

碩士學位 請求論文

2.4 GHz 帶域
小形프린트안테나의 設計

慶州大學校 大學院

컴퓨터 電子工學科

韓 載 奉

指導教授 黃 載 皓

2004年 1月

2.4 GHz 帶域
小形프린트안테나의 設計

慶州大學校 大學院

컴퓨터 電子工學科

韓 載 奉

이 論文을 碩士學位 論文으로 提出함

指導教授 黃 載 皓

2004年 1月

韓載奉의 碩士學位論文을 認准함

審 查 委 員

권 수 근



審 查 委 員

김 철 수



審 查 委 員

황 재 호



慶州大學校大學院

2004年 1月

< 목 차 >

I. 서 론	1
II. 프린트안테나의 해석법 및 기본구성	
1. 유전체 기판상의 안테나 해석	3
2. 유한요소법	4
3. 유전체 기판의 영향에 따른 단축율	5
4. 급전선 구조	7
5. 유전체 기판상의 다이폴 안테나	9
5.1. 다이폴 안테나의 구조	9
5.2. 다이폴 안테나의 특성	10
III. 야기우다 안테나의 설계	
1. 유전체 기판상의 지향성 안테나	12
2. 유전체 기판상의 야기우다 안테나	12
2.1. 반사기 구조	13
2.2. 유도기 구조	17
2.3. 유도기 배열에 따른 안테나 특성	19
IV. 마이크로스트립 안테나의 설계	
1. 패치 및 급전선 설계	26
2. 마이크로스트립 배열 안테나	30
2.1. 2소자 배열 안테나	30
2.2. 4소자 배열 안테나	34
V. 결 론	37
[참고 문헌]	39
[영문 초록]	40

< 표 차 례 >

표 1. 유도기의 배열 수에 따른 안테나의 이득	25
표 2. 패치의 배열 수에 따른 안테나의 이득	36

< 그림 차례 >

그림 2.1 유한 요소법(FEM)의 계산과정	5
그림 2.2 자유공간에서의 다이폴 안테나	5
그림 2.3 유전체 기판상의 다이폴 안테나	6
그림 2.4 단축울($L/w=10$)	7
그림 2.5 단축울($L/w=20$)	7
그림 2.6 급전선로 구조	8
그림 2.7 MSL의 특성임피던스	9
그림 2.8 다이폴 안테나의 구조 및 좌표계	10
그림 2.9 다이폴 안테나의 입력 임피던스 특성	10
그림 2.10 다이폴 안테나의 지향성 특성	11
그림 3.1 야기우다 안테나의 구성	13
그림 3.2 야기우다 안테나의 일반적인 구성	13
그림 3.3 접지면을 이용한 반사기 구성	14
그림 3.4 야기우다 안테나(반사기)의 구조 및 좌표계	15
그림 3.5 야기우다 안테나(반사기)의 입력 임피던스 특성	15
그림 3.6 야기우다 안테나(반사기)의 지향성 특성	16
그림 3.7 야기우다 안테나(반사기+유도기 1개)의 구조 및 좌표계 ...	17
그림 3.8 야기우다 안테나(반사기+유도기 1개)의 입력 임피던스 특성	18
그림 3.9 야기우다 안테나(반사기+유도기 1개)의 지향성 특성	19
그림 3.10 야기우다 안테나(반사기+유도기 2개)의 구조 및 좌표계	20
그림 3.11 야기우다 안테나(반사기+유도기 2개)의 입력 임피던스 특성	21

그림 3.12 야기우다 안테나(반사기+유도기 2개)의 지향성 특성	22
그림 3.13 야기우다 안테나(반사기+유도기 3개)의 구조 및 좌표계	23
그림 3.14 야기우다 안테나(반사기+유도기 3개)의 입력 임피던스 특성	23
그림 3.15 야기우다 안테나(반사기+유도기 3개)의 지향성 특성	24
그림 4.1 방형 패치 안테나의 구조	26
그림 4.2 패치 안테나의 등가 자류원	27
그림 4.3 테이퍼(Taper)를 이용한 선로간의 임피던스정합	27
그림 4.4 마이크로스트립 안테나(패치 1개)의 구조 및 좌표계	28
그림 4.5 마이크로스트립 안테나(패치 1개)의 입력 임피던스 특성	29
그림 4.6 마이크로스트립 안테나(패치 1개)의 지향성 특성	30
그림 4.7 패치의 배열수에 따른 방사형태	30
그림 4.8 마이크로스트립 안테나(패치 2개)의 구조 및 좌표계	32
그림 4.9 마이크로스트립 안테나(패치 2개)의 입력 임피던스 특성	32
그림 4.10 마이크로스트립 안테나(패치 2개)의 지향성 특성	33
그림 4.11 마이크로스트립 안테나(패치 4개)의 구조 및 좌표계	34
그림 4.12 마이크로스트립 안테나(패치 4개)의 입력 임피던스 특성	35
그림 4.13 마이크로스트립 안테나(패치 4개)의 지향성 특성	36

I. 서론

최근 무선 LAN, 블루투스, 무선인터넷 서비스 등이 주로 2.4 GHz 대역에서 많이 이용되고 있는데^{[1][2]}, 이들 서비스는 각종 장비들간의 광대역 멀티미디어 정보의 무선 통신이 주된 기능을 차지하고 있다. 또한 이들 서비스는 단말장치의 소형화 연구 특성에 따라 안테나의 소형화가 필수적으로 요구된다.

안테나를 소형화하는 방법으로는 다양한 연구결과가 제안되고^{[3][4]} 있지만 그 중에 대표적인 방법으로는 유전체 기판을 이용한 프린트형 안테나를 들 수 있다. 프린트 안테나는 제조공정이 간단하여 저 가격, 대량 생산이 용이하다는 장점이 부각되고 있다^{[5][6]}.

본 논문에서는 빠르게 변해 가는 정보통신 시대의 요구를 충족시키기 위해 2.4 GHz 대역에 활용 가능한 지향성 안테나에 대해 연구한다. 더욱이 프린트안테나의 장점을 충분히 활용하기 위해 유전체 기판상에 안테나를 구성하는 방법으로 안테나의 소형화를 구현한다.

유전체 기판이 포함되는 안테나의 설계 및 해석은 매질의 특성이 안테나에 많은 영향을 미치게 되어 자유공간상의 안테나 특성과는 커다란 차이가 있으며 해석법 또한 상당히 복잡하게 된다^{[7][8]}. 따라서 본 논문에서는 안테나의 특성해석에 있어서는 유한요소법에 근거한 상용 시뮬레이션 툴(HFSS)을 사용한다.

본 논문의 구성은 다음과 같다.

II장에서는 안테나의 해석법과 유전체 기판상에 다이폴과 같은 기본안테나를 구성하여 기판의 영향을 고찰한다. 유한요소법(FEM)은 본 논문에서 사용하는 시뮬레이션 툴이 채택하고 있는 해석법으로 안테나해석에 활용하기 위해 최외각 방사면에 흡수경계조건을 적용한다.

유전체 기판상의 안테나 특성 중 사용하는 기판의 유전율과 두께는 안테나의 물리적인 크기를 단축시키는 효과가 있는데, 이와 같은 단축효과를 확실히 평가하고 안테나의 소형화에 활용하기 위해 유전체 기판상에 다이폴 안테나를 구성하여 각 파라미터의 변화에 따른 단축율을 계산한다.

프린트안테나의 경우 기판상에 안테나를 구성하게 되므로 급전방법이 제한되어있다. 일반적으로 동축선로를 사용하는 경우 선로의 특성임피던스는 고정되어 있으나 기판상에 선로를 구성하는 경우에는 특성임피던스를 고려하여 설계하여야한다. 또한, 본 장에서는 마이크로스트립형태의 급전선 구조채택하며 기판의 종류 및 선로의 크기에 따른 특성임피던스 특성을 살펴본다.

III장에서는 2.4 GHz 대역 지향성 안테나를 구현하는 방법으로 유전체 기판상의 야기우다 안테나를 설계하고 그 특성을 검토한다. 일반적으로 야기우다 안테나의 구성은 급전부의 후면 반사기를 설치하고 급전부의 전면에 유도기를 설치하여 안테나의 전면으로 전파가 방사되도록 하는 대표적인 지향성 안테나로 알려져 있다^[9].

그러나 이와 같은 구조의 야기우다 안테나를 평면기판상에 구성하는데 있어 급전선을 동일한 기판상에 설치하는데는 어려움이 많다. 따라서 본 장에서는 접지면의 일부를 반사기로 사용하는 구조로 동일한 기판상에 급전선을 포함하는 야기우다 안테나를 설계하였으며 그 특성을 시뮬레이션을 통하여 검토, 그 타당성을 입증한다. 또한 유도기수의 증가에 따른 이득변화를 살펴본다.

IV장에서는 안테나의 입력 임피던스 특성을 고려한 2.4 GHz 대역 마이크로스트립 안테나를 설계하고 특성을 검토한다. 안테나에 있어 입력 임피던스특성은 안테나의 성능을 평가하는 중요한 요인중의 하나이다. 입력 임피던스에 따른 안테나의 매칭은 방사전력의 손실을 줄이게 된다.

본 장에서는 접지면을 포함하는 유전체 기판의 상부에 방형 패치를 설치하여 마이크로스트립 안테나를 구성하며 패치에 급전되는 급전선의 구조를 적절히 설계하여 입력 임피던스의 정합을 이루었으며 그 특성을 시뮬레이션으로 검토한다. 또한 패치의 배열을 통해 안테나의 지향성이득 특성을 살펴본다.

끝으로 V장은 결론으로 각 장의 결과를 분석하고 향후 과제를 고찰한다.

II. 프린트안테나의 해석법 및 기본구성

2.1. 유전체 기판상의 안테나 해석

안테나를 소형화하는 방법으로는 여러 가지가 있으며 그 중에 유전체 기판을 사용하는 경우가 대표적이라 할 수 있다. 그러나 안테나 해석에 있어 유전체가 포함되는 경우 매질의 전기적 특성을 고려하여야 하므로 해석 방법이 복잡하고 까다롭게 된다.

현재까지의 유전체 영향을 고려한 해석방법으로는 유전체 원주에 둘러싸인 안테나를 준정근사법으로 해석하는 방법과 FDTD(Finite Difference Time Domain)법으로 유전체 기판상의 안테나 해석이 보고되고 있다^[5].

이와 같은 해석법은 원주와 기판의 비유전율이 9이하로 낮은 경우 사용이 가능하며 유전율이 높은 경우에는 유전체의 그린함수(Green Function)특성을 도입한 모멘트(Moment)법이 효과적이라 할 수 있다^{[7][8]}.

그러나 이와 같은 엄밀한 해석을 하기에는 계산량이 방대하고 계산시간이 길어 고성능 컴퓨터가 요구되는 단점이 있다.

본 논문에서는 2.4 GHz 대역 안테나의 소형화를 위해 유전체 기판을 사용하며 다이폴 안테나 같은 기본적인 구조의 안테나를 보다 간단히 해석하고 설계하기 위해 유한요소법(FEM)을 토대로 하는 시뮬레이션 툴(HFSS)을 사용하며 결과의 타당성을 검토한다.

일반적으로 유한요소법은 금속 캐비티 내부의 전자계특성을 해석하는데 유용한 해석법으로 안테나와 같은 방사전자계를 해석하기엔 부적절한 것으로 알려졌으나 HFSS의 경우 최근 FDTD법에 적용하는 흡수경계조건을 도입하여 안테나의 해석이 가능하도록 보완되었다.

2.2. 유한요소법

유한요소법은 해석영역의 전자장 특성을 Maxwell 방정식으로 직접 해석하는 방법을 말한다.

$$\nabla \times \vec{E} = -\frac{\partial}{\partial t} \vec{B} \quad (2-1)$$

$$\nabla \times \vec{H} = \vec{J} + \frac{\partial}{\partial t} \vec{D} \quad (2-2)$$

$$\nabla \cdot \vec{D} = \rho \quad (2-3)$$

$$\nabla \cdot \vec{B} = 0 \quad (2-4)$$

\vec{E} : 전기 (Electric field intensity) [V/m]

\vec{H} : 자기 (Magnetic field intensity) [A/m]

\vec{D} : 전속밀도 (Electric flux density) [C/m²]

\vec{B} : 자속밀도 (Magnetic flux density) [Wb/m²]

\vec{J} : 전류밀도 (Electric current density) [A/m²]

ρ : 전하밀도 (Electric charge density) [C/m³]

특정 구조를 Maxwell 방정식으로 해석한다는 의미는, 구조물의 각각의 부위마다의 field 값들을 계산해야 한다는 의미가 된다. 결국 그러기 위해서는 구조물을 적당한 단위로 쪼개서 각 단위마다의 Maxwell 방정식을 풀게 되는데, 이러한 하나 하나의 Maxwell 방정식 해석 구역을 메쉬(mesh) 또는 셀(cell) 이라고 부른다. 그림 2.1은 계산을 원하는 구조물을 적당량의 메쉬 그리드(grid)로 쪼갠 후, 각 메쉬 구조마다 경계면과 그 중앙에 대한 E, H 벡터를 계산하는 과정을 개념적으로 나타내고 있다. 일반적으로 유한 요소법은 금속 캐비티 내부의 전자계특성을 해석하는데 유용한 해석법으로 안테나와 같은 방사전자계를 해석하기엔 부적절한 것으로 알려졌으나 HFSS의 경우 최근 FDTD법에 적용하는 흡수경계조건(PML, Mur 등)을 도입하여 안테나의 해석이 가능하도록 보완되었다.

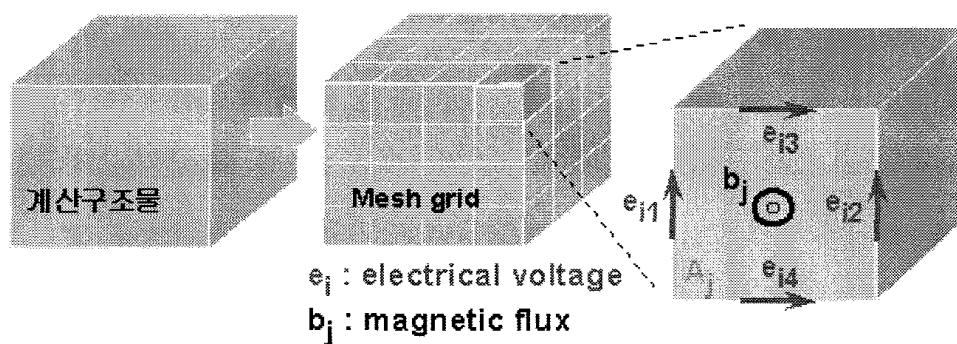


그림 2.1 유한요소법(FEM)의 계산과정

2.3. 유전체 기판의 영향에 따른 단축율

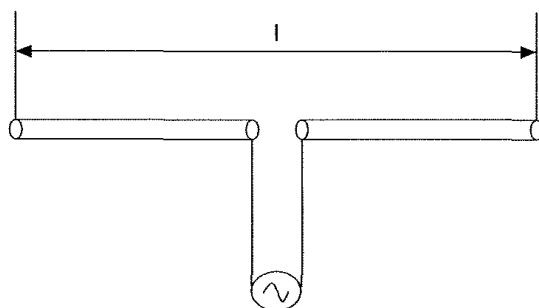


그림 2.2 자유공간에서의 다이폴 안테나

그림 2.2는 자유공간에서의 다이폴 안테나의 구조를 나타내고 있으며 이와 같은 다이폴 안테나의 방사특성은 다음과 같다.

$$E_{\theta} = j \eta_0 \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2}) - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta} \right] \quad (2-5)$$

$$H_{\phi} = \frac{E_{\theta}}{\eta} = j \eta_0 \frac{I_0 e^{-jkr}}{2\pi r} \left[\frac{\cos(\frac{kl}{2}) - \cos(\frac{kl}{2})}{\sin \theta} \right] \quad (2-6)$$

여기서 η 는 고유 임피던스이고, I_0 는 전류의 크기이며 k 는 볼츠만 상수이고, l 은 다이폴의 길이를 나타낸다. 그러나 유전체 기판상에 안테나를 인쇄하는 경우 안테나의 실효장은 기판의 유전율과 두께에 따라 변화되며 이와 같은 특성을 효과적으로 이용하여 안테나의 소형화를 구현할 수 있다.

그림 2.3은 유전체 기판상의 반파장 다이폴 안테나의 구조를 나타내고 있다. ϵ_r 과 d 는 각각 유전체 기판의 비유전율과 두께를 나타내며, $2L$ 과 w 는 각각 안테나의 길이와 폭을 나타내고 있으며 급전점은 안테나의 중심에 위치한다.

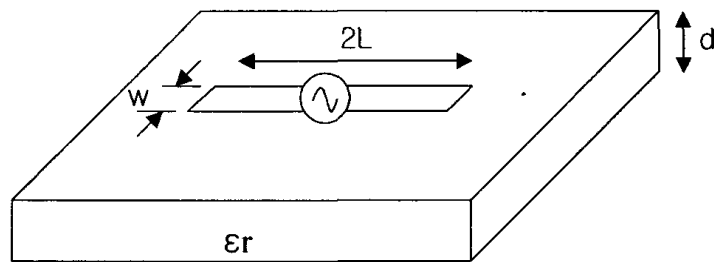


그림 2.3 유전체 기판상의 다이폴 안테나

그림 2.4와 2.5는 그림 2.3에 표시한 다이폴 안테나에 있어 기판을 포함한 안테나의 파라미터에 의한 공진 파장의 변화를 명확히 하기 위해 안테나의 단축율을 계산한 결과이다. 이때 단축율(ζ)은 다음 식으로 정의한다.

$$\zeta = f_r / f_0 \quad (2-7)$$

여기서 f_0 은 안테나의 전체길이가 자유공간의 반파장이 되는 주파수, f_r 은 유전체 기판상 안테나의 공진 주파수이다.

결과를 보면 기판의 유전율이 높아질수록, 기판의 두께가 커질수록 단축효과가 커짐을 알 수 있다.

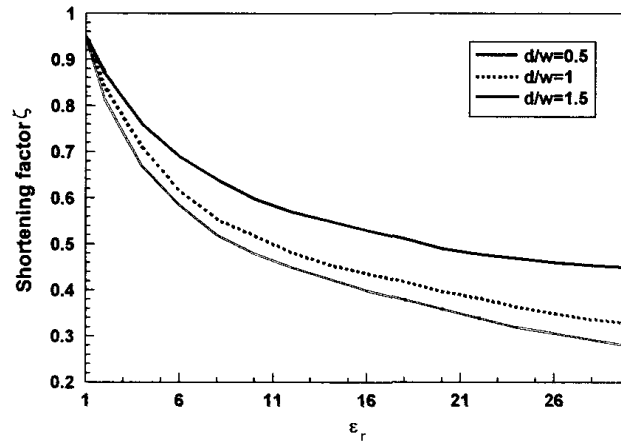


그림 2.4 단축율 ($L/w=10$)

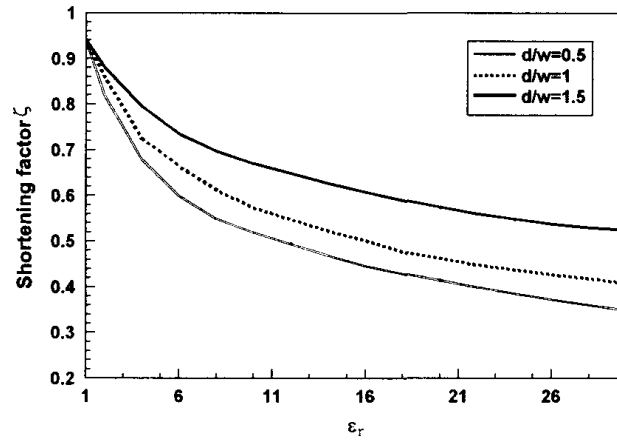


그림 2.5 단축율 ($L/w=20$)

2.4. 급전선 구조

2.3절에서는 유전체 기판 단축율 효과를 평가하기 위해 이상적인 급전구조의 다이폴 안테나를 취급하였으나 실제 기판상의 프린트 안테나에는 급전선이 포함되어야 한다.

한편 안테나를 소형화하는 방법으로 사용하는 기판의 유전율을 높이는 방법이 있으나 유전율이 높아짐에 따라 안테나를 구성하는 도체표면에 분포되는 전류밀도가 증대되어 안테나의 효율이 낮아지게 된다.

따라서 요구되는 안테나특성에 적절한 파라미터의 선택이 필요하다.

본 논문에서는 2.4 GHz 대역에 사용되는 프린트 안테나를 설계하는데 있어 유전체 손실이 적으며 주파수 특성이 우수한 FR4 재질($\epsilon_r=4.6$)의 기판을 사용하며 그 두께는 1.6 mm로 한다.

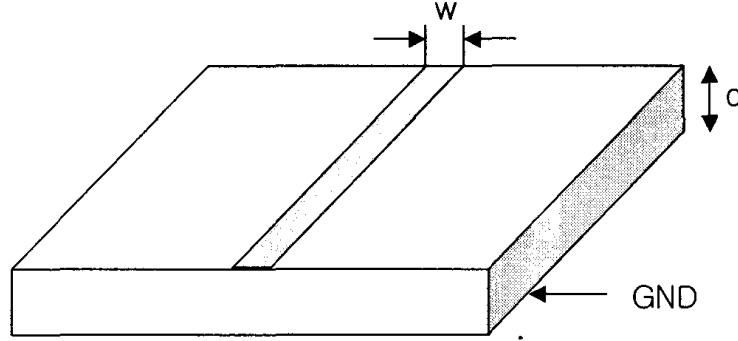


그림 2.6 급전선로 구조

그림 2.6은 프린트안테나에 적용할 급전선로로 마이크로스트립라인(MSL) 구조를 나타내고 있다.

이와 같은 급전선로의 특성임피던스는 다음의 근사식으로 결정된다^[11].

$$Z_o = \frac{60}{\sqrt{\epsilon_{eff}}} \ln \left(\frac{8d}{w} + \frac{w}{4d} \right) , \text{ if } \frac{w}{d} \leq 1 \quad (2-8)$$

$$= \frac{120\pi}{\sqrt{\epsilon_{eff}} \left\{ \frac{w}{d} + 1.393 + 0.667 \ln \left(\frac{w}{d} + 1.444 \right) \right\}} , \text{ if } \frac{w}{d} \leq 1$$

그림 2.7은 선로의 폭에 따른 특성임피던스 특성을 나타내고 있다. 단, 기판의 비유전율 $\epsilon_r=4.6$, 두께 $t=1.6\text{mm}$ 이다.

그림 2.7의 결과를 보면 급전선의 폭이 약 2.5 mm일 때 특성임피던스, Z_0 가 50 Ω 이 되는 것을 알 수 있다.

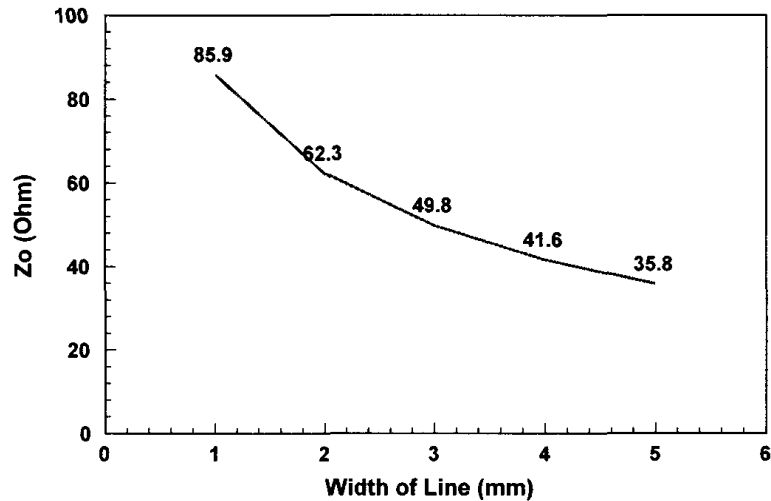
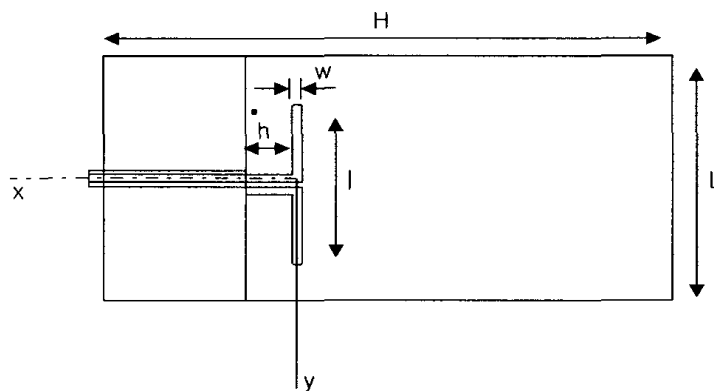


그림 2.7 MSL의 특성임피던스

2.5. 유전체 기판상의 다이폴 안테나

2.5.1. 다이폴 안테나의 구조

그림 2.8은 2.4 GHz 대역의 다이폴 안테나의 구조 및 좌표계를 나타내고 있다. 사용되는 기판의 비유전율(ϵ_r)이 4.6이므로 실효파장은 자유공간상 파장의 약 0.46배가되며 급전선의 구성은 MSL형태에 상측면의 접지면을 보강한 구조를 하고 있다. 따라서 실제 안테나를 제작함에 있어서는 상부접지면과 하부접지면 간에 비어 (Via)를 설치함이 바람직하다.



a) 2.4GHz 다이폴 안테나의 평면도

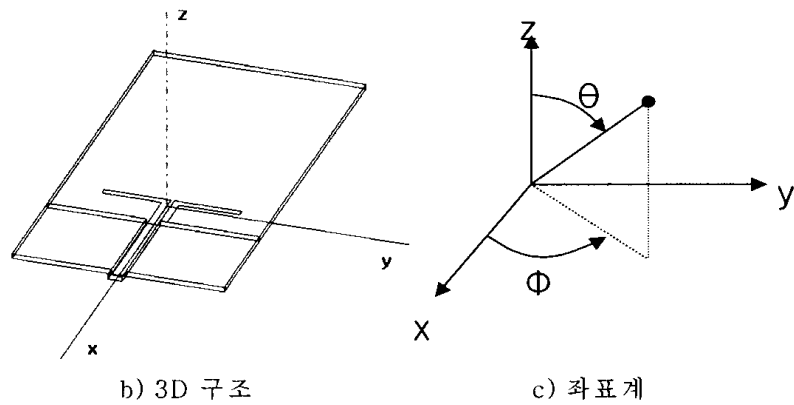


그림 2.8 다이폴 안테나의 구조 및 좌표계

2.5.2. 다이폴 안테나의 특성

그림 2.9는 크기($H \times L$)가 120×60 mm, 두께(d)가 1.6 mm, 비유전율(ϵ_r)이 4.6인 유전체 기판상에 안테나의 길이(l)가 60 mm, 폭(w)이 2 mm인 다이폴 안테나의 입력 임피던스를 계산한 결과를 나타내고 있다. 이때 안테나 및 급전선로를 구성하는 도체는 완전도체로 가정한다. 약 2.3 GHz에 공진이 나타나며 이때의 입력 임피던스는 약 10Ω 정도임을 알 수 있다. 일반적으로 자유공간에서의 반파장 다이폴 안테나의 입력 임피던스는 약 70Ω 정도인데 비해 낮은 값을 나타내고 있으며 이는 접지면 간의 간격(h)에 캐패시턴스 성분이 기생되어 나타나는 현상이라 생각할 수 있다.

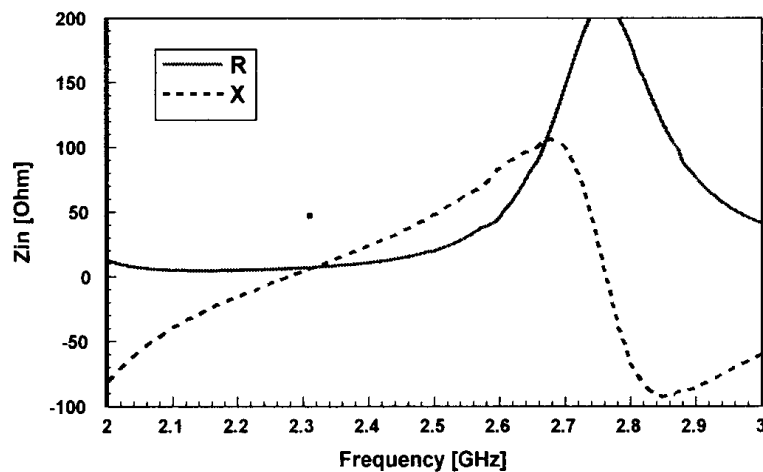
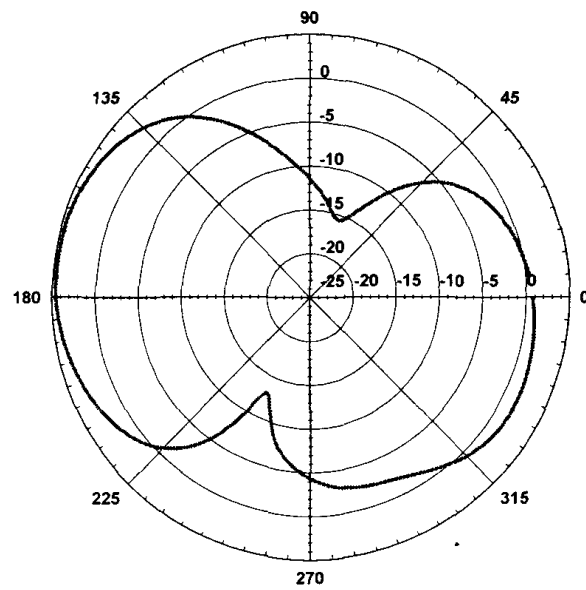
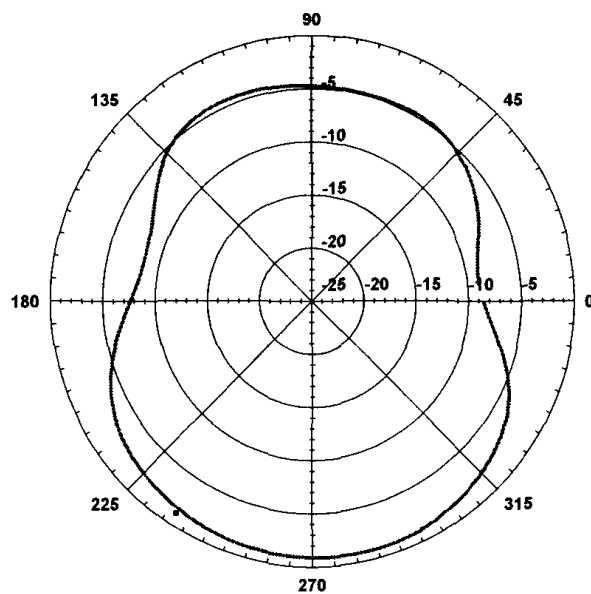


그림 2.9 다이폴 안테나의 입력 임피던스 특성

그림 2.10은 다이폴 안테나의 지향성 특성을 나타내고 있다.



xy 면 ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$)



yz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 2.10 다이폴 안테나의 지향성

Ⅲ. 야기우다 안테나의 설계

3.1. 유전체 기판상의 지향성 안테나

Ⅱ장에서는 안테나를 소형화하는 방법으로 유전체 기판의 단축을 효과를 적용하여 다이폴 안테나를 설계하고 그 특성을 평가해 보았다.

최근 2.4 GHz 대역은 다양한 통신시스템에 이용되고 있으며 특히 소 전력 전송시스템에 널리 활용되고 있다. 이는 2.4 GHz 대역의 사용은 전파법상 이용이 자유로우나 송출되는 전력에 대해서는 엄격히 규제하고 있기 때문이기도 하다. 따라서 이와 같은 소 전력을 효율적으로 전송하는 방법으로는 지향성 안테나의 사용이 필요하다 할 수 있다.

본 장에서는 Ⅱ장에서 검토한 다이폴 안테나를 토대로 대표적인 지향성 안테나인 야기우다(Yagi Uda) 안테나를 설계하고 그 특성을 검토한다. 특히 야기우다 안테나의 경우 급전선부에 포함되는 접지면을 반사기로 이용할 수 있는 방안을 제시하며 시뮬레이션을 통하여 그 타당성을 입증한다.

3.2. 유전체 기판상의 야기우다 안테나

배열 안테나(Array Antenna)는 배열을 구성하는 모든 소자(elements)에 급전을 하여 지향성 안테나를 구성하게 된다. 그러나 야기우다 안테나는 급전된 한 개의 소자 부근에 급전하지 않은 소자를 배열함으로서 지향성 특성을 갖는 안테나를 구성하는 것이 특징이라고 할 수 있다.

일반적으로 야기안테나는 다이폴 급전구조를 가지며 이때의 다이폴은 Ⅱ장에서 언급한 반파장 다이폴 안테나와 동일하다. 따라서 사용주파수와 파장은 반파장 다이폴 안테나와 동일하다.

그림 3.1은 야기우다 안테나의 기본 구성을 나타낸다. 야기우다 안테나는 크게 3부분으로 구성되며 각 부분은 급전소자 또는 공진기(Resonator), 반사기(Reflector), 도파기 또는 유도기(Director)라 불린다. 이와 같은 야기안테나는 유도기의 수가 증가함에 따라 지향성 이득이 증대된다.

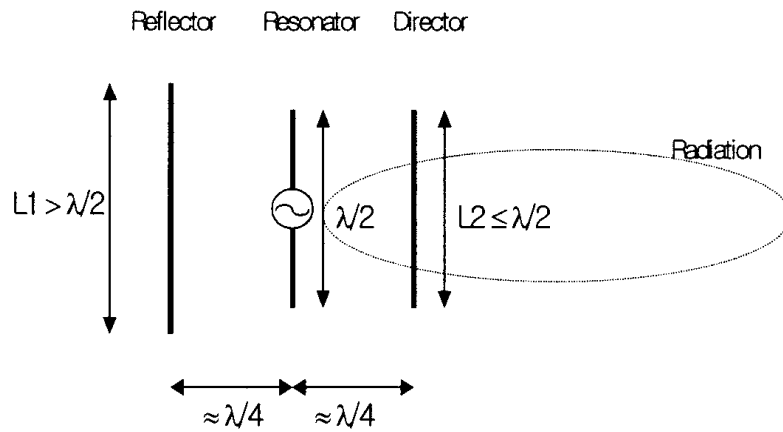


그림 3.1 야기우다 안테나의 구성

3.2.1. 반사기 구조

야기우다 안테나의 반사기는 그림 3.1과 같이 급전부로부터 약 $\lambda/4$ 떨어진 위치에 선상 요소를 설치하는 것으로 구성하나, 그림 3.2와 같이 중앙부에 급전선이 포함되어 일반적인 반사기의 구성이 어렵다. 따라서 본 절에서 제안하는 프린트 안테나의 경우 그림 3.3과 같이 다이폴 안테나의 하부급전선의 접지면을 반사기로 이용하여 접지면의 길이(l)를 조절하여 반사기로 작용하도록 설계한다.

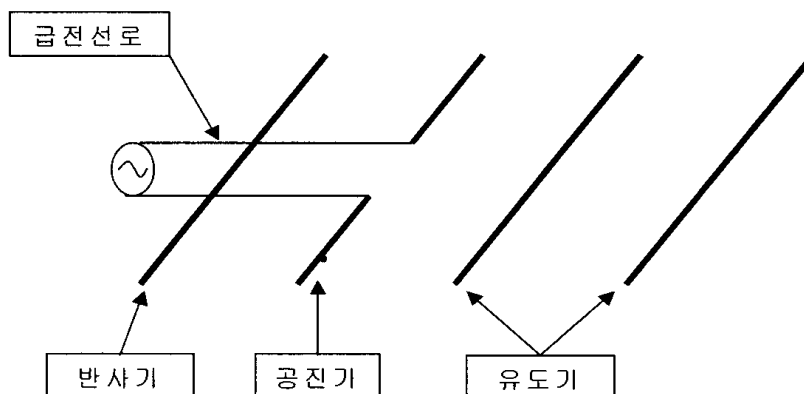


그림 3.2 야기우다 안테나의 일반적인 구성

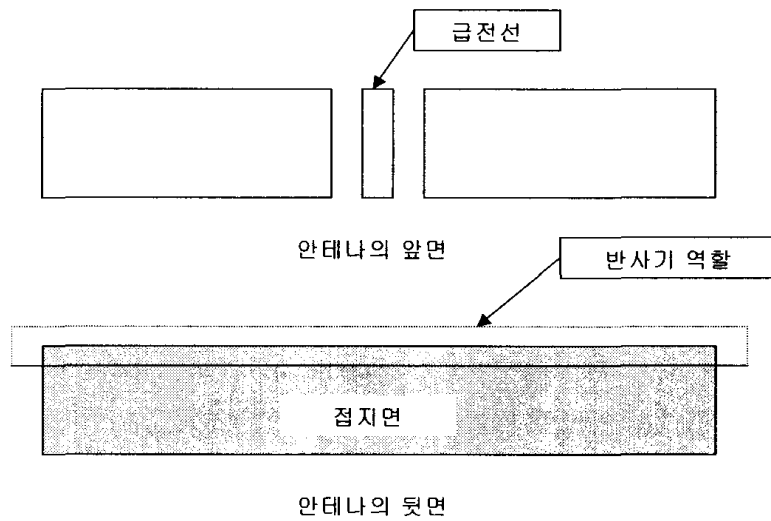
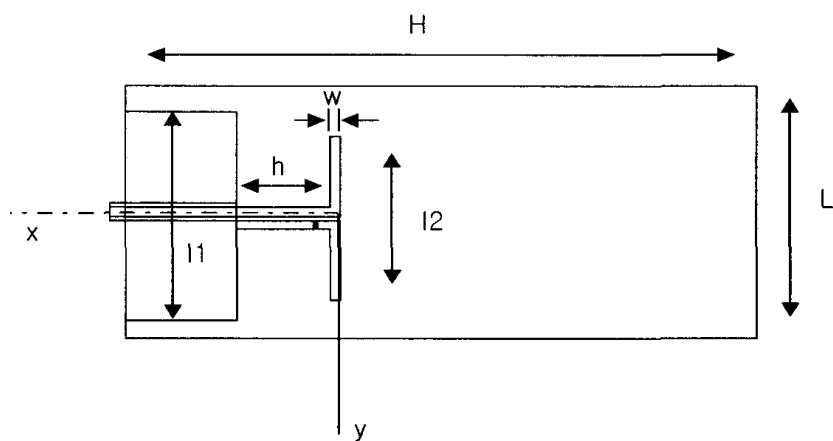


그림 3.3 접지면을 이용한 반사기 구성

그림 3.4는 설계된 야기우다 안테나의 구조 및 좌표계를 나타내고 있다.

그림 3.5는 크기($H \times L$)가 120×60 mm, 두께(d)가 1.6 mm, 비유전율(ϵ_r)이 4.6인 유전체 기판상에 안테나의 길이(l_2)가 39 mm, 폭(w)이 2 mm, 반사기(l_1)이 50 mm, 높이(h)가 18 mm인 다이폴 안테나의 입력 임피던스를 계산한 결과를 나타내고 있다. 이때 안테나 및 급전선로를 구성하는 도체는 완전도체로 가정한다.



a) 2.4GHz 야기 우다 안테나의 평면도

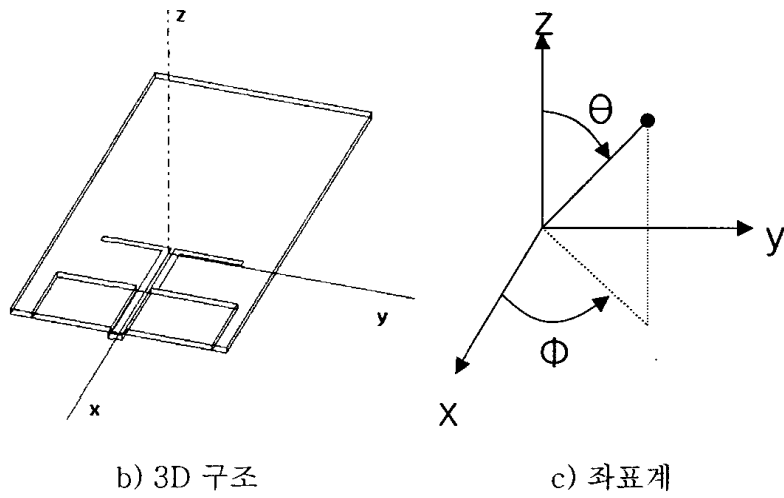


그림 3.4 야기 우다 안테나(반사기)의 구조 및 좌표계

그림 3.5와 3.6은 각각 반파장 다이폴 안테나에 반사기를 설치하였을 때의 입력 임피던스 및 지향성 특성을 나타내고 있다.

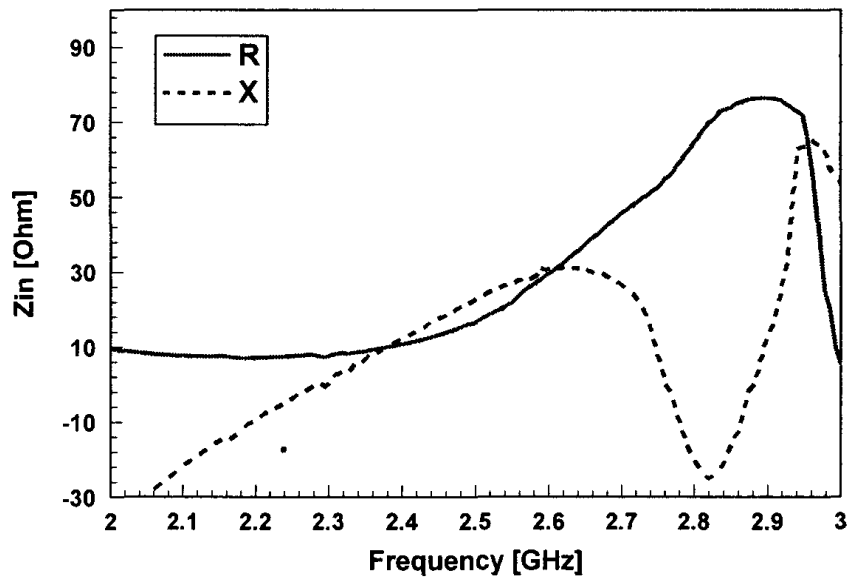
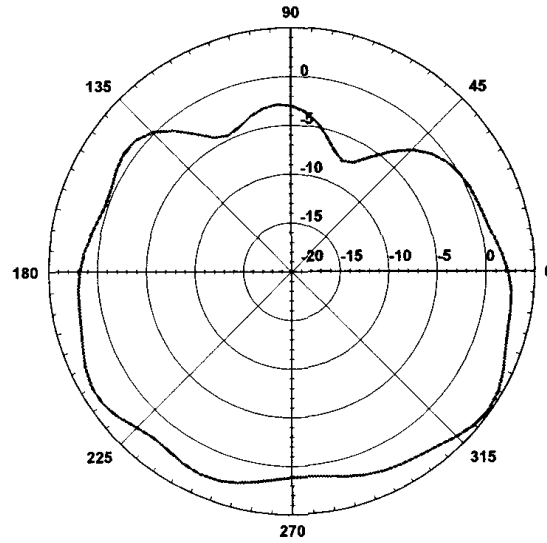
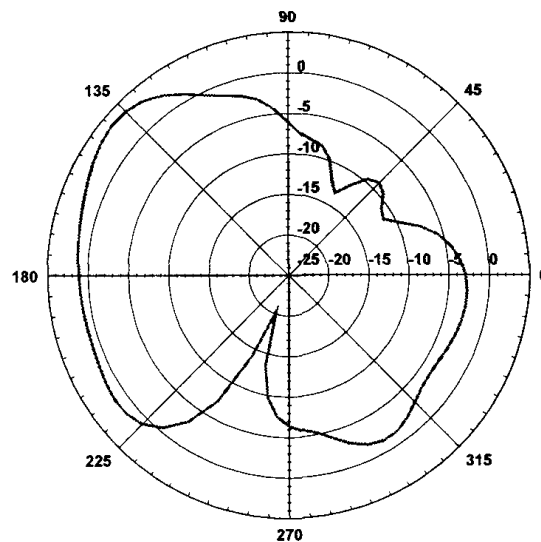


그림 3.5 야기우다 안테나(반사기)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



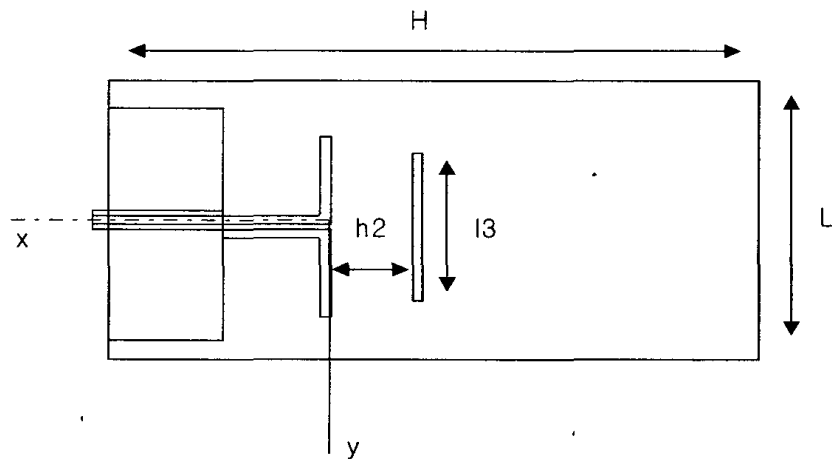
xy 면 ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 3.6 야기우다 안테나(반사기)의 지향성 특성

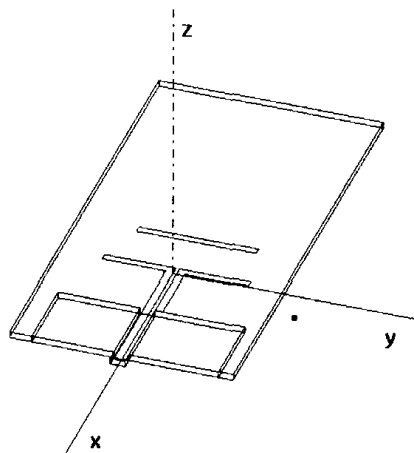
입력 임피던스 특성으로부터 약 2.3 GHz에서 공진함을 알 수 있으며, 반사기가 설치된 방향($\phi = 0^\circ$)으로의 지향성 이득이 안테나의 전면방향($\phi = 90^\circ$)에 비해 약 4 dBi적어짐을 확인할 수 있다.

3.2.2. 유도기 구조

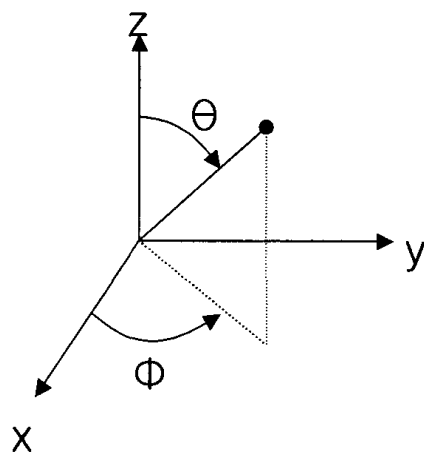
그림 3.7은 반사기를 포함한 반파장 다이폴 안테나의 전면에 유도기를 1개 설치한 기판형 야기우다 안테나의 구조를 나타내고 있다. 이때 급전소자(다이폴 안테나)와 유도기의 간격($h2$)이 사용파장의 약 1/4정도일 때 유도기로서 작용하게 되나 본 안테나의 경우 기판의 영향을 고려하여 간격을 결정할 필요가 있다.



a) 2.4GHz 야기우다 안테나의 평면도



b) 3D 구조



c) 좌표계

그림 3.7 야기우다 안테나(반사기+유도기 1개)의 구조 및 좌표계

그림 3.8과 3.9는 각각 유도기 1개를 포함하는 야기우다 안테나의 입력 임피던스 및 지향성 특성을 나타내고 있다. 이때 유도기의 길이(l_3)는 32 mm, 유도기와 급전소자와의 간격(h_2)은 17.5 mm이다.

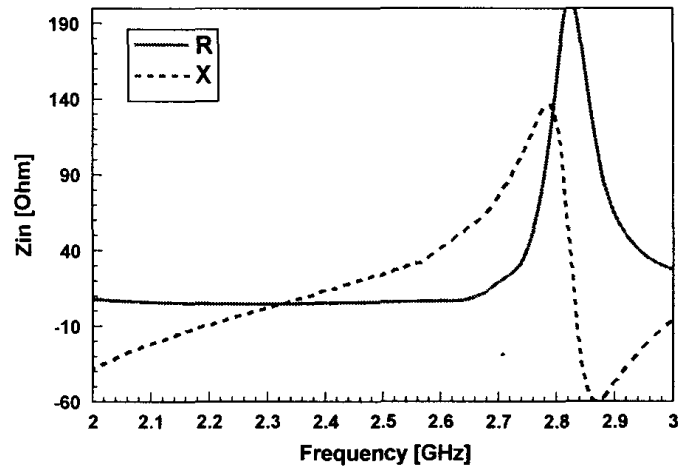
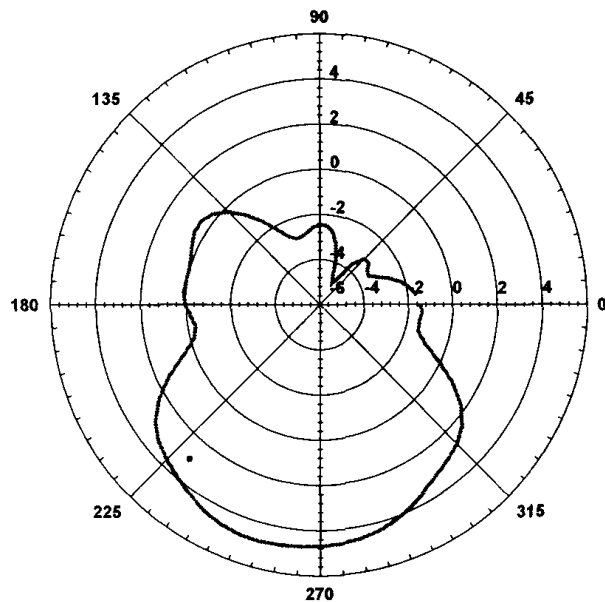
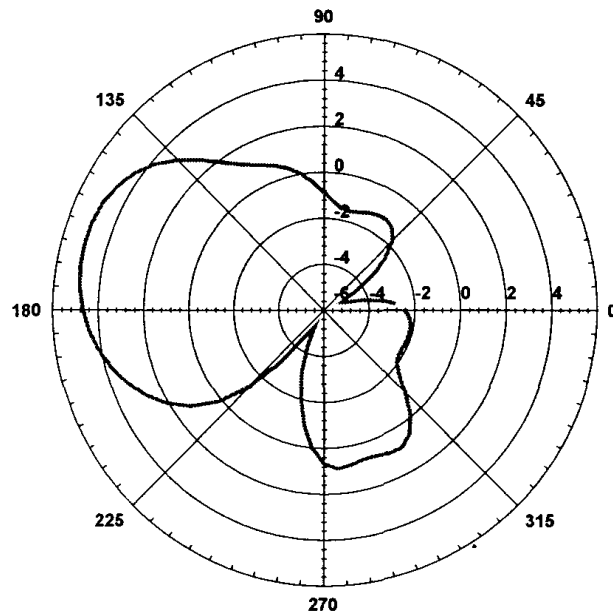


그림 3.8 야기우다 안테나(반사기+유도기 1개)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



yz 면 ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 3.9 야기우다 안테나(반사기+유도기 1개)의 지향성 특성

입력 임피던스 특성으로부터 약 2.3 GHz에서 공진함을 알 수 있으며, 반사기가 설치된 방향($\phi = 0^\circ$)으로의 지향성 특성을 보면 지향성 이득이 안테나의 전면방향($\phi = 90^\circ$)에 비해 약 7 dBi적어짐을 확인할 수 있으며 이는 반사기만 설치한 경우에 비해 최대방향 이득이 약 4 dBi정도 증가됨을 알 수 있다.

3.2.3. 유도기 배열에 따른 안테나 특성

앞 절에서는 기관형 야기우다 안테나에 있어 반사기 및 유도기의 기본설계 구조 및 특성을 검토하였다. 이와 같이 야기우다 안테나는 급전부 주변에 반사기 및 유도기와 같은 요소를 배치시켜 일정한 방향으로 지향성 특성을 갖도록 할 수 있음을 확인할 수 있었다.

본 절에서는 본 논문에서 제안한 기판형 야기우다 안테나에 있어 유도기의 배열 수를 증가시킴에 따른 안테나의 이득의 변화를 검토한다.

그림 3.10은 유도기의 개수를 2개로 하는 구조를 나타내고 있다.

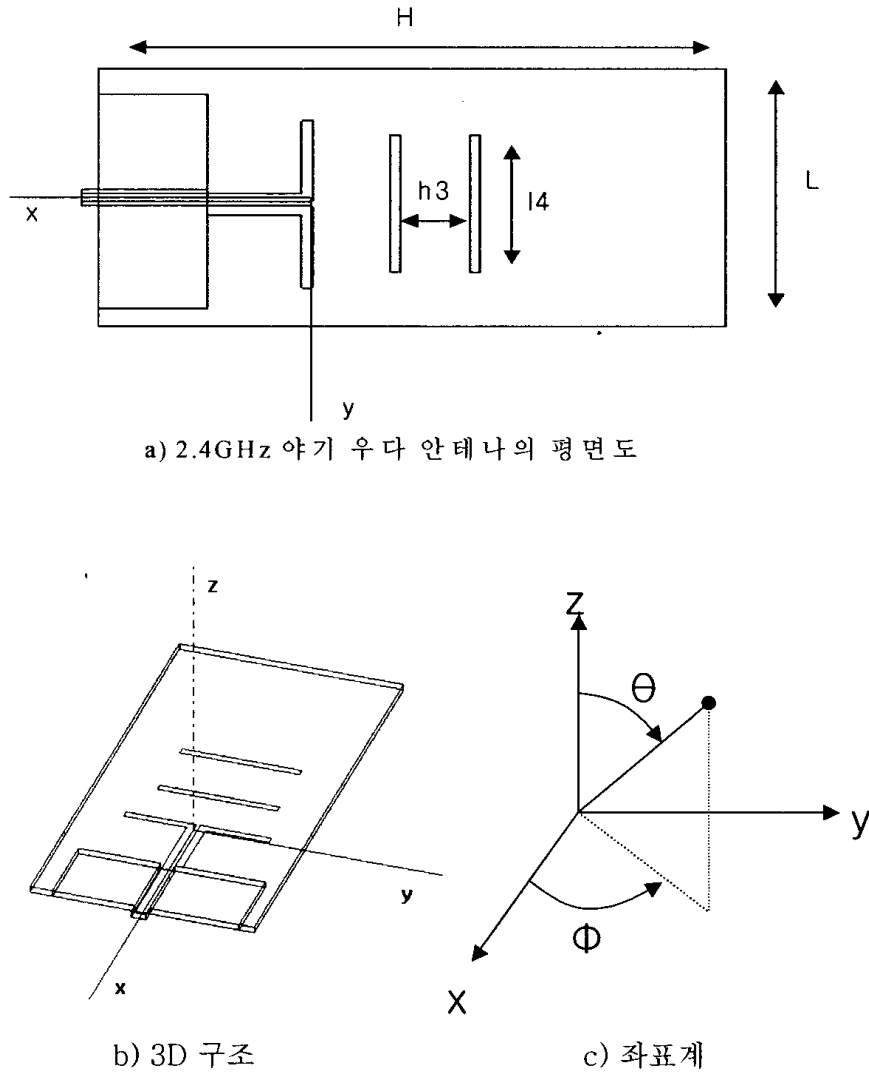


그림 3.10 야기우다 안테나(반사기+유도기 2개)의 구조 및 좌표계

그림 3.11과 3.12는 각각 유도기 2개를 포함하는 야기우다 안테나의 입력 임피던스 및 지향성 특성을 나타내고 있다. 이때 유도기 1의 길이(l_3)는 32 mm, 유도기 1과 급전소자와의 간격(h_2)은 17.5 mm이며, 유도기 2의 길이(l_4)는 32 mm, 유도기 2

와 유도기 1의 간격(h_3)는 16 mm이다.

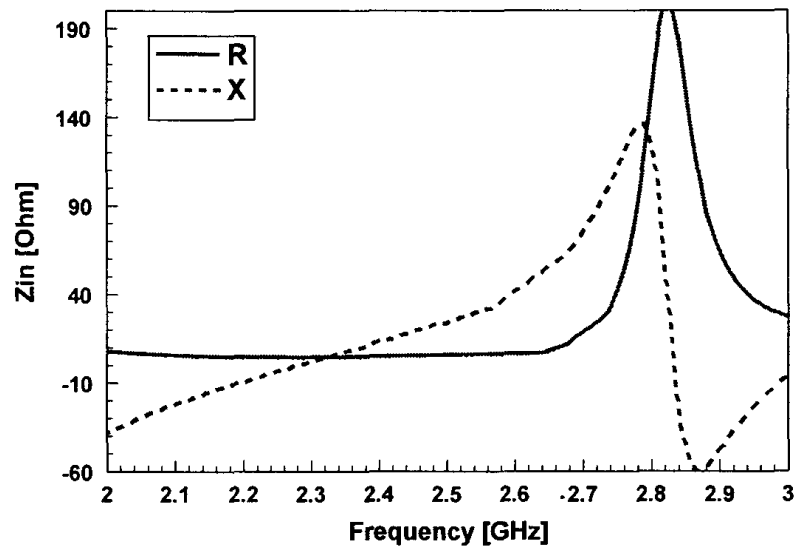
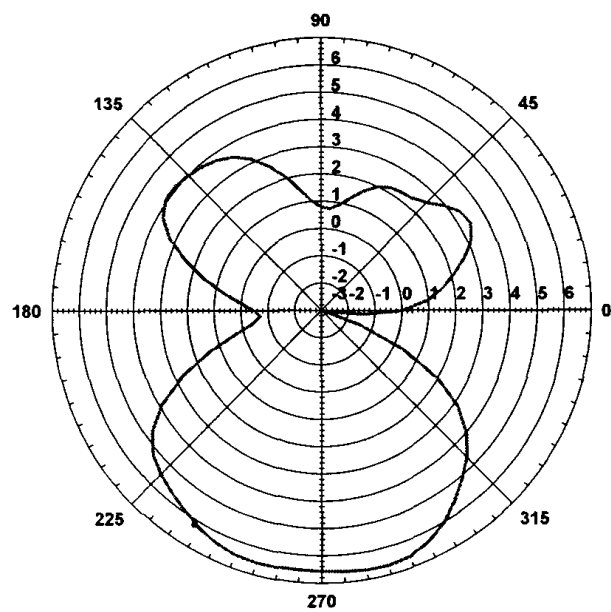
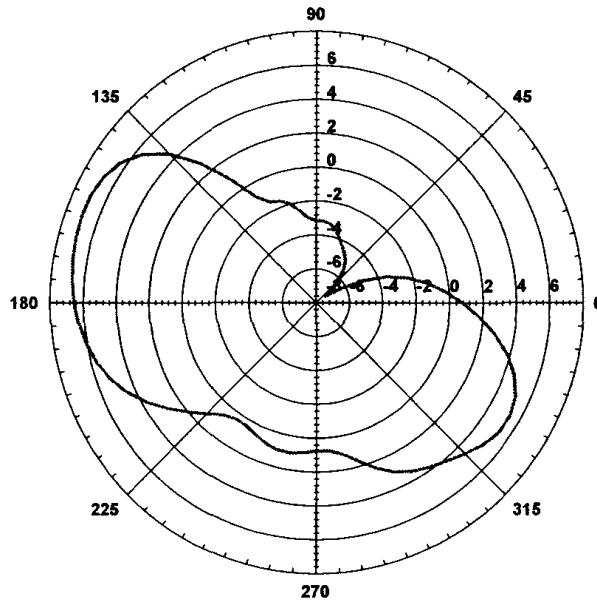


그림 3.11 야기우다 안테나(반사기+유도기 2개)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)

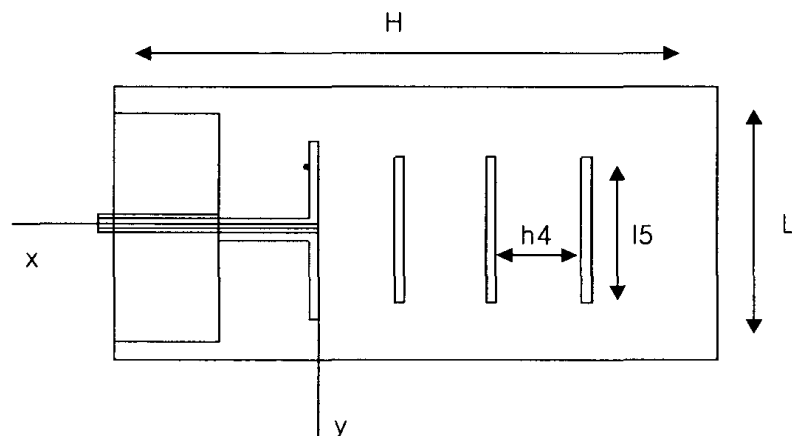


yz 면 ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 3.12 야기우다 안테나(반사기+유도기 2개)의 지향성 특성

입력 임피던스 특성으로부터 안테나의 공진 주파수는 약 2.3 GHz임을 알 수 있으며, 두 개의 유도기가 설치되어 있는 방향($\phi = 0^\circ$)으로의 이득이 약 7 dBi임을 알 수 있다.

다음은 유도기를 한 개 더 추가하여 유도기의 총 개수가 3개인 경우로 그림 3.13에 구조를 나타내고 있다.



a) 2.4GHz 야기 우다 안테나의 평면도

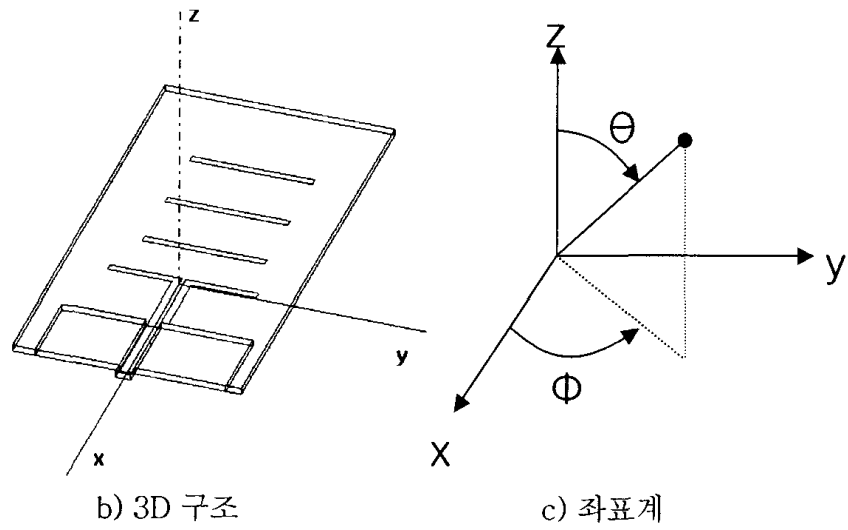


그림 3.13 야기우다 안테나(반사기+유도기 3개)의 구조 및 좌표계

그림 3.14와 3.15는 각각 유도기 3개를 포함하는 야기우다 안테나의 입력 임피던스 및 지향성 특성을 나타내고 있다. 이때 유도기 3의 길이(l_5)는 32 mm, 유도기 2와 유도기 3의 간격(h_4)는 17 mm이며 나머지는 그림 3.10의 구조와 동일하다.

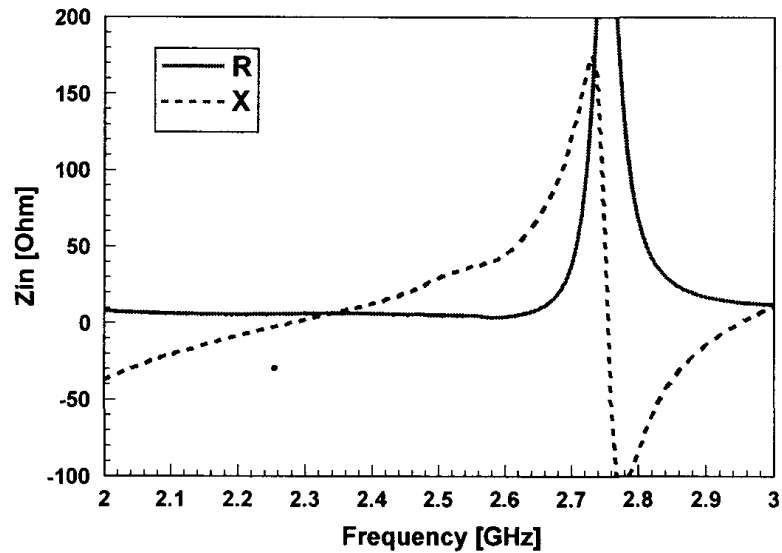
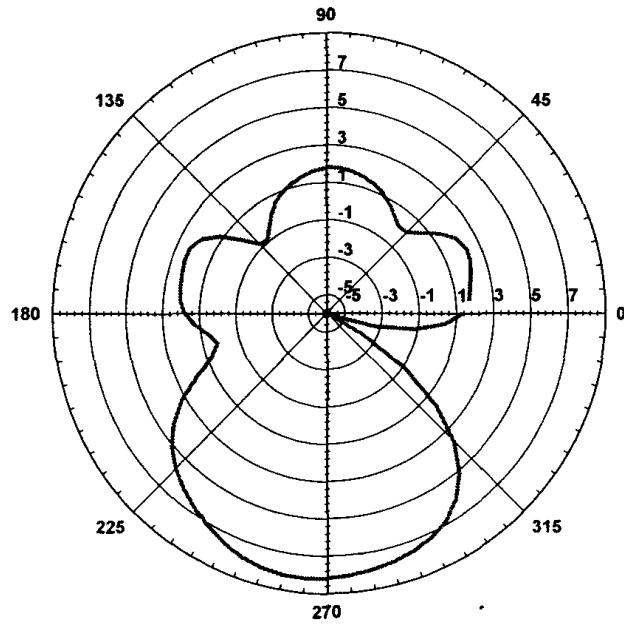
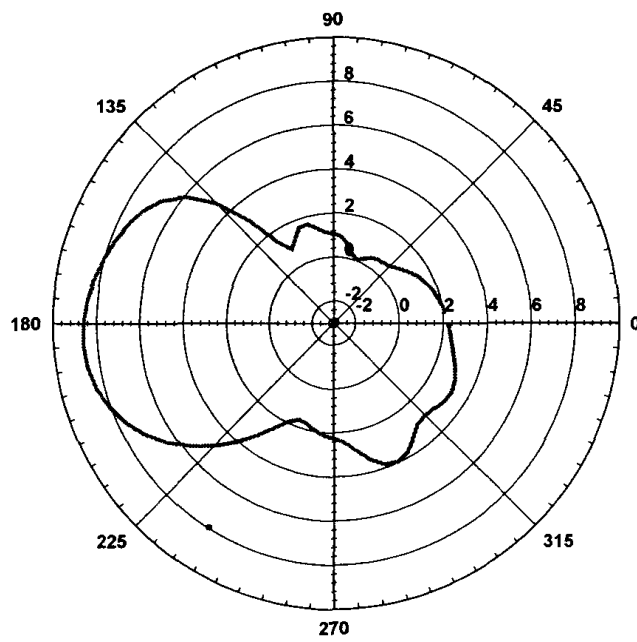


그림 3.14 야기우다 안테나(반사기+유도기 3개)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



yz 면 ($\theta = 90^\circ$, $\phi = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 3.15 야기우다 안테나(반사기+유도기 3개)의 지향성 특성

입력 임피던스 특성으로부터 안테나의 공진 주파수는 약 2.3 GHz임을 알 수 있으며, 두 개의 유도기가 설치되어 있는 방향($\phi = 0^\circ$)으로의 이득이 약 9 dBi임을 알 수 있다.

결국, 유도기의 수를 증가시킴에 따라 안테나의 지향성 이득이 증가됨을 알 수 있으며 그 증가정도는 표 1과 같이 최대방향이득으로 비교된다.

표 1. 유도기의 배열 수에 따른 안테나의 이득

야기안테나의 구성	이 득 (dBi)
반사기	0
반사기 + 유도기(1개)	4
반사기 + 유도기(2개)	7
반사기 + 유도기(3개)	9

IV. 마이크로스트립 안테나의 설계

4.1. 패치 및 급전선 설계

마이크로스트립 배열 안테나는 지향성 안테나를 기판상에 구성하는데 있어 가장 대표적인 안테나로 접지면이 부가된 유전체 기판상에 방형 또는 원형 패치를 구성한다.

그림 4.1은 방형 패치 안테나의 구조를 나타낸다. 이와 같은 패치 안테나의 동작원리는 그림 4.2와 같이 패치의 에지(edge)와 접지면 사이에 발생하는 전계에 의해 전자파가 방사되는데 이는 발생하는 전계를 그림과 같이 등가자류원으로 취급되며 2개의 동일 방향 자류원에 의해 방사가 된다고 볼 수 있다. 패치 안테나는 L 이 약 $1/2$ 파장일 때 공진을 하게 되며 안테나 특성은 기판의 두께, 유전율, 패치의 크기, 급전점의 위치 등에 따라 변화한다.

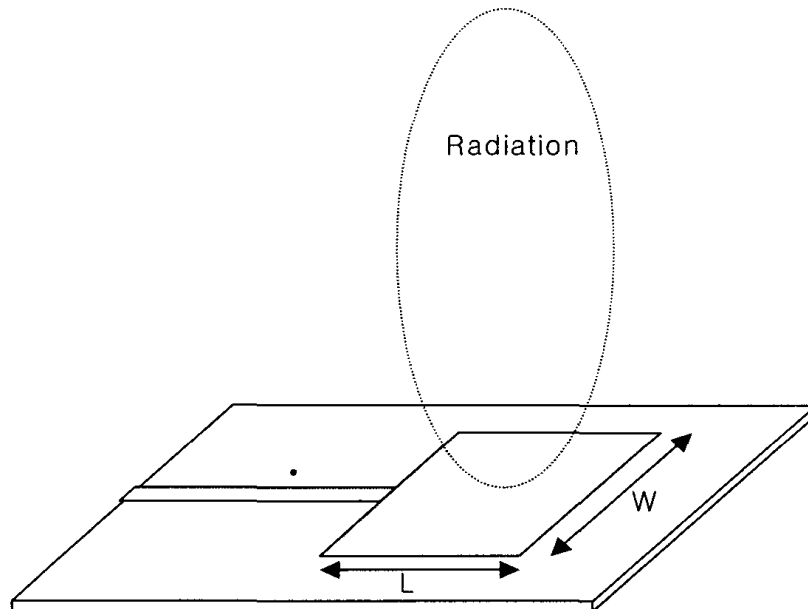


그림 4.1 방형 패치 안테나의 구조

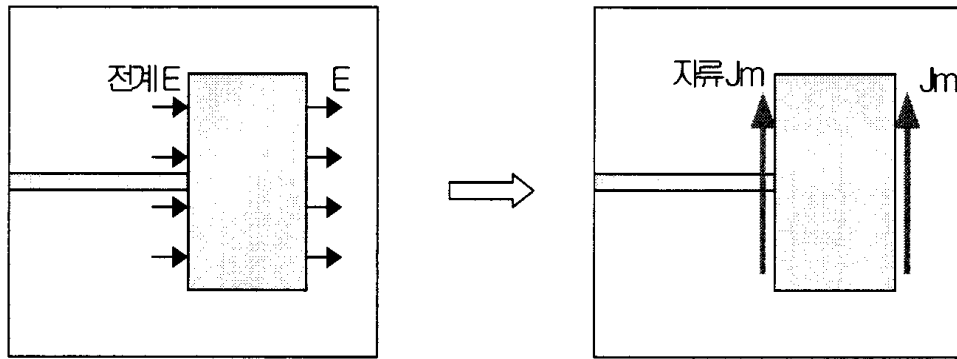


그림 4.2 패치 안테나의 등가자류원

본 절에서는 비유전율(ϵ_r)이 4.6, 두께가 1.6 mm인 기판상에 방형 패치를 구성하였으며 패치의 크기는 2.45 GHz에 공진 하도록 결정한다. 한편, 패치 안테나의 입력 임피던스가 상당히 높아 그림 4.3과 같이 급전선(MSL)에 테이퍼(Taper)를 사용하여 임피던스 정합을 한다. 이와 같은 임피던스 정합은 II장에서 검토한 MSL의 특성 임피던스 계산 결과(그림 2.7)를 참조한다.

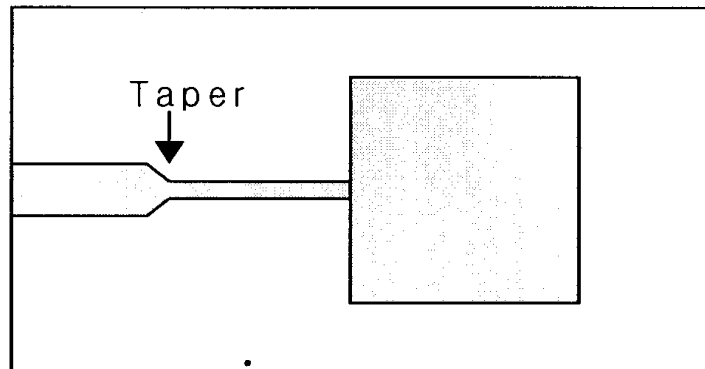
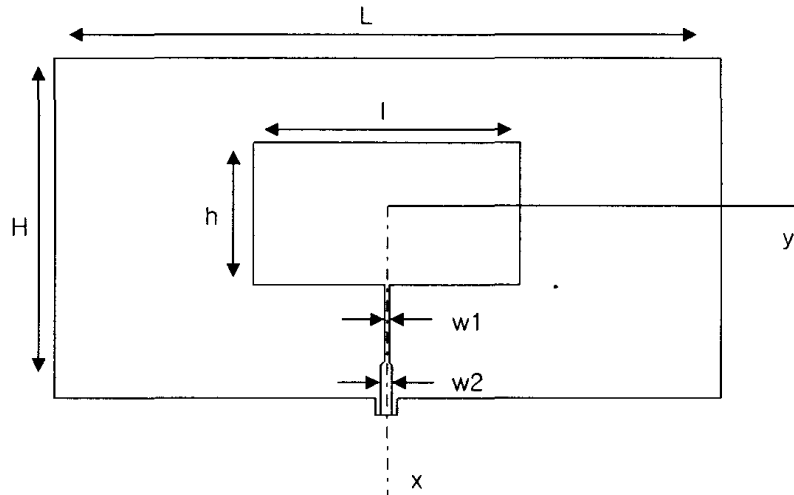


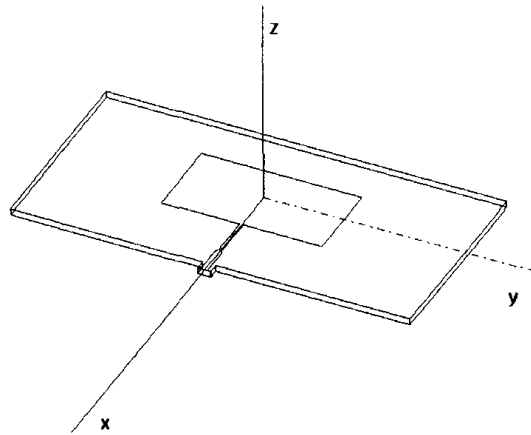
그림 4.3 테이퍼(Taper)를 이용한 선로간의 임피던스 정합

그림 4.4는 2.4 GHz 대역의 단일 패치의 구조를 나타내고 있다. 패치의 크기는 유전체 기판의 크기와 유전율을 고려하여 2.4 GHz에서 공진하도록 결정한다^[12]. 그림

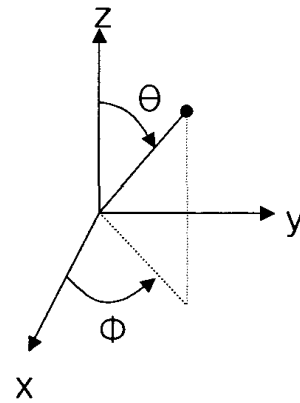
4.5는 기판의 크기($H \times L$)가 60 mm×120 mm인 기판상에 패치의 크기가 25 mm×48 mm($h \times l$)이며 급전선의 폭 (w_1)은 1 mm, 급전선의 폭(w_2)은 2 mm인 경우의 입력 임피던스 특성을 나타내고있다. 약 2.45 GHz에서 공진이 나타나며 공진점에서의 입력 임피던스는 약 50 Ω 으로 테이퍼에 의한 정합이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.



a) 2.4GHz 마이크로스트립 안테나의 평면도



b) 3D 구조



c) 좌표계

그림 4.4 마이크로스트립 안테나(패치 1개)의 구조 및 좌표계

그림 4.6은 공진 주파수에서의 지향성 특성을 나타내고 있다. 패치의 후면으로의 방사는 거의 없으며 패치의 전면방향(z 방향)으로의 안테나 이득이 약 6 dBi임을 알 수 있다.

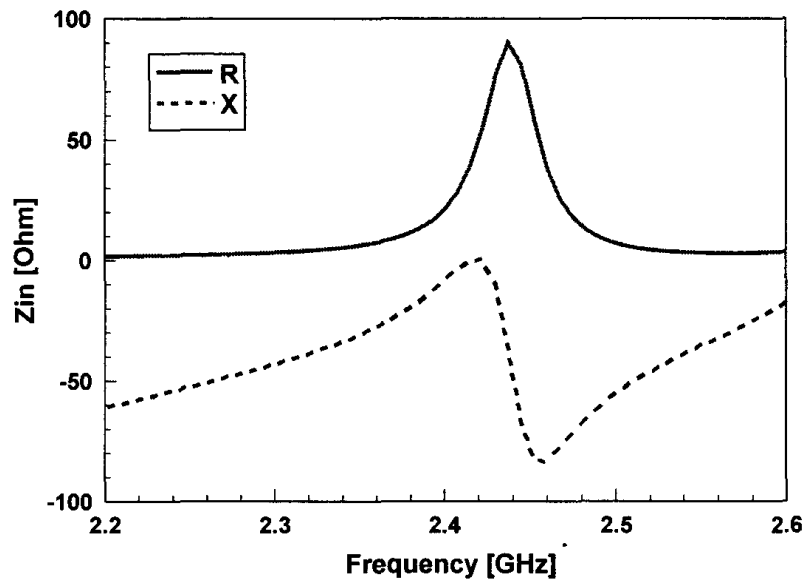
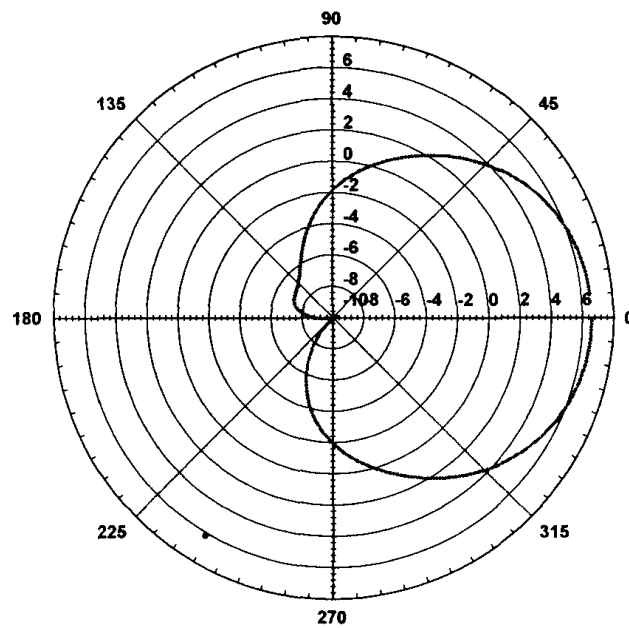
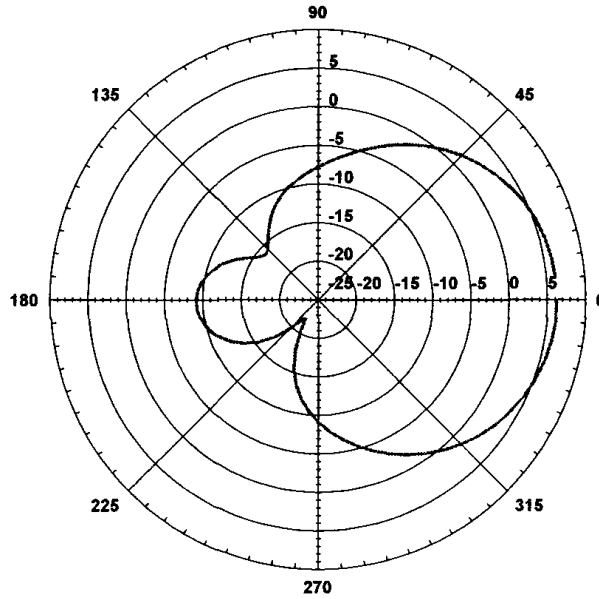


그림 4.5 마이크로스트립 안테나(패치 1개)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



yz 면 ($\phi = 90^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 4.6 마이크로스트립 안테나(패치 1개)의 지향성 특성

4.2. 마이크로스트립 배열 안테나

4.2.1. 2소자 배열 안테나

앞 절에서는 2.4 GHz 대역에 사용되는 마이크로스트립 안테나의 패치의 크기와 임피던스 정합을 고려한 급전선의 구조를 알아보았다. 마이크로 스트립 안테나에 있어 안테나의 이득 증가는 패치의 배열 수를 늘려 해결할 수 있으며 이때 안테나로부터 방사되는 빔의 형태는 그림 4.7과 같은 형태로 나타난다.

본 절에서는 이와 같은 패치의 배열에 따른 안테나의 특성을 해석하고 이득의 변화를 비교하여 본다.

그림 4.8은 2개의 패치의 배열한 구조로 각 패치의 크기는 그림 4.4와 동일하다.

그림 4.9는 두 패치간의 간격(l_2)가 118 mm이며 급전선의 폭 (w_2)이 2 mm, 급전선의 폭(w_3)이 4 mm일 때의 입력 임피던스 특성을 나타내고 있다.

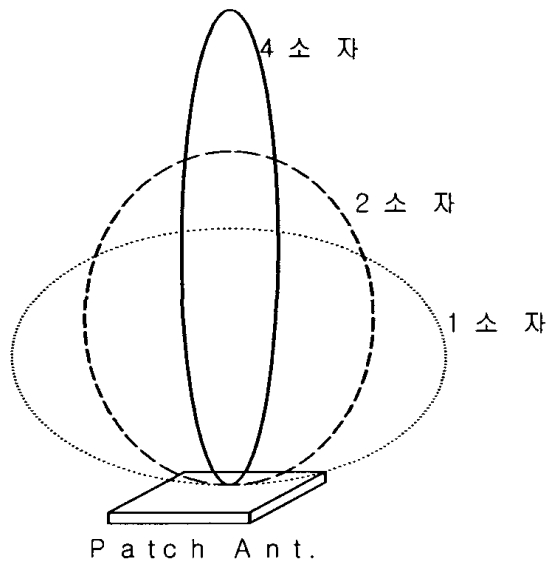
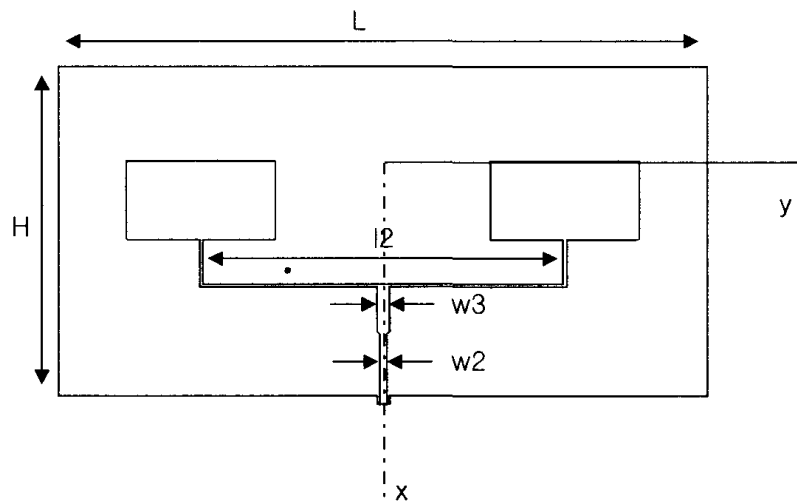


그림 4.7 패치의 배열 수에 따른 방사형태

또한 그림 4.10은 공진 주파수 2.45 GHz에서의 지향성 특성을 나타내고 있으며 최대 방향으로의 안테나 이득이 약 9 dBi로 패치가 하나일 때 보다 약 3 dBi커짐을 알 수 있다.



a) 2.4GHz 마이크로스트립 안테나의 평면도

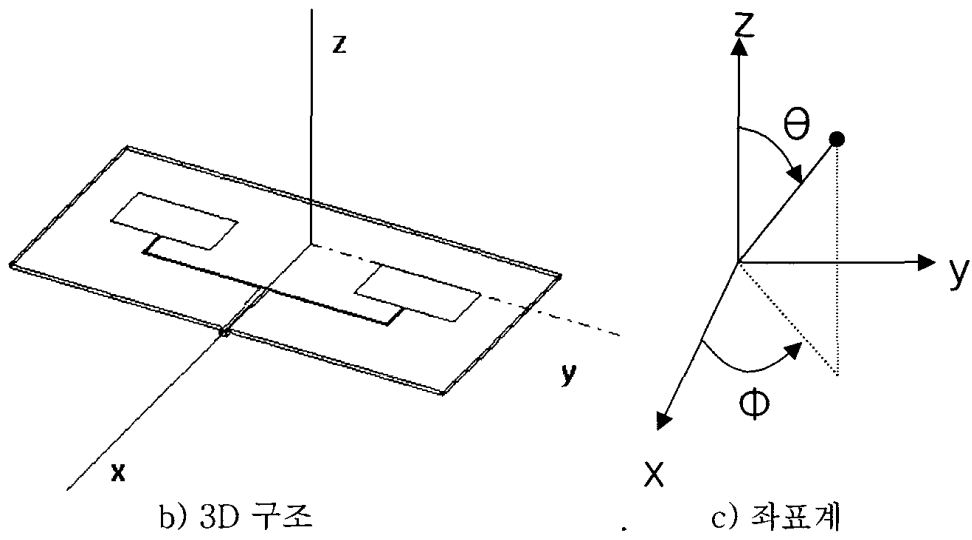


그림 4.8 마이크로스트립 안테나(패치 2개)의 구조 및 좌표계

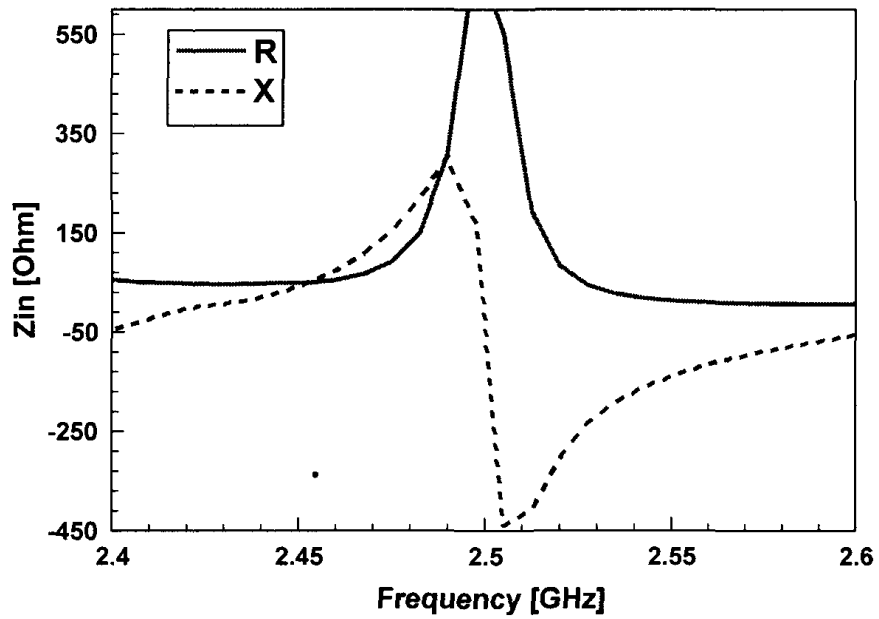
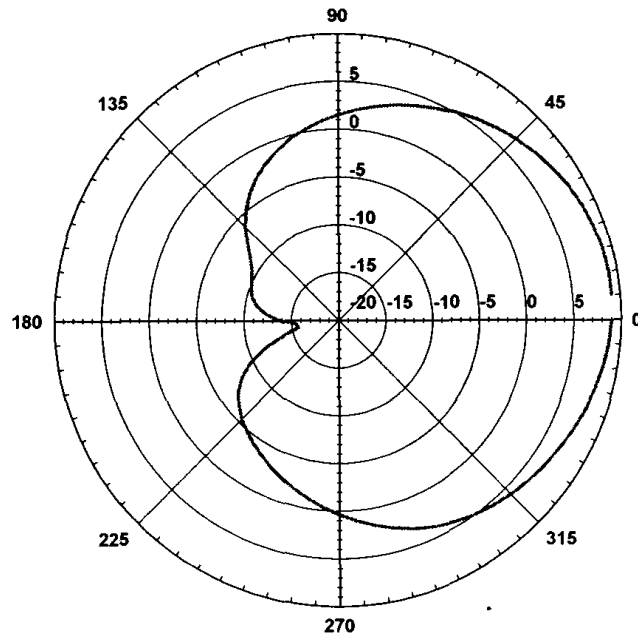
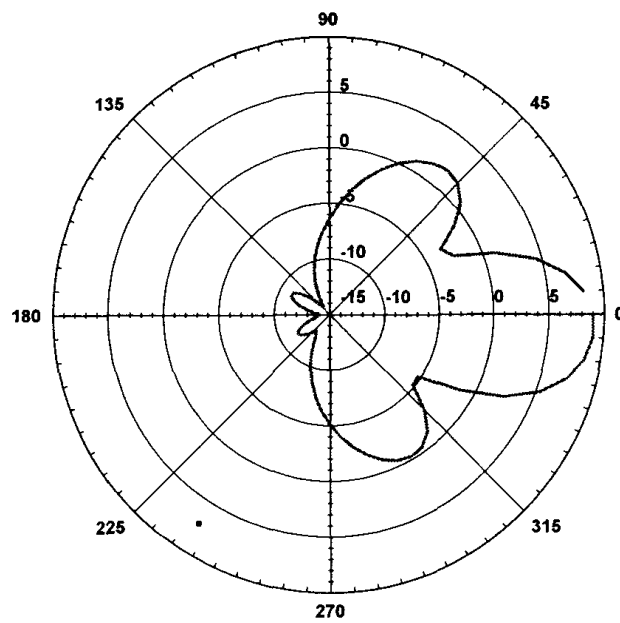


그림 4.9 마이크로스트립 안테나(패치 2개)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



yz 면 ($\phi = 90^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 4.10 마이크로스트립 안테나(패치 2개)의 지향성 특성

4.2.2. 4소자 배열 안테나

그림 4.11은 패치의 수를 4개로 한 경우의 배열 구조 및 좌표계를 나타내고 있다.

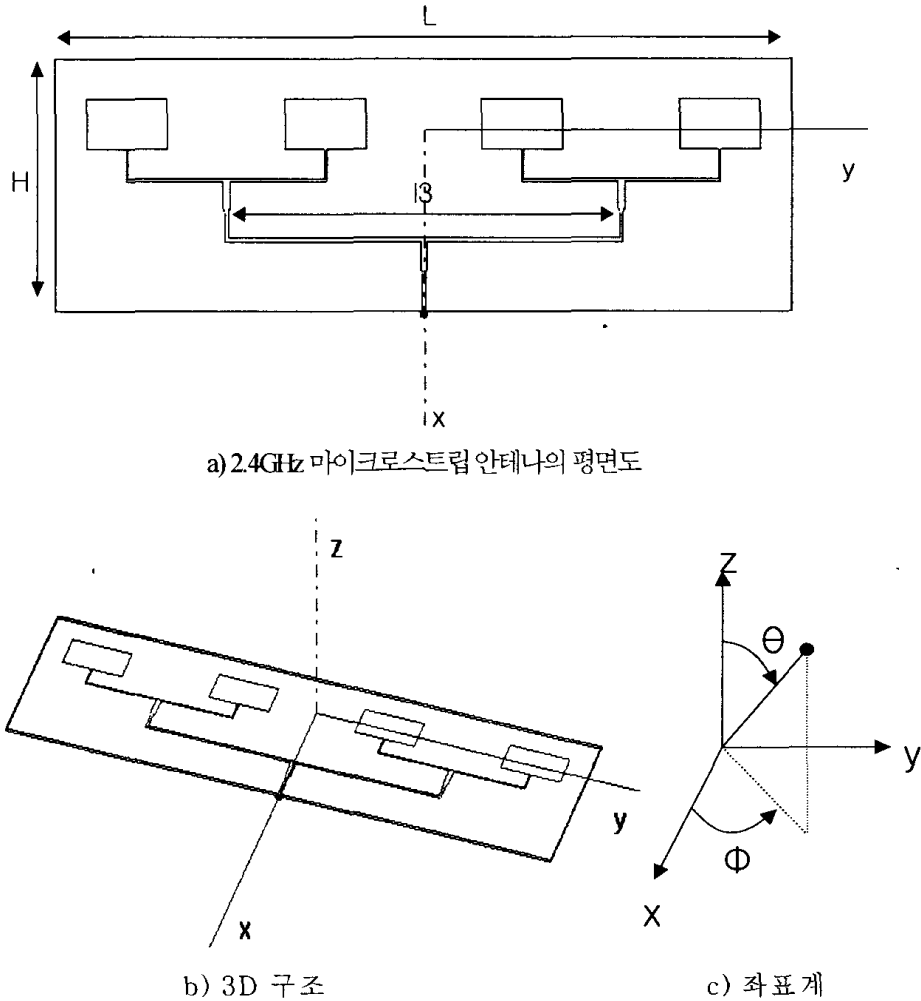


그림 4.11 마이크로스트립 안테나(패치 4개)의 구조 및 좌표계

각각의 패치 크기는 동일하며 급전 중앙부로부터 좌우 2개씩의 패치를 배치한다. 그림 4.12와 4.13은 이들 패치간의 간격(l_3)을 234 mm로 했을 때의 입력 임피던스와 지향성 특성을 나타내고 있다. 공진 주파수 2.45 GHz에서의 최대방향 안테나 이득은 약 11 dBi로 2개의 패치보다 약 2 dBi정도밖에 증가되지 않았으나 이것은 입

력 임피던스 값이 공진점에서 약 35 Ω 으로 정합이 완전하지 못했음이 원인이라 할 수 있다.

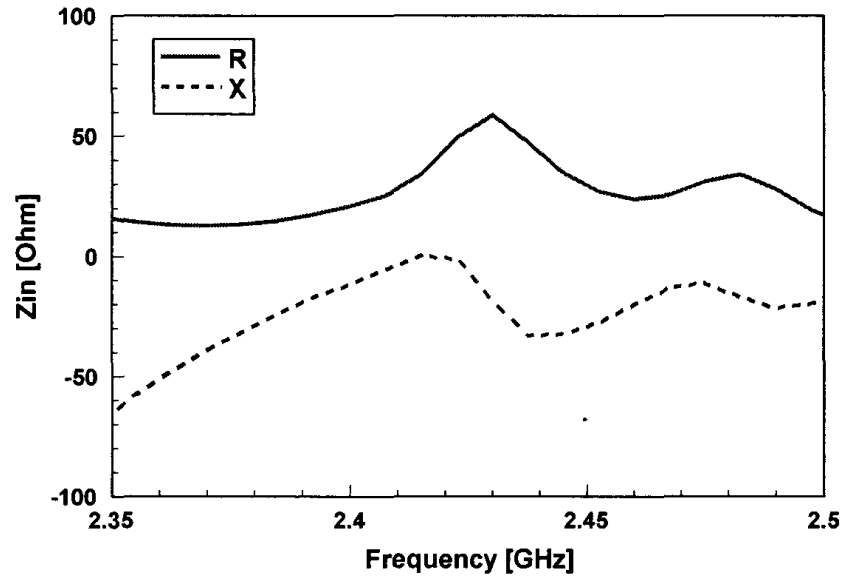
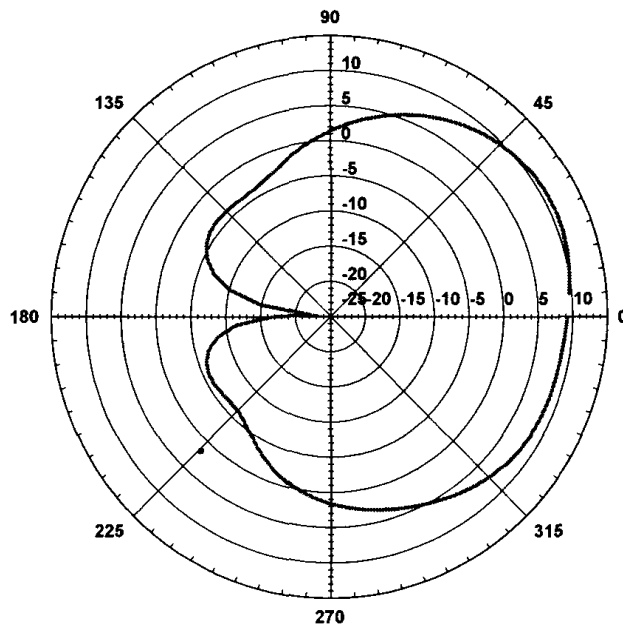
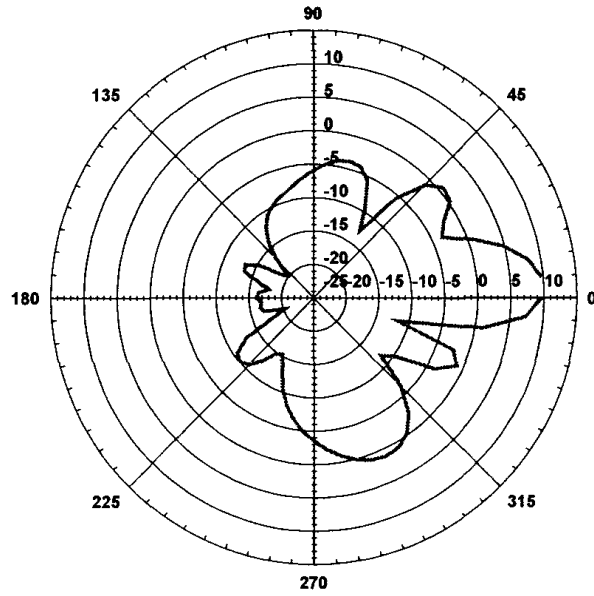


그림 4.12 마이크로스트립 안테나(패치 4개)의 입력 임피던스 특성



xz 면 ($\phi = 0^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



yz 면 ($\phi = 90^\circ$, $\theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 4.13 마이크로스트립 안테나(패치 4개)의 지향성 특성

이상 설계한 2.4 GHz 대역 마이크로스트립 안테나에 있어 패치의 배열 수를 증가 시킴에 따라 안테나의 지향성 이득이 증가됨을 알 수 있으며 그 증가 정도는 표 2 와 같이 최대방향이득으로 비교된다.

표 2. 패치의 배열 수에 따른 안테나의 이득

소자 수(Patch의 수)	이득(dBi)
1	6.2
2	9.2
4	11.3

V. 결 론

본 논문에서는 빠르게 변해 가는 정보통신 시대의 요구를 충족시키기 위해 2.4 GHz 대역에 활용 가능한 지향성 안테나에 대한 연구를 수행하였다. 특히, 무선단말기의 소형화 요구에 따른 안테나의 소형화를 구현하는 방법으로 프린트 안테나의 장점을 충분히 활용, 유전체 기판상에 안테나를 구성하였다. 그러나 이와 같이 유전체 기판이 포함되는 안테나의 설계 및 해석은 매질의 특성이 안테나에 많은 영향을 미치게 되어 자유공간상의 안테나 특성과는 커다란 차이가 있으며 해석법 또한 상당히 복잡하여 막대한 계산시간과 비용이 소요된다. 본 논문에서는 이와 같은 안테나의 엄밀한 해석보다는 안테나의 동작특성을 간단히 해석하는데 널리 사용되는 상용 시뮬레이션 툴(HFSS)을 사용하여 안테나의 설계를 수행하였다.

프린트안테나에 있어 사용되는 기판의 구조 및 유전율은 안테나의 실효장을 결정하는 중요한 파라미터로, 본 논문에서는 안테나의 기본구조라 할 수 있는 다이폴 안테나에 대한 각 파라미터의 변화에 따른 단축율을 계산하였으며, 이들 데이터는 다양한 프린트안테나의 설계에 유용할 것으로 기대된다. 한편, 프린트안테나의 경우 기판상에 안테나를 구성하게 되므로 급전방법이 제한되어있어 본 논문에서는 마이크로스트립라인(MSL)형태의 급전선 구조를 채택하여 요구되는 특성임피던스에 적합하도록 파라미터를 결정하였으며, 구체적으로 FR4 재질($\epsilon_r=4.6$)의 두께가 1.6 mm 인 기판의 경우선로의 폭이 2.5 mm일 때 약 50 Ω 의 특성 임피던스를 나타낸다.

프린트형 지향성 안테나의 설계에 앞서 본 논문에서 도입한 시뮬레이션기법의 타당성을 살펴보기 위해 급전선로를 포함하는 다이폴 안테나의 특성을 시뮬레이션 해 본 결과, 다이폴의 실효장은 자유공간상 파장의 약 0.46 배가 되었으며 방사 특성은 자유공간상 다이폴 안테나의 특성과 유사함을 알 수 있었다. 단, 공진점에서의 입력 임피던스 값이 약 10 Ω 정도로 작은 값으로 나타났으나 이는 급전선의 접지면과 다이폴의 간격이 충분하지 못해 캐패시턴스 성분이 기생되어 나타난 결과라 할 수 있다.

2.4 GHz 대역 지향성 안테나를 구현하는 방법으로 우선 유전체 기판상의 야기우다 안테나를 설계하고 그 특성을 검토해 보았다.

일반적인 야기우다 안테나의 구성은 급전부의 후면에 반사기를 설치하고 급전부의 전면에 유도기를 설치하여 안테나의 전면으로 전파가 방사되도록 되어있다. 그러나 이와 같은 야기우다 안테나를 평면 기판상에 구성하는데 있어 급전선이 반사기를 통과하게 되어 반사기로서 충분한 역할을 할 수 없게 된다. 그러나 본 논문에서 제안한 프린트 안테나는 접지면의 일부를 반사기로 사용하는 구조로 동일한 기판상에 급전선을 포함하여도 야기우다 안테나특성이 나타나도록 설계하였다. 또한, 유도기수의 증가에 따른 안테나 이득변화특성을 살펴본 결과 유도기수가 한 개씩 증가됨에 따라 최대방사방향의 이득은 최대 3dB정도까지 향상됨을 알 수 있었다.

끝으로 마이크로스트립 구조의 지향성 안테나를 설계, 그 특성을 비교검토 해보았다. 마이크로스트립안테나 패치의 크기는 기판의 유전율을 고려, 2.4 GHz에 공진하도록 25 mm× 48 mm로 하였으며 급전부의 임피던스 정합을 위해 급전선로부에 테이퍼(Taper)를 이용, 입력 임피던스 값이 거의 50 Ω 이 되도록 설계하였다. 또한, 패치의 배열에 있어서는 각 패치간의 간격이 약 1파장(실효파장)이 되도록 하였으며, 패치의 배열수가 증가함에 따라 안테나의 지향성 이득을 살펴본 결과 4개의 패치 배열의 경우 1개의 패치에 비해 약 5dB의 이득 증대가 나타났다.

향후 과제로는 설계된 안테나를 제작하여 실제 무선 통신환경에서 실험하고 보다 많은 실험적 연구를 토대로 용도에 맞는 안테나를 설계하고 제작하여야 할 것이다.

[참고 문헌]

- [1] *Specification of the Bluetooth System*, Version 1.0 Draft Foundation, www.Bluetooth.com.
- [2] S. Sampei, *Applications of Digital Wireless Technologies to Global Wireless Communications*, Prentice Hall, NJ, USA.
- [3] K. R. Carver and J. W. Mink, "Microstrip antenna technology", IEEE Trans. Antenna & Propagat., Vol. AP-29, pp.2-24, Jan. 1981.
- [4] 羽石, 小形, 平面안테나, (日)電子情報通信學會編.
- [5] J. H. Hwang and K. Sawaya, "Radiation characteristics of dipole antenna on dielectric substrate", IEICE General Conference, B-1-90, 1997.
- [6] I. J. Bahl, *Microstrip Antennas*, Artech House, 1982.
- [7] J. H. Richmond and E. H. Newman, " Dielectric coated wire antennas", Radio Science, Vol. 11, No1, pp .13 - 20, Jan. 1976.
- [8] I. E. Rana and N. G. Alexopoulos, "Current Distribution and Input Impedance of Printed Dipoles", IEEE Trans. AP., Vol.29, No.1, pp. 99 -105 Jan. 1981..
- [9] S. Uda and Y. Mushiake, *Yagi-Uda Antenna*, Maruzen, Japan, 1954.
- [10] J. R. James and P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, IEE Electromagnetic Wave Series, Vol.28, 1989
- [11] D. M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addison Wesley, 1990.
- [12] 한재봉 외, "휴대 단말기의 GPS수신 RF시스템", 제6회 NCS학술대회, 2002.12

Design of Small Printed Antenna for 2.4 GHz Band

Han, Jae Bong

Department of Computer and Electronic Engineering

The Graduate School, Kyongju University

(Supervised by professor Hwang, Jae ho)

(Abstract)

Antennas are base component in any electronic system that uses free space electromagnetic wave transmission for communications. However, antennas can have very difference configurations and characteristics, depending on the purpose for which they are used and the frequency band for which they are designed.

This paper presents analysis and design for various printed antennas for 2.4 GHz band. For the miniaturization of the antennas, dielectric substrate ($\epsilon_r=4.6$) and planar line structure are used. So in this paper, treats of basic antenna (dipole) and directivity antennas(Yagi-Uda, Microstrip). The proposed whole antennas are simulated using HFSS.

The results of the simulation are presented and compared with characteristics of each antenna.

Especial, the proposed antennas can be applied to the design of various communication systems for 2.4 GHz band.

감사의 글

직장과 학교를 오가며 남들보다 뒤쳐지지 않으려 노력도 하고, 현실에 안주하지 않으려고 좀더 나이가 먹기전에 공부를 더해 보고 싶어서 대학원을 선택했는데 역시 현실의 벽에 부딪혀서 대학원 시작할 때에 마음가짐은 학기가 지날수록 멀어지고 대충대충 하루 하루를 지내다 벌써 졸업을 눈앞에 두고 아쉬움이 많이 남는다.

이제 막바지에 와서 조금 감을 잡아가는 듯한데 끝이라니 새로운 것을 더 찾아야 한다는 것은 당분간 나에게 없을 듯한데

그 동안 아낌없이 지도해주신 황재호 교수님, 권수근 교수님, 김철수 교수님, 김기석 교수님, 김재원 교수님, 조무호 교수님, 임찬호 교수님, 염정덕 교수님, 정영철 교수님, 김현철 교수님 등 여러 교수님들께 감사의 말을 드립니다.

회사에서 같이 일하며 여러모로 배려해 주신 선배님, 후배님들과 같이 운동하며 클럽 활동하는 수일이형 가족, 영규 형 가족, 클럽 식구들 모두 감사드립니다

마지막으로 하나님께 감사 돌리며, 항상 가슴속에는 사랑하는 나의 부모님, 현주, 성협이, 동생(분옥) 이렇게 가족들이 있습니다.

앞으로도 영원히 사랑하는 가족들과 함께 행복하길.....

모든 가정에 건강과 행복이 가득하길 바랍니다.

사랑합니다. 행복하세요.