

카세그레인형 안테나의 輻射패턴에 있어서 副 反射器의 幾何学的인 平衡이 미치는 影響

鄭東根, 金在根, 許正 / 特殊通信研究室

I. 序 論

1627年 William Cassegrain氏가 發明한 Cassegrain型 microwave用 안테나는 오늘날 國際間 衛星通信에 있어서 大型 地上局用 안테나로 널리 使用되고 있다.

앞으로도 衛星通信에 있어서 계속 使用되리라고 보는 이러한 Cassegrain型 안테나의 電波 輻射패턴을 알아 보고 在來式 Parabola型 안테나와 區別이 되는 副 反射器의 幾何学的인 不平衡이 미치는 輻射패턴 效果를 計算 圖示하고자 한다.

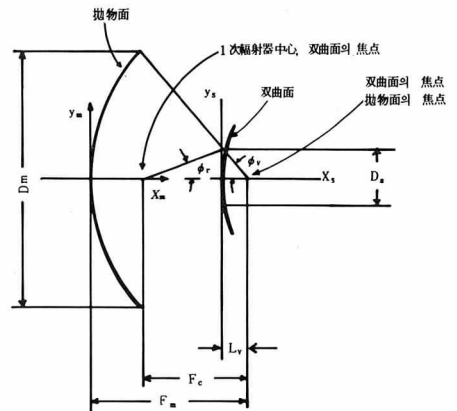
II. Cassegrain型 Antenna의 輻射패턴

1. Cassegrain型 안테나¹⁾

Cassegrain型 안테나는 拋物面의 主 反射鏡, 雙曲面의 副 反射鏡 및 1次 輻射器인 Horn 안테나로 構成되는데 副 反射鏡은 主 反射鏡의 꼭지점(Vertex)과 焦點사이에서 位置하고, 副 反射鏡의 兩 焦點中 한 焦點은 主 反射鏡의 焦點과 一致하며, 다른 한 焦點은 一次 輻射器의 中心

에 位置한다.

Cassegrain型 안테나의 構造를 보면 <그림 1>과 같다.



D_m : 拋物面의 直徑(主反射鏡의 直徑)
 D_s : 雙曲面의 直徑(副反射鏡의 直徑)
 F_m : 主反射鏡의 焦點거리
 F_c : 副反射鏡의 兩 焦點사이의 거리

主反射鏡의 拋物線 方程式

$$X_m = \frac{1}{4F_m} \cdot Y_m^2$$

<그림 1> Cassegrain型 안테나의 構造

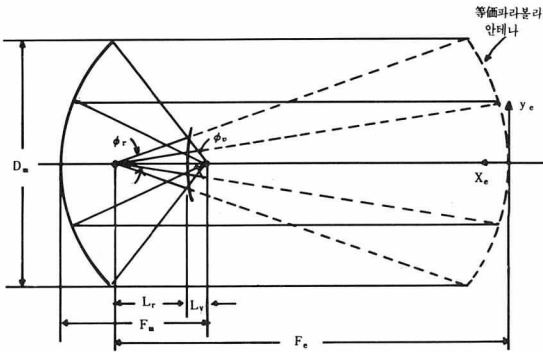
〈그림 1〉에서 表記한 記号에 依한 主 反射鏡과 副 反射鏡사이의 幾何學的 關係는 잘 알려진 바와 같이 (1)式과 같이 表示된다.

$$\tan(\phi_v/2) = \frac{1}{4} \cdot \frac{D_m}{F_m} \dots\dots\dots (1.1)$$

$$\frac{1}{\tan \phi_v} + \frac{1}{\tan \phi_r} = 2 \cdot \frac{F_c}{D_s} \dots\dots\dots (1.2)$$

$$1 - \frac{\sin(\frac{1}{2}(\phi_v - \phi_r))}{\sin(\frac{1}{2}(\phi_v + \phi_r))} = \frac{L_v}{F_c} \dots\dots (1.3)$$

Cassegrain型 안테나의 利得을 計算하기 爲하여 〈그림 2〉에서와 같은 等價 파라볼라型 안테나를 그려보면



等價파라볼라 안테나의 拋物線式

$$x_e = -\frac{1}{4F_c} \cdot y_e^2$$

〈그림 2〉 Cassegrain型 안테나의 等價 Parabola 안테나

等價 Parabola型 안테나와 Cassegrain型 안테나 사이의 關係式은 역시 잘 알려진 바와 같이 (2)式과 같이 表示된다.

$$\frac{1}{4} \frac{D_m}{F_c} = \tan(\phi_r/2) \dots\dots\dots (2.1)$$

$$m \leq \frac{F_c}{F_m} = \frac{\tan(\phi_v/2)}{\tan(\phi_r/2)} \dots\dots\dots (2.2)$$

$$\frac{\tan(\phi_v/2)}{\tan(\phi_r/2)} = \frac{L_r}{L_v} \dots\dots\dots (2.3)$$

위와 같은 等價 Parabola型 안테나에서 Cassegrain型 안테나의 利得은 (3)式과 같이 一般的인 Parabola型 안테나 利得의 形態로 表示될 수 있다.

$$G = \eta \cdot \left(\frac{\pi D}{\lambda}\right)^2 \dots\dots\dots (3.1)$$

여기서 η 는 안테나의 開口效率 (Aperture efficiency) 로서

$$\eta = \eta_r \cdot \eta_{ss} \cdot \eta_{mm} \cdot \eta_t \cdot \eta_s \cdot \eta_b \cdot \eta_x \cdot \eta_{st} \cdot \eta_p \dots\dots (3.2)$$

여기서 η_r =一次 輻射器인 Horn 안테나의 效率

η_{ss} =副 反射鏡의 效率

η_{mm} =主 反射鏡의 效率

η_t =照度分布 (Illumination)에 依한 效率

η_s =스필오버 (Spill over)에 依한 效率

η_b =副 反射鏡의 遮蔽 (Blocking)에 依한 效率

η_x =크로스 備波 (Cross polarization)에 依한 效率

η_{st} =反射鏡面의 요철 (Tolerance)에 依한 效率

η_p =位相誤差 (Phase error)에 依한 效率

이때 η 는 通常 0.5~0.8의 값을 갖는다.

2. 開口面 照度分布 (Aperture Illumination)에 따른 輻射 패턴

一般的으로 開口面 (Aperture)은 任意의 形態로 生覺할 수 있으나 보통 矩形 開口 (Rectangular aperture), 圓型 開口 (Circular aperture)가 實際 使用되고 있다.

矩形 開口의 境遇, 照度函数의 變數 分解로 線型 開口 (Line aperture)의 集合體로 볼 수 있으므로 여기에는 線型 開口와 圓型 開口의 照度分布函数에 따른 輻射 패턴을 考察하여 본다.

線型 開口의 照度分布函数가 $f(X)$ 로 주어질 경우, 輻射 패턴은 프리어 變換 (Fourier transform)에 依하여 (4)式과 같이 表示되며

$$G(S) = 2 \int_0^{\frac{a}{2}} f(X) \cos(2\pi S \cdot X) dx \dots\dots (4)$$

여기서 $S = \sin\phi/\lambda$

a =線型 開口의 길이

圓型 開口의 境遇 照度 分布函数가 $F(\rho)$ 일때, 輻射 패턴은 Zero-order Hankel transform에 依하여 (5)式과 같이 表示된다.

$$G_c(S) = 2 \int_0^{\frac{D}{2}} f(\rho) \cdot J_0(2\pi S\rho) \rho d\rho \dots\dots (5)$$

여기서 D =圓型開口의 直径

Cassegrain型 안테나 等価 Parabola의 開口面 (圓型開口面)의 照度 分布函数에 따른 輻射 패턴을 보면 <表 1>에서와 같다.

3. 代表的인 Cassegrain型 안테나의 패턴圖

照度分布函数가 一定值를 가진다고 놓고 線型 開口의 境遇, $f(X) = h$ 라 하여 輻射 패턴을 구하

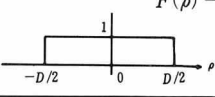
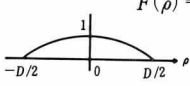
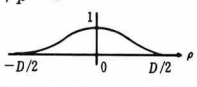
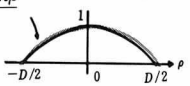
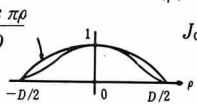
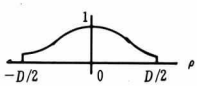
면 (6)式과 같이 表示되고,

$$G(S) = a \cdot h \cdot \frac{\sin(\pi S a)}{\pi S a} \dots\dots\dots (6)$$

圓型 開口의 境遇, $f(\rho) = h$ 라 하면 (7)式과 같이 表示된다.

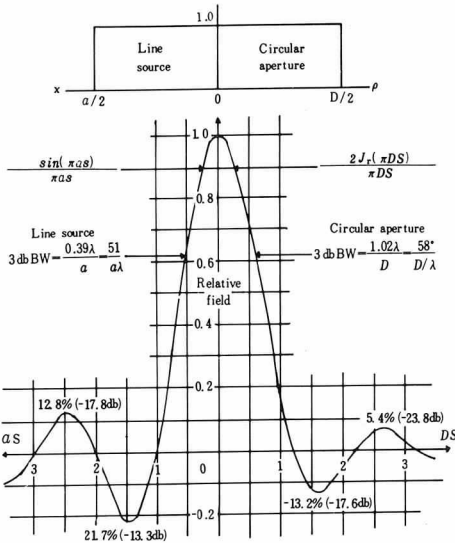
$$G_c(S) = \frac{\pi D^2 h}{4} \cdot \frac{2J_1(\pi DS)}{\pi DS} \dots\dots\dots (7)$$

D: 開口面直径, $S = \sin \theta / \lambda$

開口面 照度分布形態 (Aperture illumination) $F(\rho)$	輻射 패턴 (Radiation pattern) $g(S)$	定規化輻射 패턴 (Normalized radiation pattern) $(g(S) / g_{max}(S))$	3 DB 빔 폭 (GN(S))	First side-lobe level (GN(S)) DB
<Uniform> $F(\rho) = 1$ 	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{2J_1(\pi DS)}{\pi DS}$	$\frac{2J_1(\pi DS)}{\pi DS}$	$\frac{1.02\lambda}{D}$	-17.6
<Parabolic> $F(\rho) = 1 - (\frac{2\rho}{D})^2$ 	$\frac{\pi D^2}{8} \cdot \frac{8J_2(\pi DS)}{\pi DS}$	$\frac{8J_2(\pi DS)}{(\pi DS)^2}$	$\frac{1.27}{D} \lambda$	-24.6
<Raised taper> $F(\rho) = [b + (1 - (\frac{2\rho}{D})^p)]$ $b=0, p=2$ 	$\frac{\pi D^2}{4} [b \wedge_1(\pi DS) + \wedge_{p+1}(\pi DS) / (p+1)]$	* $b=0, p=2$ 때 $\frac{48J_0(\pi DS)}{(\pi DS)^2}$	$\frac{1.48\lambda}{D}$	-30.6
<Bessel J_0 > $F(\rho) = J_0(4.81 \frac{\rho}{D})$ $\frac{\cos \pi \rho}{D}$ 	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{2.5 J_0(\pi DS)}{2.405^2 - (\pi DS)^2}$	$2.405^2 \frac{J_0(\pi DS)}{2.405^2 - (\pi DS)^2}$	$\frac{1.3\lambda}{D}$	-27.5
<Inflected Bessel J_0 > $F(\rho) = 0.287 + 0.713 \cdot J_0(7.66 \frac{\rho}{D})$ $\frac{\cos \pi \rho}{D}$ 	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{0.4028 \cdot 2J_1(\pi DS)}{1.4028 \cdot \pi DS}$ $\frac{3.8317^2}{3.8317^2 - (\pi DS)^2}$	$\frac{3.832^2}{3.832^2 - (\pi DS)^2}$ $\wedge_1(\pi DS)$	$\frac{1.56\lambda}{D}$	-34.9
<Lambda-Sonine> $F(\rho) = I_0[\pi DS_0 (1 - (\frac{2\rho}{D})^2)^{\frac{1}{2}}]$ $S_0 = \sin \phi / \lambda$ 	$\frac{\pi D^2}{4} \cdot \frac{2J_1 \{ [(\pi DS)^2 - (\pi DS_0)^2]^{\frac{1}{2}} \}}{[(\pi DS)^2 - (\pi DS_0)^2]^{\frac{1}{2}}}$	$0.348 \wedge_1 \cdot [\pi \sqrt{(DS)^2 - 1}]$	$\frac{1.22\lambda}{D}$	-26.8

<表 1> Cassegrain型 안테나 等価 Parabola의 開口面 照度 分布形態에 따른 輻射 패턴 및 파라메타.

各各의 境遇, 패턴의 計算値는 잘 알려진 바와 같이 <그림 3>에서와 같이 表示된다.



<그림 3> 均一한 照度分布를 갖는 line source와 circular aperture의 Lambda Fraunhofer 패턴

1. 主 反射器의 角 스펙트럼

主 反射器의 角 스펙트럼, $G_M(S)$ 는 (8)式과 같다.

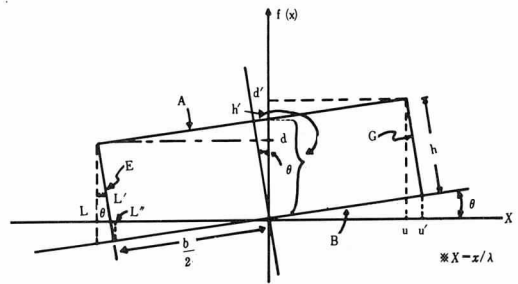
$$G_M(S) = \int_{-\frac{a}{2}}^{\frac{a}{2}} f(X) \cdot e^{-j2\pi S \cdot X} dx \dots \dots \dots (8)$$

$$= h \cdot a \cdot \text{sinC}(S \cdot a)$$

여기서 $S = \sin \phi$

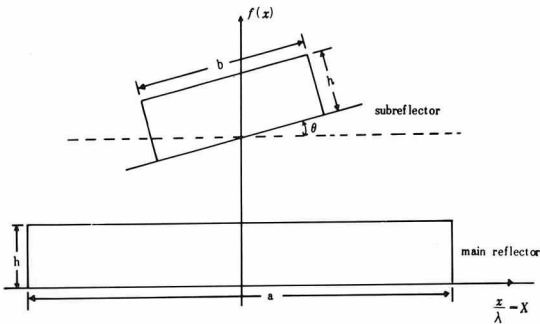
2. 副 反射器의 角스펙트럼

<그림 4>의 副 反射器만을 <그림 5>와 같이 다시 그려볼때,



<그림 5> θ° 만큼 不平衡을 이루고 있는 副反射器

III. 輻射패턴에 있어서 副 反射器의 幾何學的인 平衡이 미치는 影響



<그림 4>

主 反射器의 直径이 a 波長인 Cassegrain型 안테나가 <그림 4>와 같이 均一한 開口分布를 가지며, 또한 直径이 b 波長인 副 反射器가 主 反射器에 比해서 θ° 만큼 기울어져 있을 境遇 그 角스펙트럼(Angular spectrum)을 구해본다.

<그림 5>의 各 파라메타는 (9)式과 같이 구해진다.

$$h' = h / \cos \theta \dots \dots \dots (9.1)$$

$$\left. \begin{aligned} L &= -(b/2 + h' \cdot \sin \theta) \cdot \cos \theta, \\ L'' &= -b/2 \cdot \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots \dots (9.2)$$

$$\left. \begin{aligned} d &= h' - (b/2 + h' \cdot \sin \theta) \cdot \sin \theta, \\ d' &= h' + (b/2 - h' \cdot \sin \theta) \cdot \sin \theta \end{aligned} \right\} \dots (9.3)$$

$$\left. \begin{aligned} U &= (b/2 - h' \cdot \sin \theta) \cdot \cos \theta, \\ U' &= b/2 \cdot \cos \theta \end{aligned} \right\} \dots \dots \dots (9.4)$$

또한, A, B, E, G의 直線의 式은

$$Y_A = \tan \theta \cdot X + h' \dots \dots \dots (10.1)$$

$$Y_B = \tan \theta \cdot X \dots \dots \dots (10.2)$$

$$Y_E = -\cot \theta \cdot X + d + \cot \theta \cdot L \dots \dots \dots (10.3)$$

$$Y_G = -\cot \theta \cdot X + d' + \cot \theta \cdot U \dots \dots \dots (10.4)$$

(10)式을 利用, L' 를 구하면

$$L' = (d + L \cdot \cot \theta) / \cot \theta \dots \dots \dots (11)$$

이다.

따라서 軸으로부터 θ 만큼 기울어진 副 反射

器의 開口分布에 對한 그 스펙트럼은 (12)式과 같
이 나타낼 수 있다.

$$\begin{aligned}
 G_s(S) = & \int_L^L (Y_A - Y_E) e^{-j2\pi S \cdot x} dx \\
 & + \int_L^{L''} (Y_A + Y_E) e^{-j2\pi S \cdot x} dx \\
 & + \int_{L''}^0 (Y_A + Y_B) e^{-j2\pi S \cdot x} dx \\
 & + \int_0^U (Y_A - Y_B) e^{-j2\pi S \cdot x} dx \\
 & + \int_U^{U'} (Y_C - Y_B) e^{-j2\pi S \cdot x} dx \dots \dots \dots (12)
 \end{aligned}$$

여기서 $S = \sin \phi$

3. 總 角스펙트럼

總 角스펙트럼, $G(S)$ 는 (13)式이 되며,

$$G(S) = G_M(S) - G_s(S) \dots \dots \dots (13)$$

따라서,

$$G(\phi) = G_M(\sin \phi) - G_s(\sin \phi) \dots \dots \dots (14)$$

主 反射器와 副 反射器의 直径比, b/a 와 θ 角

에 따라 $G(\phi)$ 를 電算하여 그 結果를 보면 <表
2> 및 <그림 6>과 같이 된다.

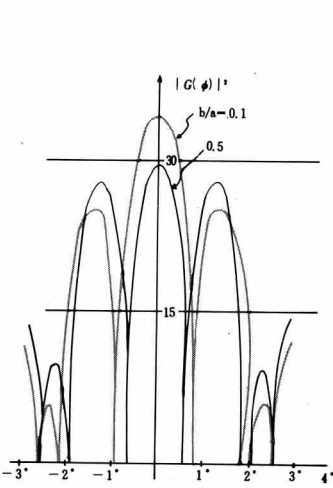
区分 θ	b/a	S_1/S_0	S_2/S_0	$S_0(0.1^\circ; b/a)$	$S_0(\theta; b/a)$	備考
				$S_0(0^\circ; b/a)$	$S_0(0^\circ; 0.1^\circ)$	
0°	0.1	-9.1	-27.9		0	
	0.5	-1.5	-20		-5.105	
0.1°	0.1	-9.1	-28.4	0.026	0.026	
	0.5	0.1		1.08	-4.031	

* S_0 : Main lobe의 peak power, S_1 : First side lobe의 peak power
 S_2 : 2nd side lobe peak power

<表 2> θ 및 b/a 에 따른 角 power spectrum
의 比較

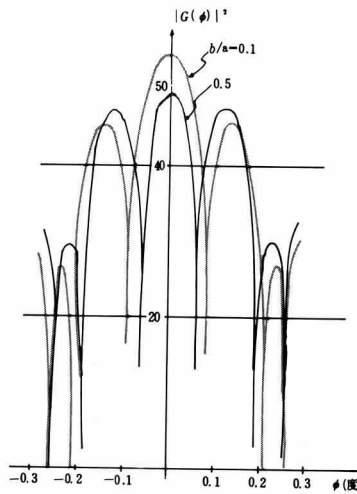
IV. 結 論

Cassegrain型 안테나를 給電器의 照度函数
形態에 따른 輻射패턴을 考察하여 보았고, 一般
Parabola型 안테나와 區別이 되는 副 反射器의
幾何學的인 位置 構造(主 反射器와의 平衡維持)
의 變動에 따른 電波 輻射 效果를 計算, 電算処
理하여 表示하여 보았다. (<그림 6> 参照)



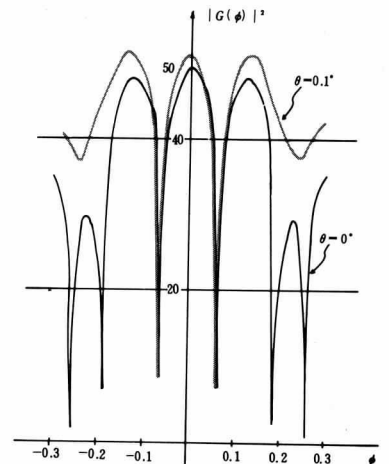
<그림 6.1>

Angular power spectrum
(Main reflector diameter= 3m, F=6GHz, $\theta = 0^\circ$)



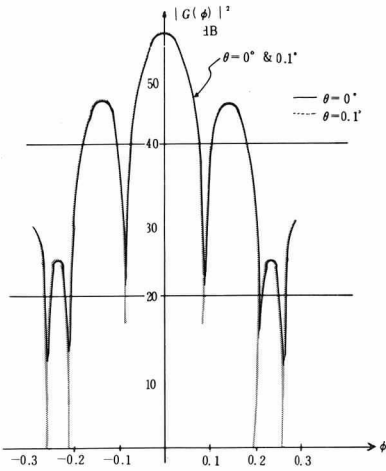
<그림 6.2>

Angular power spectrum
(Main reflector diameter= 30m, F=6GHz, $\theta = 0^\circ$)



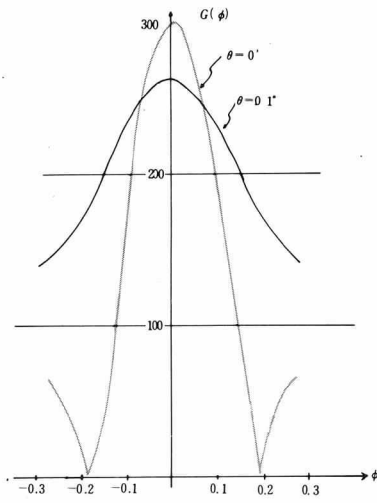
<그림 6.3>

Angular power spectrum
(Main reflector diameter= 30m, F=6GHz, $b/a=0.5$)



〈그림 6·4〉

Angular power spectrum
(Main reflector diameter =
30M, F = 6GHz, b/a = 0.1)



〈그림 6·5〉

Angular spectrum of subreflector
(Subreflector 의 diameter = 15m,
F = 6GHz)

参 考 文 献

1. Hannan, P. W. "Microwave Antenna derived from the Cassegrain Telescope", I. R. E. Trans., Vol. AP-9, Mar., 1961,

pp. 140~153.

2. Young, Leo, ed, "Advances in Microwaves," Vol. 3, pp. 149~177, London, Academic press Inc., 1968.

