

# 衛星放送 受信感度 改善을 위한 遲延波構造物 및 電波吸收體 設計

梁 斗 榮\*

Design of the Slow Wave Structure and Electromagnetic Absorber  
for Improvement of the Satellite Broadcasting Sensitivity

*Doo-yeong Yang\**

## Summary

In this paper, characteristics of the slow wave structure and electromagnetic absorber are analyzed and the design parameter is presented.

To improve the broadcasting signal gain and the efficiency, we insert a slow wave structure on the bottom of the upper waveguide which can suppress the grating lobes. Also, we design the slow wave structure to decrease the influence of reflection and analyze the characteristics of the termination absorber. The polystyrene slow wave structure has thickness of  $4\lambda$  and the relative permittivity of 2.3. we minimize reflection effects using the termination absorber of  $5\lambda$  radius with dielectric constant of 1.14.

## 序 論

위성방송 수신안테나인 레이디얼 라인 슬랏배열 안테나는 슬랏의 길이, 위치, 슬랏 간의 배열간격, 레이디얼 도파관의 특성 그리고 급전회로의 형태에 따라 이득과 효율이 크게 달라진다. (Morgan and Gordon, 1989). 전력은 하단 도파관 중심에서 공급하게 된다. 이 급전된 에너지는 하단 레이디얼 도파관을 따라 상단 도파관으로 전파된다. 전파되는 동안

도파관 벽면 모서리 부분에서 반사파가 형성된다 (Collin, 1985). 또한 상단 도파관으로 전파된 파의 대부분은 슬랏을 통하여 외부로 복사되고 일부는 상단 도파관 중심에 있는 흡수체에 도달하여 흡수되거나 반사된다. 슬랏수가 많을 경우 슬랏을 통하여 복사되는 에너지의 양은 커지고 흡수체에 도달하는 전력은 상대적으로 작아지므로 흡수체에서 반사되는 반사파 역시 작아진다. (Endo *et al.*, 1989). 따라서 이득과 효율을 높이고, 위에서 나타난 단점들을 보완하기 위하여 상단 도파관 바닥에 유전체를 사용하여

\* 工科大學 通信工學科 (Dept. of Communication Engineering, Cheju Univ., Cheju-do, 690-756, Korea)

지연파구조물을 설치한다. 이 논문에서는 배열에서 나타나는 격자부엽의 영향을 줄이기 위하여 지연파구조물의 특성을 해석하고, 전파흡수체에서 반사되는 반사파의 영향을 최소화 줄일 수 있는 유전체의 특성을 규명한다. 또한 전파흡수체의 전파손실 특성을 해석하여 최적 수신감도를 갖는 설계조건을 찾아낸다.

### 遲延波構造物 解析

슬릿을 배열하므로써 나타나는 격자부엽을 억제시키고 반사파의 영향을 줄이기 위하여 상단 도파관 내부에 지연파구조물을 설치한다. 이 구조물을 설치하였을 경우, 도파관 내부에서 전파되는 파의 속도는 상대유전율에 따라 감소되므로 관내파장이 짧아지고 슬릿 배열간격이 줄어든다. 따라서 원형평판 상에 더 많은 슬릿쌍들을 배열할 수 있다. 또한 공급된 에너지가 슬릿을 통하여 외부로 복사되는 양이 많아지기 때문에 흡수체에서 재반사되는 양이 줄어들고 격자부엽의 크기가 현저하게 줄어든다. (Oshima et. al, 1986).

Fig. 1은 상단 레이디얼 도파관 바닥에 설치된 지연파구조물이다.

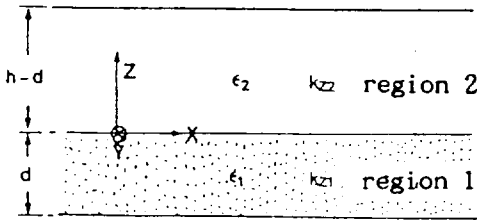


Fig. 1. The slow wave structure.

Fig. 1에서 영역 1은 유전체로 채워져 있고 영역 2는 자유공간이다.  $\kappa_{z1}$ 과  $\kappa_{z2}$ 는 각각 영역 1과 영역 2에 대한 z방향의 전파상수이고  $\epsilon_1$ ,  $\epsilon_2$ 는 각 영역에서의 유전율, h는 상단 도파관의 높이, d는 유전체의 두께이다. 지연파구조물이 있을 때 도파관 내부에서의 파동함수는 TM모드를 이용하여 해석한다. 상단 레이디얼 도파관에서 내부반경 방향으로 진행하는 파는 1종 Hankel 함수이고,  $\rho$ 와  $\phi$ 방향에 대한 변화는 없으므로 영역 1과 영역 2의 파동함수는 다음과 같이 가정할 수 있다(Marcuvitz, 1951; Ramo and

Whinnery, 1984).

$$\Psi_1^{TM} = A_1 H_0^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \cos(\kappa_{z1} z), \quad z < d \quad (1)$$

$$\Psi_2^{TM} = A_2 H_0^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \cos[\kappa_{z2}(h-z)], \quad d < z < h \quad (2)$$

(1)과 (2)를 스케일러 Helmholtz 방정식에 대입하면 다음과 같은 고유치를 얻는다.

$$\kappa_\rho^2 + \kappa_{z1}^2 = \kappa_1^2 = \omega^2 \mu_1 \epsilon_1 = \epsilon_r \kappa_0^2 \quad (3)$$

$$\kappa_\rho^2 + \kappa_{z2}^2 = \kappa_2^2 = \kappa_0^2 \quad (4)$$

또한 영역 1과 영역 2에 존재하는 전자계식은 다음과 같이 계산된다.

영역 1의 경우

$$E_\rho = \frac{\kappa_{z1} \kappa_\rho A_1}{j\omega \epsilon_1} H_1^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \sin(\kappa_{z1} z) \quad (5)$$

$$E_z = \frac{A_1}{j\omega \epsilon_1} (\kappa_1^2 - \kappa_{z1}^2) H_0^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \cos(\kappa_{z1} z) \quad (6)$$

$$H_\phi = \kappa_\rho A_1 H_1^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \cos(\kappa_{z1} z) \quad (7)$$

영역 2의 경우

$$E_\rho = \frac{-\kappa_{z2} \kappa_\rho A_2}{j\omega \epsilon_2} H_1^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \sin[\kappa_{z2}(h-z)] \quad (8)$$

$$E_z = \frac{A_2}{j\omega \epsilon_2} (\kappa_2^2 - \kappa_{z2}^2) H_0^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \cos[\kappa_{z2}(h-z)] \quad (9)$$

$$H_\phi = \kappa_\rho A_2 H_1^{(1)}(\kappa_\rho \rho) \cos[\kappa_{z2}(h-z)] \quad (10)$$

유전체 경계면 ( $z=d$ )에서 전계와 자계가 연속인 경계조건을 적용하면 다음과 같이 된다.

$$\begin{aligned} \frac{\kappa_{z1} A_1}{\epsilon_1} \sin(\kappa_{z1} d) \\ = -\frac{\kappa_{z2} A_2}{\epsilon_2} \sin[\kappa_{z2}(h-d)] \end{aligned} \quad (11)$$

$$A_1 \cos(\kappa_{z1} d) = A_2 \cos[\kappa_{z2}(h-d)] \quad (12)$$

(3), (4), (11) 및 (12)를 이용하면 다음과 같은 결과식을 얻는다.

$$\kappa_{z1} = \sqrt{(\epsilon_r - 1) \kappa_0^2 + \kappa_{z2}^2} \quad (13)$$

$$\begin{aligned} &\kappa_{z1} \tan(\kappa_{z1} d) \\ &= -\epsilon_r \kappa_{z2} \tan[\kappa_{z2} (h-d)] \end{aligned} \quad (14)$$

(4)를 (13)에 대입하여 계산된 결과를 식(14)에 적용하면 지연파구조물에서의  $\kappa_\rho$  값을 결정할 수 있는 관계식이 세워진다. (Yang and Lee, 1991).

$$\begin{aligned} &\sqrt{\epsilon_r + \left(\frac{\kappa_\rho}{\kappa_0}\right)^2 \tan\left\{\sqrt{\epsilon_r + \left(\frac{\kappa_\rho}{\kappa_0}\right)^2} d\right\}} \\ &= -\epsilon_r \sqrt{1 - \left(\frac{\kappa_\rho}{\kappa_0}\right)^2} \tan\left\{\sqrt{1 - \left(\frac{\kappa_\rho}{\kappa_0}\right)^2} (h-d)\right\} \end{aligned} \quad (15)$$

### 電波吸收體 特性 解析

Fig. 2는 레이디얼 도파관 상단 중심( $\rho=D$ )에 내부 원관을 고정시키는 금속봉과 흡수체인 부하가 설치된 그림이다. 하단 중심( $\rho=0$ )에서 동축케이블을 이용하여 공급된 전력은 하단 도파관을 따라 상단 도파관의 중심으로 전파해간다. 전파된 파의 일부는 슬랏을 통하여 자유공간으로 복사되고 나머지는 부하에 도달하여 흡수 또는 반사된다. 만약 부하에서 반사되는 양이 클 경우 슬랏에 여기되는 전계는 반사파의 영향에 의하여 감소된다. 반사파의 영향을 줄이기 위해서는 원주형 흡수체의 매질 특성과 반경  $r_1$ , 금속봉의 반경  $s_1$ 을 적절히 조절하여야 한다.

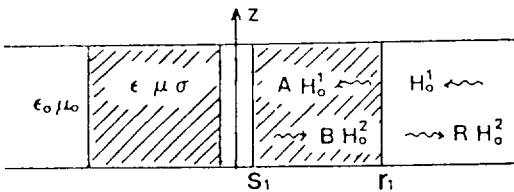


Fig. 2. The structure for the waveguide constructed conducting rod.

#### 1. 흡수체의 중심에 금속봉이 설치된 경우

도파관 중심에 내부 원관을 지탱하기 위하여 반경  $s_1$ 인 금속봉을 설치하고 부하로써  $r_1$ 인 흡수체를 설치한다.

도파된 파가 흡수체의 경계면에 도달하면 흡수와 반사가 일어난다. 이때 흡수된 파를  $A H_0^{(1)}(\kappa_\rho \rho)$ , 반사된 파를  $R H_0^{(2)}(\kappa_\rho \rho)$ , 흡수된 파의 일부가 중

심 금속봉에 도달하여 반사된 양을  $B H_0^{(2)}(\kappa_\rho \rho)$ , 라고 가정한다. (Ito et. al, 1984).

흡수체에 도달된 전자파 에너지가 흡수체에서 반사되는 반사량은 흡수체 경계면에서의 경계조건과 중심에 있는 금속봉에서의 경계조건을 적용하여 계산한다. 흡수체 경계면( $\rho=D-r_1$ )에서 기본드인  $TM_{00}$  모드에 대한 경계조건을 적용하면  $E_z$  성분은

$$\begin{aligned} &\frac{\kappa_1^2}{\epsilon_1} [H_0^{(1)}(\kappa_\rho (D-r_1)) + R H_0^{(2)}(\kappa_\rho (D-r_1))] \\ &= \frac{\kappa_2^2}{\epsilon_2} [A H_0^{(1)}(\kappa_\rho (D-r_1)) \\ &\quad + B H_0^{(2)}(\kappa_\rho (D-r_1))] \end{aligned} \quad (16)$$

이고 자계 성분  $H_\rho$ 는

$$\begin{aligned} &\kappa_\rho [H_1^{(1)}(\kappa_\rho (D-r_1)) + R H_1^{(2)}(\kappa_\rho (D-r_1))] \\ &= \kappa_\rho [A H_1^{(1)}(\kappa_\rho (D-r_1)) \\ &\quad + B H_1^{(2)}(\kappa_\rho (D-r_1))] \end{aligned} \quad (17)$$

이된다. 여기서 A는 투과계수, B는 금속봉에서의 반사계수, R은 흡수체에서의 반사계수이고  $\kappa_\rho$ 는 흡수체가 없는 영역에서  $\rho$ 방향의 전파상수,  $\kappa_\rho$ 는 흡수체에서 전파상수,  $\kappa_1, \kappa_2$ 는 각각 영역 1과 영역 2에서의 전파상수이다. 또한 도파관 중심에 있는 금속봉 표면( $\rho=D-s_1$ )에서 경계조건을 적용하면 다음과 같다.

$$A H_0^{(1)}(\kappa_\rho (D-s_1)) + B H_0^{(2)}(\kappa_\rho (D-s_1)) = 0 \quad (18)$$

$$A H_1^{(1)}(\kappa_\rho (D-s_1)) + B H_1^{(2)}(\kappa_\rho (D-s_1)) = 0 \quad (19)$$

(16), (17), (18) 및 (19)를 이용하여 계수를 구하면

$$A = \frac{\alpha_3 - \kappa_\rho \alpha_0}{\kappa_\rho (\alpha_1 - \alpha_2) - \kappa_\rho (\alpha_3 - \alpha_4)} \quad (20)$$

$$B = \frac{\kappa_\rho \alpha_1 - \alpha_0}{\kappa_\rho (\alpha_1 - \alpha_2) - \kappa_\rho (\alpha_3 - \alpha_4)} \quad (21)$$

$$R = \frac{\kappa_\rho (\alpha_3 - \alpha_0) - \kappa_\rho (\alpha_1 - \alpha_2)}{\kappa_\rho (\alpha_1 - \alpha_2) - \kappa_\rho (\alpha_3 - \alpha_4)} \quad (22)$$

로 된다. 여기서 각각에 대한 계수는

$$\begin{aligned} \alpha_1 &= H_1^{(2)}(\kappa_\rho (D-r_1)) H_0^{(1)}(\kappa_\rho (D-r_1)) \\ &\quad H_0^{(2)}(\kappa_\rho (D-s_1)) \end{aligned}$$

$$\alpha_2 = H_1^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_3 = H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(1)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_4 = H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(2)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_5 = H_1^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) \\ H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_6 = H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) \\ H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_7 = H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) \\ H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_8 = H_1^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) \\ H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_9 = H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(1)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_{10} = H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(2)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_{11} = H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

$$\alpha_{12} = H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_0^{(2)}(\kappa_\ell(D-r_1)) \\ H_0^{(1)}(\kappa_\ell(D-s_1))$$

이다.

### 2. 흡수체의 중심에 금속봉이 없는 경우

Fig. 3은 도파관 중심에 금속봉이 없이 흡수체로 채워진 경우이다.

흡수체에 입사된 전자계는 도파관 중심에서 간섭 현상을 일으켜 흡수체 내부에서 정재파가 형성된다. 그러므로 흡수체 내부에 존재하는 전자계는 Bessel 함수를 이용하여 표현할 수 있다. 따라서 경계면

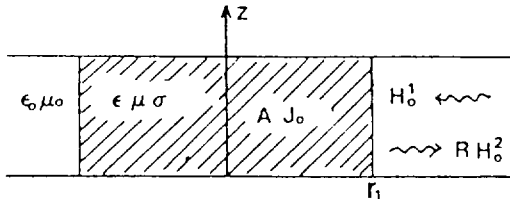


Fig. 3. The structure for waveguide without conducting rod.

( $\rho=D-r_1$ )에서 전자계에 대한 경계조건을 적용하면

$$\frac{\kappa_1^2}{\epsilon_1} [H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) + R H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1))] \\ = -\frac{\kappa_2^2}{\epsilon_2} A J_0(\kappa_\ell(D-r_1)) \quad (23)$$

$$\kappa_\rho [H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) + R H_1^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1))] \\ = \kappa_\ell A J_1(D-r_1) \quad (24)$$

이 된다. (23)과 (24)를 이용하여 계수를 구하면 다음과 같다.

$$A = -\frac{\kappa_\rho \beta_3 - \beta_4}{\kappa_\ell \beta_1 - \beta_2} \quad (25)$$

$$R = -\frac{\kappa_\rho \beta_5 - \beta_6}{\kappa_\ell \beta_1 - \beta_2} \quad (26)$$

여기서

$$\beta_1 = H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) J_1(\kappa_\ell(D-r_1))$$

$$\beta_2 = H_1^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) J_1(\kappa_\ell(D-r_1))$$

$$\beta_3 = H_0^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1))$$

$$\beta_4 = H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) H_1^{(2)}(\kappa_\rho(D-r_1))$$

$$\beta_5 = H_1^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) J_0(\kappa_\ell(D-r_1))$$

$$\beta_6 = H_0^{(1)}(\kappa_\rho(D-r_1)) J_1(\kappa_\ell(D-r_1))$$

이다.

## 結果 및 考察

Fig. 4와 Fig. 5는 지연파구조물의 특성을 (15)를 이용하여 계산한 결과이다. 지연파구조물을 사용한

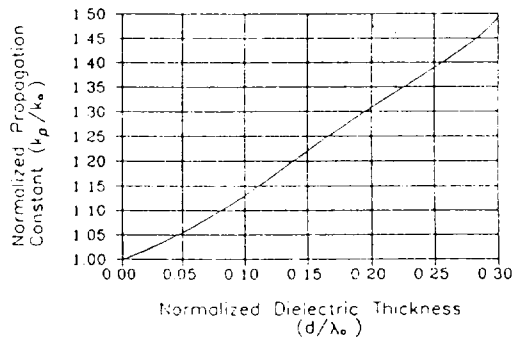


Fig. 4. The characteristics of the propagation constant.

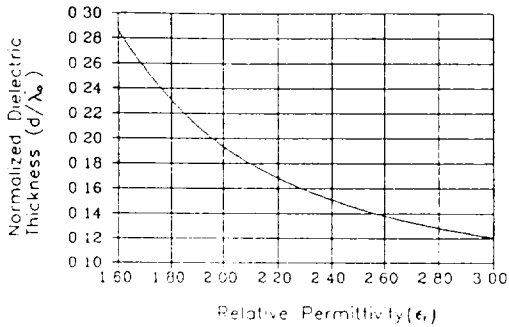
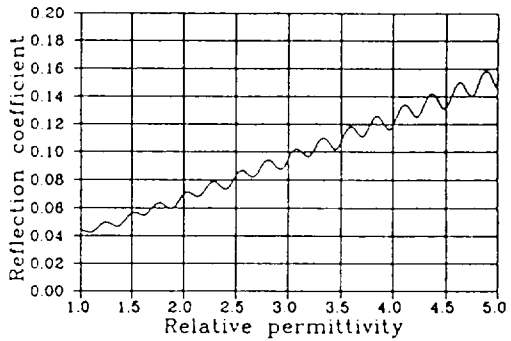


Fig. 5. The dielectric thickness versus the relative permittivity.

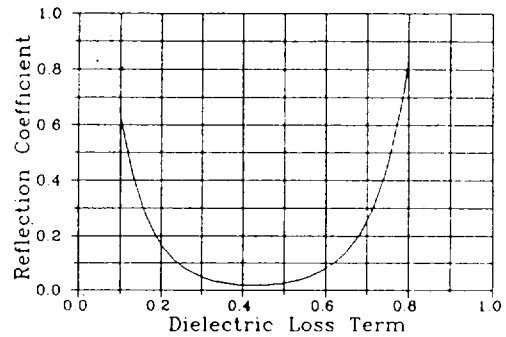
경우, 도파관 내부의 관내파장  $\lambda_g$ 는 (3), (5) 및 (15)를 적용하여 계산한 결과  $0.7995\lambda_0$ 가 된다. Fig. 4는 유전체층의 두께에 따라 변화되는 전과상수 ( $\kappa_p/\kappa_0$ ) 값을 표시한 그림이고 Fig. 5는 상대유전율의 값을 증가시켰을 때 경계조건이 만족되는 유전체층의 두께를 나타낸 그림이다. Fig. 4와 Fig. 5에서 상대 유전율의 크기가 2.3일 때 유전체층의 두께는  $0.16\kappa_0$  이고  $\rho$ 방향의 전과상수  $\kappa_p$ 는  $1.25\kappa_0$ 가 됨을 알 수 있다.

Fig. 6는 (22)와 (24)를 이용하여 흡수체의 경계면에서 반사되는 반사계수 값을 금속봉의 반경  $s_1$ 과 흡수체의 반경  $r_1$ 을 달리하면서 흡수체 유전율의 값에 따라 변화되는 특성을 나타낸 그림이다.

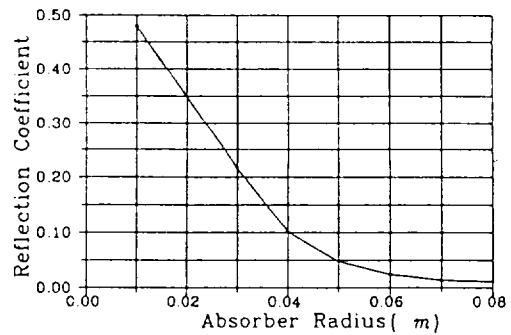
Fig. 6(a)는 유전체 손실항을 특정값( $\epsilon_r''$ )으로 놓고 상대유전율( $\epsilon_r'$ )의 값을 증가시키기에 따라 나타나는 반사계수 특성곡선을 그린 것이다. 상대유전율의 값이 증가됨에 따라 반사계수는 주기적으로 증가되고  $\epsilon_r' = 1.14$ 일 때 최소값을 갖는다. Fig. 6(b)는 상대유전율 값을 최소값( $\epsilon_r' = 1.14$ )으로 놓고 유전체 손실항( $\epsilon_r''$ )의 값에 따라 변화하는 반사계수 특성을 나타낸 그림이다. 이 경우 반사량이 최소로 되기 위해서는 유전체 손실  $\epsilon_r''$ 이 약 0.4로 되어야 한다. Fig. 6(c)는 흡수체 반경이 변화됨에 따라 달라지는 반사특성이다. 흡수체 반경이 5.5cm 이상 이면 반사량이 4% 이하로 된다. 따라서 금속봉의 반경과 상대 유전율( $\epsilon_r'$ )의 특성값을 적절히 조절하면 낮은 반사 특성을 얻을 수 있다. 이 논문에서는  $\epsilon_r' = 1.14$ ,  $\epsilon_r'' = 0.4$ ,  $s_1 = 3\text{mm}$ ,  $r_1 = 5\text{cm}$ 로 설계하였다.



(a) The reflection coefficient versus  $\epsilon_r'$ .



(b) The reflection coefficient versus  $\epsilon_r''$ .



(c) The reflection coefficient versus absorber radius.

Fig. 6. The characteristic curves of the reflection coefficient.

## 摘 要

지연파구조물을 따라 전파되는 파의 특성은 상대 유전율과 유전체층의 두께에 따라 변화된다. 유전율 값이 커질수록 경계조건에 일치하는 유전체층의 두

계는 지수함수적으로 작아지고 전파상수값은 직선적으로 감소한다. 따라서 어떤 특정값의 상대유전율을 택하였을 경우 경계조건에 적합한 유전체 층의 두께를 선정하여 지연파구조물로 사용하여야 한다. 지연파구조물의 설계치는 전파상수  $\kappa_p = 1.25\kappa$ , 상대유전율  $\epsilon_r = 2.3$ , 유전체층의 두께  $d = 4\lambda$  일때 수신감도 특성이 제일 양호하다.

금속봉의 반경  $s_1$ 과 흡수체의 반경  $r_1$ 을 고정시키고 상대유전율의 값을 증가시킬 경우 전파흡수체의 반사계수는 주기적으로 증가하는 특성을 갖는다. 그러므로 금속봉의 반경과 상대유전율의 값을 적절히 조절하면 낮은 반사특성을 얻을 수 있다. 본 논문에서  $\epsilon_r' = 1.14$ ,  $\epsilon_r'' = 0.4$ ,  $s_1 = 3\lambda$ ,  $r_1 = 5cm$ 로 최적 특성을 갖도록 설계하였다.

## 參 考 文 獻

- Collin, R. E., 1985. *Foundations for Microwave Engineering*, McGraw-Hill Book Company, Inc., 224-254.
- Endo, k., M. Natori, M. Ando and N. Goto, 1989. A waveguide desin of a radial line slot antenna, *IEICE Trans.*, J72-B-II, 8: 396-401.
- Ito, S., M. Ando and N. Goto, 1984. An analysis of radial line slow wave circuit, *IECE Japan, Tech. Report*, AP 84-70: 15-19.
- Jasik, H., 1961. *Antenna Engineering Handbook*, NewYork, McGraw-Hill Book Company, Inc., 9-1~9-18.
- Marcuvitz, N., 1951. *Waveguide Handbook*, New York Dover publications, Inc., 55-100.
- Morgan, W.L. and G.D. Gordon, 1989. *Communications Satellite Hand book*, John wiley & Sons, Inc., 276-309.
- Ramo, R. and J. R. Whinnery, 1984. *Fields and Waves in Communication Electronics*, 2nd edition, John Wiley & Sons, Inc., 474-519.
- Oshima, Y., M. Ando and N. Goto, 1986. Analysis of slow wave structures in radial line slot antenna, *IECE Japan, Tech. Report*, AP 86-107: 13-19.
- Yang, D. Y. and S.S. Lee, 1991. Analysis of the spiral array antenna slotted on the circular disk, *Proceedings of International Conference on Electronics, Informations and Communications*, 1 (2): 234-238.