論文2001-38TC-1-5

원편파 변환 주파수 선택 반사기 설계

(Design of the Frequency Selective Surface with Transformation of Linear-to-circular Polarization)

高 知 煥 *, 趙 榮 基 **

(Ji Whan Ko and Young Ki Cho)

요 약

편파기 특성을 갖는 새로운 주파수 선택반사기의 새로운 주기적 배열 구조를 제시하였다. 배열 구조는 평면 유전체 슬랩의 양면에 도체 다이폴을 주기적으로 배열하고 윗면의 다이폴과 아래면의 다이폴은 서로 대략 90° 정도로 직교되며 유전체 두께는 유전율을 고려한 주파수 파장의 1/8정도이다. 산란 해석으로는 파수 영역 이미턴스방법과 모멘트 방법이 사용되었다. 제시한 새로운 주파수 선택반사기의 편파 변환 기능을 확인하기 위해 설계/제작하여 반사 손실과 투과 손실을 측정하였다. 측정 결과는 이론치와 매우 일치되었으며 반사시 선형 편파인 입사파가 원형 편파로 변환됨을 확인하였다.

Abstract

The new periodic array structure of frequency selective surface with polarizer's characteristic is proposed. The present structure is constructed with two sheets of FSS material, spaced about one-eight wavelength apart, the dipole element orientations of the two sheets being almost perpendicular to each other. The methods of the spectral domain immittance and MoM are used to analyze electromagnetic scattering from this periodic array structure. To confirm the validity of the polrizer's functions of the new periodic array structure, frequency selective surfaces are fabricated, calculated values for the frequency response of the reflection and transmission loss are compared with measured values. Good correspondence has been observed between them. Good axial ratio has been also observed to be achieved in the proposed structure.

Ⅰ. 서 론

주파수 선택 반사기(FSS : Frequency Selective Surface)는 일종의 여파기로 안테나 레이돔이나 다중대역 안테나에서 부반사기로 널리 사용되고 있다.[1-12] 예로 위성통신용 표준 파라볼라 안테나에서 주파수 선택 반사기를 사용한 다중대역 안테나를 그림 1.에 나타내었다. 그림 1.에서 제 1 급전혼은 f_1 주파수대에서 동작하게 하고 제 2 급전혼은 f_2 주파수대에서 동작하게 하면 주 반사기는 한 개이지만 2 개의 주파수 대역을 수용할 수 있음을 볼 수 있다. 여기서 주파수 선택 반사기는 제 1 급전혼에서 방사한 f_1 주파수 성분을 전부 투과시키면서 동시에 제 2 급전혼에서 방사한 f_2 주파수 성분을 전부 반사시킨다. 이제까지 주파수 선택 반사기에 관한 연구는 반사파와 투과파의 편파는 입사파의 편파와 동일하고 배열 구조에 따른 주파수 응답 특

* 正會員, 金烏工科大學校 電子工學部
(School of Electronic Eng., Kumoh National University of Techonology)
** 正會員 : 慶北大學校 電子電氣工學部
(School of Electronic and Electrical Eng., Kyungpook National University)
接受日字:2000年8月11日, 수정완료일:2000年12月22日

성만 다루어 왔다.

본 논문에서는 주파수 선택 반사기에 주파수대를 분리하는 여파기 기능을 지니면서 편파 변환 기능을 갖는 새로운 배열 구조를 제시하고자 한다. 이를 그림 2.에서 보면 f_1, f_2 주파수대를 갖는 입사파가 들어오면 f_1 주파수는 손실없이 주파수 선택 반사기를 그대로 투과되고, f_2 주파수는 반사기에서 선형 편파에서 원편파로 편파 변환한 다음 전부 반사된다. 이렇게하여 주파수 선택반사기는 편파기 특성을 지니게 된다.

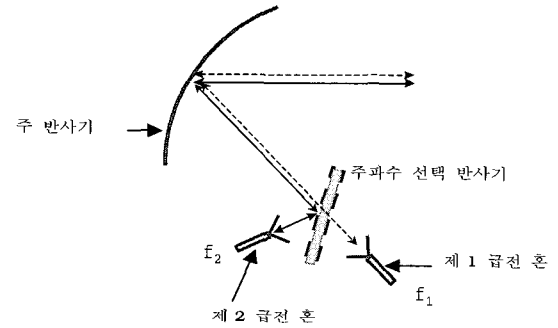


그림 1. 주파수 선택 반사기를 이용한 다중 대역 안테나 예

Fig. 1. Example of Multi-band parabola antenna with FSS.

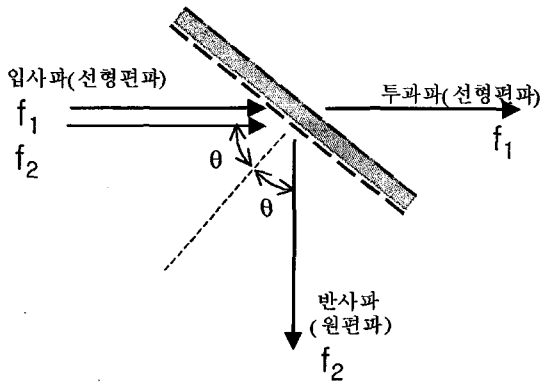


그림 2. 편파기 기능을 갖는 주파수 선택 반사기 개념

Fig. 2. Concept of frequency selective surface with polarizer's characteristics.

이러한 기능을 구현하기 위해 본 논문에서 제시하고자 하는 새로운 배열 구조는 평면 유전체 슬랩의 양면에 도체 다이폴을 주기적으로 배열하고, 유전체 양면에 배열된 다이폴의 각도는 약 90° 정도로 두며, 유전체 두께는 유전율을 고려한 주파수 파장의 1/8 정도되게 두었다. 이러한 배열 구조에 대한 산란 해석으로는 파수 영역 이미턴스(spectral domain immittance)방법을 이용하여 산란파를 구하고, 계산은 모멘트 방법을 사용하였다.[1,11] 산란 해석을 통하여 편파기 특성을 갖는 주파수 선택 반사기를 분석하고, 20GHz대의 배열 구조를 설계하였다. 그리고 설계한 주파수 선택 반사기를 제작하여 반사파와 투과파의 주파수 응답을 측정하였고 설계 결과와 비교 검토하였다.

Ⅱ. 전자파 산란 해석

본 논문에서 다루고자 하는 배열 구조는 그림 3.과 같으며 유전체 양면에 다이폴이 배열된 면을 스크린이라 말한다. 여기서 x, y 방향의 주기는 Tx, Ty, 두 다이폴의 크기는 동일한 것으로 길이와 폭을 L과 W로 표시한다. 그림 3(b)는 이중 스크린 구조의 단면을 나타낸 것으로, 유전율은 ε_r, 유전체 두께는 d로 표시한다.

먼저, 파수 영역 이미턴스 방법을 이용하여 단지 유기전류에 의한 산란파를 구하여 보자. 그림 3.에서 배열되어 있는 각 다이폴 패치의 표면에 흐르는 전류 성분을

$$\bar{J}_j(x,y) = \bar{j}_j(x,y)e^{j(k_x^i x + k_y^i y)}, \quad j = 1,2 \tag{1}$$

라 두자. 여기서 전류 $\bar{J}_j$의 아래첨자 j=1,2는 각각 유전체 윗면과 아래면의 전류를 표시한다. 그리고 유전체에 다이폴이 배열된 윗쪽 스크린을 i=1, 아래쪽 스크린을 i=2라고 둘 때 각 스크린면에서 산란 접선 전계 성분은 다음식과 같이 주어진다.

$$\bar{E}_{T,i}^s = -\sum_{j=1}^{2}\sum_{p=-\infty}^{\infty}\sum_{q=-\infty}^{\infty}\tilde{\bar{\bar{G}}}^{i,j}(k'_{xp},k'_{yq})\cdot\tilde{\bar{J}}_{pq,j}e^{j(k'_{xp}x+k'_{yq}y)} \tag{2}$$

$$k'_{xp} = 2\pi p/T_x + k_x^i = k_{xp} + k_x^i \tag{3a}$$

$$k'_{yp} = 2\pi q/T_y + k_y^i = k_{yp} + k_y^i \tag{3b}$$

$$k'_{zpq} = \sqrt{(k_0^2\varepsilon_{o,r} - k_{xp}'^2 - k_{yq}'^2)} \tag{3c}$$

$$\tilde{\bar{J}} = \frac{1}{T_xT_y}\iint_{sp,j}\bar{j}_j(x',y')e^{-j(k_{xp}x'+k_{yq}y')}dx'dy' \tag{4}$$

여기서 $\tilde{\bar{\bar{G}}}$는 퓨리어 적분된 그린 함수(Dyadic Green's function), 그리고 k_x^i, k_y^i 는 입사파의 x, y축 방향의

전파 상수를 의미한다.

식(2)에서 다이아딕 그린 함수를 쉽게 구하기 위해, 본 논문에서는 파수 영역 이미턴스 방법을 사용하였다. 먼저, 벡터 포텐셜(vector potential) A로부터 산란 전자계는

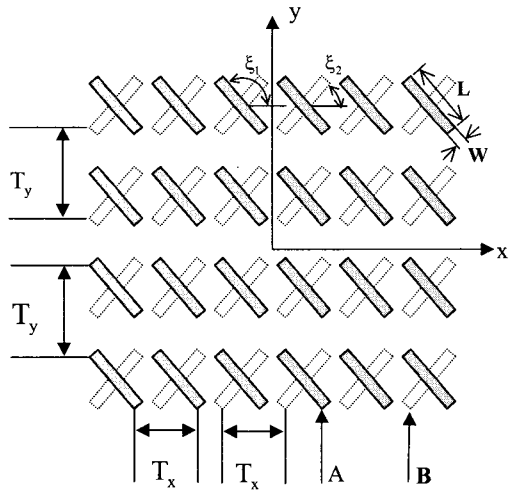
$$E^s = -j\omega\mu A + \frac{1}{j\omega\varepsilon}\nabla(\nabla\cdot A) \tag{5}$$

$$H^s = \nabla\times A \tag{6}$$

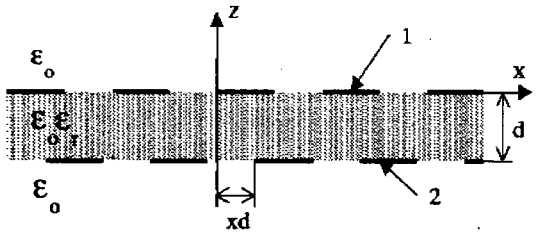
으로 표현된다. 위 식에서 전자계 성분 중 z 방향의 성분으로만 된 것을 정리하면 다음 같이 나타낼 수 있다.

$$E_z^s = \frac{1}{j\omega\varepsilon}\frac{\partial}{\partial z}\left(\frac{\partial}{\partial x}A_x + \frac{\partial}{\partial y}A_y\right) \tag{7}$$

$$H_z^s = \frac{\partial}{\partial x}A_y - \frac{\partial}{\partial y}A_x \tag{8}$$



(a) 윗면



(b) 옆면

그림 3. 이중 스크린 주파수 선택 반사기 구조
Fig. 3. Structure of double screen frequency selective surface.
(a) Top view (b) Side view

위의 표현식에서 x축과 y축에 대해 퓨리에 적분하면, z 축의 전자계 성분은 다음과 같이 전류 성분의 비례식으로 표현될 수 있다.

$$\tilde{E}_z^s \propto \frac{k_x'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\tilde{j}_x + \frac{k_y'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\tilde{j}_y \tag{9}$$

$$\tilde{H}_z^s \propto \frac{-k_x'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\tilde{j}_y + \frac{k_y'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\tilde{j}_x \tag{10}$$

여기서 x, y 좌표계는 어떤 임의의 각도 θ를 이용하면 다음의 변환 관계식으로 u, v 좌표계를 나타낼 수 있다.

$$\begin{bmatrix} u \\ v \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} \sin\theta & -\cos\theta \\ \cos\theta & \sin\theta \end{bmatrix}\begin{bmatrix} x \\ y \end{bmatrix} \tag{11}$$

여기서

$$\cos\theta = \frac{k_x'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}, \quad \sin\theta = \frac{k_y'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}} \tag{12}$$

식 (9)와 식 (10)에서는 전류 성분이 x, y 축 방향으로 표현되어 있지만, u, v 축 방향으로 변환되어도 전류 성분의 벡터 자체는

$$\tilde{\vec{j}} = \hat{x}\tilde{j}_x + \hat{y}\tilde{j}_y = \hat{u}\tilde{j}_u + \hat{v}\tilde{j}_v \tag{13}$$

로서 바뀌지 않고 단지 u, v 방향으로만 표현된다. 식 (11)과 식 (12)를 식(9)와 식(10)에 대입하고 u, v축 방향의 전류 성분별로 분리하여 표현하여 보면 z축 방향의 전자계 성분은 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$\tilde{E}_z^s \propto \frac{k_x'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\sin\theta\,\tilde{j}_u - \frac{k_y'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\cos\theta\,\tilde{j}_u = 0 \tag{14}$$

$$\tilde{H}_z^s \propto \frac{-k_x'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\sin\theta\,\tilde{j}_v + \frac{k_y'}{\sqrt{k_x'^2+k_y'^2}}\cos\theta\,\tilde{j}_v = 0 \tag{15}$$

여기서 u방향 전류에 의한 파는 z축 전계 성분이 영이므로 TE 파에 해당되고, v 방향 전류에 의한 파는 z 축 자계 성분이 영이므로 TM파로 볼 수 있다. 이와 같은 관계로부터 j(j=1,2)번째 스크린의 전류에 기인한 i(i=1,2)번째 스크린의 접선성분인 u, v 방향의 산란 전계는 다음식과 같이 둘 수 있다.

$$\begin{bmatrix}\tilde{E}^s_{i,u}\\ \tilde{E}^s_{i,v}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\tilde{Z}^{h,ij} & 0\\ 0 & \tilde{Z}^{e,ij}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\tilde{j}_{j,u}\\ \tilde{j}_{j,v}\end{bmatrix} \tag{16}$$

따라서 식 (11)을 이용하여 식 (16)의 산란 전계를 x, y 축 방향으로 다시 변환하면 다음식과 같이 표현된다.

$$\begin{bmatrix}\tilde{E}^s_{i,x}\\ \tilde{E}^s_{i,y}\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\tilde{Z}^{h,ij}\sin^2\theta+\tilde{Z}^{e,ij}\cos^2\theta & (\tilde{Z}^{e,ij}-\tilde{Z}^{h,ij})\cos\theta\sin\theta\\ (\tilde{Z}^{e,ij}-\tilde{Z}^{h,ij})\cos\theta\sin\theta & \tilde{Z}^{e,ij}\sin^2\theta+\tilde{Z}^{h,ij}\cos^2\theta\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\tilde{j}_{j,x}\\ \tilde{j}_{j,y}\end{bmatrix}$$
$$=\begin{bmatrix}\tilde{G}^{i,j}_{xx} & \tilde{G}^{i,j}_{xy}\\ \tilde{G}^{i,j}_{yx} & \tilde{G}^{i,j}_{yy}\end{bmatrix}\begin{bmatrix}\tilde{j}_{j,x}\\ \tilde{j}_{j,y}\end{bmatrix} \tag{17}$$

여기서 임피던스 $\tilde{Z}^{ij}$ 는

$$\tilde{Z}^{e,h,ij}=\frac{1}{Y^{+e,h}+Y^{-e,h}}Y^{e,h}_{transfer} \tag{18}$$

로 주어지고 , +, - 표시는 i번째 스크린에서 z축에 대해 양의 방향과 음의 방향을 각각 나타내며, e, h는 각각 E모드(TM), H 모드(TE)를 의미한다. 전달 어드미턴스 $Y_{transfer}$는 i=j일 때 1이 되고, ij 일 때는 그림 4.와 같이 j 번째 전류가 i 번째 스크린에 영향을 주는 것으로 다음의 식으로부터 구하게 된다.

$$Y_{transfer}=\frac{Y_\varepsilon}{Y_\varepsilon\cos k'_z d+Y_L\sin k'_z d} \tag{19}$$

이상으로 식 (2)의 산란 전계에 포함되어 있는 다이아딕 그린함수를 간단하게 유도하는 과정을 살펴보았다.

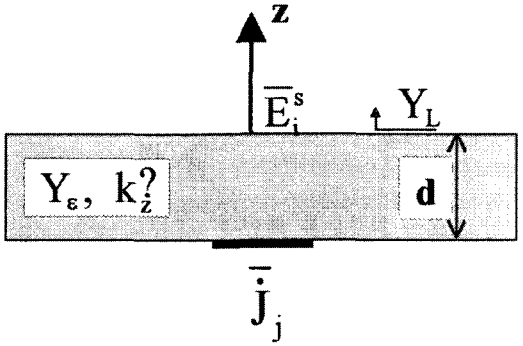


그림 4. 전류와 산란파 간의 관계
Fig. 4. Relation between the current and the scattered field.

그림 3.에서 보는 바와 같이 다이폴의 모양이 직사각형이므로 그림 5.과 같이 전류 성분을 다이폴의 길이 방향과 폭 방향으로 나눌 수 있다. 따라서 전류 분포 성분을 표현하는 전개 함수는 x', y' 좌표에 대하여 다음 식과 같이 나타낼 수 있다.

$$j_{x',j}=\sum_m\sum_n A^j_{x'mn}\sin\left(\frac{m\pi}{L}x'\right)\cos\left(\frac{n\pi}{W}y'\right) \tag{20a}$$

$$j_{y',j}=\sum_m\sum_n A^j_{y'mn}\cos\left(\frac{m\pi}{L}x'\right)\sin\left(\frac{n\pi}{W}y'\right) \tag{20b}$$

그리고 x, y 좌표계와 x', y' 좌표계간에 변환 관계식은 다음과 같다.

$$\begin{bmatrix}x'\\ y'\end{bmatrix}=\begin{bmatrix}\cos\xi_j & \sin\xi_j\\ -\sin\xi_j & \cos\xi_j\end{bmatrix}\begin{bmatrix}x\\ y\end{bmatrix} \tag{21}$$

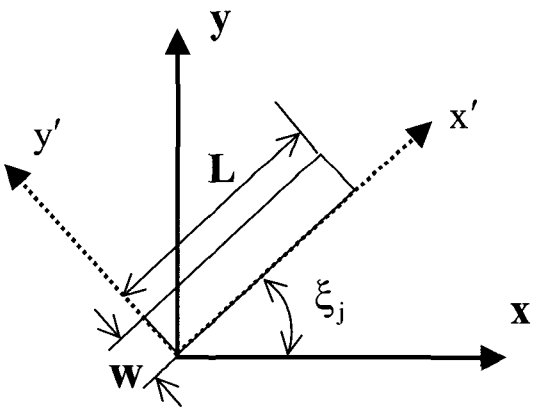


그림 5. j 번째 다이폴의 구조
Fig. 5. Structure of j-th dipole element.

다음은 식(20)의 전류 표현식에서 미지의 계수 A^j_{xxmn}, A^j_{yxm}, 를 얻기 위해 선형 대수 방정식으로 표현할 것이다. 이를 위해 i 번째 스크린에서 접선 전계 성분이 영이 되는 경계 조건을 적용하고 식(21)을 이용하여 x, y 축 방향의 전계 성분을 x', y' 방향으로 변환한 다음, Galerkin 기법을 이용하여 시험 과정을 거치면 다음과 같은 선형 대수 방정식을 얻을 수 있다.

$$\sum_{j=1}^{2}\sum_m\sum_n \bar{A}^j_{mn}\sum_{p=-\infty}^{\infty}\sum_{q=-\infty}^{\infty}\bar{\bar{\tilde{G}}}^{\prime ij}\cdot\tilde{H}^{\prime j}_{mnpq}\tilde{H}^i_{stpq}=\bar{S}^{\prime i}\tilde{H}^i_{00pq},\quad i=1,2 \tag{22}$$

여기서 그린 함수의 각 성분과 $\bar{S}'$는

$$\tilde{G}^{\prime ij}_{x'x'}=\cos\xi_i\cos\xi_j\tilde{G}^{ij}_{xx}+\sin\xi_i\cos\xi_j\tilde{G}^{ij}_{yx}$$
$$+\cos\xi_i\sin\xi_j\tilde{G}^{ij}_{xy}+\sin\xi_i\sin\xi_j\tilde{G}^{ij}_{yy} \tag{23a}$$

$$\tilde{G}'^{ij}_{x'y'} = -\cos\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{xx} - \sin\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{yx} + \cos\xi_i \cos\xi_j \tilde{G}^{ij}_{xy} + \sin\xi_i \cos\xi_j \tilde{G}^{ij}_{yy} \quad (23b)$$

$$\tilde{G}'^{ij}_{y'x'} = -\sin\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{xx} + \cos\xi_i \cos\xi_j \tilde{G}^{ij}_{yx} - \sin\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{xy} + \cos\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{yy} \quad (23c)$$

$$\tilde{G}'^{ij}_{y'y'} = \sin\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{xx} - \cos\xi_i \sin\xi_j \tilde{G}^{ij}_{yx} - \sin\xi_i \cos\xi_j \tilde{G}^{ij}_{xy} + \cos\xi_i \cos\xi_j \tilde{G}^{ij}_{yy} \quad (23d)$$

$$\bar{S}' = \begin{bmatrix} \cos\xi_i S_{x0} + \sin\xi_i S_{y0} \\ -\sin\xi_i S_{x0} + \cos\xi_i S_{y0} \end{bmatrix} \quad (24)$$

$$S_{xo} = \left(1 + \Gamma^{TM}\right) E^{i'}_{xo} + \left(1 + \Gamma^{TE}\right) E^{i''}_{xo} \quad (25a)$$

$$S_{yo} = \left(1 + \Gamma^{TM}\right) E^{i'}_{yo} + \left(1 + \Gamma^{TE}\right) E^{i''}_{yo} \quad (25b)$$

로서 주어지며 $\tilde{H}^{j}_{mnpq}$ 는 x, y성분을 갖는데 x방향 성분을 예를 들어 기술하면

$$\tilde{H}^{*j}_{xmnpq} = \frac{1}{T_x T_y} \int_0^W \int_0^L \sin\frac{m\pi}{L} x' \cos\frac{n\pi}{W} y' e^{-k^j_{x'} x'} e^{-k^j_{y'} y'} d_{x'} d_{y'} \quad (26)$$

$$k^j_x = \frac{2\pi p}{T_x}\cos\xi_j - \frac{2\pi q}{T_y}\sin\xi_j \quad (27a)$$

$$k^j_y = \frac{2\pi p}{T_x}\sin\xi_j + \frac{2\pi q}{T_y}\cos\xi_j \quad (27b)$$

와 같이 표현된다.[12]

식 (22)에서 *는 공액 복소수를 의미하고, 식 (25)의 Γ^{TM}, Γ^{TE}는 유전체 판상에 도체 다이폴 배열이 없을 때 유전체만에 의한 TM 파, TE 파의 반사계수를 의미한다.[9] 따라서 식 (22)의 방정식을 풀면 미지 계수 $\bar{A}^{j}_{mn}$를 알 수 있다. 이를 식 (20)에 입력하면 다이폴 패치에 유기되는 전류를 계산할 수 있으므로 식 (17)로부터 각 영역에서의 산란파를 구할 수 있다.

Ⅲ. 주파수 선택반사기 설계

그림 3(a)에서 나타낸 폭이 좁은 두 다이폴 패치가 십자형 모양으로 배열되어 있는 구조에 대하여 반사와 투과 손실 및 편파 축비를 분석하였고, 다이폴의 폭이 1.0mm (case 1)와 2.0mm (case 2)인 두가지 경우에 대하여 편파기 특성을 갖는 주파수 선택반사기를 설계하였다. 두 경우 모두 유전계수가 2.2, 두께가 1.5748mm (0.062 inches)인 동일 유전체를 사용하였고, x, y축 방향의 배열의 주기도 7mm로 동일하게 두었다. 설계한 두 경우에 대하여 반사 손실과 편파 축비를 그림 6.와 그림 7.에 나타내었다.

그림 6.를 보면 TE파와 TM파가 입사될때 각각 19.4GHz, 19.8GHz에서 반사 공진이 일어난다. 그리고 두 파 모두 축비가 가장 적을 때의 주파수는 19.8GHz 이며, TE파의 편파 축비는 1.01으로 우선회 원편파(RHCP)이고, 축비가 2dB이하인 주파수 범위는 19.1~20.1GHz로 대역폭은 1GHz이다. TM파의 축비는 1.021로 좌선회 원편파(LHCP)이고 축비가 2dB이하인 주파수 범위는 19.0~20.8GHz로 대역폭은 1.8GHz이며, TE 경우 보다 0.8GHz 더 넓다.

그림 7.을 보면 그림 6.와 비슷하게 18.4GHz(TE)와 18.8GHz(TM)대에서 반사 공진이 있으며, 두 파 모두 18.4GHz에서 축비가 가장 적으며 각각 1.03과 1.05로 반사파는 역시 원편파이고, 축비가 2dB이하 일때 TE파의 주파수 범위는 17.6~18.8GHz, 대역폭은 1.2GHz, TM파의 주파수 범위는 17.4~19.0GHz, 대역폭은 1.6GHz이다. 그림 7.의 반사 공진 주파수가 그림 6.보다 적은 이유는 그림 7.에서 사용된 다이폴의 길이는 그림 6.보다 조금 크기 때문이다.

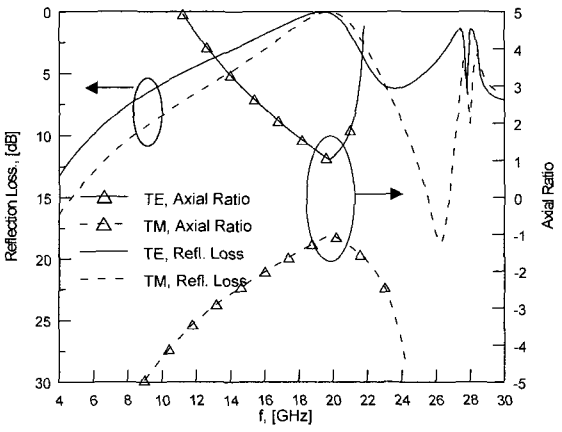


그림 6. 반사 손실과 편파 축비에 대한 주파수 응답 (Case 1) ;
Tx=Ty=7mm, L=6.18mm, W=1mm, ξ_1=132°, ξ_2=44°, ε=2.2, d=1.5748mm, θ=30°, ϕ=0°

Fig. 6. Frequency response for Reflection loss and axial ratio (Case 1).

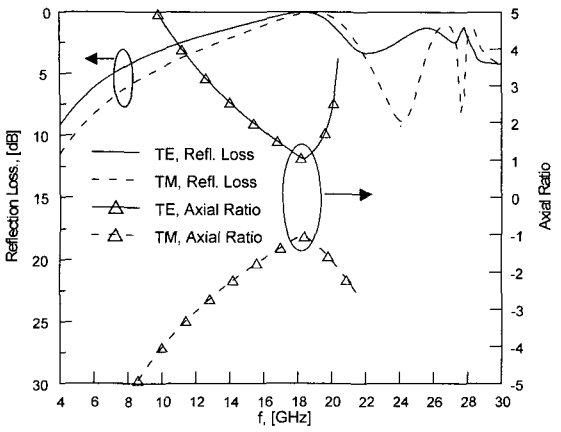


그림 7. 반사 손실과 편파 축비에 대한 주파수 응답 (Case 2) ;
Tx=Ty=7mm, L=7.0mm, W=2mm, ξ_1 =132.36°, ξ_2=42.36, ε=2.2, d=1.5748mm, θ =30°, ϕ=0°

Fig. 7. Frequency response for reflection loss and axial ratio (Case 2).

표 1. 편파기 특성을 갖는 주파수 선택 반사기의 설계치

Table 1. Design value of the frequency selective surface with polarizer characteristics.

항목	Case 1	Case 2
1. 다이폴 길이 L	6.18mm	7mm
2. 다이폴 폭 W	1mm	2mm
3. 다이폴 1의 기울기 1	132°,	132.36°
4. 다이폴 2의 기울기 2	44°,	42.36°
5. x 방향 주기 Tx	7mm	7mm
6. y 방향 주기 Ty	7mm	7mm
7. 유전체 두께 d	1.5748mm	1.5748mm
8. 유전율	2.2	2.2

따라서 그림 6.와 그림 7.에서 보여준 설계 결과를 보면 선형 편파를 가진 파가 이중 스크린에 입사되면 유전체 양면에 배열된 다이폴에 의해 발생된 전계 성분의 크기는 동일하고 유전체 두께에 의해 위상차가 90° 나는 것을 알 수 있다. 이는 유전체 양면에 배열된 각 다이폴의 유기 전류 벡터는 서로 직교되면서 크기는 동일하고, 위상차는 유전체 전면의 다이폴에서 공진된 반사파와 유전체를 통과하고 뒷면의 다이폴에서 공진되어 다시 되돌아 나오는 반사파간에 경로차에 의해 발생된다. 이로써 유전체 두께를 적절하게 조절하면 유전체 윗면의 스크린에서 바로 공진된 반사파와 아래면의 스크린에서 공진된 반사파간에 위상차가 90° 나게 만들수 있다. 이런한 관계로 유전체 두께는 대략 $\lambda_g/8$ 정도가 가장 적당하며, $3\lambda_g/8$, $5\lambda_g/8$, $7\lambda_g/8$…에서도 위상차가 90° 생기지만 주파수 대역폭이 줄어 들게 된다.

이상의 분석 통하여 다이폴의 폭이 1mm와 2mm인 두 경우에 대하여 편파기 특성을 갖는 주파수 선택 반사기의 설계치를 <표 1>에 나타내었다.

Ⅳ. FSS 제작 및 측정

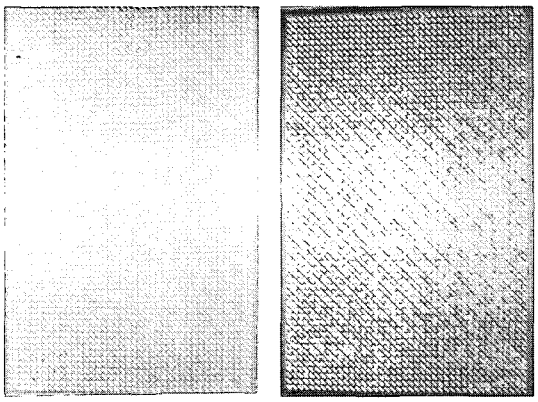
표 1.에서 보여준 case 1과 case 2에 대하여 주파수 선택 반사기를 제작하였고 유전체 기판은 Rogers사의 RT/duroid 5880 기판[두께: 1.5748mm(0.062 inches)]을 사용하였다. 그림 8.은 제작 완성된 모습으로 유전체 슬랩에 다이폴이 배열된 사진이며 각각의 크기는 30cm 45cm(가로 x 세로)이다.

제작된 주파수 선택 반사기의 측정은 그림 9.에서 보는 바와 같이 주파수 선택 반사기를 중앙에 위치한 회전대 위에 세우고, 이로부터 양쪽 60cm 떨어진 지점에 송수신 표준 혼 안테나를 설치하여 Vector Network Analyzer(HP 8510C)로 상대 반사 손실과 투과 손실을 측정하도록 구성하였다. 여기서 사용된 표준 혼 안테나는 K 대역(18GHz~26GHz)으로 개구면 크기는 28mm 21mm이고 이득은 15dB이다. 편파 축비 측정은 지그 제작상에 어려움이 있어서 대신에 송신측에는 TE파를 입사하고 반사파를 수신하는 수신측에는 혼 안테나를 수직 및 수평으로 번갈아 두고 측정하여 TE파와 TM파를 측정하였다.

그림 9.의 측정 구성에서 보는바와 같이 입사파에 대해 반사파와 투과파 모두 측정하였고, 본 논문에서는 반사의 경우만 측정 결과를 이론치와 비교하여 그림 10.(case 1)과 그림 11.(case 2)에 도시하였다. 투과 손실 측정결과는 이론치와 매우 일치되었으며, 반사 공진되는 주파수에서 투과 손실은 두 경우 모두 35 dB 이상되어 입사파가 주파수 선택 반사기를 투과하지 않고 전부 반사됨을 확인하였다.

그림 10.는 다이폴의 폭이 1mm인 case 1의 반사 손실을 측정한 결과를 이론치와 비교하여 보여주고 있다. 그림 10(a)는 송신 혼이 TE파를 방사할 때 주파수 선

택 반사기에서 반사된 TE파와 TM파를 번갈아 수신한 반사 손실을 보여주고 있으며, 마찬가지로 그림 10(b)는 송신 혼이 TM파를 방사할 때 TE파와 TM파를 번갈아 수신한 반사 손실을 보여주고 있다. 이는 주파수 선택 반사기에서 선형편파인 입사파가 원편파로 변환되므로 선형 편파용 수신 혼으로는 불가피하게 수직, 수평으로 두어 TE파와 TM파를 측정하였다. 만약 주파수 선택 반사기 자체의 손실이 없다면 TE파, TM파 모두 반사손실은 3dB가 될 것이다. 그림에서 보면 측정결과와 이론치가 비교적 매우 일치되었고, 반사된 TE파와 TM파간의 교차점이 바로 원편파로 바뀌는 지점이고 반사 공진되는 주파수에 해당된다. 그림 11.는 다이폴의 폭이 2mm인 case 2의 측정 결과를 나타내 것으로 case 1과 마찬가지로 이론치와 매우 일치되었다. 그리고 측정에서의 리플은 주위 환경에 의한 페이딩 현상이라 예상되며 무반사실에서 측정할 경우에는 리플이 사라질 것으로 예상된다. 두가지 경우의 측정 결과에서 보는 바와 같이 두 가지 경우 모두 반사 공진 주파수에서 선형편파인 입사파가 반사될 때 원편파로 변환됨을 알수 있으며 반사 손실은 0.3dB이내로 매우 양호한 결과를 얻었다. 또한 그림 6-7.의 시뮬레이션 결과와 그림 10-11.의 측정 결과를 보면 두 가지 경우 모두 20GHz대의 주파수는 전부 반사하고 4GHz대 이하의 주파수는 거의 전부 투과하므로 주파수대를 분리하는 공간 여파기 기능을 확인할 수 있다.



(a) Case 1 (b) Case 2

그림 8. 제작된 이중 스크린 주파수 선택 반사기의 모습

Fig. 8. Photograph of the dual screen frequency selective.

따라서 본 논문에서 제시한 주파수 선택 반사기 구

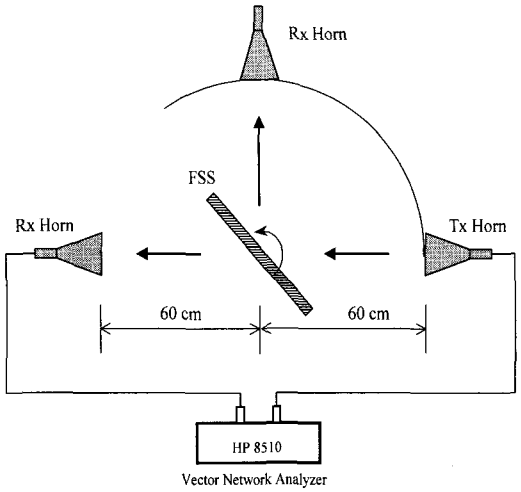
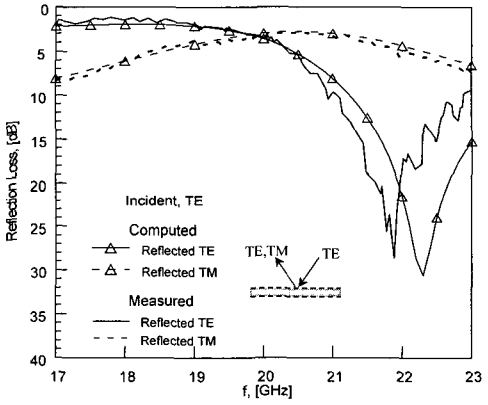
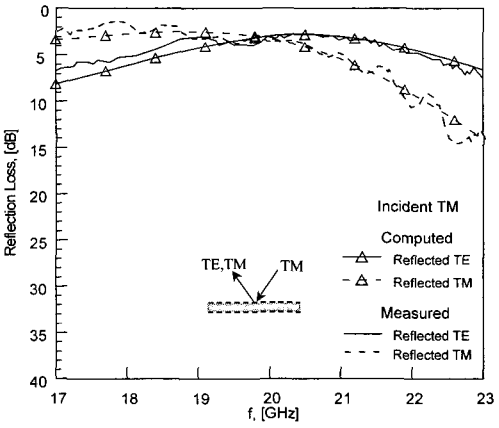


그림 9. 주파수 선택 반사기 측정 시스템 구성도

Fig. 9. Block diagram of frequency selective surface measurement system.



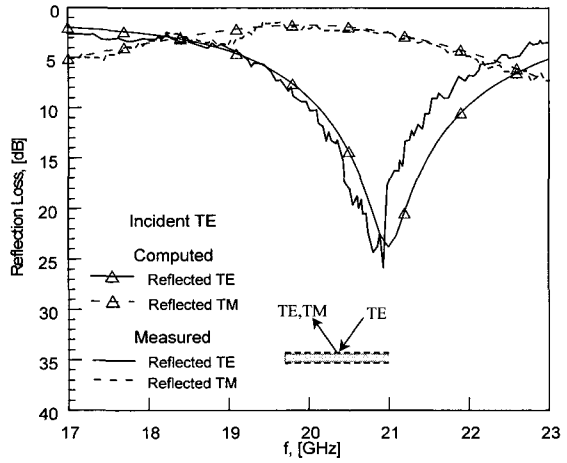
(a) TE파 입사



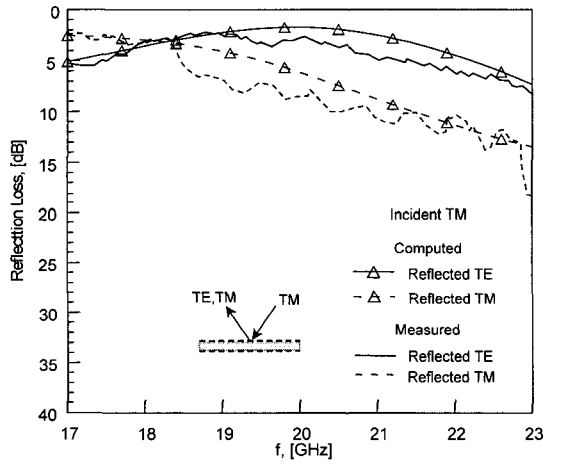
(b) TM파 입사

그림 10. 반사 손실에 대한 측정 결과 (Case 1)

Fig. 10. Measured results for reflection loss (Case 1).



(a) TE파 입사



(b) TM파 입사

그림 11. 반사 손실에 대한 측정 결과 (Case 2)
Fig. 11. Measured results for reflection loss (Case 2).

조는 여파기 기능과 더불어 반사시에는 선형편파를 원편파로 변환되거나 원편파를 선형편파로 변환되는 기능을 갖고 있음을 확인하였다.

V. 결 론

본 논문에서는 주파수대를 분리하는 여파기 기능과 더불어 편파 변환 기능을 갖는 주파수 선택 반사기의 새로운 배열 구조를 제시하였다. 제시된 배열 구조는 평면 유전체 슬랩의 양면에 도체 다이폴을 주기적으로 배열하고 윗면의 다이폴과 아래면의 다이폴은 서로 대략 90° 정도로 직교되며 유전체 두께는 유전율을 고려한 주파수 파장의 1/8 정도되게 두었다.

산란 해석으로는 파수 영역 이미턴스방법을 이용하여 산란파를 구하고, 기저함수는 정현함수로 두고 모멘트 방법을 사용하였다. 산란 해석의 타당성을 조사하기 위해 수렴도를 조사하였으며 수렴도의 결과는 적은 모드수와 기저함수 갯수에서도 일정한 값으로 수렴됨을 확인하였다. 이러한 해석방법을 이용하여 제안한 배열 구조에 대하여 반사 및 투과 손실과 편파 특성을 분석하였고, 다이폴 폭이 1mm와 2mm인 두가지 경우에 대해 주파수 선택 반사기를 설계하였다. 설계 결과로 다이폴의 폭이 1mm인 경우 TE파, TM파가 입사될때 각각 19.4GHz, 19.8GHz에서 반사 공진이 발생하였고, TE파(TM파)가 입사하면 우선회 원편파(좌선회 원편파)로 변환되었다. 그리고 다이폴의 폭이 2mm인 경우는 1mm인 경우보다 1GHz적은 주파수에서 반사 공진이 일어났으며 편파 축비의 성능은 약간 저하되었다.

주파수 선택반사기의 설계 결과를 확인하기 위해 Rogers사의 RT/duroid 5880 기판으로 배열 구조를 제작하여 반사파와 투과파를 측정하였다. 측정 결과는 이론치와 매우 일치되었으며 반사 공진 주파수에서 선형편파인 입사파가 원형 편파로 변환됨을 확인하였다.

따라서 본 논문에서 제안한 이중 스크린 배열 구조는 원편파 변환 기능을 갖는 주파수 선택 반사기임을 확인하였으며, 파라볼라 안테나에 적용하면 원편파 사용시 급전 혼 뒷단에 부착되는 도파관 편파기를 없앨 수 있어 안테나 구성 부품을 줄일 수 있고 그 만큼의 비용을 줄일 수 있어, 여러 주파수대역을 사용하는 위성통신 안테나 또는 위성 탑재장치 안테나에 적용될 수 있을 것으로 예상된다.

참 고 문 헌

[1] T. K. Wu, Frequency Selective Surface and Grid Array, John Wiley & Sons, Inc., p. 2, 1995.

[2] R. Mittra, C. H. Chan and T. Cwik, "Techniques for Analyzing Frequency Selective Surfaces-A Review," Proceeding of the IEEE, vol. 76, no. 12, pp. 1593-1615, Dec. 1988.

[3] T. Cwik and R. Mittra, "The Effects of the Truncation and Curvature of periodic Surface: A Strip Grating," IEEE Trans., vol. AP-36, no.

5, pp. 612-622, May 1988.

[4] B. Irvine, W. L. Ko and Mittra, "A comparative study of Angular Scattering Characteristics of a Class of Nonplanar Frequency Selective Surface," Electromagnetics, pp. 649-663, 1995.

[5] B. A. Munk, R. G. Kouyoumjan, "Reflection Properties of Periodic Surfaces of Loaded Dipoles," IEEE Trans., vol. AP-19, no. 5, pp. 612-617, Sept. 1971.

[6] R. Mittra, R. C. Hall and C. H. Tsao, "Spectral-Domain Analysis of Circular Patch Frequency selective Surfaces," IEEE Trans., vol. AP-32, no. 5, pp. 533-536, May 1984.

[7] E. L. Pelton and B. A. Munk, "Scattering from Periodic Arrays of Crossed Dipoles," IEEE Trans., vol. AP-27, no. 3, pp. 323-330, May 1979.

[8] T. K. Wu, "Cassini frequency selective surface development," Journal of Electromag. Waves and Appl., vol. 8, no. 12, pp. 1547-1561, 1994.

[9] 고지환, 엄만석, "격자 사각 루프 형태를 갖는 주파수 선택 반사기," 전자공학회 논문지, 제34권 D편, 제9호, 7-14쪽, 1997년 3월

[10] F. S. Johansson, "Analysis and design of double-layer frequency-selective surfaces," IEE Proceedings, vol. 132, Pt. H, no. 5, pp. 319-325, Aug. 1985.

[11] 고지환 외 4명, "2층 주기적 배열 구조의 2차원 산란," 97년 추계 마이크로파 및 전파학술발표회 논문집, 129-1132쪽, 1997년 7월

[12] 고지환, "2차원 주기적 배열에 의한 전자파 산란 해석 및 적용," 경북대학교 공학박사학위논문, 1997

저 자 소 개

高 知 煥(正會員)

1958년 11월 23일생. 1982년 2월 경북대학교 전자공학과 졸업. 1985년 8월 경북대학교 대학원 공학석사학위 취득. 1998년 2월 경북대학교 대학원 공학박사학위 취득. 1985년 9월~2000년 2월 한국전자통신연구원 연구원. 2000년 3월~현재 금오공과대학교 전자공학부 조교수. 주관심분야는 안테나 이론, 전자기산란 및 위성통신 등임

趙 榮 基(正會員) 第 33卷 A編 第 8號 參照