

유한요소법을 이용한 패치안테나의 설계에 관한 연구[†]

(Design of Patch Antennas using FEM)

한재봉*, 황재호**
(Jae-Bong Han, Jae-Ho Hwang)

요약 본 논문은 2.4 GHz 대역에 있어 지향성 이득이 큰 마이크로스트립 안테나를 유한요소법을 이용하여 설계하고 그 특성을 해석한다. 안테나의 소형화를 위하여 유전율이 높은($\epsilon_r=4.6$) 기판을 사용하며, 패치의 구조는 방형으로 한다. 또한 안테나의 특성 해석은 상용 툴인 HFSS를 사용한 다. 설계한 마이크로스트립 안테나의 특성을 살펴보면 공진주파수 2.45 GHz 에서 입력 임피던스는 약 50 Ω 으로 별도의 정합회로가 필요치 않으며, 1개의 패치인 경우 안테나의 이득은 약 6.2 dBi이고, 패치의 배열에 따라 이득의 증대가 나타났다. 제시된 패치의 배열에 따른 이득의 변화는 2.4 GHz 대역 통신시스템의 용도에 따른 안테나의 적절한 선택기준이 될 수 있다.

핵심 주제어 : 마이크로스트립 안테나, 배열 안테나, 유한요소법, 지향성이득

Abstract This paper presents analysis and design for Microstrip antennas using FEM (Finite Element Method). For the miniaturization of the antennas, dielectric substrate ($\epsilon_r=4.6$) and rectangular patch structure are used. The proposed Microstrip antennas are simulated using commercial simulator (HFSS). The results of the simulation are presented and compared with characteristics of each array type. Especial, the proposed antennas can be applied to the design of various communication systems for 2.4 GHz band.

Key Words : Microstrip antenna, Array antenna, FEM, Directivity gain

1. 서론

최근 무선 및 이동 통신에서 2.4 GHz 대역은 전파법상 허가 없이 사용할 수 있는 ISM (Industrial Scientific Medical) 주파수 밴드로 다양한 분야에 폭넓게 이용되고 있지만¹⁾²⁾, 송출되는 전력을 제한하고 있어 통신의 경우 근거리

만 적용되고 있다. 이와 같이 송신전력이 미약한 경우 전파환경 등의 영향으로 통화의 품질이 저하되는 경우가 발생할 수 있다.

한편, 최근의 무선 통신 단말기는 용도와는 별도로 소형화에 대한 요구가 항상 대두되고 있다. 일반적으로 무선단말기에 있어 안테나는 단말기의 상당한 부분을 차지하고 있어 안테나의 소형화는 곧 단말기의 소형화라 할 수 있다. 안테나를 소형화하는 방법으로는 다양한 연구결과가 제안되고^{3),4)} 있지만 그 중에 대표적인 방법으로는 유전체 기판을 이용한 프린트형 안테나를 들 수

[†] 이 논문은 정보통신연구진흥원에서 지원하는 2003년 기초기술연구지원사업의 연구결과임

* CBS포항방송 기술국

** 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부

있다. 프린트안테나는 제조 공정이 간단하여 저 가격, 대량 생산이 용이하다는 장점이 부각되고 있다^{5),6)}.

본 논문에서는 2.4 GHz 대역 무선 통신에 있어서 통화품질의 저하 요소를 해결하는 방법으로 지향성 이득이 큰 마이크로스트립 안테나를 설계하고, 패치의 배열에 따른 이득의 변화를 검토하여 통신시스템의 용도에 따른 안테나의 적절한 선택기준을 제시한다.

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 있어 유한요소법에 근거한 상용 시뮬레이션 툴(HFSS)을 사용하며, 엄밀한 방사특성을 해석하기 위해 최외각 방사면에 다층의 흡수경계조건을 적용한다.

안테나에 있어 입력 임피던스 특성은 안테나의 성능을 평가하는 중요한 파라미터 중의 하나이다. 입력 임피던스에 따른 안테나의 매칭은 방사 전력의 손실을 줄이게 된다. 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.

2. 마이크로스트립 안테나의 설계

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

그림 1은 방형 패치 안테나의 일반적인 구조 및 에너지의 방사형태를 나타내고있다. 이와 같은 패치 안테나의 동작원리는 패치의 에지(edge)와 접지면 사이에 발생하는 전계에 의해 전자파가 방사되는데 이는 전계가 발생하는 두 개의 에지에 등가 자유원을 대체한 효과라 볼 수있다.

이와 같은 패치 안테나는 패치의 길이 L 이 약 $1/2$ 파장일 때 공진을 하게 되며 구체적인 안테나 특성은 기판의 두께, 유전율, 패치의 크기, 급전점의 위치 등에 따라 변화한다.

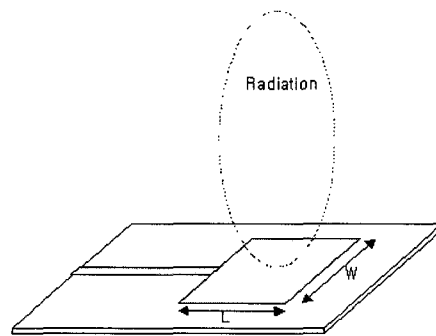


그림 1. 방형 패치 안테나의 구조

본 논문에서 설계하고자 하는 마이크로스트립 안테나는 비유전율(ϵ_r)이 4.6, 두께가 1.6 mm인 기판을 사용하며, 인쇄되는 패치의 구조는 방형으로 하되 크기는 2.45 GHz에서의 공진 특성으로 결정된다. 결국, 이와 같은 안테나는 유전체 기판의 영향이 충분히 고려되어야 원하는 특성의 안테나를 설계할 수 있다.

한편, 일반적으로 패치 안테나의 입력 임피던스는 상당히 높아 급전부에 그대로 접속할 경우 부정합이 발생하여 삽입손실이 커지는 원인이 된다. 따라서 그림 2와 같이 급전선에 테이퍼(Taper)를 사용하여 임피던스 정합을 한다. 이때 급전선 및 테이퍼의 구조는 마이크로스트립 전송선(MSL)구조를 기본으로 하며 선로의 폭에 따른 특성 임피던스는 식(1)에 의해 근사적으로 결정할 수 있다.

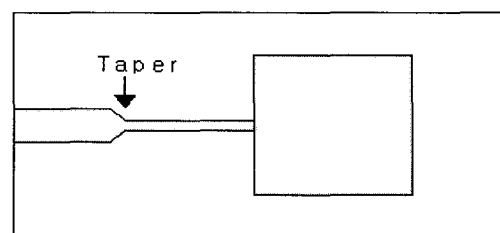


그림 2. 테이퍼를 이용한 선로간의 임피던스 정합

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

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

, if $\frac{w}{d} > 1$ (1)

그림 3은 식(1)에 의한 선로의 폭에 따른 특성 임피던스 특성을 계산한 결과이다. 단, 기판의 비유전율 $\epsilon_r=4.6$, 두께 $t=1.6\text{mm}$ 이다. 결과를 보면 급전선의 폭이 약 2.5 mm일 때 특성임피던스, Z_o 가 50 Ω 이 되는 것을 알 수 있다.

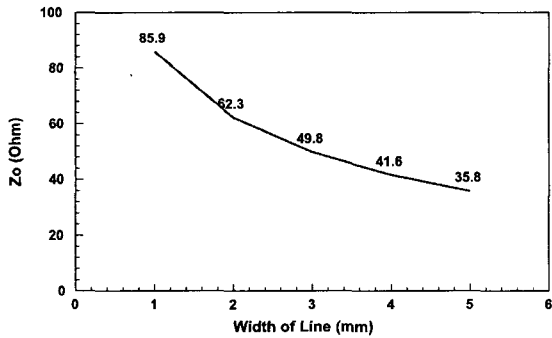


그림 3. 마이크로스트립전송선(MSL)의 특성임피던스

그림 4는 2.4 GHz 대역의 단일 패치의 구조를 나타내고 있다. 패치의 크기는 유전체 기판의 크기와 유전율을 고려하여 2.4 GHz에서 공진하도록 결정한다.

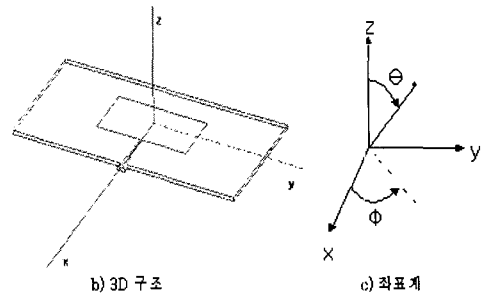
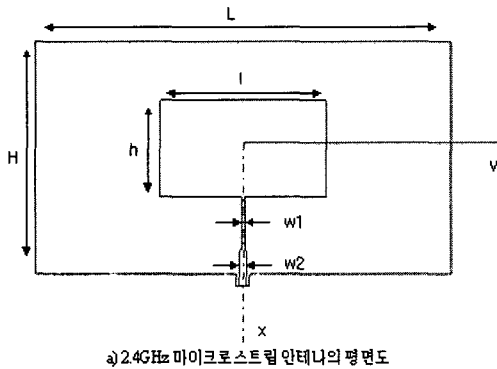


그림 4. 1패치 안테나의 구조 및 좌표계

그림 5는 기판의 크기(H×L)가 60 mm×120 mm인 기판상에 패치의 크기(h×l)가 25 mm×48 mm이며 급전선의 폭(w1)은 1 mm, 급전선의 폭(w2)은 2 mm인 경우의 입력 임피던스 특성을 나타내고 있다. 약 2.45 GHz에서 공진이 나타나며 공진점에서의 입력 임피던스는 약 50 Ω 으로 테이퍼에 의한 정합이 잘 이루어졌음을 알 수 있다.

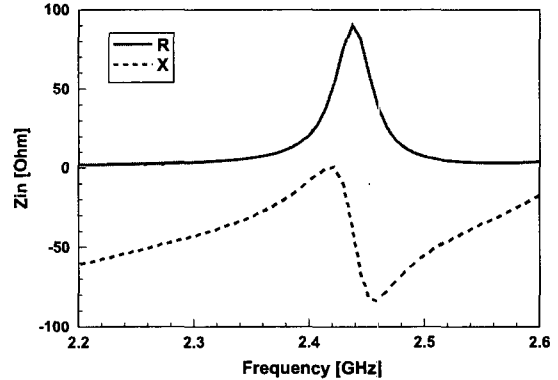
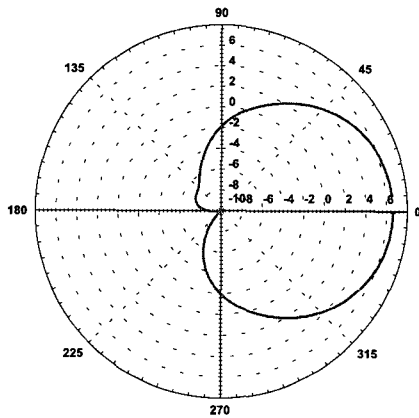
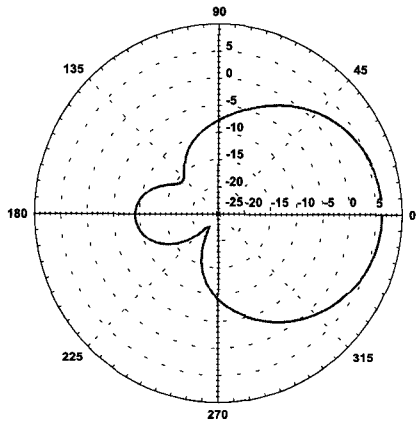


그림 5. 1패치 안테나의 입력 임피던스 특성

그림 6은 1패치 안테나의 공진 주파수에서의 지향성 특성을 나타내고 있다. 패치의 후면으로의 방사는 거의 없으며 대부분의 방사 에너지는 패치의 전면방향(z방향)으로 향하고 있음을 알 수 있다. 이때 안테나의 최대 방향 이득은 약 6 dBi이며 후방의 이득에 비해 약 15 dB정도 크게 나타남을 알 수 있다.



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



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

그림 6. 1패치 안테나의 지향성 특성

3. 마이크로스트립 배열 안테나

앞 절에서는 2.4 GHz 대역에 사용되는 마이크로스트립 안테나를 설계하는데 있어 패치의 크기와 임피던스 정합을 고려한 급전선의 구조를 알아보았다. 마이크로스트립 안테나에 있어 안테나의 이득 증가는 패치의 배열 수를 늘려 해결할 수 있으며 이때 안테나로부터 방사되는 빔의 형태는 그림 7과 같이 소자수가 많을수록 좁고 긴 빔의 형태로 나타난다.

그림 8은 2.4 GHz 대역에 공진 하도록 2개의 패치를 배열한 2패치 배열안테나의 구조를 나타내고 있다. 각 패치의 크기는 그림 3과 동일하며 두 패치간의 간격(l_2)은 사용주파수의 약 1 파장

으로 이 경우 기관의 유전율을 고려하여 118 mm이며 급전선의 폭 (w_2)은 2 mm, 급전선의 폭(w_3)은 4 mm이다.

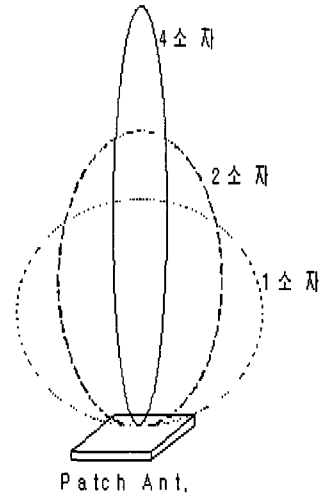
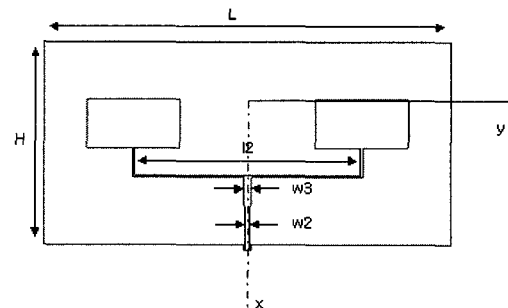


그림 7. 패치의 배열 수에 따른 방사형태



a) 2.4GHz 마이크로스트립 안테나의 평면도

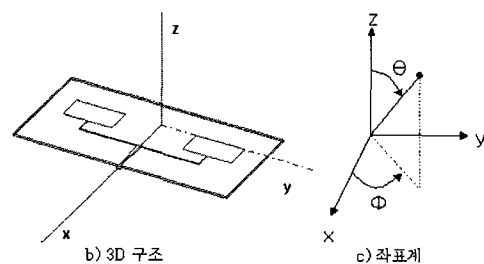


그림 8. 2패치 배열 안테나의 구조 및 좌표계

그림 9는 두개의 방형 패치를 그림 8과 같이

배열하였을 때의 입력 임피던스 특성을 나타내고 있다. 2.43 GHz와 2.5 GHz에서 각각 공진과 반공진이 나타나고 있으면 공진 주파수에서의 입력 임피던스 값은 약 50으로 선로부에 설치한 테이퍼의 설계가 양호함을 알 수 있다. 결국 이와 같이 정합구조가 포함된 안테나에 급전소자를 결합시키게 되면 삽입손실이 줄어들어 안테나의 효율이 커지게 된다.

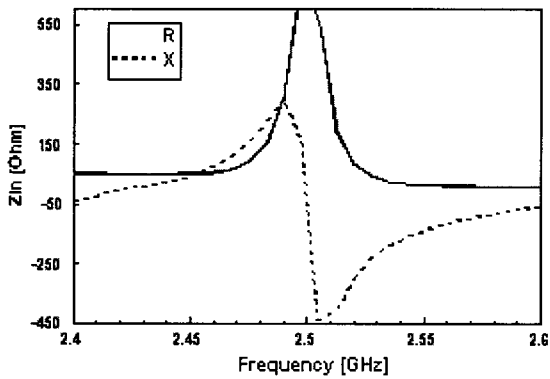
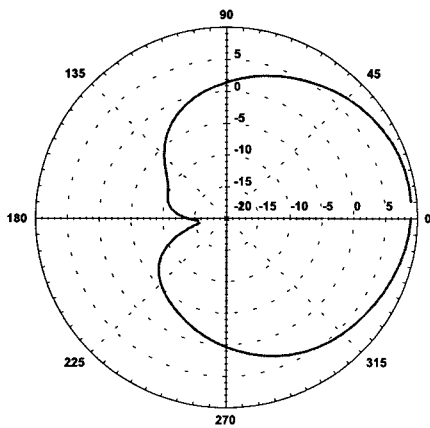
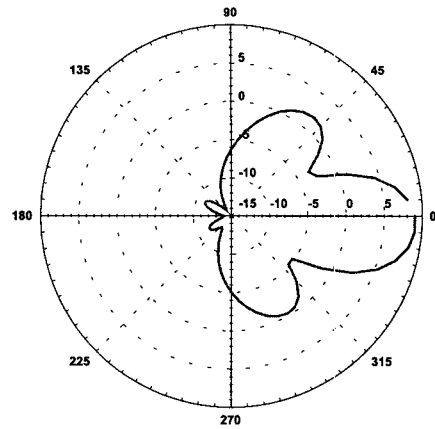


그림 9. 2패치 배열 안테나의 입력임피던스 특성

그림 10은 공진 주파수 2.43 GHz에서의 2패치 배열 안테나의 지향성 특성을 나타내고 있다. $\theta = 90^\circ$ 인 방향(z축 방향)으로 최대의 에너지가 방사되고 있으며, 이때의 안테나 이득이 약 9 dBi로 패치가 하나인 경우에 비해 약 3 dB커짐을 알 수 있다. 이는 최대방향으로의 방사전력이 거의 2배로 커짐을 말한다.



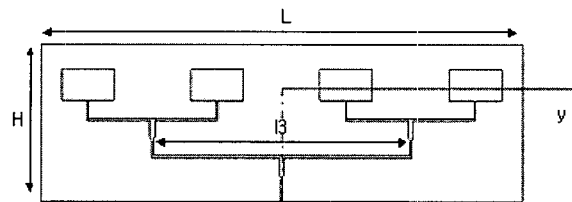
xz 면 ($\phi = 0^\circ, \theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)



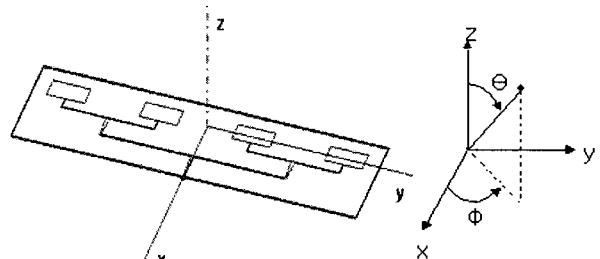
yz 면 ($\phi = 90^\circ, \theta = 0^\circ \sim 360^\circ$)

그림 10. 2패치 배열 안테나의 지향성 특성

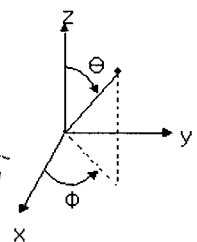
그림 11은 패치의 수를 4개로 증가시켜 y방향으로 배열한 구조 및 좌표계를 나타내고 있다. 각 패치의 크기는 1패치 안테나와 동일하며 급전 중앙부로부터 좌우에 위치한 2패치 안테나는 그림 8의 구조와 동일하다. 따라서 4패치 안테나의 배열에 있어 결정되어야 하는 파라미터는 2패치 안테나간의 간격과 급전선의 정합구조라 할 수 있다.



a) 2.43GHz 마이크로스트립 안테나의 평면도



b) 3D 구조



c) 좌표계

그림 11. 4패치 배열 안테나의 구조 및 좌표계

그림 12와 그림 13은 각 2패치 안테나간의 간격(13)을 234 mm로 했을 때의 입력 임피던스와 지향성 특성을 나타내고 있다.

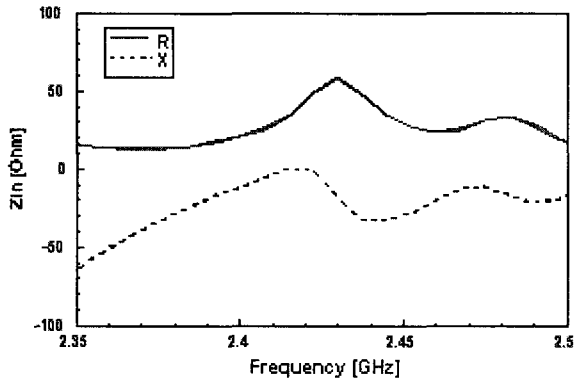
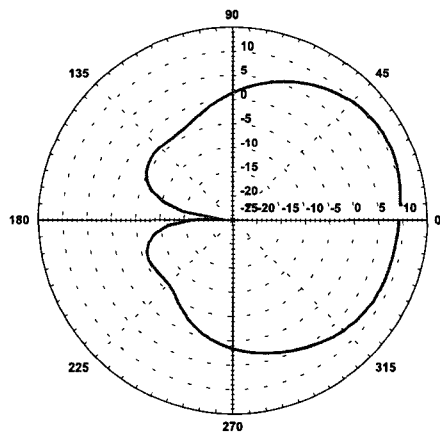
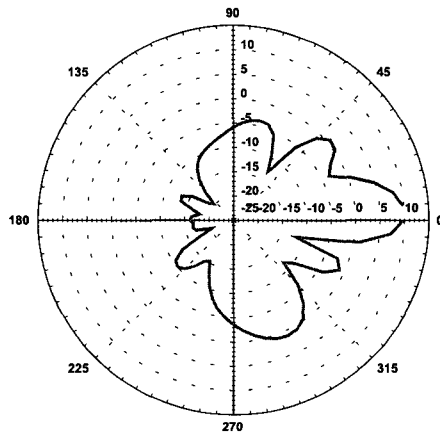


그림 12. 4패치 배열 안테나의 입력 임피던스 특성



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



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

그림 13. 4패치 배열 안테나의 지향성 특성

이상 설계한 4패치 배열 안테나의 경우 공진 주파수에서의 최대방향 안테나 이득은 약 11 dBi로 2패치 배열 안테나에 비해 2 dBi 정도밖에 증가되지 않았으나 이는 입력임피던스 값이 공진점에서 약 35 Ω 으로 정합이 완전하지 못했음이 원인이라 할 수 있다.

결국, 이와 같이 패치의 배열수를 늘려 가면 방사 빔의 폭이 좁아져서 안테나의 지향성 이득이 향상되는데, 표 1은 패치의 배열수를 4개 까지 증가시켰을 경우의 최대방향 이득을 비교하고 있다. 이때 각각의 이득은 각 안테나의 공진주파수를 기준으로 하고 있다.

표 1. 패치 배열수에 따른 안테나의 이득

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

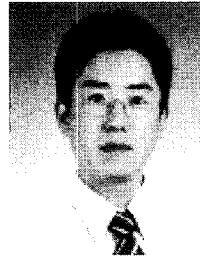
4. 결론

본 논문에서는 미약한 송신전력을 보다 먼 거리에 전송시키는 방법으로 마이크로스트립 구조의 지향성 안테나를 유한요소법을 이용하여 설계, 그 특성을 비교검토 해보았다. 설계된 마이크로스트립 안테나의 패치 크기는 기판의 유전율을 고려, 2.4 GHz에 공진 하도록 25 mm×48 mm로 하였으며 급전부의 임피던스 정합을 위해 선로부에 테이퍼를 추가하여 입력 임피던스 값이 거의 50 Ω 이 되도록 하였다. 또한, 패치의 배열에 있어서는 각 패치간의 간격이 중심점을 기준으로 약 1 파장(실효파장)이 되도록 하였다. 패치의 배열수가 증가함에 따라 안테나의 지향성 이득을 살펴본 결과 4개의 패치 배열의 경우 1개의 패치에 비해 약 5 dB의 이득 증대가 나타남을 알 수 있었다.

결과로부터 알 수 있듯이 송신전력의 크기와 전파환경 등을 고려하여 적절한 이득의 안테나를 선택하면 전송품질(통화품질)의 향상을 기대할 수 있다.

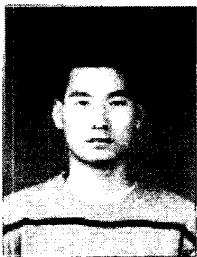
참 고 문 헌

- [1] *Specification of the Bluetooth System, Version 1.0 Draft* Foundation. www.bluetooth.com
- [2] S. Sampei, "*Applications of Digital Wireless Technologies to Global 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.



황 재 호 (Jae-Ho Hwang)

- 1987년 광운대학교
전자통신공학과 공학사
- 1992년 한양대학교
전자통신공학과 공학석사
- 1998년 동북대학교(日)
전기통신공학전공 공학박사
- 1997년 ~ 1998년 동북대학교 조수
- 1998년 ~ 2000년 NEC-TOKIN(日) 연구원
- 2000년 ~ 2001년 삼성전자 통신연구소
책임연구원
- 2001년 ~ 현재 경주대학교 컴퓨터멀티미디어공학부 조교수
(관심분야 : 안테나해석 및 설계, RF수동소자, 전자장 수치해석)



한 재 봉 (Jae-Bong Han)

- 2001년 경주대학교
정보통신공학전공 공학사
- 2004년 경주대학교
정보통신공학전공 공학석사

2001년 ~ 현재 CBS포항방송 기술국 근무
(관심분야 : 안테나해석 및 설계, 무선방송기술)