

論文2003-40TC-5-3

공기 갭을 갖는 이방성 매질 위의 사각 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 임피던스와 방사패턴에 대한 파수 영역 해석

(Spectral Domain Analysis of Input Impedance and Radiation Pattern in Rectangular Microstrip Patch Antenna on Anisotropy Substrates with Airgap)

尹中漢*, 郭慶燮**

(Joong Han Yoon and Kyung Sup Kwak)

요약

사각 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 임피던스와 방사패턴에 대한 공기 갭과 이방성 기판의 영향을 적분 방정식 공식에 사용하여 연구하였다. 갈러킨 모멘트법을 사용하여 적분 방정식을 해석함으로써 입력 임피던스와 방사패턴을 얻을 수 있다. 기저함수의 선택은 패치 위의 실제 전류밀도와 가장 유사한 형태인 정현적 기저함수를 선택하였다. 전사모의 실험결과로부터 공기 갭의 두께, 기판의 이방성 비와 이방성 기판의 비 유전을 변화에 따른 입력 임피던스와 방사패턴의 변화를 나타내었다.

Abstract

Effects of Airgap and anisotropy substrate on input impedance and radiation pattern of rectangular microstrip patch antenna are studied in terms of an integral equation formulation. The input impedance and radiation pattern of microstrip patch antenna is investigated by using Galerkin's moment method in solving the integral equation. Sinusoidal functions are selected as basis functions, which resemble in the actual standing wave on the patch. From the numerical results, the variation of input impedance and radiation patterns in the variation of air gap thickness, anisotropy ratio of substrate, and relative permittivity of anisotropy substrate are presented.

Keywords: antenna, microstrip antenna, anisotropy substrate, airgap, input impedance and radiation pattern

I. 서론

마이크로스트립 패치 안테나는 협대역이라는 단점에도 불구하고 많은 장점 때문에 1953년 Deschamps^[1]에 의해 제안된 이래로 많은 연구가 진행되고 있다^[2-5]. 특히 협대역의 단점을 극복하기 위한 많은 방법들이 제시되었는데 적층 구조^[6], 코플레너 기생 소자를 이용한 방법^[7], U-슬롯을 이용한 방법^[8], H-슬롯을 이용한 방법^[9], SSIP^[10] 등의 기술들을 이용하여 대역폭을 넓히려는 연

* 正會員, 仁荷大學校 IT 新技術研究所
(IT Advanced Research Center)

** 正會員, 仁荷大學校 情報通信工學部
(The school of Information and Communication Eng.,
Inha University)

接受日字:2003年3月21日, 수정완료일:2003年4月23日

구들이 계속되고 있다. 이러한 방법들 중에 광대역 특성을 얻는 한가지 방법으로 기판과 접지면 사이에 공기 갭을 도입하였다^[11]. 공기 갭의 두께를 조절함으로써 하나의 안테나로 여러 개의 채널을 제공할 수 있는 광대역 특성을 가지며 또한 공진 주파수의 범위를 조종할 수 있는 안테나로 동작하므로 이에 대한 연구들이 수행되었다^[12, 13]. 논문^[12]에서는 사각 패치 안테나에 대한 공진 주파수, 입력임피던스 그리고 방사패턴에 대한 해석이 이루어졌으며 논문^[13]에서는 원통표면 위의 사각 패치 안테나의 복소 공진 주파수에 대해 해석하였다.

한편, 마이크로웨이브 회로에서 사용되는 실제 매질은 이방성 특성을 가지고 있다. 대표적으로, 집적회로에 사용되는 다수의 기판들은 알루미늄 아산화물(alumina family)을 포함하고 있으며 테플론 타입의 기판들도 대부분 이방성 성질에 따라 동작하는 세라믹 성분을 포함하고 있다. 또한 E-10 세라믹 테플론, TFE/glass와 loaded TFE/glass와 같은 테플론 기판들도 이방성 성분을 포함하고 있으며 크리스탈(crystalline) 매질 역시 또 다른 이방성 매질이다^[14]. 따라서 이러한 이방성 성질들은 인쇄회로와 안테나의 특성에 직접적으로 영향을 주기 때문에 안테나 특성에 대한 정확한 해석을 위해서는 기판의 비유전체 특성에 대한 정확한 정보가 필요하며 이방성 기판 특성을 갖는 마이크로스트립 안테나에 대한 많은 연구들이 활발히 이루어져 왔다^[15-20]. Pozar^[15]는 이방성 기판 위의 다이폴에 대해 해석하였으며 공진 주파수, 표면파 영향 그리고 산란과 방사패턴을 그린함수와 갤러킨 모멘트법을 이용하여 분석하였으며 Wong^[16]는 이방성 기판에서의 사각 마이크로스트립 패치 안테나에 대해 그린함수와 갤러킨 모멘트법을 이용하여 공진 주파수와 대역폭을 구하였다. 그리고 Kyriacou와 Sahalos^[17]는 이방성 기판과 이방성 덮개층을 갖는 경우에 대해 입력임피던스를 해석하였으며 Bouttout^[18] 등은 주축(optical axis)의 변화에 따른 공진 주파수의 변화를 그린함수와 갤러킨 모멘트법을 이용하여 분석하였다. 또한 Proano와 Torre^[19] 등은 이방성 기판에서 스트립 라인을 통해 전력이 공급되는 개구면 슬롯의 영향을 분석하였으며 윤중환, 이상목, 안규철, 광경섭^[20]은 공기 갭을 갖는 이방성 기판 위의 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수에 대한 해석이 이루어졌다. 그러나 논문^[20]에서는 입력 임피던스와 방사패턴에 대한 정보는 아직 발표되어 있지 않다.

본 논문에서는 공기 갭을 갖는 일축성 기판 매질 위

에 마이크로 스트립 패치 안테나의 입력 임피던스와 방사패턴에 대해서 해석하였다. 기판의 비 유전율은 이방성의 특성을 나타내기 위해 텐서(tensor)로 표시되었고, 접지면 위에 공기 갭을 삽입하여 주파수 조종(agility) 기능을 갖게 하였다. 전자계의 해석은 파수 영역에서의 그린함수와 갤러킨 모멘트 법을 사용하였고 역행렬과 고정 위상법을 이용하여 입력 임피던스와 방사패턴을 결과를 얻었다. 전사모의 실험 결과로부터 기판의 이방성 비와 공기 갭의 두께 변화에 따른 사각 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 임피던스 크기와 방사패턴의 변화를 살펴보았다.

II. 본 론

1. 구조

이방성 매질의 기판 아래에 공기 갭을 가진 사각형의 마이크로 스트립 패치 안테나의 구조를 <그림 1>과 같이 나타내었다. 접지면 위에 t 만큼의 두께를 갖는 공기 갭이 존재하고 이 때 공기 갭의 비 유전율은 ϵ_0 이며 그 위에 두께 d 이고 비 투과율이 1, 비 유전율 텐서가 $\vec{\epsilon}_2$ 인 이방성 매질의 기판이 존재하며 패치는 넓이가 W 이고 길이가 L 인 사각형 형태를 가지고 있다. 그 위에는 비 유전율이 ϵ_0 이고 비 투과율이 μ_0 인 자유공간이 존재한다. 이방성 기판의 비 유전율은 텐서이므로 다음과

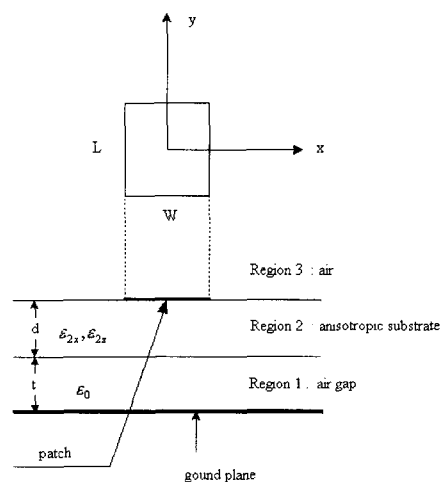


그림 1. 공기 갭을 갖는 이방성 기판 위의 마이크로 스트립 안테나의 구조

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

같이 나타낼 수 있다.

$$\bar{\epsilon}_2 = \epsilon_0 \begin{pmatrix} \epsilon_{2x} & 0 & 0 \\ 0 & \epsilon_{2y} & 0 \\ 0 & 0 & \epsilon_{2z} \end{pmatrix} \quad (1)$$

여기서 ϵ_{2z} 는 광축 방향에서의 비유전율이며 본 논문에서는 광축에 수직인 방향으로 $\epsilon_{2x} = \epsilon_{2y}$ 의 비유전율 관계를 갖는 일축성 매질을 고려하였다. 한편, z 축을 광축이라고 하며 $\epsilon_{2z} > \epsilon_{2x}$ 인 경우를 양 일축성이라 하고 $\epsilon_{2z} < \epsilon_{2x}$ 인 경우를 음 일축성 매질이라 한다.

2. 파수영역의 그린함수 유도

파수 영역상의 그린함수를 유도하기 위해서는 제안된 매질에서의 무한소 점 전류원의 형태를 고려해야 한다. 즉 그린함수는 점 전류원에 의한 전자계 응답을 의미하며 특정 전류원이 존재할 때의 전자계는 다음의 형태로 확장된다^[21].

제안된 구조에서 파수영역의 다이애틱 그린함수는 경계조건을 이용하여 구할 수 있으며^[22], 그 결과는 논문^[20]에 나타내었다. 이들 각 그린 함수의 계수들은 공기 겹의 두께를 0으로 놓으면 이방성 기판에 대해서 해석된 논문^[15]과 일치된 식을 얻을 수 있다. 위의 식들을 이용하여 파수영역의 해를 공간영역의 해로 변환하면 전자계 해는 다음과 같은 전개 적분방정식을 얻을 수 있다.

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

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

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 구해주는 방법이다^[23]. 식(2)의 전개 적분 방정식은 갤러킨 모멘트법을 이용하여 행렬 방정식으로 이산화 된 식은 논문^[20]에 나타내었다.

3. 입력 임피던스

안테나의 입력 임피던스는 급전점에서의 전압 대 전

류비로 표현된다. 일단 전류벡터 행렬식은 논문^[20]의 식 (8)에 의해 구해지며 이 식으로부터 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스를 얻을 수 있다. 입력 임피던스 Z_{input} 는 다음과 같이 구할 수 있다^[24].

$$Z_{input} = \frac{V}{I_s} \quad (3)$$

여기서 V 는 프루브에서 측정되는 RF 전압이며 I_s 는 프루브 전류 혹은 원 전류(source current)를 나타낸다. 이때 임의적으로 원(source) 전류를 1A라고 가정하면, 식 (3)은 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다.

$$Z_{input} = - \int_{z=0}^d E_z dz \quad (4)$$

여기서 E_z 는 패치의 전류에 의해서 유도되는 z 방향의 전계를 나타내며 다음과 같이 주어진다.

$$E_z = \sum_{nx=1}^{N_x} I_{nx} E_{znx} + \sum_{ny=1}^{N_y} I_{ny} E_{zny} \quad (5)$$

식 (5)을 식 (4)에 대입하면

$$Z_{input} = -[I]^t [V] \quad (6)$$

과 같은 식을 얻을 수 있다. 따라서 행렬식으로부터 식 (6)에 의해 입력 임피던스 값을 구할 수 있다.

4. 방사장 해석

안테나의 방사패턴을 계산하기 위해서는 무한대의 푸리에 변환 적분을 고정 위상법^[15]으로 계산하여야 한다. 고정위상법의 원리는 관찰점과 전류함수간의 거리가 큰 원거리에서는 식 (2)의 지수항이 고정 위상점을 제외하고는 적분 경로를 따라 빠르게 진동하므로 전체 이중 적분을 고정 위상점에서의 적분 값으로 대체할 수 있는 것이다. 고정 위상점은 식 (2)의 지수항을 두 번 미분함으로써 구할 수 있다.

고정 위상법을 사용하여 이중적분을 계산하고 구좌표계로 변환하면 다음과 같은 식으로 나타낼 수 있다^[24].

$$\begin{aligned} E_\theta(r, \theta, \phi) &= E_\theta \hat{\theta} + E_\phi \hat{\phi} \\ &= \frac{Z_0}{r} e^{-jk_0 r} \left[\hat{\theta} (E_x \cos \phi + E_y \sin \phi) \right. \\ &\quad \left. + \hat{\phi} (-E_x \sin \phi + E_y \cos \phi) \cos \theta \right] \quad (7) \end{aligned}$$

여기서,

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

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

그리고 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 구조에서의 그린함수를 나타낸다.

III. 전사 모의 실험 결과 및 검토

1. 본 논문의 결과 검증 및 기판의 이방성 비의 변화에 따른 입력 임피던스의 변화

공기 갭의 두께와 기판의 이방성 특성이 사각 패치 안테나의 방사패턴에 미치는 영향에 대해서 살펴보고자 한다. 이방성 비는 다음과 같이 정의한다

$$AR(\text{Anisotropy ratio}) = \frac{n_x}{n_z} = \frac{\epsilon_{2x}}{\epsilon_{2z}} \quad (8)$$

특히, 이방성 비가 1인 경우에는 등방성 매질의 경우이다. 본 논문의 전사모의 실험결과와 타당성을 검증하기 위해서 기존의 논문^[12]과 비교하였다. <그림 2>와 <그림 3>은 기판의 이방성 비의 변화에 따른 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스를 나타내고 있다. 패치의 크기는 $W = 11.43\text{mm}$, $L = 7.62\text{mm}$ 이며 일축성 이방성 기판의 두께와 공기 갭의 두께는 각각 0.159cm , 0.05cm 이다. 공기 갭 위에 기판에 대한 이방성 비를 0.5에서 1.5로 변화시켰을 때, 이방성 비의 변화에 따른 입력 임피던스의 변화를 보여주고 있다. 특히 이방성 기판을 등방성 매질로 놓을 경우 즉, 이방성 비=1, $\epsilon_{2x} = \epsilon_{2z} = 2.64$, 논문^[12]의 결과와 일치된 결과를 얻었다. 여기서 *표시는 논문^[12]의 결과를 나타내고 있다. 결과에서 볼 수 있듯이 이방성 비의 변화에 대해 입력 임피던스 저항성분의 크기는 2.42% 변화하고 있음을 확인하였다.

<그림 4>와 <그림 5> 역시 기판의 이방성 비의 변화에 따른 마이크로스트립 안테나의 입력 임피던스를 나타내고 있다. 패치의 크기를 $W = 8\text{mm}$, $L = 4\text{mm}$ 로 설정하였으며 이방성 기판의 두께와 공기 갭의 두께는 각각 0.835mm , 0.5mm 로 설정하였다. 공기 갭 위에 이방성 매질의 기판에 대한 이방성 비를 0.5에서 1.5로 변화시켰을 때, 이방성 비의 변화에 따른 입력 임피던스의 변

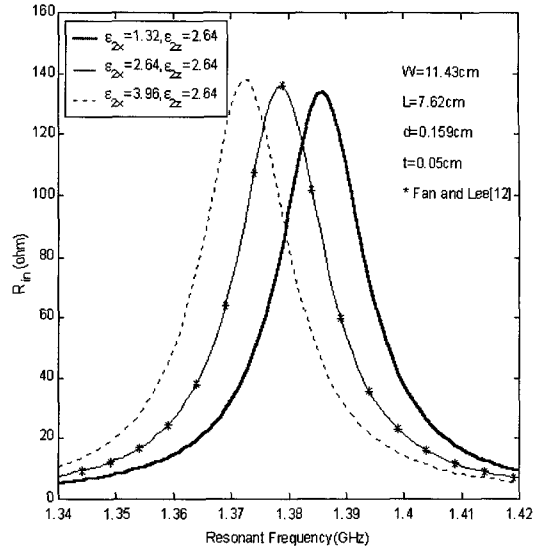


그림 2. $W = 11.43\text{mm}$, $L = 7.62\text{mm}$, $d = 0.159\text{cm}$, $t = 0.05\text{cm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 입력 저항 (R_{in}) ($\epsilon_{2z} = 2.64$)

Fig. 2. Input resistance (R_{in}) with the variation of the anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W = 11.43\text{mm}$, $L = 7.62\text{mm}$, $d = 0.159\text{cm}$, $t = 0.05\text{cm}$ ($\epsilon_{2z} = 2.64$).

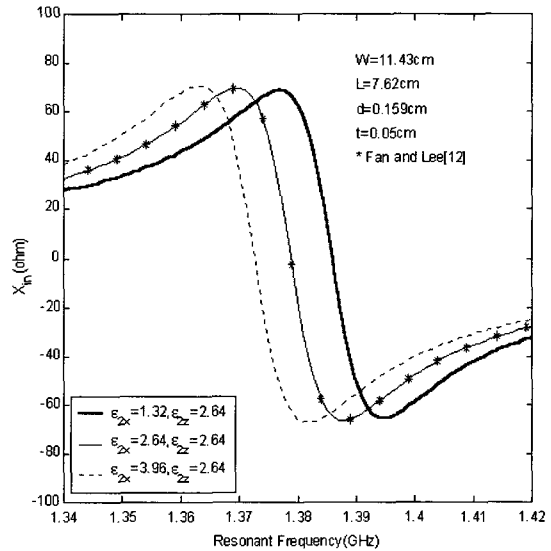


그림 3. $W = 11.43\text{mm}$, $L = 7.62\text{mm}$, $d = 0.159\text{cm}$, $t = 0.05\text{cm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 입력 리액턴스 (X_{in}) ($\epsilon_{2z} = 2.64$)

Fig. 3. Input reactance (X_{in}) with the variation of the anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W = 11.43\text{mm}$, $L = 7.62\text{mm}$, $d = 0.159\text{cm}$, $t = 0.05\text{cm}$ ($\epsilon_{2z} = 2.64$).

화를 보여주고 있다. 결과 그림으로부터 이방성 비가 0.5에서 1.5까지 변화함에 따라 입력 임피던스 저항성분의 크기는 34.7%의 변화가 발생하였다. <그림 2, 3>과 <그림 4, 5>의 차이점은 <그림 2>와 <그림 3>은 낮은 이방성 특성을 갖는 기판 ($\epsilon_{2z}=2.64$)을 사용하였으며 <그림 4>와 <그림 5>는 높은 이방성 특징을 갖는 기판 ($\epsilon_{2z}=9.6$)을 사용했다는 것이다. 대부분의 기판들은 이방성 비가 1.4보다 적은 값을 갖는 음 일축성 매질을 갖으며^[15] <표 1>에서는 이방성 비가 1에서 1.5로 변화

표 1. 이방성 기판의 비 유전율에 따른 입력 임피던스의 크기
Table 1. the magnitude of input impedance as the relative permittivity of anisotropy substrate.

| 비 유전율에 따른 이방성 비의 변화 | 비 유전율이 $\epsilon_{2z}=2.64$ 일 때 이방성 비의 변화(1.0~1.5) | 비 유전율이 $\epsilon_{2z}=9.6$ 일 때 이방성 비의 변화(1.0~1.5) |
|------------------------|--|---|
| 입력 임피던스 저항성분의 크기 변화 | 1.21% | 17.35% |
| 입력 임피던스 리액턴스 성분의 크기 변화 | 1.4% | 15.77% |

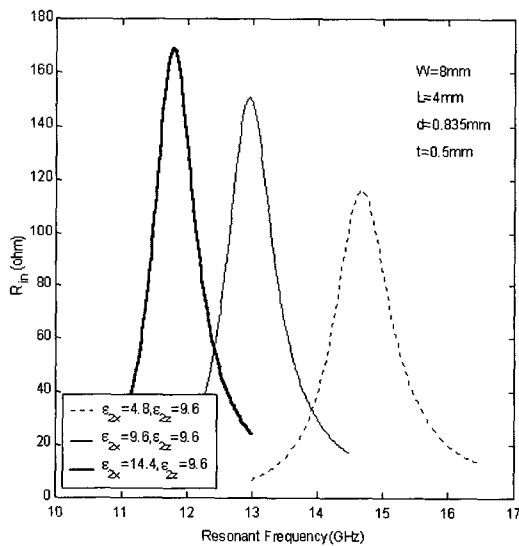


그림 4. $W=8\text{mm}$, $L=4\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 입력 저항 (R_{in}) ($\epsilon_{2z}=9.6$)

Fig. 4. Input resistance (R_{in}) with the variation of the anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W=8\text{mm}$, $L=4\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ ($\epsilon_{2z}=9.6$).

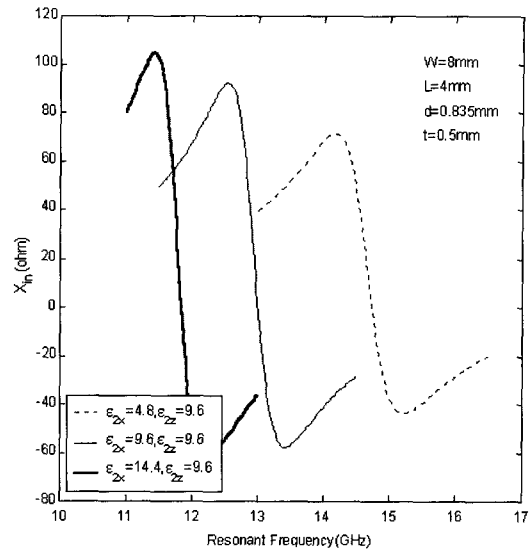


그림 5. $W=8\text{mm}$, $L=4\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 입력 리액턴스 (X_{in}) ($\epsilon_{2z}=9.6$)

Fig. 5. Input reactance (X_{in}) with the variation of the anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W=8\text{mm}$, $L=4\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ ($\epsilon_{2z}=9.6$).

하는 동안 입력 임피던스의 크기 변화를 나타내었다. 비 유전율이 $\epsilon_{2z}=2.64$ 일 경우 이방성 비가 1.0에서 1.5로 변화하는 동안 저항 성분의 크기는 1.21%, 리액턴스 성분의 크기는 1.4% 변화하였으며 비 유전율이 $\epsilon_{2z}=9.6$ 일 경우 이방성 비가 1.0에서 1.5로 변화하는 동안 저항 성분의 크기는 17.35%, 리액턴스 성분의 크기는 15.77% 변화하였다. <표 1>에 결과로부터 <그림 4>와 <그림 5>에서의 임피던스 크기의 변화 폭이 크다고 하는 사실을 알 수 있으며 낮은 비 유전율을 갖는 이방성 기판 보다는 높은 비 유전율을 갖는 이방성 기판이 안테나의 특성이 더 큰 영향을 미치고 있음을 확인할 수 있다.

2. 공기 갭의 두께 변화에 따른 입력 임피던스의 변화 <그림 6>과 <그림 7>은 공기 갭의 두께 변화에 따른 입력 임피던스에 대한 결과를 보여주고 있다. 패치의 크기는 $W=10\text{mm}$, $L=10\text{mm}$ 이며 일축성 이방성 기판의 두께는 0.835mm 이며 이방성 기판은 비 유전율이 $\epsilon_{2x}=5.0$, $\epsilon_{2z}=7.0$ 인 음 일축성 매질이다. 이러한 조건에서 공기 갭의 두께를 0.1mm 에서 0.3mm 로 변화시켰을 경우, 그 결과를 나내고 있다. 공기 갭의 두께가 어

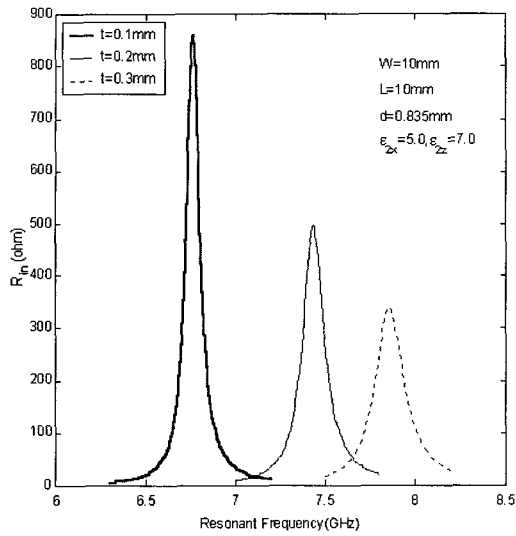


그림 6. $W=10\text{mm}$, $L=10\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=5.0$, $\epsilon_{2z}=7.0$ 일 때 공기 갭의 두께 변화에 따른 입력 저항 (R_{in})

Fig. 6. Input resistance (R_{in}) with the variation of the airgap thickness when the patch size is $W=10\text{mm}$, $L=10\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=5.0$, $\epsilon_{2z}=7.0$.

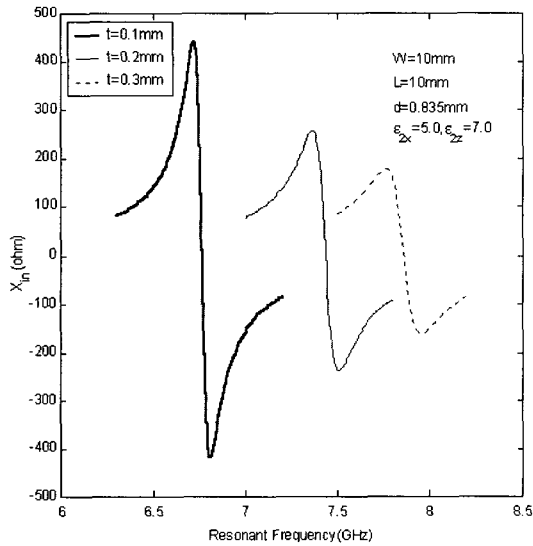


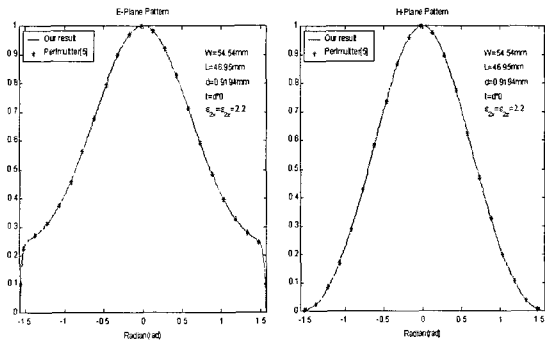
그림 7. $W=10\text{mm}$, $L=10\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=5.0$, $\epsilon_{2z}=7.0$ 일 때 공기 갭의 두께 변화에 따른 입력 리액턴스 (X_{in})

Fig. 7. Input reactance (X_{in}) with the variation of the airgap thickness when the patch size is $W=10\text{mm}$, $L=10\text{mm}$, $d=0.835\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=5.0$, $\epsilon_{2z}=7.0$.

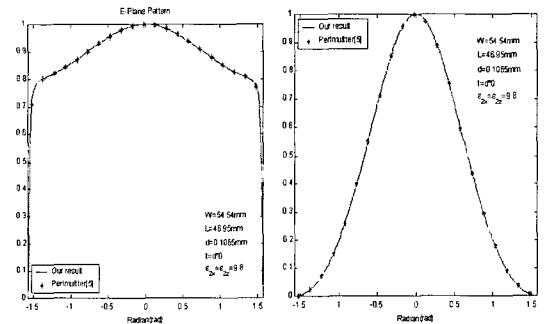
는 정도 증가할수록 공진 주파수는 급격히 증가하며 입력 임피던스의 크기는 이방성 비가 1.0에서 1.5까지 변화하는 동안 30.1%로 급격히 감소하고 있음을 알 수 있었다.

3. 방사패턴에 대한 본 논문의 결과 검증

본 논문의 구조에서 공기 갭의 두께를 0으로 근접시킬 때 논문^[5]의 결과와 비교하여 동일한 결과를 얻을 수 있었다. 즉 <그림 8(a)>는 본 논문의 파라메타에서 중심주파수 f 를 2.2GHz이며 패치의 크기는 $W=54.54\text{mm}$, $L=23.57\text{mm}$ 이다. 또한 기판의 두께 d 는 0.9194mm이며 기판의 비유전율은 $\epsilon_{2x}=2.2$, $\epsilon_{2z}=2.2$ 로 놓음으로서 이방성 매질에서 등방성 매질로 변환하였으며 공기의



(a) 기판의 비 유전율이 9.8일 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 8. 공기 갭의 두께가 0일 경우 본 논문의 결과와 논문^[5]에서의 결과 비교

Fig. 8. the comparison of radiation pattern between the results of airgap zero-thickness and results of this paper^[5].

두께를 $t=0$ 로 놓아서 공기 갭의 영향을 제거하였다. 이와 같은 파라미터들을 가지고 수치해석을 수행한 결과 본 논문 결과와 논문^[5]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 가정하였다. 또한 기판의 두께 d 는 4.79mm 이며 기판의 비유전율은 $\epsilon_{2x}=9.8$, $\epsilon_{2z}=9.8$ 로 놓음으로서 등방성 매질로 변환하였으며 공기의 두께를 $t=0$ 로 놓고 수치 해석한 결과 <그림 8(b)>에서 보는 것과 같이 논문^[5]과 정확히 일치된 결과를 얻음으로서 본 논문의 결과에 타당성을 검증하였다. 여기서 *의 결과는 논문^[5]의 의해서 주어진 결과이다. 그리고 본 논문결과에서 각각의 중심주파수는 논문^[20]에서 구한 결과를 적용하였다.

4. 기판의 이방성 비에 따른 방사패턴의 변화

<그림 9>는 마이크로스트립 패치의 크기를 $W=16.8\text{cm}$, $L=8\text{cm}$ 로 그리고 기판과 공기 갭의 두께가 각각 2.4mm , 0.4mm 로 설정하였다. 그리고 기판의 이방성 비가 $0.5 (AR = \epsilon_{2x} / \epsilon_{2z} = 1.15 / 2.3 = 0.5)$ -양일축성 매질, 1 (등방성), $1.5 (AR = \epsilon_{2x} / \epsilon_{2z} = 3.45 / 2.3 = 1.5)$ -음일축성 매질-일 때 방사패턴의 변화를 나타내었다. 이방성 비는 ϵ_{2z} 을 2.3 으로 놓고 ϵ_{2x} 을 변화시킴으로서 얻었다. 전사모의 실험 결과, 그림에서 알수 있듯이, E-평면과 H-평면의 경우, 기판의 이방성 비 변화에 대해 방사패턴의 변화가 없음을 확인하였다. 이러한 결과는 이방성 기판의 특성을 나타내는 비 유전율이 낮은 값을 갖는 매질의 경우, 거의 방사패턴에 영향을 주지 못한다는 것을 의미한다.

<그림 10>은 마이크로 스트립 패치의 크기가 $W=24.5\text{mm}$, $L=14.8\text{mm}$ 이며 기판과 공기 갭의 두께가 각각 1.4mm , 0.5mm 로 설정하였다. 그리고 기판의 이방성 비가 $0.7 (AR = \epsilon_{2x} / \epsilon_{2z} = 3.5 / 5.0 = 0.7)$ -양일축성 매질, 1 (등방성), $1.4 (AR = \epsilon_{2x} / \epsilon_{2z} = 7.0 / 5.0 = 1.4)$ -음일축성 매질-일 때 방사패턴의 변화를 나타내었다. 이방성 비는 ϵ_{2z} 을 5.0 으로 놓고 ϵ_{2x} 을 변화시킴으로서 얻었다. 전사모의 실험 결과, E-평면의 경우, 양의 일축성 매질에서 음의 일축성 매질로 변화할 때 방사패턴이 약간 감소하고 있고 있음을 확인하였다. 그러나 H-평면의 경우, 기판의 이방성 비 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다.

<그림 11>은 이방성 기판의 비 유전율이 클 경우, 이

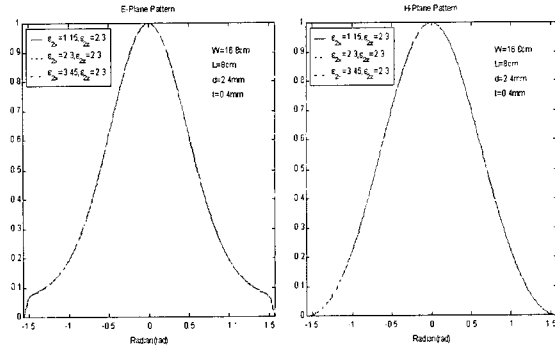


그림 9. $W=16.8\text{cm}$, $L=8\text{cm}$, $d=2.4\text{mm}$, $t=0.4\text{mm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 방사패턴 ($\epsilon_{2z}=2.3$)

Fig. 9. Radiation pattern as the variation of anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W=16.8\text{cm}$, $L=8\text{cm}$, $d=2.4\text{mm}$, $t=0.4\text{mm}$ ($\epsilon_{2z}=2.3$).

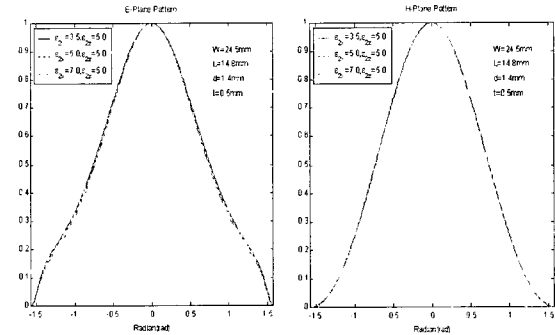


그림 10. $W=24.5\text{mm}$, $L=14.8\text{mm}$, $d=1.4\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 방사패턴의 변화 ($\epsilon_{2z}=5.0$)

Fig. 10. Radiation pattern as the variation of anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W=24.5\text{mm}$, $L=14.8\text{mm}$, $d=1.4\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ ($\epsilon_{2z}=5.0$).

방성 비의 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다. 마이크로스트립 패치의 크기가 $W=34.6\text{mm}$, $L=28.2\text{mm}$ 이며 기판과 공기 갭의 두께가 각각 1.8mm , 0.5mm 로 설정하였다. 그리고 기판의 이방성 비가 $0.5 (AR = \epsilon_{2x} / \epsilon_{2z} = 4.8 / 9.6 = 0.5)$ -양일축성 매질, 1 (등방성), $1.5 (AR = \epsilon_{2x} / \epsilon_{2z} = 14.4 / 9.6 = 1.5)$ -음일축성 매질-일 때 방사패턴의 변화를 나타내었다. 이방성 비는 ϵ_{2z} 을 9.6 으로 놓고 ϵ_{2x} 을 변화시킴으로서 얻었다. 전사모의 실험 결과, E-평면의 경우, 이방성 비의 변화에 따라 방사패턴이 약간 감소하고 있고 있음을 확

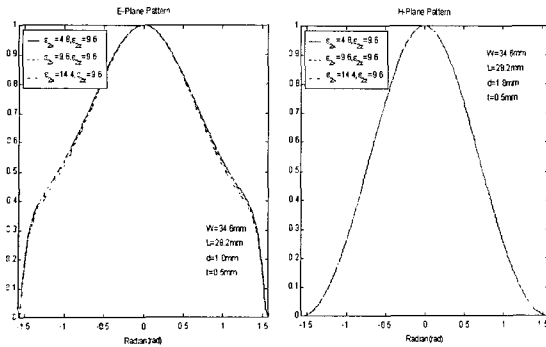


그림 11. $W=34.6\text{mm}$, $L=28.2\text{mm}$, $d=1.8\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ 일 때 기판의 이방성 비 변화에 따른 방사패턴의 변화 ($\epsilon_{2z}=9.6$)

Fig. 11. Radiation pattern as the variation of anisotropy ratio in substrate when the patch size is $W=34.6\text{mm}$, $L=28.2\text{mm}$, $d=1.8\text{mm}$, $t=0.5\text{mm}$ ($\epsilon_{2z}=9.6$).

인하였다. 그러나 H-평면의 경우, 기판의 이방성 비 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다. 이러한 결과들로부터, 기판의 이방성 특성에 의한 방사패턴의 영향은 미미하다는 것을 알 수 있었다.

4. 공기 갭의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화

<그림 12>은 높은 비 유전율의 이방성 기판을 갖는 경우, 공기 갭의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다. 마이크로스트립 패치의 크기가 $W=36.8\text{mm}$, $L=22.4\text{mm}$ 이며 기판의 두께는 1.2mm 로 설정하였다. 그리고 기판의 이방성 특성을 나타내는 비유전율은 $\epsilon_{2x}=14.4$, $\epsilon_{2z}=9.6$ 의 음 일축성 매질로 가정하였

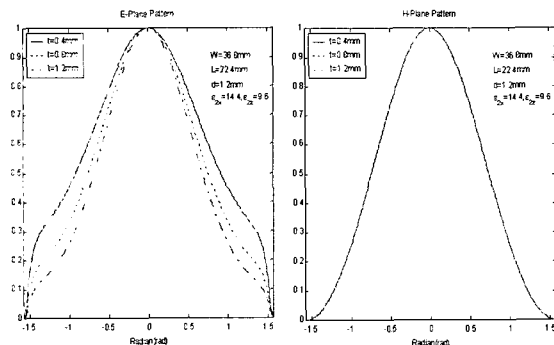


그림 12. $W=36.8\text{mm}$, $L=22.4\text{mm}$, $d=1.2\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=14.4$, $\epsilon_{2z}=9.6$ 일 때 공기 갭의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화

Fig. 12. Radiation pattern as the variation of airgap thickness when the patch size is $W=36.8\text{mm}$, $L=22.4\text{mm}$, $d=1.2\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=14.4$, $\epsilon_{2z}=9.6$

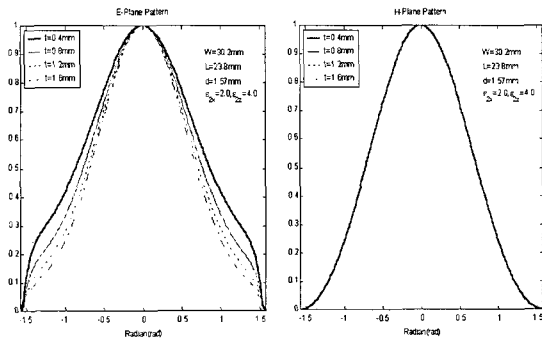


그림 13. $W=30.2\text{mm}$, $L=23.8\text{mm}$, $d=1.57\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=2.0$, $\epsilon_{2z}=4.0$ 일 때 공기 갭의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화

Fig. 13. Radiation pattern as the variation of airgap thickness when the patch size is $W=30.2\text{mm}$, $L=23.8\text{mm}$, $d=1.57\text{mm}$, $\epsilon_{2x}=2.0$, $\epsilon_{2z}=4.0$

으며 공기 갭 두께를 0.4mm 에서 1.2mm 까지 변화시키면서 공기 갭의 두께가 방사패턴에 미치는 영향을 살펴보았다. 전사모의 실험 결과, E-평면의 경우, 공기 갭의 두께가 증가할수록 빔 폭이 감소하고 있음을 확인하였다. 그러나 H-평면의 경우, 공기 갭의 두께 변화에 대한 방사패턴의 변화가 나타나지 않았다. 이러한 결과는 등방성 매질의 경우 공기 갭의 두께 변화에 대해 빔 폭이 감소한다는 논문^[12]의 결과와 같다.

<그림 13>은 낮은 비 유전율의 이방성 기판을 갖는 경우, 공기 갭의 두께 변화에 따른 방사패턴의 변화를 나타내고 있다. 마이크로 스트립 패치의 크기가 $W=30.2\text{mm}$, $L=23.8\text{mm}$ 이며 기판의 두께는 1.57mm 로 설정하였다. 그리고 기판의 이방성 특성을 나타내는 비유전율은 <그림 9>에서의 경우와 반대로 $\epsilon_{2x}=2.0$, $\epsilon_{2z}=4.0$ 의 낮은 비유전율을 갖는 음 일축성 매질로 설정하여 공기 갭 두께를 0.4mm 에서 1.6mm 까지 변화시키면서 공기 갭의 두께가 방사패턴에 미치는 영향을 살펴보았다. 전사모의 실험 결과, <그림 12>에서의 결과와 비슷한 결과를 얻을 수 있었다.

VI. 결 론

본 논문에서는 공기 갭을 갖는 이방성 기판 위의 마이크로스트립 패치에 대한 입력 임피던스와 방사패턴을 해석하였다. 실제 마이크로웨이브에서 사용되는 기판은 이방성 매질의 특성을 가지고 있으므로 정확한 수치를

얻기 위해서 비 유전율이 텐서로 구성되어 있는 일축성 매질질을 고려하였으며 제안된 모델을 해석하기 위해 파수영역에서의 그린 함수와 갤러킨 모멘트 법을 이용하였으며 이중 적분의 계산은 극 좌표계의 변환을 이용하였고 가우시안 사분법을 이용하여 전류분포의 계수를 구하였다. 원거리 전개식을 얻기 위해 고정 위상법(stationary phase method)을 사용하여 전산모의 실험을 수행하였다. 기관의 이방성 비, 공기 갭의 두께에 따른 입력 임피던스의 크기와 방사패턴의 변화를 나타내었다. 이방성 기관의 비 유전율이 클수록 입력 임피던스의 크기 변화가 컸으며 공기 갭의 변화에 대해서는 이방성 비가 1.0에서 1.5까지 변화하는 동안 입력 임피던스의 저항성분 크기가 30.1% 감소하였다. 또한 방사패턴의 경우, 공기 갭의 두께 변화에 따라 큰 변화를 보여주었다.

참 고 문 헌

- [1] G. A. Deschanps, "Microstrip Microwave Antenna," 3rd USAF Symposium on Antenna, 1953.
- [2] D. M. Pozar., "Input Impedance and Mutual Coupling of Rectangular Microstrip Antennas," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol 30, pp. 1191~1196, 1982.
- [3] E. H. Newman and D. Forrai, "Scattering from a Microstrip Patch," IEEE Trans. Antenna Propagat., vol AP-35, No.3, March, pp. 245~251, 1987.
- [4] W. C. Chew and Q. H. Liu, "Resonance Frequency of a Rectangular Microstrip Patch," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol 36, pp. 1045~1056, 1988.
- [5] P. Perlmutter, S. Shtrikman, and D. Treves, "Electric Surface Current Model for the Analysis of Microstrip Antennas with Application to Rectangular Elements", IEEE Trans. Antennas Propagat., Vol 33, pp. 301~311, 1985.
- [6] K. D. Targoniski, R .B. Waterhouse, and D. M. Pozar, "Design of Wideband Aperture Stacked Patch Microstrip Antenna," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol 46, pp. 1245~1251, 1998.
- [7] C. Wood, "Improved Bandwidth of microstrip Antennas Using Parasitic Elements," Proc. IEE, vol.127, Pt. H, pp. 231~178, 1980.
- [8] Y. L. Chow, "A Design Theory on Broadband Patch Antenna with Slot," IEEE Trans. Antennas Propagat. Symp. Digest, 1124~1127, 1998.
- [9] J. P. Daniel, "Research on Antennas and Array : Structures Rauonnantes," Antennas and Propagation Society Magazine, vol 35, Feb. pp. 14~38, 1993.
- [10] J. F. Zürcher, "SSFIP, a Global Concept for High Performance Broadband Planar Antennas," Electrics Letter, Vol.24, pp. 1433~1435, 1988.
- [11] K. F. Lee, and J. S. Dahele, "Mode Characteristic of Annular-Ring and Circular-Disk Micorstrip Antennas with and without an Airgap," IEEE/AP-S Int. Symp. Digest, pp. 55~58, 1983.
- [12] Z. Fan and K. F. Lee, "Spectral Domain Analysis of Rectangular Microstrip Antennas with an Airgap," Microwave Opt. Technology Lett., vol. 3 pp. 391~392, 1992.
- [13] K. L. Wong, Y. T. Cheng, and J. S. Row, "Analysis of a Cylindrical-Rectangular Microstrip Structure with an Airgap," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. 42, No. 6, pp. 1032~1037, June, 1994.
- [14] N. G. Alexopoulos, "Integrated-Circuit Structure on Anisotropic substrate," IEEE Trans. Microwave Theory Tech., vol. MTT-33, pp. 847~881, Oct. 1985.
- [15] D. M. Pozar, "Radiation and scattering from a Microstrip Patch on a Uniaxial Substrate," IEEE Trans. Antennas Propagat., vol. AP-35, pp. 613~621, June 1987.
- [16] 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

26 공기 갓을 갖는 이방성 매질 위의 사각 마이크로스트립 패치 안테나의 입력 임피던스와 방사패턴에 대한 파수 영역 해석 尹中漢 外

- ~701, April, 1993.
- [17] 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.
- [18] 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.
- [19] A. V. Proano, D. L. 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.
- [20] 윤중환, 이상목, 안규철, 광경섭, "공기 갓을 갖는 일축성 매질 위의 마이크로스트립 패치 안테나의 공진 주파수," *통신학회 논문지 제 25권, 12A호*, pp. 1759~1765, 2000.
- [21] C. T. Tai, *Dyadic Green Functions in Electromagnetic Theory*, IEEE Press, 1994.
- [22] T. Itoh, *Numerical Techniques for Microwave and Millimeter-Wave Passive Structure*, Wiley, 1989.
- [23] R. F. Harrington, *Field Computation by Moment Methods*, New York Macmillan, 1968.
- [24] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, A. Ittipiboon, *Microstrip antenna design handbook*, Artech House, 2001.

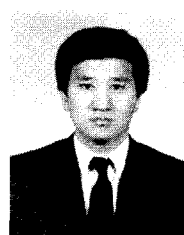
저 자 소 개



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 : 인하대

학교 IT신기술 연구소 연구원. <주관심분야 : 전자장 이론 및 산란, 안테나 설계>



郭慶燮(正會員)

1977년 2월 : 인하대학교 전기공학과 졸업(공학사). 1981년 12월 : 미국 University of Southern California 공학석사. 1988년 2월 : 미국 University of Southern California 공학박사(통신이론 및 시

스템). 1988년 2월~1989년 2월 : 미국 Hughes Network Systems 연구원. 1989년 2월~1990년 3월 : 미국 IBM Network Analysis Center 연구원. 2000년 3월~2002년 2월 : 정보통신전문대학원 원장. 1996년 3월~현재 : 인하대학교 정보통신공학부 교수. 2002년 1월~현재 : 통신학회 부회장. 2002년 9월~현재 : 인하대학교 IT신기술 연구소 소장. <주관심분야 : 위성 및 이동 통신, 멀티미디어 통신>