

Top-hat 패치 이중대역 안테나

천영민*, 천창을*

*서울 시립대학교 전자전기컴퓨터 공학부

Design of top-hat patch dual-band antenna

Young-Min Cheon*, Changyul Cheon*

*Department of Electrical & Computer Engineering, University of Seoul

Abstract - 안테나를 소형화시키기 위해 많은 노력을 들여왔다. 모노폴 안테나의 크기를 줄이기 위해 많은 연구가 있어왔고 그 중 모노폴 끝에 원반 모양의 패치를 붙인 것이 top-hat 패치 안테나이다. 그리고 다른 대표적인 방법 중의 하나가 PIFA(Planar inverted-F antenna) 구조의 안테나이다. 이 둘을 이용해서 좀 더 작은 크기의 안테나를 구현할 수 있고 안테나 구조를 적절히 변형하여 이중 공진을 일으킬 수 있다. 본 논문에서는 패치에 슬롯을 주어 전류의 흐름을 변환시켜 이중 공진을 일으킬 수 있는 구조를 제안하였다. 무엇보다도 중요한 점은 이 안테나의 몇 가지 요소를 변화시킴으로써 공진주파수를 원하는 대로 바꿀 수 있다는 것이다.

1. 서 론

무선 LAN(Local Area Network)은 초고속 통신과 멀티미디어 콘텐츠의 발달로 인해 사용자들은 보다 빠르고 편리하며 다량, 양질의 서비스를 요구하고 있다. 이런 서비스를 만족시키기 위해서는 여러 대역과 넓은 대역폭이 요구되는데 5.8GHz 대역은 기존 2.4GHz 대역보다 넓은 대역폭과 고속의 서비스를 제공할 수 있어서 차세대 무선 인터넷 기술로 대두되고 있는 유비쿼터스에 많이 쓰여 질 것으로 전망되고 있다. 이렇게 부각되는 무선 서비스의 발전 흐름을 살펴보면 하나의 단말기에 모든 서비스를 이용할 수 있는 형태가 요구되어지고 그러므로 해서 서로 다른 서비스간 호환문제가 나타나게 되며 다른 서비스 영역에서도 사용할 수 있는 안테나를 필요로 하게 된다. 통신 서비스에 이용되는 개인 단말기는 소형화, 다기능화, 경량화 되고 있는 추세이다. 또한 여러 가지 복합기능을 가진 단말기들이 만들어지고 있어서 안테나도 여러 대역을 하나의 안테나로 지원하여야 할 필요성이 점점 커지고 있다. 여러 가지 형태의 안테나들에 대한 다양한 제안들이 있어 왔으며 하나의 기기가 여러 주파수 대역을 담당하기 위해 다중 공진 형태가 연구되어 많은 경우 이중 공진을 지원하는 안테나를 채택하고 있다. 본 논문에서는 모노폴 안테나에서 길이를 줄이기 위해 모노폴 위에 패치를 붙였다[1-6]. 그리고 그에 더해 크기를 줄이기 위해 병렬 인덕턴스의 성분을 달아서 PIFA 구조의 안테나를 제안하였다. 먼저 2.45 GHz의 단일 공진 안테나를 설계해서 가능성을 알아보았고 그 안테나에 이중 공진을 위한 슬롯을 내어 이중대역 안테나의 형태로 접근할 것이다.

2. 본 론

2.1 PIFA 구조의 top-hat 패치 안테나 설계 및 제작, 측정

전형적인 모노폴 안테나의 등가회로는 그림 1과 같고 안테나的高度는 0.25λ 이다(이후 모든 등가회로는 근사화한 등가회로이다.). 그리고 이 때의 스미스 차트 매칭 과정은 그림 2와 같다. 여기서 병렬 커패시턴스는 아주 작은 값이고 직렬 인덕턴스는 아주 큰 값이다(이후 나올 PIFA 구조와 비교 된 값). 인덕턴스가 아주 크다는 말은 안테나의 길이가 길어져야 된다는 말과 같고 이는 곧 안테나를 크게 만드는 것이다. 이를 줄이기 위해 PIFA 구조의 안테나가 제안 되었는데 등가회로와 스미스 차트 매칭 과정은 그림 3, 4와 같다[2].

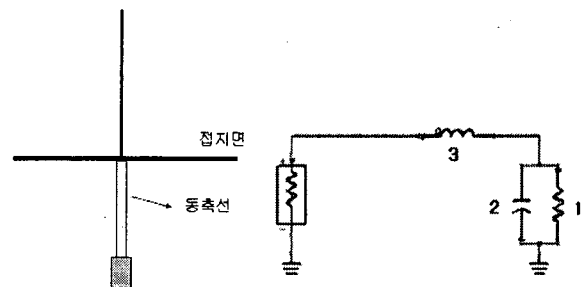


그림 1. 모노폴 안테나와 등가회로

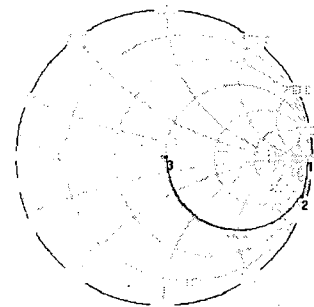


그림 2. 모노폴 안테나의 스미스 차트 매칭 과정

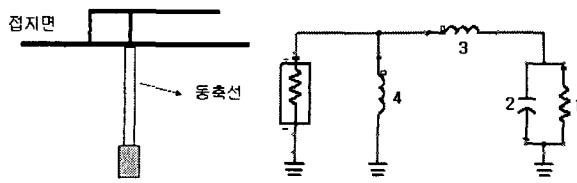


그림 3. PIFA 구조 안테나와 등가회로

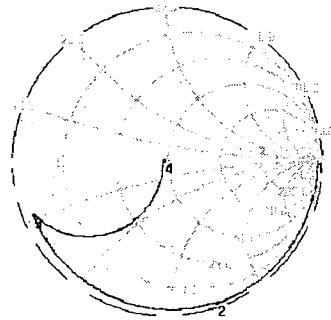


그림 4. PIFA 구조 안테나의 스미스 차트 매칭 과정

여기서 병렬 커패시턴스는 모노폴 작은 크기로 충분히 구현이 가능한 값이고 직렬 인덕턴스 역시 길이를 길게 하지 않아도 되는 적당한 값이 되며 병렬 인덕턴스가 접지면과 붙어서 적당한 매칭을 하게 되는 역할을 한다. 높이는 약 0.084λ 이다. 우선 이러한 단일 공진을 위한 안테나를 모의실험을 통해 알아보았다. 안테나의 구조는 그림 5와 같고 급전은 아래에

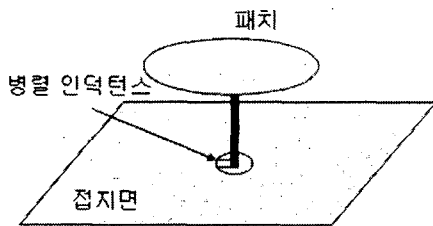


그림 5. 안테나의 기본 구조

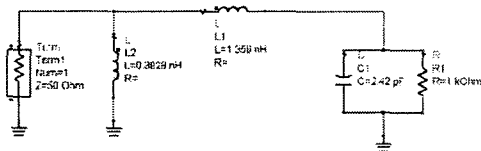


그림 6. 등가회로

서 동축 케이블로 급전하는 것으로 한다. 그림 6의 등가회로를 보면 그림 3 과 같고 그 소자들을 실제로 그림 5와 같은 구조로 만들 때 실제 그들이 가질 수 있는 값을 고려해서 공진 주파수를 찾아보는 방법으로 하였다. 등가회로에서 오른쪽 끝에 있는 저항과 커패시터는 각각 전파 저항과 위의 패치 면과 아래의

접지면 사이의 커패시턴스 성분이다. 물론 여기서 공기와 유전체 내에서의 커패시턴스와 저항을 따로 고려해 주어야 하나 하나로 보고 해석을 하겠다. 직렬 인덕턴스 성분은 동축 케이블에서부터 패치 면까지 연결되는 중심 도체에 보이는 성분이고 병렬 인덕턴스 성분은 매칭 부분이다. 직렬 인덕턴스 성분이 길어지면 모노폴 안테나 특성에 점점 가까워져 대역폭은 충분히 넓어지지만 이 성분은 길이와 직렬되고 곧 크기와 관련을 가지게 된다. 길이가 길면 안테나의 높이는 높아지고 커지게 된다. 그래서 원하는 대역폭을 만족하는 최소 높이가 정해지고 그 때의 공진을 위한 병렬 커패시턴스 성분의 적절한 값도 필요하게 된다. 즉, 패치의 넓이가 이 커패시턴스를 결정한다. 이러한 성분들이 적절히 이루어졌을 때 원하는 크기에서 구현할 수 있다. 우선 등가회로에서 전파 저항은 사이의 유전체가 들어간 저항 성분을 고려해서 1 kOhm 정도로 고려하였다. 실제 모의실험을 통해 계산된 값도 거의 이 값에 가깝다. 물론 여기서는 근사치이지 정확한 값은 아니다. 커패시턴스는 패치와 접지면 사이의 높이와 패치의 넓이에 따라 변하므로 우선 충분한 대역폭을 확보하는 범위에서 높이를 될 수 있으면 낮추는 방향으로 값의 범위를 설정했다. 도체의 반지름은 0.813mm 이고 케이블의 유전체는 2.08의 테플론을 사용하였다. 병렬 인덕턴스는 우선 회로에서 빼고 나중에 고려한 사항인데 그림 7에서 보는 것과 같이 스미스 차트에서 표시한 지점으로 옮긴 후 병렬 인덕턴스로 매칭 하는 것이 훨씬 쉽기 때

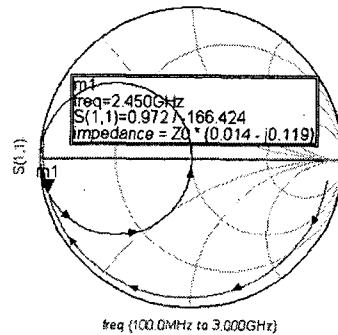


그림 7. 병렬 인덕턴스를 뺀 S(1,1)

문에 나중에 고려하였다. 전술한 단계를 통해 그림 6에서 보는 것과 같이 등가회로를 꾸밀 수 있고 그에 해당하는 각 소자들의 근사치를 얻을 수 있다. 모의실험을 하고자하는 최종적인 안테나의 모형은 그림 5에서 소개한 모습이고 높이가 10mm(0.08λ), 패치와 접지면 사이 소체의 유전율은 9.8, 패치의 반지름이 4.5mm, 병렬 인덕턴스는 폭이 0.8 mm이다. 병렬 인덕턴스는 그림 8에 보인 것과 같이 접지면 중앙에 구현을 하였다. 즉, 접지면 중심이 그림 8과 같이 되어 있다. 위의 사양으로 모의실험 했을 때의 S(1,1)이고 2.41 ~ 2.52 GHz에서 120 MHz의 대역폭을 얻을 수 있었다. 이 결과는 모의실험 결과이다. 본 연구에서는 위의 이론과 모의실험 결과를 토대로 이중 공진을 일으키고자 그림 9의 등가회로를 꾸미기 위해 그림 10의 구조를 제안하였다. 여기서 슬롯은 등가회로의 두 LC공진 부분을 나

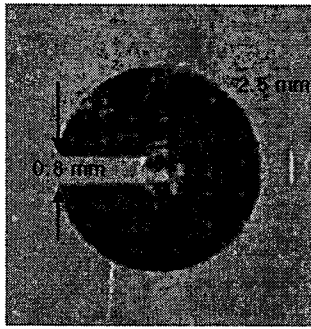


그림 8. 접지면 병렬 인덕턴스

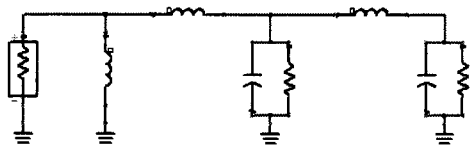
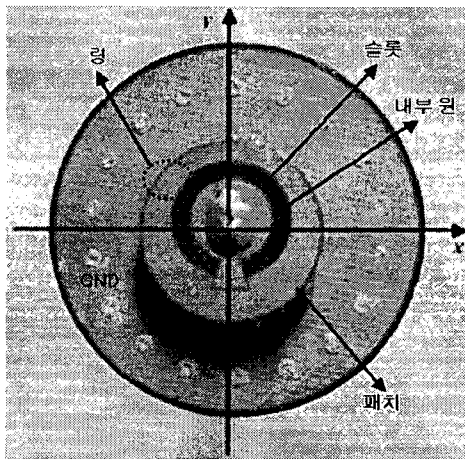


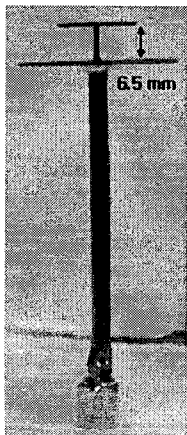
그림 9. 이중 공진을 위한 안테나 등가회로

누어 주기위해 생긴 것이고 전류의 흐름으로 보면 내부 원의 전류 흐름으로 인해 5.8GHz에서 방사를 하고 링에서의 전류 흐름으로 인해 2.45GHz에서 방

사를 하는 것이다. 내부 원은 등가회로의 첫 부분의 커패시턴스에 해당하고 그 원 까지 올라오는 급전선이 인덕턴스에 해당한다. 그리고 링은 뒷부분의 커패시턴스이며 내부 원과 링 사이에 연결되는 삼각형 모양의 선이 두 번째 인덕턴스이다. 그리고 처음 구조와 동일하게 접지면에 그림 8과 같이 병렬 인덕턴스를 구현 하였다. 그림 10의 (a)에서 x, y 좌표로 보면 (0, 0)을 기준으로 패치의 반경이 7.2mm이고 내부 원의 반경은 3.3mm 이다. 여기서 내부 원의 중심은 x 축에서 위로 1mm 지점이다. 삼각형 모양의 선은 내부 원과 외부 링과 연결시켜주는 부분인데 등가회로에서 가운데 인덕턴스에 해당한다. 삼각형의 넓이가 넓어지면 인덕턴스 성분이 작아질 것이고 반대로 좁아지면 커질 것이다. 삼각형은 점 (0, 1)에서 밑으로 5mm, 즉 삼각형의 높이는 5mm이고 밑변의 길이는 3mm 이다. 결국 각 꼭지점은 (0, 1), (-1.5, -4), (1.5, -4) 가 되는 것이다. 접지면의 반지름은 15mm이고 via는 기판의 아래 부분과 윗부분을 연결해 준다. 기판의 두께는 0.5mm이고 유전율은 2.08인 테플론을 사용하였다. 그림 11은 제작된 안테나의 측정 결과이다. 2.4GHz ~ 2.49GHz까지 약 90MHz의 대역폭을 가지고 블루투스 대역인 2.4GHz ~ 2.484GHz를 만족시킨다. 그리고 5GHz대는 5.72GHz ~ 5.858GHz까지 137MHz의 대역폭을 갖는다. 역시 5.725GHz ~ 5.85GHz 까지의 대역폭을 만족시킨다. Far-field 패턴은 그림 12와 같다. 2.45GHz에서 최대 1.7dB



(a) 위에서 본 그림



(b) 옆에서 본 그림

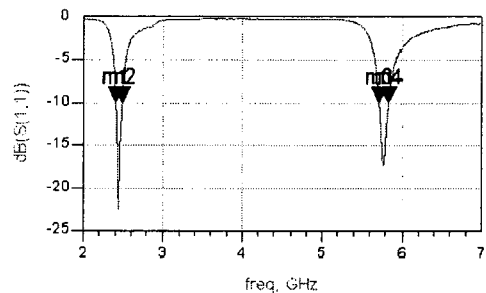
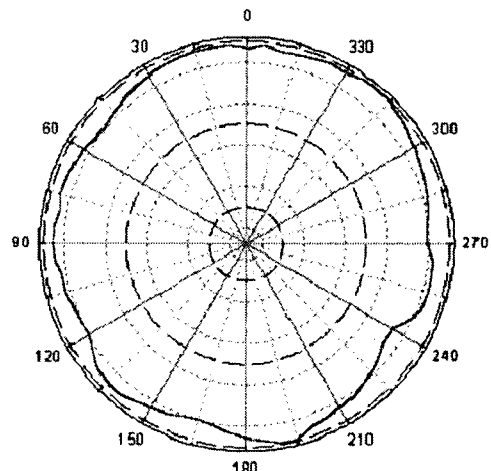
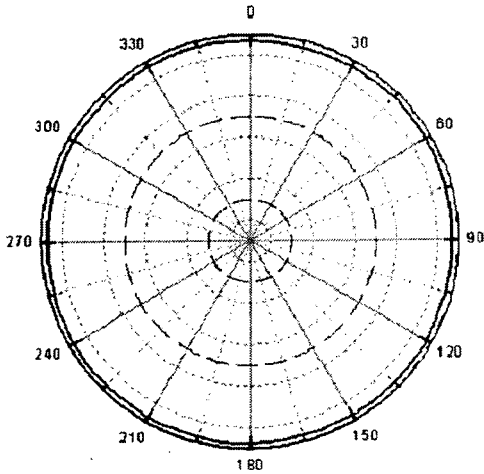


그림 11. 반사계수(측정값)



(a) 2.45GHz에서 far-field 패턴

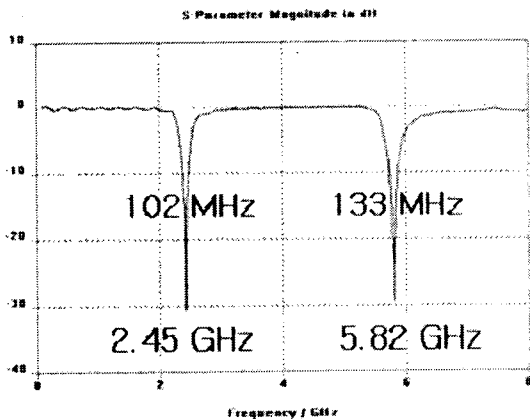
그림 10. 제작된 PIFA 구조의 top-hat 패치 안테나



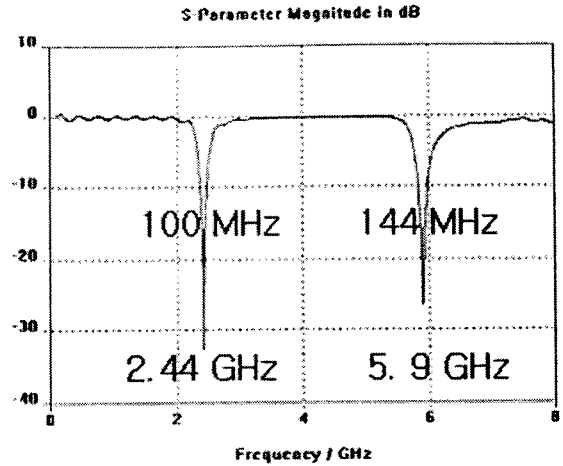
(b) 5.8GHz에서 far-field 패턴

그림 12. Far-field 패턴(Azimuth)

의 이득을 가지며 최대, 최소의 차이가 10dB 이내로 omn-directional 이득 패턴을 갖는다. 5.8GHz에서 역시 최대 -0.8dB의 이득을 가지며 최소 이득과 2dB 이상 차이가 나지 않는 omn-directional 이득 패턴을 갖는다. 패치에서 내부 원은 5.8 GHz의 공진을 맞추는 주요 요소가 되고 외부의 링의 반지름은 2.45GHz의 공진을 맞추는 주요 요소이다. 내부 원의 반지름을 작게 하면 5GHz대의 공진 주파수는 높아지고 크게 하면 반대로 낮아진다. 그 변화로 2GHz대의 주파수도 바뀌나 크게 영향을 주지는 않는다. 이 특성은 실제 패치의 원 반지름을 바꿔서 측정해서 나오는 결과와 모의실험 결과와 거의 일치한다. 그림 13은 모의실험 결과로 두 대역의 대역폭에 대한 trade-off에 대한 실험이다. 내부 원의 반지름을 3.6mm에서 3.4mm로 바꿨을 때의 결과이다. 내부 원의 반지름을 줄이면 자연히 슬롯의 간격이 넓어지고 이는 두 주파수의 대역폭을 결정하는 주요 요소가 된다. 내부 원을 고정시키고 슬롯의 밖의 원의 간격을 조정해서 결과를 볼 수도 있다. 슬롯 간격이 좁으면 2GHz대 대역폭은 넓어지는 반면 5.8GHz 대역폭은 좁아진다. 그래서 우선 2GHz대의 공진을 위한 내부 원의 반지름을 고정시키고 슬롯의 바깥쪽 원의 반경을 조정해서 각 대역의 대역폭을 적절한 점에서 찾아내는 것이다. 여기서 그 간격을 계속 줄인다고 해서 2GHz대 대역폭이 계속 커지는 것은 아니

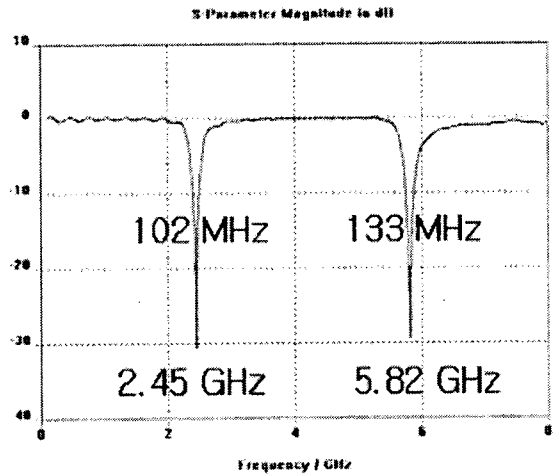


(a) 내부 원의 반지름(3.6mm)

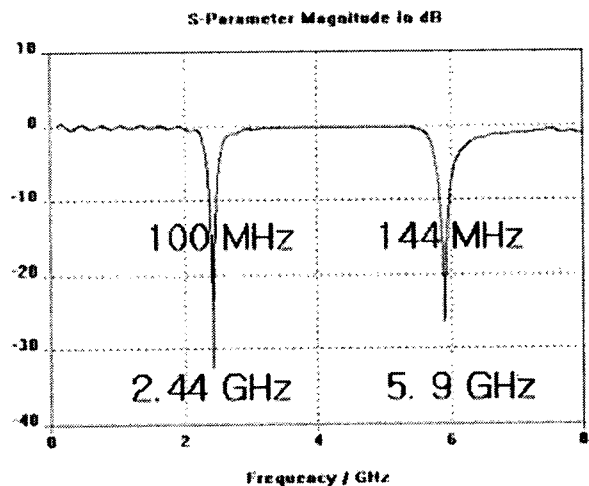


(b) 내부 원의 반지름(3.4mm)

그림 13. 슬롯 폭의 변화에 따른 대역폭(모의실험)



(a) 접지면의 원의 반지름(3.0mm)



(b) 접지면의 원의 반지름(3.4mm)

그림 14. 병렬 인덕턴스의 길이 변화에 따른 매칭(모의실험)

다. 어느 간격을 넘어서면 두 대역 모두 만족시키질 않는다. 다음은 패치 안에 있는 슬롯의 양끝에서의 간격이다. 이 간격으로 두 주파수중 주된 공진 주파

수를 잡을 수 있다. 예를 들면 스미스 차트 상에서 매칭 점이 두 가지 생기는데 간격을 점점 넓히면 2.45GHz를 위한 공진 원이 점차 커지는 반면 5.8GHz를 위한 공진 원은 점차 작아진다. 다음은 접지면의 병렬 인덕턴스이다. 이 값이 크면 스미스 차트에서 두 공진을 위한 원이 커지고 반대로 병렬 인덕턴스가 작아지면 이 원은 점점 작아져서 나중에는 없어진다.

3. 결 론

본 연구는 처음 제안한 것처럼 모노폴 안테나의 단점인 크기를 줄이기 위하여 모노폴 끝에 top-hat 패치를 달고 PIFA 구조와 흡사하게 병렬 인덕턴스 성분을 달아 0.05λ 의 높이에서 공진을 일으키는 안테나를 제작했다. 안테나의 등가회로 역시 원하고자하는 등가회로와 거의 흡사하고 모의실험 결과 이중 공진이 뜨는 것을 확인하였다. 이 안테나의 모의실험도 마찬가지로만 측정하면서 가장 변화율이 큰 요소는 병렬 인덕턴스이다. 병렬 인덕턴스 값은 실제로 제작할 때 납땜으로 연결을 하기 때문에 납땜의 양에 따라 민감하게 반응한다. 여기서 패치의 반경과 높이는 전술한 바와 같이 크기와 대역폭간의 trade off의 관계가 있다. 패치 높이가 높아지면 원하는 주파수에 공진을 맞추기 위해 패치의 반경이 좁아져야한다. 그렇게 되면 모노폴의 특성에 점점 가까워져 대역폭은 넓어지지만 크기가 커진다. 반면 높이가 낮아지면 커패시턴스는 커져야하고 직렬 인덕턴스가 작아지면서 대역폭이 아주 좁아지는 현상이 있다. 이 관계를 적절히 조절해서 크기와 대역폭 간의 trade off를 적절히 조절해 작은 크기에서 원하는 대역폭을 만족시키는 안테나를 제작하였다. 무엇보다 중요한 것은 내부 원, 슬롯의 간격, 바깥쪽 링의 폭 그리고 병렬 인덕턴스를 적절히 조절해서 무선 LAN 대역뿐만 아니라 원하는 주파수의 이중 공진을 만들어 낼 수 있다는 것이다. 패치 밑에 지지용으로 유전체가 들어가나 유전체 없이 동판으로만 패치를 꾸미고 단말기 표면 안쪽에 붙여서 사용하면 모의실험에 비추어 볼 때 대역폭이 더욱 넓어질 것이고 이득 또한 더 좋아질 것이다.

(참 고 문 헌)

- [1] Balanis, Comstanine A., *Antenna Theory Analysis and design*. Wiley, 1997.
- [2] Huynh, M.-C.; Stutzman, W.. "Ground plane effects on planar inverted-F antenna (PIFA) performance", *Microwaves, Antennas and Propagation, IEE Proceedings.*, vol. 150, pp.209-213, 2003.
- [3] L. A. Francavilla, J. S. McLean, H. D. Foltz, and G. E. Crook, "Mode-matching analysis of top-hat monopole antennas loaded with radially layered dielectric", *IEEE Trans. Antennas Propagate.*, vol. 47, pp.179-185, 1999.
- [4] A. F. Gangi, S. Sensiper, and G. R. Dunn. "The characteristics of electrically short umbrella top-loaded antennas." *IEEE Trans. Antennas Propagate.*, vol. AP-13, p.846, 1965.

- [5] S. A. Long, M. W. Allister, and L. C. Shen, "The resonant cylindrical dielectric cavity antennas." *IEEE Trans. Antennas Propagat.* vol. AP-31, pp.406-412. May 1983.
- [6] A. A. Kishk, H. A. Auda, and B.C Ahn, "Radiation characteristics of cylindrical dielectric resonator antennas with new applications." *IEEE Antenna. and Propagat. Newsletter*, pp.6-16. Feb 1989.