

이방성 매질의 기판과 덮개층을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴

Radiation Pattern in Rectangular Microstrip Patch Antenna with Anisotropy Substrates and Superstrate

尹中漢*, 李和春**, 郭慶燮***

Joong-Han Yoon*, Hwa-Choon Lee**, Kyung-Sup Kwak***

요 약

본 논문에서는 이방성 매질의 덮개층과 기판을 갖는 사각 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴을 full-wave approach와 모멘트 계산법을 이용하여 연구하였다. 이방성 매질내의 구성관계식을 통하여 제안된 구조에서의 파수영역 다이애딕 그린 함수를 유도하였으며 이 결과로부터 전계 적분 방정식을 수식화하였다. 갤러킨 모멘트법을 사용하여 전계 적분 방정식을 이산화 하여 전류밀도의 계수를 구한 후에 구좌표계의 원거리 전계는 고정 위상법(stationary phase method)을 이용하여 얻을 수 있다. 전사모의 실험 결과의 타당성을 검증하기 위해서 기존의 결과와 비교하여 일치된 결과를 얻었으며 이방성 덮개층의 두께 변화 그리고 기판과 덮개층의 이방성 비에 따른 방사패턴이 제시되고 분석되었다.

Abstract

In this paper, radiation pattern of rectangular microstrip patch antenna with anisotropy substrates and superstrate is studied by using a rigorous full-wave approach and a moment method calculation. Dyadic Green's function is derived for selected anisotropy material by constitutive relation. From these results, integral equations of electric fields are formulated. The electric field integral equations are discretized into the matrix form by applying Galerkin's moment method and then the current coefficients are obtained. After solving the current coefficients, the far-zone electric field in spherical coordinates can be obtained by using the stationary phase method. To verify the validity of numerical result, we compare our result with existing one and get a good agreement between them. From the numerical results, the radiation patterns for variation of uniaxial superstrate thickness, anisotropy ratio of substrate and superstrate layer are presented and analyzed.

key word : microstrip antenna, anisotropy substrate, airgap, superstrate, radiation pattern

*仁荷大學校 IT 新技術研究所
(IT Advanced Technology Research Center, Inha Univ.)

**草堂大學校 情報通信工學科
(Depart. of Information and Communication Engineering, Chodang University)

***仁荷大學校 情報通信工學部

(The School of Information and Communication Engineering, Inha Univ.)

接受日:2003年 3月 1日, 修正完了日:2003年 7月 12日

I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나는 소형, 경량, 박형, 저가, 대량생산의 용이성 때문에 현대역이라는 단점에도 불구하고 1953년 Deschamps[1]에 의해 제안된 이래로 많은 연구가 진행되고 있다.[2]–[6] 그러나 한편, 마이크로스트립 회로에서 사용되는 실제 매질은 이방성 특성을 가지고 있다. 대표적으로, 집적회로에 사용되는 다수의 기판들은 알루미늄 산화물(alumina family)을 포함하고 있으며 테플론 타입의 기판들도 대부분 이방성 성질에 따라 동작하는 세라믹 성분을 포함하고 있다. 또한 E-10 세라믹 테프론, TFE/glass와 loaded TFE/glass와 같은 테플론 기판들도 이방성 성분을 포함하고 있으며 크리스탈(crystalline) 매질이나 Pyrolytic boron nitride들 역시 또 다른 이방성 매질이다.[7] 따라서 이러한 이방성 성질들은 인쇄회로와 안테나의 특성에 직접적으로 영향을 주기 때문에 안테나 특성에 대한 정확한 해석을 위해서는 기판의 비 유전체 특성에 대한 정확한 정보가 필요하며 이방성 기판 특성을 갖는 마이크로스트립 안테나에 대한 많은 연구들이 활발히 이루어져 왔다.[8]–[15] Pozar[8]는 일축성 기판 위의 마이크로스트립 사각 패치 안테나에 대한 방사패턴과 산란에 대한 해석을 파수영역에서 고정위상법과 모멘트 법을 이용하여 해석하였으며 Peixeiro와 Barbosa[9]는 이방성 기판 위의 누설파와 표면파에 대한 연구를 진행하였다. 그리고 Wong과 Row등[10]은 일축성 기판 위의 패치 안테나에 대해 파수 영역에서 복소 공진 주파수와 대역폭을 해석하였으며 Kyriacou와 Sahalos[11]는 이방성 기판과 이방성 덮개층을 갖는 경우에 대해 입력임피던스를 해석하였다. 또한 Boutout[12]등은 주축(optical axis)의 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 그린함수와 갤러킨 모멘트법을 이용하여 분석하였고 윤중환과 장승호 등[13]은 일축성 매질의 기판과 덮개층을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수와 대역폭을 그린함수와 모멘트법을 사용하여 해석하였으며 Proano와 Torre[14]등은 이방성 기판에서 스트립 라인을 통해 전력이 공급되는 개구면 슬롯의 영향을 해석하였다. 그리고 최근에는 박종규, 장승호 등[15]에 의해 덮개층을 갖는 이방성 매질 위의 마이크로스트립 패치 안테나에 대한 공진 주파수, 입력임피던스 그리고 방사패턴에 대한 연구를 진행하였다. 한편, 실제 응용에서는 일반적으로 외부의 위험(비, 눈, 바람)으로부터 보호하기 위해서 마이크로스트립 구조에 보호층(덮개층)을 씌우는 경우가 있는데 유전체 덮개층을 갖는

경우, 패치 안테나의 영향에 대해 많은 연구가 진행되어 왔다.[16]–[22] 그러나 제안된 구조에서 유전체 덮개층 혹은 이방성 덮개층의 의해 방사패턴에 미치는 영향에 대해서 발표된 자료는 아직 없다.

본 논문에서는 이방성 기판과 덮개층을 마이크로 스트립 패치 안테나의 방사패턴에 대해서 해석하였다. 기판의 유전율은 이방성의 특성을 나타내기 위해 텐서(tensor)로 표시되었고, 그 위에 기판과 같은 매질의 덮개층을 씌웠다. 전자계의 해석은 파수 영역에서의 그린함수와 갤러킨 모멘트 법을 사용하였고 원거리 전개식을 얻기 위해 고정 위상법을 이용하였다. 전사모의 실험 결과로부터 기판의 이방성 비, 덮개층의 이방성 비 그리고 일축성 덮개층의 두께 변화가 사각 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴에 어떤 영향을 주었는지 살펴보았다.

II. 본론

1. 구조

이방성 매질의 기판 위에 기판과 같은 매질의 덮개층을 가진 사각형의 마이크로 스트립 패치가 있는 구조를 그림 1과 같이 나타내었다. 패치는 넓이가 L 이고 길이가 W 인 사각형의 형태를 가지고 있다. 비 투자율이 1, 유전율 텐서가 $\overline{\epsilon}_1$ 이고 d 만큼의 두께를 갖는 기판이 존재하고 그 위에 두께 t 이고, 비 유전율 텐서가 $\overline{\epsilon}_2$ 인 이방성 덮개층이 존재하고 덮개층 위에는 유전율이 ϵ_0 이고 투자율이 μ_0 인 자유공간이 존재한다.

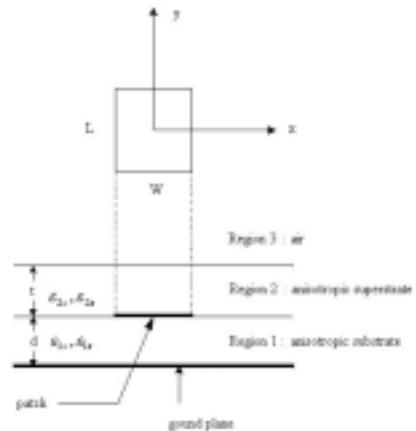


그림 1 이방성 기판 위의 이방성 덮개층을 가진
사각 패치 안테나

Fig. 1 The structure of microstrip patch antenna
on anisotropy substrate with anisotropy superstrate

기판의 이방성 특성은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{\epsilon}_1 = \begin{bmatrix} \epsilon_{1x} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{1y} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{1z} \end{bmatrix} \quad (1)$$

또한 덮개층은 기판과 같은 매질로 설정하였다.

$$\bar{\epsilon}_2 = \begin{bmatrix} \epsilon_{2x} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{2y} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{2z} \end{bmatrix} \quad (2)$$

본 논문에서는 기판의 매질 특성을 $\epsilon_{1x} = \epsilon_{1y}$ 이고 ϵ_{1x} 와 ϵ_{1z} 로 구성된 일축성 매질에 대해 고려하였으며 덮개층은 기판의 매질과 같은 형태의 일축성 매질로 가정하여 계산하였다. 본 논문에서의 구조는 논문 [13][15]와 같지만 논문[13]에서는 공진 주파수에 대한 해석만이 이루어졌으며 논문[14]에서는 방사 패턴에 대한 해석이 이루어졌지만 덮개층이 유전체일 경우에 한하여 연구되었다. 또한 그 동안에 연구되어 온 이방성 매질과 이방성 덮개층을 갖는 구조에 대한 해석은 논문[9],[11]에서 각각 입력 임피던스와 누설 파에 대한 패턴해석이 이루어졌지만 여러 이방성 특성에 따른 방사패턴에 대한 해석은 아직 이루어지지 않았다. 한편, 이때 z 축을 광축이라고 하며 $\epsilon_{1z} > \epsilon_{1x}$ 인 경우를 양 일축성이라 하고 $\epsilon_{1z} < \epsilon_{1x}$ 인 경우를 음 일축성 매질이라 한다. 그리고 직각 좌표계에서 파동방정식의 해는 평면파 형태로 나타내어지므로 각 영역에서의 파수는 다음과 같다.

기판 영역에서

$$k_{1a}^2 = k_z^2 = \epsilon_{1x}k_0^2 - \beta^2$$

$$k_{1b}^2 = k_z^2 = \epsilon_{1x}k_0^2 - \epsilon_{1x}\beta^2/\epsilon_{1z}$$

덮개층 영역에서

$$k_{2a}^2 = k_z^2 = \epsilon_{2x}k_0^2 - \beta^2$$

$$k_{2b}^2 = k_z^2 = \epsilon_{2x}k_0^2 - \epsilon_{2x}\beta^2/\epsilon_{2z}$$

자유공간에서

$$k_3^2 = k_z^2 = k_0^2 - \beta^2 \quad z > t \quad (3e)$$

이다.

2. 파수영역의 그린함수

파수 영역상의 그린함수를 유도하기 위해서는 제한된 매질에서의 무한소 점 전류원의 형태를 고려해야 한다. 즉 그린함수는 점 전류원에 의한 전자계 응답을 의미하며 특정 전류원이 존재할 때의 전자계는 다음의 형태로 확장된다.[23]

$$\bar{E}(\bar{r}) = -j\omega\mu \int \int \int dV' \bar{G}(\bar{r}, \bar{r}') \cdot \bar{J}(\bar{r}') \quad (4a)$$

혹은

$$\bar{E}(\bar{r}) = -j\omega\mu \int \int dS' \bar{G}(\bar{r}, \bar{r}') \cdot \bar{J}(\bar{r}') \quad (4b)$$

여기서 V는 체적, S는 면적을 의미하며 전류밀도가 유한한 평면에서 체적과 면적으로 존재할 경우의 전계를 의미한다. 위 방정식에서 \bar{r}' 는 전류원의 위치를 나타내며, \bar{r} 는 관측점을 의미한다. 패치 위의 표면 전류밀도 \bar{J}_x , \bar{J}_y 는 푸리에 변환을 통하여 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{F}_x = \int_x \int_y J_x(x, y) \exp^{-jk_x x + jk_y y} dk_x dk_y \quad (5a)$$

$$\bar{F}_y = \int_x \int_y J_y(x, y) \exp^{-jk_x x + jk_y y} dk_x dk_y \quad (5b)$$

여기서 x 는 x 방향에서의 전류밀도를, y 는 y 방향에서의 전류밀도를 나타내며 미지의 표면 전류밀도는 논문 [9]에서 사용된 기저함수를 이용하였다. 또한 푸리에 변환쌍은 다음과 같이 정의할 수 있다.

$$E(x, y, z) = \frac{1}{4\pi^2} \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E^T(k_x, k_y, z) \exp(j(k_x x + k_y y)) dk_x dk_y \quad (6a)$$

파수 영역에서 패치의 전류밀도 \vec{J}_x , \vec{J}_y 에 의한

$$E^T(k_x, k_y, z) = \int_{-\infty}^{\infty} \int_{-\infty}^{\infty} E(x, y, z) \exp(-jk_x x + k_y y) dx dy \quad (6b)$$

전계는 다음과 같이 표현된다.

$$\overline{E^T}(k_x, k_y, z) = -j\omega\mu_0 \overline{G^T}(k_x, k_y, z, z') \cdot \overline{F}(k_x, k_y, z') \quad (7)$$

위 방정식에서 (x', y', z') 는 전류원의 위치를 나타내며, (x, y, z) 는 관측점을 의미한다. 여기서 위 첨자 T는 푸리에 변환 후의 함수를 나타내는데 사용한다. 여기서 F 는 \vec{j} 의 푸리에 변환식이며 \overline{G} 는 $z = d$ 에서의 다이애드 그린함수를 나타낸다. 제안된 구조에서 파수영역의 다이애드 그린함수는 경계조건을 이용하여 구할 수 있다.[24] 즉 기관과 덮개층 그리고 덮개층과 자유공간과의 경계조건을 만족시켜야 하며 구조 내에서의 다이애드 그린 함수는 논문[14]에 나타나 있다. 이들 각 그린 함수의 계수들은 기관층과 덮개층의 일축성 매질을 등방성 매질로 놓으면 등방성 기관과 덮개층에 대해서 해석된 논문[20]과 일치된 식을 얻을 수 있다. 이들 각 그린 함수의 계수들은 덮개층의 두께를 0으로 놓으면 이방성 기관에 대해서 해석된 논문[8]과 일치된 식을 얻을 수 있다. 그린함수를 이용하여 파수영역의 해를 공간영역의 해로 변환하면 전자계 해는 다음과 같은 전계 적분방정식을 얻을 수 있다.

$$\overline{E}_x(x, y, z) = \frac{-jZ_0}{4\pi^2 k_0} \iint_{-\infty}^{+\infty} (G_{xx}^T F_x + G_{xy}^T F_y) e^{jk_x(x-x_0)} e^{jk_y(y-y_0)} dk_x dk_y \quad (8a)$$

$$\overline{E}_y(x, y, z) = \frac{-jZ_0}{4\pi^2 k_0} \iint_{-\infty}^{+\infty} (G_{yx}^T F_x + G_{yy}^T F_y) e^{jk_x(x-x_0)} e^{jk_y(y-y_0)} dk_x dk_y$$

1.

$$(8b)$$

2.

3. 갤러킨 모멘트 법

위의 방정식들은 갤러킨 모멘트 방법을 사용하여 해석된다. 미지의 표면 전류 성분을 기준에 알고 있는 기저 함수들의 선형 급수 조합 형태로 표현하여 방정식을 이산화 시킨 후 가중치 함수를 곱해서 여러 개의 연립 방정식의 형태로 구성된 행렬 형태로 취하여 기저 함수들의 미지 계수를 b 구해주는 방법이다.[25] 식 (11)의 전계 적분 방정식은 갤러킨 모멘트법을 사용하

여 다음과 같은 행렬 방정식으로 이산화 된다.

$$\begin{bmatrix} (Z_{kn}^{xx})_{N \times N} & (Z_{km}^{xy})_{N \times M} \\ (Z_{kn}^{yx})_{M \times N} & (Z_{km}^{yy})_{M \times M} \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} (I_{xn})_{N \times 1} \\ (I_{ym})_{M \times 1} \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} (V_{xn})_{N \times 1} \\ (V_{ym})_{M \times 1} \end{bmatrix} \quad (9)$$

여기서

$$Z_{mn} = \int_s \vec{J}_m \cdot \vec{E}_n ds = \frac{jZ_0}{4\pi^2 k_0^2} \iint F_m^* \cdot \overline{Q}^T \cdot F_n dk_x dk_y$$

$$V_{mn} = - \int_s \vec{J}_m^p \cdot \vec{E}_{source} = - \frac{jZ_0}{4\pi^2} \iint (Q_{zx}^T \hat{x} + Q_{zy}^T \hat{y}) \cdot F_m e^{(jk_x x_p + jk_y y_p)} dk_x dk_y$$

$$k, n = 1, 2, \dots, N \quad l, m = 1, 2, \dots, M$$

이다.

4. 방사장 해석

안테나의 방사패턴을 계산하기 위해서는 무한대의 푸리에 변환 적분을 고정 위상법[8]으로 계산하여야 한다. 고정 위상법의 원리는 관찰점과 전류함수간의 거리가 큰 원거리에서는 식 (8)의 지수항이 고정 위상점을 제외하고는 적분 경로를 따라 빠르게 진동하므로 전체 이중 적분을 고정 위상점에서의 적분 값으로 대체할 수 있다는 것이다. 고정 위상점은 식 (8)의 지수항을 두 번 미분함으로써 구할 수 있다. 행렬식 (9)로부터 미지의 전류밀도를 구할 수 있다. 전류밀도 I_{nx}, I_{ny} 을 구한 후에 구좌표계에서 원거리 전계는 고정 위상 변환을 사용하여 얻을 수 있다.[26] 방사된 전계는

$$E_\theta(r, \theta, \phi) = E_\theta \hat{\theta} + E_\phi \hat{\phi}$$

$$= \frac{Z_0}{r} e^{-jkr} [\hat{\theta}(e_x \cos \phi + e_y \sin \phi) + \hat{\phi}(-e_x \sin \phi + e_y \cos \phi) \cos \theta]$$

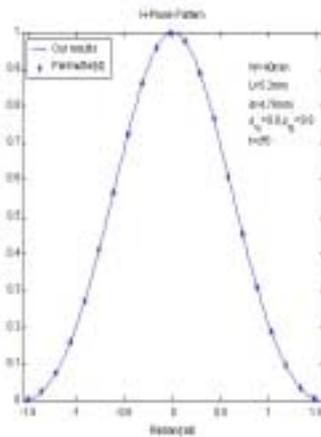
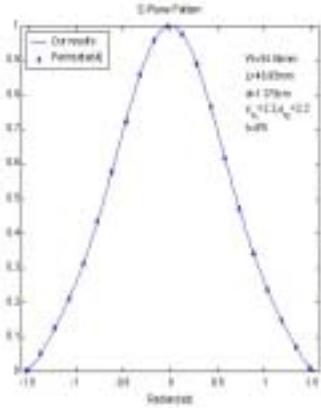
$$(10)$$

여기서,

$$e_x = \sum_{n=1}^N (I_{nx} G_{xx} F_{nx} + I_{ny} G_{xy} F_{ny})$$

$$e_y = \sum_{n=1}^N (I_{nx} G_{yx} F_{nx} + I_{ny} G_{yy} F_{ny})$$

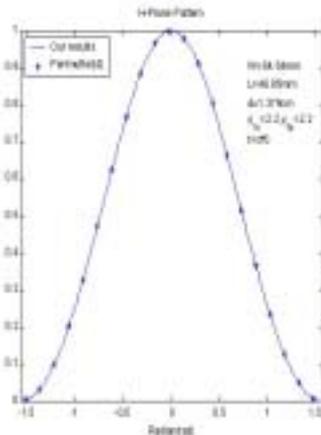
이고 I_{nx}, I_{ny} 는 미지의 전류밀도 계수이며 F_{nx}, F_{ny} 는 전류밀도에 대한 푸리에 변환을 나타내고 있다. 또한 $G_{xx}, G_{xy}, G_{yx}, G_{yy}$ 는 제안된 구조에



서의 그린함수를 나타낸다.

III. 전사 모의 실험 결과 및 검토

1. 결과의 검증



본 논문의 결과에 대한 타당성을 검증하고자 한다. 이방성 비는 다음과 같이 정의한다

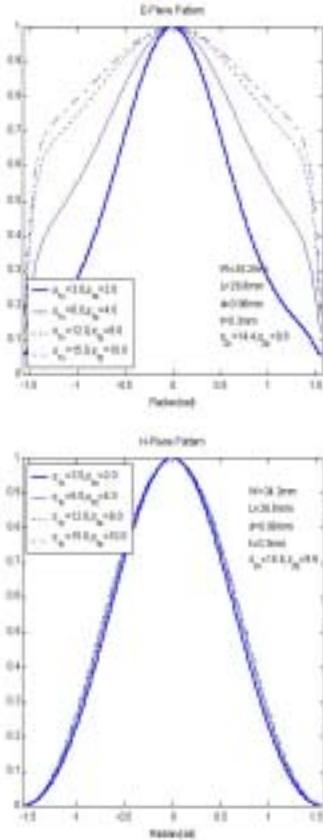
$$AR(\text{Anostropy ratio}) = \frac{n_x}{n_z} = \frac{\epsilon_{1x}}{\epsilon_{1z}} = \frac{\epsilon_{2x}}{\epsilon_{2z}} \quad (11)$$

특히, 이방성 비가 1인 경우에는 등방성 매질의 경우이다. 본 논문의 타당성을 검증하기 위해서 본 논문의 구조에서 덮개층의 두께를 0으로 근접시킬 때 논문[4]의 결과와 비교하여 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 즉 그림 2(a)는 본 논문의 파라메타에서 중심주파수 f 를 2.2GHz이며 패치의 크기는 $W=54.54\text{mm}$, $L=23.57\text{mm}$ 로 그리고 기판의 두께 d 는 1.379cm로 설정하였다. 기판의 비유전율은 $\epsilon_{1x}=2.2, \epsilon_{1z}=2.2$ 로 놓음으로서 이방성 매질에서 등방성 매질로 변환하였으며 덮개층의 두께를 $t=0$ 로 놓아서 덮개층의 영향을 제거하였다. 이와 같은 파라메타들을 가지고 수치 해석을 수행한 결과 본 논문 결과와 논문[4]의 결과가 잘 일치하고 있음을 볼 수 있다. 또한 중심주파수를 $f=3\text{GHz}$ 로 설정하고 패치의 크기를 $W=40\text{mm}$, $L=5.19\text{mm}$ 로 그리고 기판의 두께 d 를 4.79mm로 설정하였다. 기판의 비유전율은 $\epsilon_{1x}=9.8, \epsilon_{1z}=9.8$ 로 놓음으로서 등방성 매질로 변환하였으며 덮개층의 두께를 $t=0$ 로 놓고 수치 해석한 결과 그림 2(b)에서 보는 것과 같이 논문[4]과 정확히 일치된 결과를 얻음으로서 본 논문의 결과에 타당성을 검증하였다. 여기서 *의 결과는 논문[4]의 의해서 주어진 결과이다. 그리고 본 논문결과에서 각각의 중심주파수는 이방성 기판과 이방성 덮개층에 대한 중심 주파수는 본 논문의 수식을 논문[14]과 동일한 방법을 사용하여 구하였다. 방사패턴을 구하는 식을 이

미 여러 논문에서 언급되어져 있으므로 구조에 대한 그린함수에 의해 방사패턴의 모양을 얻을 수 있습니다.

본 논문에서 수식화 된 그린 함수는 다른 논문에서의 그린함수와 일치된 수식을 얻음으로서 본 논문의 타당성을 다시 한번 확인할 수 있습니다.

- (a) 기판의 비 유전율이 2.2일 경우 ($\epsilon_{2x}=\epsilon_{2z}=2.2$)
- (a) when the relative permittivity of substrate is 9.8



($\epsilon_{2x}=\epsilon_{2z}=2.2$)

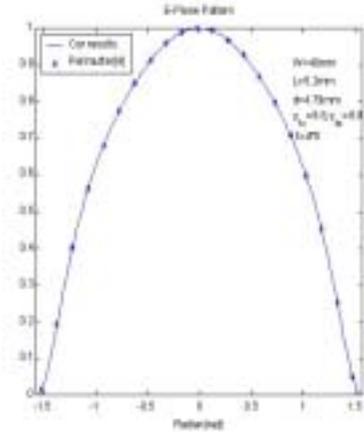
- (b) 기판의 비 유전율이 9.8일 경우 ($\epsilon_{2x}=\epsilon_{2z}=9.8$)
- (b) when the relative permittivity of substrate is 9.8 ($\epsilon_{2x}=\epsilon_{2z}=9.8$)

그림 2. 공기 갭의 두께가 0 일 경우 본 논문의 결과와 논문[4]에서의 결과 비교

Fig. 2 the comparison of radiation pattern between the results of superstrate zero-thickness and results of this paper[4]

2. 이방성 기판의 비유전율 특성 변화에 따른 방사패턴의 변화

그림 3은 일축성 매질의 덮개층을 갖는 일축성 매질 기판의 비유전율 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다.



마이크로스트립 패치의 크기를 $W=34.2\text{mm}$, $L=26.8\text{mm}$ 로 설정하고 일축성 매질의 기판과 덮개층의 두께는 각각 0.98mm , 0.3mm 로 가정하였다. 덮개층의 일축성 매질의 비유전율을 $\epsilon_{2x}=14.4$, $\epsilon_{2z}=9.6$ 로 설정하고 기판의 일축성 매질의 비유전율을 $\epsilon_{1x}=3.0$, $\epsilon_{1z}=2.0$ 로부터

$\epsilon_{1x}=15.0$, $\epsilon_{1z}=10.0$ 까지 변화시킴에 따라 방사패턴의 변화를 나타내었다. 전사모의 실험결과, 그림에서 알 수 있듯이, E-평면의 경우, 일축성 기판의 비유전율이 클수록 빔 폭이 넓어지고 있음을 확인하였다. 이러한 결과는 등방성 매질에서 기판의 비 유전율이 안테나 특성에 큰 영향을 주는 것처럼 이방성 매질의 비유전율 변화도 패치 안테나의 특성 변화에 절대적인 영향을 주고 있음을 알 수 있다. H-평면의 경우, 일축성 기판의 비유전율이 클수록 빔 폭이 약간 넓어지고 있음을 확인하였다

그림 3.

$$W=34.2\text{mm}, L=26.8\text{mm}, d=0.98\text{mm}, t=0.3\text{mm}, \epsilon_{2x}=14.4, \epsilon_{2z}=9.6$$

일 때 이방성 기판의 비 유전율 변화에 따른 방사패턴의 변화

Fig. 3 Radiation pattern as the variation of relative permittivity in anisotropy substrate when the patch size is

$$W=34.2\text{mm}, L=26.8\text{mm}, d=0.98\text{mm}, t=0.3\text{mm}, \epsilon_{2x}=14.4, \epsilon_{2z}=9.6$$

3. 이방성 덮개층의 비 유전율 변화에 따른 방사패턴의 변화

그림 4은 낮은 비 유전율을 갖는 이방성 기판에 일축성 덮개층의 비 유전율 특성 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다. 마이크로스트립 패치의 크기를 $W=55\text{mm}$, $L=46\text{mm}$ 로 설정하고 기판의 두께를 0.228mm 로 가정하였다. 일축성 기판의 비 유전율은 $\epsilon_{1x}=1.1$, $\epsilon_{1z}=2.2$ 로 설정하고 일축성 덮개층의 비 유전율이

$\epsilon_{2x}=3.0$, $\epsilon_{2z}=6.0$, $\epsilon_{2x}=4.0$, $\epsilon_{2z}=8.0$ 그리고 $\epsilon_{2x}=5.0$, $\epsilon_{2z}=10.0$ 일 때 방사패턴의 변화를 나타내었다. 수치해석 결과, E-평면과 H-평면의 경우, 기판의 이방성 특성 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다.

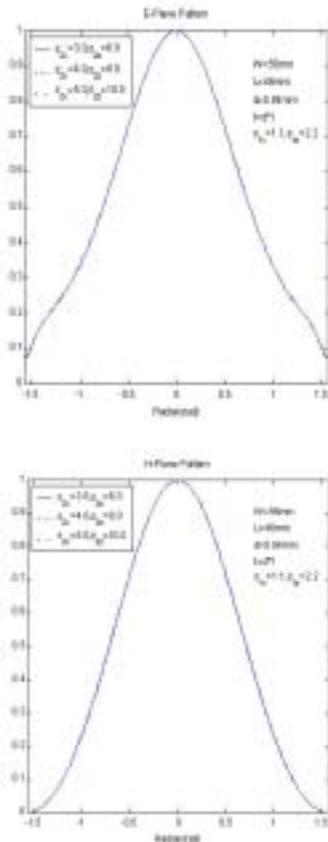


그림 4. $W=55\text{mm}$, $L=46\text{mm}$, $d=0.84\text{mm}$, $t=d$, $\epsilon_{1x}=1.1$, $\epsilon_{1z}=2.2$ 일 때 이방성 덮개층의 비 유전율 변화에 따른 방사패턴의 변화

Fig. 4 Radiation pattern as the variation of relative permittivity in anisotropy superstrate when the patch size is

$$W=55\text{mm}, L=46\text{mm}, d=0.84\text{mm}, t=d, \epsilon_{1x}=1.1, \epsilon_{1z}=2.2$$

4. 덮개층의 이방성 비의 변화에 따른 방사패턴의 변화

그림 5은 낮은 비 유전율을 갖는 이방성 기판과 높은 비 유전율 특성을 갖는 이방성 덮개층을 갖는 경우, 덮개층의 이방성 비의 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다. 마이크로스트립 패치 안테나의 크기를 $W=45\text{mm}$, $L=30\text{mm}$ 로 설정하고 기판의 두께를 0.465mm 로 가정하였다. 이방성 기판의 비 유전율은 $\epsilon_{1x}=3.3$, $\epsilon_{1z}=2.2$ 의 음의 일축성 매질로 설정하였으며 덮개층의 이방성 비가 0.5 ($AR=\epsilon_{1x}/\epsilon_{1z}=4.8/9.6$)-양일축성 매질, 1 (등방성), 1.5 ($AR=\epsilon_{1x}/\epsilon_{1z}=14.4/9.6$)-음 일축성 매질-일 때 방사패턴의 변화를 나타내었다. 이방성 비는 ϵ_{1z} 을 9.6 으로 놓고 ϵ_{1x} 을 변화시킴으로서 얻을 수 있다. 수치해석 결과, E-평면과 H-평면의 경우, 기판의 이방성 비의 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다.

그림 6는 양의 일축성 매질의 기판 위에 마이크로스트립 패치의 크기를 $W=26.95\text{mm}$, $L=18.54\text{mm}$ 로 설정하였으며 기판의 두께는 0.92mm 로 가정하였다. 덮개층의 두께는 기판의 두께의 2배 값으로 설정하고 기판의 이방성 특성을 $\epsilon_{1x}=10.5$, $\epsilon_{1z}=7.0$ 의 양일축성 매질로 가정하고 기판의 이방성 특성의 비유전율보다 높은 값을 갖는 덮개층의 경우에 대해 수치해석을 하였다. 일축성 매질 덮개층의 비유전율은 ($AR=\epsilon_{2x}/\epsilon_{2z}=4.8/9.6=0.5$)-양일축성 매질, $AR=\epsilon_{2x}/\epsilon_{2z}=9.6/9.6=1$ ($AR=\epsilon_{2x}/\epsilon_{2z}=14.4/9.6=1.5$)-음 일축성 매질-일 때 방사패턴의 변화를 나타내었다. 수치해석 결과, E-평면의 경우, 덮개층의 비유전율이 증가할수록 빔 폭이 약간 감소하고 있고 있음을 확인하였다. 그러나 H-평면의 경우, 기판의 이방성 특성 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다.

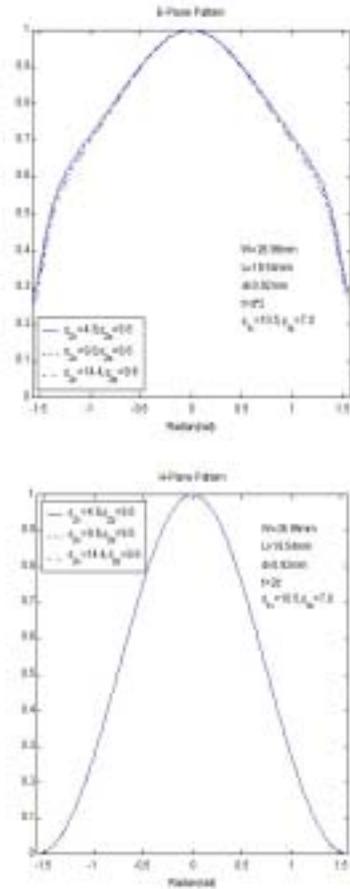


그림 5.

$W=26.95\text{ mm}, L=18.54\text{ mm}, d=0.92\text{ mm}, t=2d,$
 $\epsilon_{1x}=10.5, \epsilon_{1z}=7.0$

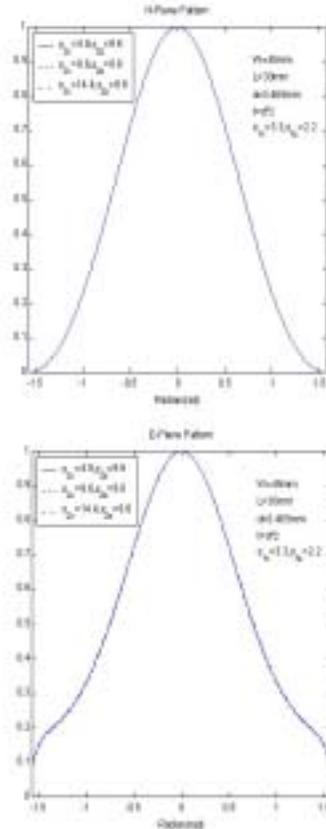
일때 이방성 덮개층의 이방성 비에 따른 방사패턴의 변화

Fig. 5 Radiation pattern as the variation of anisotropy ratio in anisotropy superstrate when the patch size is

$W=26.95\text{ mm}, L=18.54\text{ mm}, d=0.92\text{ mm}, t=2d,$
 $\epsilon_{1x}=10.5, \epsilon_{1z}=7.0$

5. 이방성 덮개층의 두께에 따른 방사패턴의 변화

그림 7은 높은 비 유전율을 갖는 이방성 기판 위에 이방성 덮개층의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다. 마이크로스트립 패치의 크기를



$W=22.95\text{ mm}, L=16.54\text{ mm}$ 로 설정하였으며 기판의 두께를 0.165 mm 로 가정하였다.

그림 6.

$W=26.95\text{ mm}, L=18.54\text{ mm}, d=0.92\text{ mm},$
 $t=2d, \epsilon_{1x}=10.5, \epsilon_{1z}=7.0$

일 때 이방성 덮개층의 이방성 비에 따른 방사패턴의 변화

Fig. 6 Radiation pattern as the variation of anisotropy ratio in anisotropy superstrate when the patch size is

$W=26.95\text{ mm}, L=18.54\text{ mm}, d=0.92\text{ mm},$
 $t=2d, \epsilon_{1x}=10.5, \epsilon_{1z}=7.0$

이방성 덮개층의 비 유전율은 $\epsilon_{2x}=1.1, \epsilon_{2z}=2.2$

로 설정하고 이방성 기판의 비 유전율은

$\epsilon_{1x}=4.8, \epsilon_{1z}=9.6$ 로 양일축성 매질을 갖도록 하였

다. 그리고 덮개층의 두께를 기판의 두께와 같은 크기로부터 기판의 두께의 7배로 변화시켰을 때 방사패턴

의 변화를 나타내었다. 수치해석 결과, E-평면의 경우, 방사패턴의 $\pm 90^\circ$ 근처에서 약간의 변화가 있음을 확인하였으며 H-평면의 경우, 기판의 이방성 특성 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 그림 5의 결과와 비슷하다

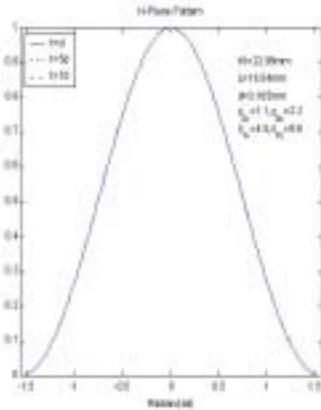


그림 7.

$W=22.95\text{mm}$, $L=16.54\text{mm}$, $d=0.165\text{mm}$, $\epsilon_{1x}=4.8$, 일 때 $\epsilon_{1z}=9.6$, $\epsilon_{2x}=1.1$, $\epsilon_z=2.2$

이방성 덮개층의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화
Fig. 7 Radiation pattern as the variation of anisotropy superstrate thickness when the patch size is

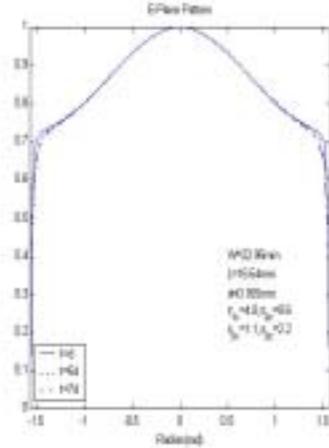
$W=22.95\text{mm}$, $L=16.54\text{mm}$, $d=0.165\text{mm}$, $\epsilon_{1x}=4.8$, $\epsilon_{1z}=9.6$, $\epsilon_{2x}=1.1$, $\epsilon_z=2.2$

VI. 결론

본 논문에서는 덮개층을 갖는 이방성 기판 위의 마이크로스트립 패치에 대한 방사패턴을 해석하였다. 실제 마이크로웨이브에서 사용되는 기판이 일축성 매질의 특성을 가지고 있으므로 정확한 방사패턴을 구하기 위해 유전율이 텐서로 구성되어 있는 일축성 매질의 기판과 덮개층을 고려하였다. 이 해석을 위해서 파수영역의 그린 함수와 갤러킨 모멘트 법을 이용하였으며 원거리 전계를 구하기 위해 고정 위상법을 이용하여 전산모의 실험을 수행하였다. 기판의 이방성 비, 덮개층의 이방성 비와 두께에 대한 방사패턴의 변화를 나타내었으며 수치해석 결과, 기판의 이방성 특성의 변화가 방사패턴에 절대적인 영향을 미치고 있음을 확

인하였으며 덮개층의 두께와 비 유전율의 변화에 따른 방사패턴의 변화는 거의 없었다.

참고문헌



3. [1] G. A. Deschanps, □□Microstrip Microwave
4. Antenna, □□3rd USAF Symposium on Antenna,
5. 1953
6. [2] W. F. Richards, Y. T. Lo, and D. D. Harrison,
7. □□An improved Theory for Microstrip Antenna
8. and Applications, □□IEEE Trans. Antennas
9. Propagat., vol 29, pp.38-46, 1981.
10. [3] D. M. Pozar., □□Input Impedance and Mutual
11. Coupling of Rectangular Microstrip Antennas, □□
12. IEEE Trans. Antennas Propagat., vol 30,
13. pp.1191-1196, 1982.
14. [4] P. Perlutter, S. Shtrikman, and D. Treves,
15. □□Electric Surface Current Model for the Analysis
16. of Microstrip Antennas with Application
17. to Rectangular Elements, □□IEEE Trans. Antennas.
18. Propagat., Vol 33, pp. 301-311, 1985.

19. [5] E. H. Newman and D. Forrai, □□Scattering from a Microstrip Patch, □□IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-35, No.3, March, pp.245-251, 1987.
20. [6] W. C. Chew and Q. H. Liu, □□Resonance Frequency of a Rectangular Microstrip Patch, □□IEEE Trans. Antennas Propag., vol. 36, pp.1045-1988, 1988.
21. [7] N. G. Alexopoulos, □□Integrated-Circuit Structure on anisotropic substrate, □□IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-33, pp.847-881, Oct. 1985.
22. [8] D. M. Pozar, □□Radiation and scattering from a Microstrip Patch on a Uniaxial Substrate, □□IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-35, pp. 613-621, June 1987.
23. [9] C. Peixeiro and A. M. Barbosa, "Leaky and Surface Waves in Anisotropic Printed Antenna Structures," IEEE Trans. Antennas Propag., Vol. AP-40, pp. 566-569, May 1992.
24. [10] K .L Wong, J. S. Row, C. W. Kuo, and K. C. Huang □□Resonance of a Rectangular Microstrip Patch on a uniaxial Substrate, □□IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 41, No. 4, pp.698-701, April, 1993.
25. [11] G. A. Kyriacou and J. N. Sahalos, □□Effect of substrate-superstrate uniaxial anisotropy on microstrip structure, □□Electron. Lett., vol. 30, no. 19, 1557-1558, 1994.
26. [12] F. Bouttout, F. Benabdelaziz, A. Benghalia, D. Khedrouche, and T. Fortaki, □□Uniaxially Anisotropy Substrate Effects on Resonance of Rectangular Microstrip Patch Antenna, □□Electron. Lett., vol. 35, no. 4, 255-256, 1999.
27. [13] 윤중환, 장승호, 광경섭, "일축성 매질 위의 같은 매질의 덮개층을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 파수 영역 해석, □□한국전기전자학회 논문지 제 4권, 1호, pp. 91-97, 2000.
28. [14] A.V. Proano, De la Torre, J.C.da S. Lacava, and L. Cividanes, □□Analysis of a Rectangular Slot in the Ground Plane of a Stripline with Uniaxial Substrates, □□IEEE/AP-S Int. Symp., pp. 1604-1607, 2000.
29. [15] 박종규, 장승호, 윤중환, 안규철, 광경섭, "덮개층을 갖는 일축성 매질 위의 마이크로스트립 패치 안테나 해석, □□통신학회 논문지 제 26권, 6B호, pp.693-700, 2001.
30. [16] N. G. Alexopoulos and D. R. Jackson, □□Fundamental Superstrate(Cover) Effects on Printed Circuit Antennas, □□IEEE Trans. Antennas. Propag., Vol AP-32, pp. 807-816, August 1984.
31. [17] A. K. Bhattacharyya and T. Tralmon, □□Effects of Dielectric Superstrate on Patch

Antenna, □□

73. Electron. Lett., Vol. 24, pp. 356-358, 1988.

74. [18] K. L. Wong, W. S. Chen, and W. L. Huang,

75. □□The absorption and coupling of an

76. electromagnetic wave incident of a microstrip

77. circuit with superstrate, □□IEEE Trans.

78. Electromagn. Compat., vol. EMC-34, pp. 17-21,

79. 1992.

80. [19] R. S. havit, □□Dielectric cover effect on

81. rectangular microstrip antenna array, □□IEEE

82. Trans. Antenna Propagat., pp. 1180-1184, Aug.

83. 1994.

84. [20] J. S. Row and K. L. Wong, □□Resonance in a

85. Superstrate Loaded Rectangular Microstrip

86. Structure, □□IEEE Trans. Microwave Theory

87. Tech., vol. MTT-8, pp.1349-1354, August, 1993.

88. [21] K. M. Luk, W. Y. Tam, and C. L. Yip,

89. □□Analysis of circular microstrip antennas with

90. superstrate, □□IEEE Proc., vol. 136, pt. H,

91. pp. 261-263, 1989.

92. [22] K. L. Wong, Y. T. Cheng, and J. S. Row,

93. □□Resonance in a superstrate-loaded

94. cylindrical-rectangular microstrip structure, □□

95. IEEE Trans. Microwave Theory Tech., pp.814-819,

96. May 1993.

97. [23] C. T. Tai, *Dyadic Green Functions in*

98. *Electromagnetic Theory*, IEEE Press, 1994.

99. T. Itoh, *Numerical Techniques for Microwave and*

100. *Millimeter-Wave Passive Structure*,

Wiley, 1989.

101. [24] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment*

102. *Methods*, New York, Macmillan, 1968.

103. [25] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon,

104. *Microstrip antenna design handbook*, Artech House,

105. 2001.

저 자 소 개

尹中漢(正會員)



1994년 2월 인하대학교
전자공학과 학사 졸업(공학사)
1996년 8월 인하대학교
전자공학과 대학원
졸업(공학석사)
2003년 2월 인하대학교
전자공학과 대학원
졸업(공학박사)

2003년 3월 - 현재 : 인하대학교 IT신기술 연구소 연구원

주관심분야 : 전자장 이론 및 산란, 안테나 설계

李和春(正會員)

1985년 2월 인하대학교 전자공학과 학사
졸업(공학사)



1987년 2월 인하대학교
전자공학과 대학원 졸업(공학석사)
1995년 2월 인하대학교
전자공학과 대학원 졸업(공학박사)
1995년 3월 - 현재 : 초당대학교
정보통신과 조교수

주관심분야 : 전자장 이론 및
산란, 안테나 및 전파전파,

이동통신

郭慶燮(正會員)

이방성 매질의 기관과 덮개층을 갖는 마이크로스트립 패치 안테나의 방사패턴

1977년 2월 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사)
1981년 12월 미국 Univ. of So. Calif. 대학원(EE석사)
1988년 2월 미국 University of Calif. San Diego
(통신이론 및 시스템 박사)
1988년 2월 ~ 1989년 2월 미국 Hughes Network
Systems 연구원
1989년 2월 ~ 1990년 3월 미국 IBM Network
Analysis Center 연구원
2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 인하대학교
정보통신전문대학원 초대원장
1990년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학부
교수
2002년 1월 ~ 현재 : 통신학회 부회장
2002년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 IT신기술 연구소
소장
주관심분야 : 위성통신 이동통신, 통신네트워크, 무선
인터넷