 各種 誤差를 안테나 加工 및 組立時에 提示 및 管理할 수 있도록 함이 이 論文의 目的이다.

反射板 안테나에서 나타나는 誤差에는 여러 가지가 있는데, 이들을 크게 세 種類로 分類할 수가 있다. 첫째가 反射板의 表面거칠기이고, 두 번째가 反射板의 일그러짐이며 마지막으로 反射板들과 給電器 사이의 誤整列을 이야기할 수가 있다. 反射板의 表面거칠기는 反射板을 加工할 때 주로 나타나며 加工裝備의 加工誤差에 依하여 精密도가 左右되게 된다. 萬若 형틀에 依하여 製作할 境遇에는 形틀의 表面精密도에 依하여 反射板의 精密도가 크게 左右되게 된다. 反射板의 일그러짐에는 휨이나 비틀림 등이 있는데, 이들은 反射板을 形틀에서 成形한 後 메어낼 때 휨이나 비틀림이 생길 수 있으며, 다른 構造物들과 組立할 때에도 發生할 수 있다. 그리고, 안테나가 動作時에 重力이나 바람에 依한 影響으로 일그러짐이 發生되어 안테나의 性能이 低下되기도 한다. 反射板들과 給電器 사이의 誤整列은 이들을 組立시킬 때 나타나는 데, 反射板과 給電器 사이의 相對的인 移動(relative translation)이나, 各各의 回轉運動(rotation)들은 안테나의 패턴을 심하게 歪曲시킨다.

反射板의 表面거칠기가 안테나 性能에 미치는 影響을 分析하는 方法에는 주로 統計的인 方法이 쓰이고 있으며, J. Ruze^[1]가 誤差統計모델을 提示한 以後 많은 論文들이 發表되었다. Ruze는 작고 均一한 誤差分布에서의 안테나 패턴의 變化를 研究하였는데, 이 때 使用된 假定은 다음과 같다.

假定 #1 : 어떤 地點에서의 表面誤差(surface deviation)는 平均이 零이고 標準偏差가 表面거칠기들의 rms값과 같은 가우스(Gaussian)分布의 無作爲 標本(random sample)이다.

假定 #2 : 表面誤差들은 작은 領域에서 相互 關聯(correlation)되어 있다.

Ruze는 이들 假定으로부터 均一誤差分布(uniform error distribution)에 對한 利得損失과 패턴의 일그러짐을 計算하였는데, 이 研究는 以後의 反射板 안테나 誤差解析 研究에 重要한 基準이 되었다. 그러나, 그는 利得損失을 計算時 均一誤差分布를 假定하였기 때문에, 表面거칠기들이 開口面에서 領域別로 다른 特性을 가질 때는 利得損失을 잘못 評價할 수밖에 없었다. 이러한 境遇의 研究는 M. S. Zarghamee가 遂行하였는데, 그는 Ruze의 理論을 擴張하여 非均一誤差分布에 對

한 利得損失과 빔幅의 變化를 豫測하였다^[2]. 그는 이 論文에서 "RF path length의 變化는 有效表面變化量(surface normal deviation의 軸方向成分)의 두 배이다"라는 概念을 導入하였는데, 이 概念도 以後의 誤差解析 研究에 많이 利用되었다. 그리고, Y. Rahmat-Samii^[3]는 Ruze와 Greve^[4]의 理論에 根據하여 表面거칠기에 依하여 發生하는 平均輻射電力 패턴의 일그러짐을 效果的으로 計算하는 새로운 數學的 모델을 提示하였다.

反射板과 給電器 사이의 誤整列이 안테나 패턴에 미치는 影響은 M. S. Zarghamee가 研究하였는데^[5], 그는 主葉(main beam)의 利得低下와 빔指向方向을 計算하였다.

本論文은 Ruze, Zarghamee와 Rahmat-Samii의 理論에 基礎하여, 反射板의 表面거칠기와 誤整列이 同時에 存在時 平均輻射電力 패턴의 主葉과 副葉(sidelobe)의 變化를 同時에 效果的으로 計算하는 方法을 提示한다. 이를 爲해 表面거칠기에 依한 位相誤差는 Ruze의 假定을 導入하여 計算하고 여기에 誤整列에 依한 效果를 追加하여 全體 패턴의 變化를 觀察한다. 어떤 정해진 領域에서 誤整列에 依한 位相誤差값은 그 領域內에서 어떤 常數값을 갖는다고 假定한다. 이 常數값으로 本論文에서는 그 領域 中央에서의 값을 取하기로 한다. 이 假定은 정해진 領域의 크기가 작을 때는 別 問題가 되지 않으나 크기가 커지게 되면 計算 誤差가 많이 發生하게 된다. 컴퓨터 시뮬레이션을 통해 妥當한 結果를 計算하기 위한 정해진 領域의 크기를 어느 程度로 잡아야 하는 지를 檢討한다.

II. 平均輻射電力 計算式 誘導

그림 1은 軸方向으로 對稱인 파라볼라 안테나(axial symmetric parabolic antenna)의 構造를 보인 것이다. 그림 1에서 $\hat{\rho}$ 는 觀測方向으로의 單位벡터이며, \mathbf{r} 은 開口面 上에서의 任意의 한 地點을 나타내는 벡터이다.

開口面에서의 位相誤差는 Zarghamee의 概念을 그대로 利用한다. 즉, 開口面에서의 位相誤差 δ 는

$$\begin{aligned} \delta &= k \cdot RF \text{ pathlength의 변화} \\ &= k \cdot 2\epsilon \cdot \cos\left(\frac{\xi}{2}\right) \end{aligned} \quad (1)$$

로 주어지는 데, 여기서 ϵ 는 反射板의 surface normal deviation이며 k 는 自由空間의 傳播常數로서 $k=2\pi/\lambda$ 로 주어진다. 그리고, ξ 와 \mathbf{r} 의 關係는

$$\tan\left(\frac{\xi}{2}\right) = \frac{r'}{2f} \quad (2)$$

으로 주어진다.

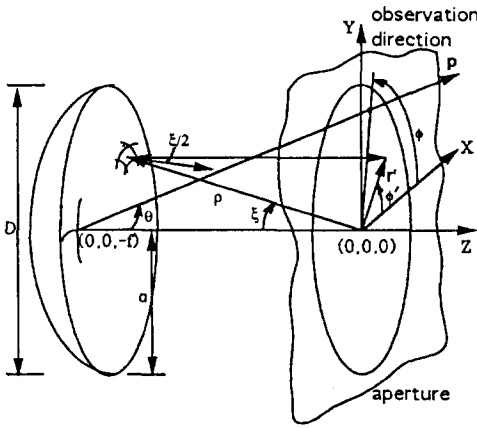


그림 1. 파라볼라 反射板 안테나의 構造
Fig 1. Geometry of a parabolic reflector antenna.

各種 誤差가 발생시 개구면에서의 振幅 分布 函數 (amplitude illumination function)의 값은 변형이 일어나지 않는다고 가정한다. 왜냐하면, 반사판에서 작은 양의 변형에 대한 안테나 패턴의 일그러짐은 주로 위상오차에 기인하며 진폭의 변화로 인한 효과는 매우 미미하기 때문이다. 예전의 연구 논문들이 위상오차만을 다루고 있는 이유가 바로 이 때문이다. 개구면에서의 진폭분포함수는 반사판 안테나에서 흔히 사용되는 식을 사용하기로 한다. 즉, 진폭분포함수는

$$f(r') = A + B\left(1 - \frac{r'^2}{a^2}\right)^p \quad (3)$$

로 표현하기로 한다. 여기서, $A+B=1$ 이며, p 는 분포의 형태를 조정하는 값으로 통상 $1 \leq p \leq 2$ 사이의 값을 갖는다. 그리고, (3)식에서 ET (edge taper) = $20 \log A$ 로 주어진다.

안테나의 遠方電界패턴(far field pattern)은 개구면상에서의 近接電界分布(near field distribution)를 푸리에변환(Fourier transform)함으로써 구할 수 있다. 이를 식으로 나타내면

$$E = \iint_A f(r') e^{jk r' \cdot \hat{p}} e^{j\delta} dS' \quad (4)$$

로 된다¹⁶⁾. 여기서, 개구면을 m 개의 고리들과 각 고

리들을 n 개의 영역으로 분할한다. 이 구조를 그림 2에 나타내었다.

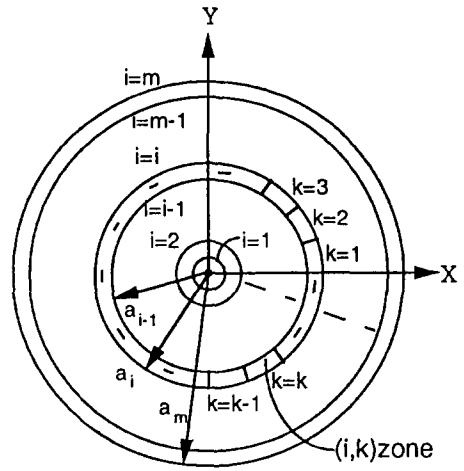


그림 2. 反射板 開口面 모델
Fig 2. Reflector aperture model.

여기서 전체 위상오차는 오정열에 의한 오차와 표면 거칠기에 의한 오차의 합으로 나타낼 수 있다. 즉, 전체 위상오차 δ 는 다음 식으로 표시된다.

$$\delta = \delta_m + \delta_r. \quad (5)$$

여기서, δ_m 과 δ_r 은 각각 오정열에 의한 위상오차와 표면 거칠기에 의한 위상오차를 나타낸다. 즉, (4)식은 아래의 식으로 나타난다.

$$E = \iint_A f(r') e^{jk r' \cdot \hat{p}} e^{j\delta_m} e^{j\delta_r} dS' \quad (6)$$

$$= \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^n E_{ik} e^{j\delta_{r(ik)}}.$$

여기서, E_{ik} 는

$$E_{ik} = \iint_{(i,k)} f(r') e^{jk r' \cdot \hat{p} + j\delta_m} dS' \quad (7)$$

로 표시된다.

그러면, 輻射電力은 다음과 같이 표현된다.

$$EE^* = \sum_{i=1}^m \sum_{k=1}^{n_1} \sum_{s=1}^m \sum_{l=1}^{n_2} E_{ik} E_{sl}^* e^{j(\delta_{r(ik)} - \delta_{r(sl)})}. \quad (8)$$

여기서, $\delta_{r(ik)}$ 는 (i,k) 區間에서 표면거칠기에 의한 위상오차를 의미한다. 이때, $\delta_{r(ik)}$ 와 $\delta_{r(sl)}$ 를 통계적으로 독립이고, 각각의 평균이 0이며 표준편차가 σ_i 와 σ_s 인

가우스분포로 가정하기로 한다. 그러면, $e^{j(\delta_{\omega_i} - (\delta_{\omega}))}$ 의 평균값은

$$\overline{e^{j(\delta_{\omega_i} - (\delta_{\omega}))}} = \begin{cases} e^{-0.5(\sigma_i^2 + \sigma_i^2)}, & i \neq s \\ 1, & i = s \end{cases} \quad (9)$$

로 된다. (9)식의 유도과정은 附錄에 나타나있다. 여기서, σ_i 는 i 번째 고리에 해당하는 반사판 영역에서의 표면거칠기의 표준편차를 $\varepsilon_{rms(i)}$ 라 두면

$$\sigma_i = k \cdot 2 \varepsilon_{rms(i)} \cdot \cos\left(\frac{\xi_i}{2}\right) \quad (10)$$

로 표시된다. σ_i 도 같은 형태로 나타난다. 결국, 평균 복사전력은

$$\begin{aligned} \overline{EE^*} &= \sum_{i=1}^m \sum_{s=1}^m E_{i,i-1} E_{s,s-1}^* e^{-0.5(\sigma_i^2 + \sigma_s^2)} \\ &\quad + \sum_{i=1}^m E_{i,i-1} E_{i,i-1}^* (1 - e^{-\sigma_i^2}) \\ &= \left| \sum_{i=1}^m E_{i,i-1} e^{-0.5\sigma_i^2} \right|^2 \\ &\quad + \sum_{i=1}^m |E_{i,i-1}|^2 (1 - e^{-\sigma_i^2}) \end{aligned} \quad (11)$$

로 정리할 수 있다. 여기서, $E_{i,i-1}$ 은 i 번째 고리에서의 분포에 의한 電界패턴으로서 오정열에 의한 효과가 포함되어 있으며 이는 아래의 식으로 표현된다.

$$E_{i,i-1} = \int_{\alpha_1}^{\alpha_2} \int_0^{2\pi} f(r') e^{j(kr' \cdot \hat{r} + \delta_m)} r' dr' d\phi'. \quad (12)$$

여기서, 우리는 $E_{i,i-1}$ 만 구하면 평균복사전력을 계산

할 수 있음을 알 수 있다. 즉, 문제는 어떻게 하면 효율적으로 $E_{i,i-1}$ 를 계산하느냐 하는 것이다. 이를 위해 먼저 반사판과 급전기 사이의 오정열이 발생시 δ_m 을 구하는 방법을 생각한다.

III. 誤整列에 依한 位相誤差 計算式 誘導

반사판과 급전기 사이의 상대적인 이동 및 각각의 회전이동들은 모두 다 급전기 위치의 변동으로 等價가 가능하다. 여기서, 급전기의 회전은 개구면에서 위상의 변화를 惹起시키지 않는다.

다만, 회전이동에 의한 복사패턴의 변화는 진폭분포 함수의 변화에 의하여 나타나게 되는데, 본 논문에서는 微細한 변동에 대한 진폭분포함수의 변화는 無視하기로 한다.

먼저, 반사판이 회전이동하는 경우에 대한 등가적인 급전기의 이동을 생각해 보기로 한다. 그림 3은 반사판이 임의의 지지점 $(0, 0, -z_c)$ 을 중심으로 X축 주위로 α [radian], Y축 주위로 β [radian] 만큼 회전운동과 이에 대한 등가적인 급전기의 이동을 나타내는 그림이다.

그림 3에서 등가적인 위치변동 $u_e = (u_e, v_e, w_e)$ 는

$$\begin{aligned} u_e &= (u_e, v_e, w_e) \\ &= (|z_c| \sin \alpha, |z_c| \sin \beta, -2|z_c| (\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \sin^2 \frac{\beta}{2})) \end{aligned} \quad (13)$$

로 정리된다. 그리고, 반사판과 급전기 사이의 위치 변동에 대한 등가적인 급전기의 위치변동이 $u_f = (u_f, v_f,$

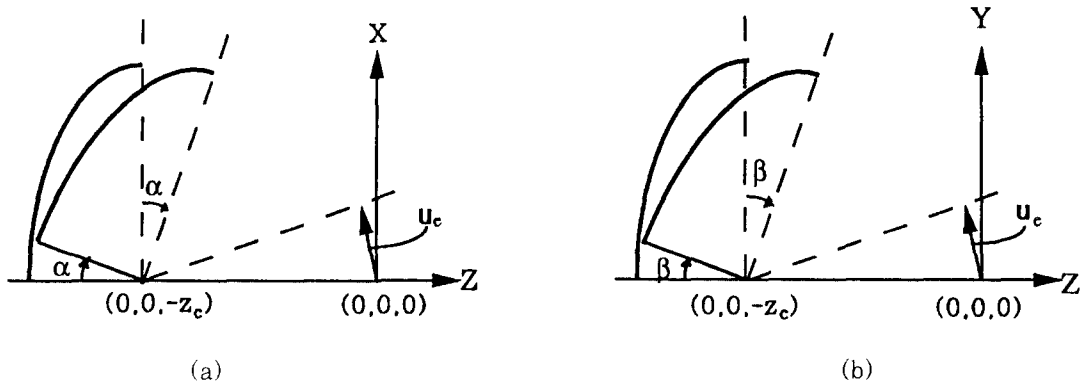


그림 3. 反射板의 回轉과 等價的인 給電器의 移動

(a) X축 주위로 α [rad] 만큼 회전이동 (b) Y축 주위로 β [rad] 만큼 회전이동

Fig. 3. Equivalent feed displacement.

(a) rotation by α [rad] around X-axis, (b) rotation by β [rad] around Y-axis.

.w)만큼 일어났다면, 전체 위치변동 \mathbf{u} 는

$$\begin{aligned} \mathbf{u} &= \mathbf{u}_f + \mathbf{u}_e \\ &= (u_f + u_e, v_f + v_e, w_f + w_e) \\ &= (u_f + |z_c| \sin \alpha, v_f + |z_c| \sin \beta, \\ &\quad w_f - 2|z_c|(\sin^2 \frac{\alpha}{2} + \sin^2 \frac{\beta}{2})) \\ &= (u, v, w) \end{aligned} \quad (14)$$

이므로, 오정열에 의한 전체 위상오차 δ_m 은

$$\begin{aligned} \delta_m &= -k \hat{\rho} \cdot \mathbf{u} \\ &= -k \hat{\rho} \cdot (u, v, w) \\ &= -k(u \sin \xi \cos \phi' + v \sin \xi \sin \phi' - w \cos \xi) \end{aligned} \quad (15)$$

로 정리된다. 결국, $E_{i,i-1}$ 은

$$\begin{aligned} E_{i,i-1} &= \int_{a_{i-1}}^{a_i} f(r') e^{jk u \cos \xi_i} \\ &\quad \left[\int_0^{2\pi} e^{jk(r' \sin \theta \cos(\phi - \phi') - u \sin \xi_i \cos \phi' - v \sin \xi_i \sin \phi')} d\phi' \right] d\phi' \\ &= 2\pi \int_{a_{i-1}}^{a_i} f(r') J_0(k \sqrt{c^2 + d^2}) e^{jk u \cos \xi_i} r' dr' \end{aligned} \quad (16)$$

로 정리된다. 여기서, $c = r' \sin \theta \cos \phi - u \sin \xi_i$ 이고, $d = r' \sin \theta \sin \phi - v \sin \xi_i$ 이다. 그리고, $J_0(\cdot)$ 는 0차 Bessel함수를 의미한다. ξ_i 는 i 번째 고리의 中央圓을 향하는 값을 취할 때

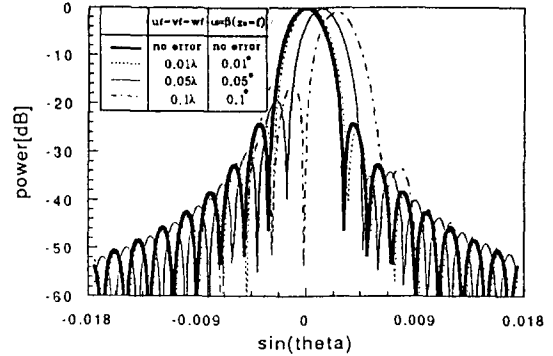
$$\begin{aligned} \xi_i &= 2 \tan^{-1} \left(\frac{1}{2f} \frac{a_i + a_{i-1}}{2} \right) \\ &= 2 \tan^{-1} \left(\frac{1}{2f} \frac{a}{m} \frac{2i-1}{2} \right) \end{aligned} \quad (17)$$

로 표시된다. (16)식의 유도과정은 부록에 나타나 있다. 이 식을 살펴보면, 二重積分이 單一積分式으로 표현됨으로써 계산량이 현격하게 줄어들음을 알 수가 있다. 오정열에 의한 오차가 존재하지 않는다면 (16)식은 Rahmat-Samii의 결과식^[3]으로 정리된다.

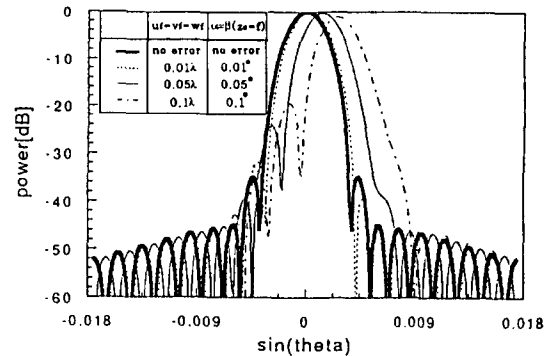
IV. 시뮬레이션 結果

컴퓨터 프로그램은 (11)식과 (16)식을 根幹으로 작성되었다. 반사판에서 나타날 수 있는 여러 가지 오차들의 복합적인 同時效果들을 계산할 수 있도록 프로그램을 작성하였다. 그리고, 반사판 고리들의 표면거칠기가 서로 다른 경우에도 계산이 가능하도록 개발되었다. 이는 반사판을 가공시에 반사판 중앙 부위와 테두리 부분은 가공정밀도가 차이가 나게 되는 데, 이에 대한 가공 오차의 범위를 제시할 수 있게 되었다. 또한, 오정

열의 각 경우에 대한 오차범위를 구조 설계 및 조립시에 제시할 수 있게 되었다. 그리고, 여러 가지의 개구면 분포와 f/D 비들에 대한 효과를 계산할 수 있게 되었다.



(a)



(b)

그림 4. 誤整列에 依한 패턴의 變化

($D=500\lambda$, $m=500$, $f/D=0.3$, $ET=-20\text{dB}$)

(a) $p=1$ 일 境遇 (b) $p=2$ 일 境遇

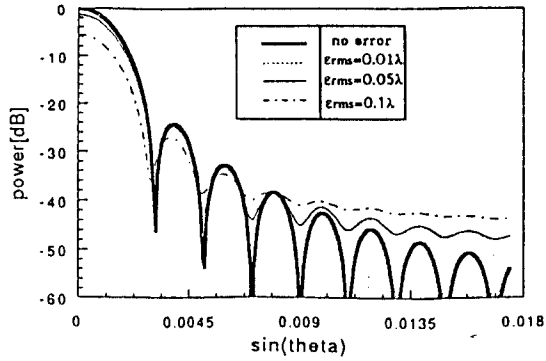
Fig 4. Pattern degradation due to misalignment

($D=500\lambda$, $m=500$, $f/D=0.3$, $ET=-20\text{dB}$).

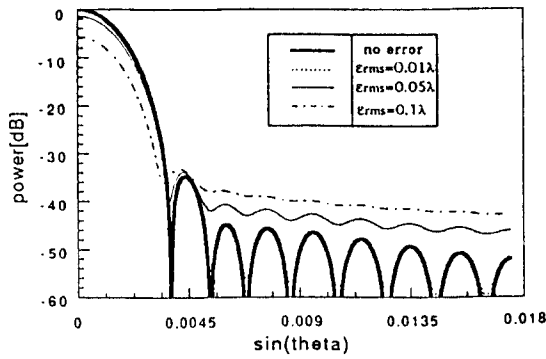
(a) when $p=1$, (b) when $p=2$.

$D=500\lambda$, annular ring width $=0.5\lambda$ ($m=500$), $f/D=0.3$, $A=0.1$ ($ET=-20\text{dB}$) 및 $p=1$ 과 $p=2$ 인 경우, 안테나 오정열에 의한 패턴의 변화를 그림 4에 나

타내었다. 또한, 표면거칠기에 의한 패턴의 변화를 그림 5에 나타내었다. 그리고, 그림 6은 표면거칠기 및 오정열이 동시에 존재시의 패턴변화의 一例를 보인 것이다.



(a)



(b)

그림 5. 表面거칠기에 의한 패턴의 변화

($D = 500\lambda$, $m = 500$, $f/D = 0.3$,
 $ET = -20dB$)

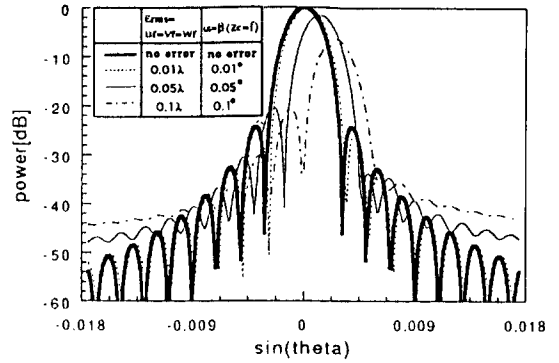
(a) $p=1$ 일 境遇 (b) $p=2$ 일 境遇

Fig. 5. Pattern degradation by surface roughness

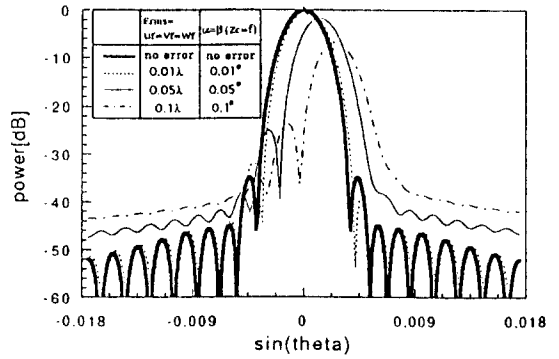
($D = 500\lambda$, $m = 500$, $f/D = 0.3$,
 $ET = -20dB$).

(a)when $p=1$, (b)when $p=2$.

정리하면, 오정열과 표면거칠기는 안테나의 성능을 저하시키는데 특히 副葉레벨(sidelobe level)에 懸隔한 영향을 미침을 알 수 있다. 그리고, 오정열은 안테나 주엽의 방향을 변화시키게 된다.



(a)



(b)

그림 6. 表面거칠기 및 誤整열이 同時에 存在時 패턴의 變化

($D = 500\lambda$, $m = 500$, $f/D = 0.3$,
 $ET = -20dB$)

(a) $p=1$ 일 境遇 (b) $p=2$ 일 境遇

Fig. 6. Pattern degradation due to both surface roughness and misalignment

($D = 500\lambda$, $m = 500$, $f/D = 0.3$,
 $ET = -20dB$).

(a)when $p=1$, (b)when $p=2$.

여기서, 具現하고자 하는 안테나의 부엽레벨이 낮으면 낮을 수록 더욱 嚴格하게 오차의 範圍를 制限하여야 함을 알 수가 있다. 그러나, 위상오차를 구하는 그 근본이 幾何光學(geometric optics)이고 개구면의 진폭 분포를 적분하여 패턴을 계산하기 때문에 관측방향이 $+90^\circ < \theta < +270^\circ$ 영역에서는 계산을 할 수가 없다. 이는

가장 나쁜 부엽들이 주로 주엽 주위에 몰려있기 때문에 별로 문제가 되지 않는다. 그리고, 區分求積法으로 (16)식을 계산하도록 프로그램을 작성하였기 때문에 이 프로그램의 정확도는 고리의 폭을 얼마로 하느냐에 의존된다. 고리의 폭이 일정하다면 계산된 값들의 정확도는 위상오차의 값이 클 수록 저하되게 된다.

$u_f = v_f = w_f = 0.05\lambda$, $\alpha = \beta = 0.05^\circ$ 및 $\epsilon_{rms} = 0.05\lambda$ 일 경우에 고리의 폭을 0.1λ 로 할 경우(이 경우는 거의 정확한 값을 구할 수 있음)와 0.5λ 로 할 경우의 계산 오차는 안테나 이득이 약 0.01dB이내이며 부엽레벨은 1차 부엽레벨이 약 0.1dB이내이며 -40dB영역에서 약 2dB정도의 오차로 나타난다. 그림 7은 이 계산오차를 보여주는 그림이다.

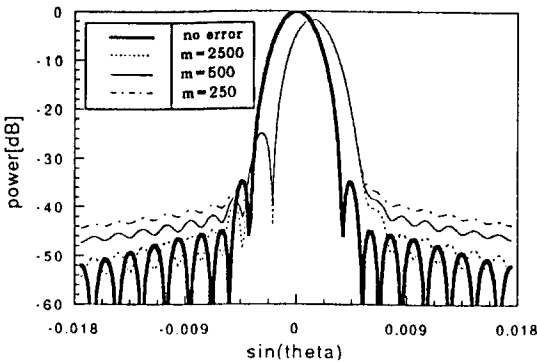


그림 7. m값에 依한 計算誤差

($D = 500\lambda$, $f/D = 0.3$, $p = 2$, $ET = -20dB$,
 $u_f = v_f = w_f = 0.05\lambda$, $\alpha = \beta = 0.05^\circ$ ($z_c = f$)
 및 $\epsilon_{rms} = 0.05\lambda$)

Fig. 7. Calculation errors by values of m
 ($D = 500\lambda$, $f/D = 0.3$, $p = 2$, $ET = -20dB$,
 $u_f = v_f = w_f = 0.05\lambda$, $\alpha = \beta = 0.05^\circ$ ($z_c = f$)
 및 $\epsilon_{rms} = 0.05\lambda$)

V. 結 論

本 論文에서는 反射板 안테나에서 일어날 수 있는 誤差들 중 重要한 要素인 反射板의 表面거칠기와 構造의 誤整列 誤差를 同時에 結合하여 平均輻射電力을 計算할 수 있는 數式을 開發하였다. 이 過程에서 開口面의 振幅分布로는 非均一照射函數을 導入하였고, 表面거칠기로서는 非均一表面誤差를 導入하여 數式을 誘導하였다. 誘導된 數式으로부터 主葉의 變化(빔指向 方向의 變化 및 利得의 低下)뿐만 아니라 副葉까지도 그 일그러짐을 計算할 수 있게 되었고, 여러가지 誤差들이 結合되었을 때의 패턴의 變化를 살펴볼 수 있게 되어 從來의 研究들에 비해 한 걸음 더 實際 狀況에 接近할 수 있게 되었다. 또한, i번 째 고리의 近接電界分布에 依한 遠方電界를 計算하는데 있어서 (16)식이 單一積分式으로 表現됨으로써 計算量이 懸隔하게 줄어들기 때문에 電波望遠鏡用 안테나와 같이 높은 周波數에서 動作하면서도 그 크기가 큰 안테나에 對한 誤差解析도 486DX2급 個人用 컴퓨터이면 充分히 誤差解析이 可能하게 되었다. 그리고, 全 空間에 對한 패턴을 計算할 수가 있기 때문에, 追跡레이더用 안테나등에서 要求하는 全體 패턴의 형상을 維持하는데 必要한 誤差管理가 可能하게 되었다. 計算 結果들을 通하여 各種 誤差들은 안테나의 性能을 低下시키는데 特히 副葉레벨에 심한 影響을 미침을 알 수가 있었고, 具現하고자하는 안테나의 副葉레벨이 낮으면 낮을 수록 製作誤差를 훨씬 더 嚴格하게 管理하여야 함을 알 수가 있었다.

앞으로의 課題로는 重力이나 안테나 回轉에 의하여 나타나는 反射板의 일그러짐을 考慮한 패턴變化에 대한 解析과, 副反射板(subreflector)이 있는 境遇의 誤差解析 및 追跡레이더用 反射板 안테나 誤差解析을 爲하여 開口面 分布函數가 合(sum)과 差(difference)패턴 일 경우에 대한 數式을 開發하는 것들이다. 이들은 現在 研究中에 있다.

附 錄

1. (9)式的 誘導過程

$\delta_{r(ik)}$ 와 $\delta_{r(st)}$ 가 서로 독립이고, 평균이 0이면서 표준 편차가 각각 σ_i 와 σ_s 인 가우스 분포이면

$$\begin{aligned} \overline{e^{j\delta_{r(ik)}}} &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\delta_{r(ik)}^2}{2\sigma_i^2}} e^{-j\delta_{r(ik)}} d\delta_{r(ik)} \\ &= \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \int_{-\infty}^{\infty} e^{-\frac{\delta_{r(ik)}^2}{2\sigma_i^2}} \{ \cos \delta_{r(ik)} + j \sin \delta_{r(ik)} \} d\delta_{r(ik)} \\ &= \frac{2}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} \int_0^{\infty} e^{-\frac{\delta_{r(ik)}^2}{2\sigma_i^2}} \cos \delta_{r(ik)} d\delta_{r(ik)} \end{aligned}$$

로 계산되는데, 이때

$$\int_0^{\infty} e^{-at^2} \cos(2xt) dt = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{\pi}{a}} e^{-\frac{x^2}{a}}$$

로 주어지므로¹⁷⁾,

$$\overline{e^{j\delta_{r(ik)}}} = e^{-0.5\sigma_i^2}$$

로 정리된다.

다음에, $\delta_{r(ib)}$ 와 $\delta_{r(st)}$ 가 서로 독립이므로, $i \neq s$ 일 경우

$$\begin{aligned} \overline{e^{j(\delta_{r(ib)} - \delta_{r(st)})}} &= \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{2\pi\sigma_i\sigma_s} e^{\left\{-\frac{\delta_{r(ib)}^2}{2\sigma_i^2} - \frac{\delta_{r(st)}^2}{2\sigma_s^2}\right\}} e^{j(\delta_{r(ib)} - \delta_{r(st)})} \\ &\quad d\delta_{r(ib)} d\delta_{r(st)} \\ &= \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_i^2}} e^{-\frac{\delta_{r(ib)}^2}{2\sigma_i^2}} e^{j\delta_{r(ib)}} d\delta_{r(ib)} \\ &\quad \int_{-\infty}^{\infty} \frac{1}{\sqrt{2\pi\sigma_s^2}} e^{-\frac{\delta_{r(st)}^2}{2\sigma_s^2}} e^{-j\delta_{r(st)}} d\delta_{r(st)} \\ &= e^{-0.5(\sigma_i^2 + \sigma_s^2)} \end{aligned}$$

로 되고, $i = s$ 일 경우는 $\overline{e^{j(\delta_{r(ib)} - \delta_{r(st)})}} = 1$ 이 된다.

2. (16)式的 誘導過程

먼저 $k\mathbf{r}' \cdot \hat{\mathbf{p}} + \delta_m$ 을 계산한다.

$$\begin{aligned} k\mathbf{r}' \cdot \hat{\mathbf{p}} &= k(r' \cos \phi', r' \sin \phi', 0) \cdot \\ &\quad (\sin \theta \cos \phi, \sin \theta \sin \phi, \cos \theta) \\ &= kr' \sin \theta \cos(\phi - \phi'). \end{aligned}$$

그러므로,

$$k\mathbf{r}' \cdot \hat{\mathbf{p}} + \delta_m = k\{r' \sin \theta \cos(\phi - \phi') - u \sin \xi \cos \phi' - v \sin \xi \sin \phi' + w \cos \xi\}$$

로 정리된다. (12)식에 이를 대입하여 정리하면 (16)식의 중간 식 형태로 나타난다. 이 식에서 ϕ' 에 대한 적분항을 살펴보면

$$\begin{aligned} &\int_0^{2\pi} e^{jk\{r' \sin \theta \cos(\phi - \phi') - u \sin \xi \cos \phi' - v \sin \xi \sin \phi'\}} d\phi' \\ &= \int_0^{2\pi} e^{jk\sqrt{c^2 + d^2} \cos\left(\phi' + \tan^{-1} \frac{d}{c}\right)} d\phi' \\ &= 2\pi J_0(k\sqrt{c^2 + d^2}) \end{aligned}$$

로 된다($\int_0^{2\pi} e^{jx \cos \phi'} d\phi' = 2\pi J_0(x)$ 의 관계식^[8] 이용).

여기서, $c = r' \sin \theta \cos \phi - u \sin \xi$; 이고, $d = r' \sin$

$\theta \sin \phi - v \sin \xi$ 이다.

참 고 문 헌

[1] J. Ruze, "Antenna tolerance theory A review," Proc. IEEE, vol. 54, pp. 633-640, Apr. 1966.

[2] M. S. Zarghamee, "On antenna tolerance theory," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-15, no. 6, pp. 777-781, Nov. 1967.

[3] Y. Rahmat-Samii, "An efficient computational method for characterizing the effects of random surface errors on the average power pattern of reflectors," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-31, pp. 92-98, Jan. 1983.

[4] A. Greve and B. G. Hooghoudt, "Quality evaluation of radio reflector surfaces," Astron. Astrophys., vol. 93, pp. 76-78, 1981.

[5] M. S. Zarghamee, "Peak gain of a Cassegrain antenna with secondary position adjustment," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-30, no. 6, pp. 1228-1233, Nov. 1982.

[6] W. L. Stutzman and G. A. Thiele, Antenna theory and design, pp. 415-421, John Wiley & Sons, 1981.

[7] M. Abramowitz and I. A. Stegun, Handbook of Mathematical Functions, National Bureau of Standards AMS 55, 3rd printing, eq. (7.4.6), p. 302, Mar. 1965.

[8] G. Arfken, Mathematical Methods for Physicists, 3rd ed., Academic Press, p. 580, 1985.

저 자 소 개



金 柱 完(正會員)
1958年 5月 5日生. 1981年 2月
서울大學校 電子工學科 卒業(工
學士). 1981年 6月 - 1984年 9
月 學士將校 1期(防空砲兵司令部
122大隊). 1984年 10月 - 現在
金星精密(株) 先任研究員. 1986
年 3月 - 1988年 2月 同大學院 卒業(工學碩士).
1988年 3月 - 現在 同大學院 博士過程. 主關心分野
는 레이더用 안테나(導波管 안테나, PCB 안테나, 反
射板 안테나 및位相配列 안테나).

金 炳 成(正會員) 第28卷 B編 第 4號 參照
現在 서울大學校 電子工學科 博士
過程

南 相 旭(正會員) 第31卷 A編 第 2號 參照
現在 서울大學校 電子工學科 副教授

李 忠 雄(正會員) 第26卷 第 5號 參照
現在 서울大學校 電子工學科 教授