

소형 광대역 안테나

임성빈 · 박용욱 · 최학근

단국대학교 전자공학과

요 약

안테나를 소형화하면 안테나의 복사효율이 저하되고, 대역폭이 좁아지며, 안테나 이득이 작아진다는 사실은 잘 알려져 있다. 그러나 이런 전기적 성능 저하에도 불구하고 최근 무선통신 시스템의 소형화와 고성능화에 따라 안테나의 소형화 및 광대역화가 끊임없이 요구되고 있다. 여기서는 이런 요구에 부응하기 위하여 소형 안테나의 종류와 소형화시 나타나는 문제점을 확인하고 선형 안테나와 평판 안테나를 중심으로 소형화 및 광대역화 기법을 소개하고 고찰하였다.

I. 서 론

최근 무선통신 시스템의 소형화와 고성능화가 이루어짐에 따라 안테나의 소형화 및 광대역화에 대한 요구가 끊임없이 이어지고, 연구 또한 지속적으로 이루어지고 있다. 안테나의 소형화 연구는 자동차, 항공기, 로켓, 선박 등 이동체 탑재용 안테나와 휴대기기용 안테나를 중심으로 이루어지고 있다. 안테나를 소형화시키면 기구적으로 크기가 작아서 사용상 편리한 여러 가지 장점이 있지만 전기적 성능 면에서는 안테나 복사 패턴은 무지향성에 가까운 특성을 갖게 되고 안테나 이득은 낮아진다. 뿐만 아니라 안테나의 입력 저항이 매우 작아지고 리액턴스가 매우 커져서 안테나 효율이 급격히 나빠지고 대역폭이 좁아지게 된다. 이러한 문제점을 극복하면서 크기가 소형이고 대역폭이 넓은 안테나를 개발하는 것은 매우 어려운 일로서 오래 전부터 안테나 기술자의 바

램이며 도전이었다. 현재는 이동통신의 발달로 인해 소형 안테나의 연구도 괄목할 만한 성장을 하였고 안테나의 여러 연구분야 중에서 한 분야로 자리 메김하고 있다.

여기서는 안테나의 소형화 및 광대역화 연구에 필요한 자료를 제공하기 위하여 소형 안테나를 분류하고 소형화시 나타나는 문제점을 살펴보고 안테나의 소형화 및 광대역화 방법을 선형 안테나와 평판 안테나를 중심으로 소개한다. 그리고 여기서 다루는 소형, 광대역 안테나는 주파수에 따라 입력 임피던스, 복사 패턴, 편파 등의 변화가 적어 VSWR이 2:1 이하를 만족하는 대역폭이 2:1 이상이면 광대역 안테나(broadband antenna)로 분류하는 일반적인 광대역 안테나와 달리 전기적으로 소형이면서 안테나가 소형일 때 필연적으로 나타나는 협대역 현상에 대하여 안테나 구조를 변경하여 대역을 확장시킨 소형 안테나를 의미하는 것으로 한다.

II. 소형 안테나의 분류

2-1 분류

여기서는 소형 안테나에서 소형의 의미를 정확히 알기 위하여 소형 안테나를 분류한다. K. Fujimoto는 소형 안테나를 그의 저서 『Small Antenna』에서 다음과 같이 4가지로 분류하고 있다^{[1]-[3]}.

- 전기적 소형(electrically small)
- 물리적 제한을 받는 소형(physically constrained small)
- 기능적 소형(functionally small)

- 물리적 소형(physically small)

여기서 전기적 소형이라는 것은 안테나의 전체 크기가 $1/2\pi$ 파장을 반경으로 하는 구의 내부에 들어가는 경우이다. 여기에 속하는 안테나는 입력저항이 매우 작고, 리액턴스가 매우 커서 복사효율이 매우 작을 뿐 아니라 대역폭도 매우 좁다. 이처럼 전기적으로 소형인 안테나는 일반적인 안테나에 비하여 안테나의 전기적 성능 면에서 매우 열악한 특성을 가지고 있다. 이 경우 정합회로를 사용하여 안테나 성능을 다소 개선시킬 수는 있다.

물리적 제약을 받는 소형이라는 것은 안테나가 반드시 전기적 소형을 만족하는 것은 아니지만 안테나의 크기 일부가 전기적 소형의 조건을 만족하는 안테나이다. 두께가 얇은 평판구조를 갖는 마이크로스트립 안테나(microstrip antenna)의 종류가 여기에 해당된다.

기능적 소형 안테나는 반드시 위의 전기적 소형이나 물리적 제한을 받는 소형을 만족하지는 않지만 안테나의 크기의 증가 없이 다른 성능을 얻을 수 있는 안테나로서 빔 조향 배열 안테나(beam-steering array antenna)가 여기에 해당된다.

물리적 소형 안테나는 위의 3가지 경우에는 해당되지 않지만 사용자가 사용하는데 있어서 비교적 소형이라고 느껴지는 안테나로서 사용 파장이 짧은 밀리미터파 대의 혼 안테나와 같은 것이 여기에 속한다. 이 주파수 대의 안테나에서는 전기적 재료를 선정하거나 안테나 가공이 어려움이 있어 안테나 형상이나 구조에 제약이 따른다.

지금까지 K. Fujimoto가 분류한 소형의 의미를 소개하였지만 실제의 경우 소형 안테나를 위의 4가지 분류에 대한 정의로 명확하게 구분 짓는 것은 어려운 일이다. 이는 안테나 자체뿐 아니라 안테나가 어디에 설치되어 있는가에 따라서 안테나의 복사 특성이 크게 변화하기 때문이다.

2-2 소형화에 따른 문제점

안테나를 소형화하면 안테나의 복사 효율과 대역폭이 감소하고 이득이 줄어든다는 것은 일반적으로 잘 알려져 있는 사실이며 소형화를 하면 할수록 이런 현상은 더욱더 크게 나타난다^{[1]-[3]}. 여기서는 안테나를 소형화하는 과정에서 나타나는 문제점들을 살펴본다. 우선 소형 안테나를 설계하는 과정에서 나타나는 어려움 중에 하나가 안테나의 복사 특성을 이론적으로 계산하는 것이다. 예를 들어 접지판을 이용하여 안테나를 소형화하는 경우라면 접지판은 항공기, 자동차, 열차 등이 될 수 있고, 이 형상에 따라 안테나의 특성이 크게 변화한다. 특히 휴대기기에 설치한 안테나의 경우에는 휴대기기 모양에 따라 성능이 달라진다. 따라서 접지판의 형태를 고려한 안테나의 성능 계산이 필요하며 이를 위한 안테나 해석방법이 개발되어야 할 것이다^[2]. 최근에는 안테나 해석의 어려움을 해결할 수 있는 상용 프로그램이 개발되어 안테나 소형화에 큰 도움을 주고 있다. 또 다른 어려움은 실험적인 성능 평가이다. 개발된 안테나의 성능 평가나 또는 이론적으로 성능이 도출되지 않을 때 실험적인 성능 평가가 필요하다. 이때 실험에 의해 얻어진 결과가 어떤 것이 안테나 자체의 정확한 성능인지 알기 어려울 때가 많이 있다. 따라서 소형 안테나의 정확한 성능 측정법도 소형 안테나 연구에 중요한 부분이 된다.

안테나를 단순히 소형화하면 입력 저항이 작아지고 리액턴스의 크기가 커져 효율이 저하된다. 이 때 소형 안테나를 효율을 좋게 동작시키기 위해서는 안테나와 급전선 사이에 정합회로를 삽입하여 임피던스 정합을 하든지 아니며 안테나 구조 변형하여 안테나 입력 임피던스가 급전선의 임피던스에 가깝게 할 필요가 있다. 그러나 양자 어떻게 해도 안테나 자체의 복사 저항은 큰 변화가 없고 정합회로나 안테나 소자의 도체 손실이 크게 되어 안테나 효율이 저

하된다. 안테나의 구조와 정합회로를 동시에 적절히 이용하면 손실을 약간 줄이고 대역폭도 약간 증가시킬 수 있을 것이다. 이처럼 정합회로도 소형 안테나의 성능에 중요한 역할을 한다. 따라서 손실이 작은 광대역 정합회로 개발도 소형 안테나 연구에 중요한 부분이 되고 있다.

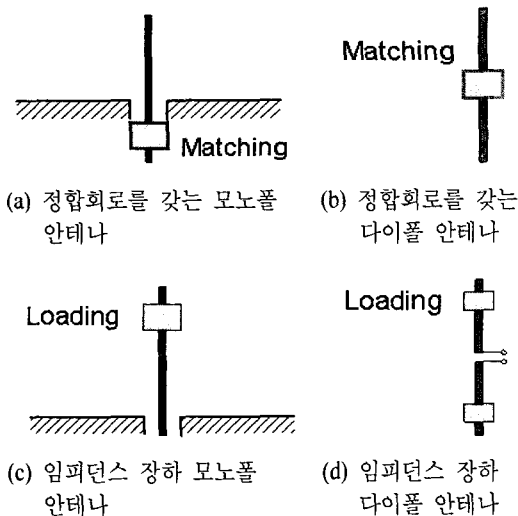
Ⅲ. 소형 광대역 안테나

3-1 선형 안테나의 소형화 및 광대역화

안테나를 소형화하면 효율이 저하되고 대역폭이 줄어들며 복사패턴이 변형된다. 여기서는 소형화에 따른 이런 성능 저하 현상을 개선하는 소형화, 광대역화 방법을 선형 안테나를 중심으로 고찰한다.

3-1-1 모노폴/다이폴 안테나

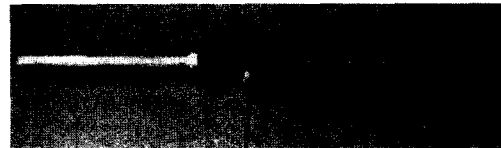
[그림 1]은 기본 모노폴 안테나(monopole antenna)와 다이폴 안테나(dipole antenna)에 정합회로 또는 임피던스를 장하여 소형화와 광대역화를 이룬 것이다¹⁾.



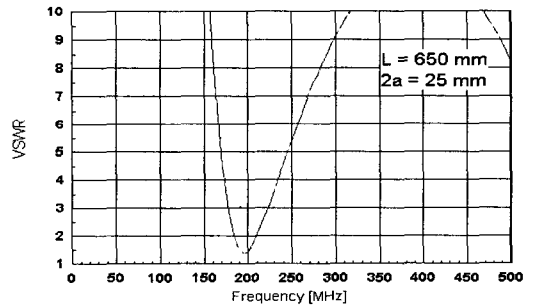
[그림 1] 모노폴 및 다이폴 안테나

[그림 1(a)]와 [그림 1(b)]는 급전부에 정합회로를 삽입한 것으로서 복사효율 개선을 위해서는 손실이 충분히 작은 정합회로가 요구된다. [그림 1(c)]와 [그림 1(d)]는 안테나 소자 중간에 집중 임피던스를 장하한 것으로 안테나의 전류분포를 조정하여 정합을 취하는 방법이다. 이 방법은 장하의 위치를 조정할 수 있어 임피던스 변환이 자유롭고 복사 패턴의 성형도 가능하다⁴⁾.

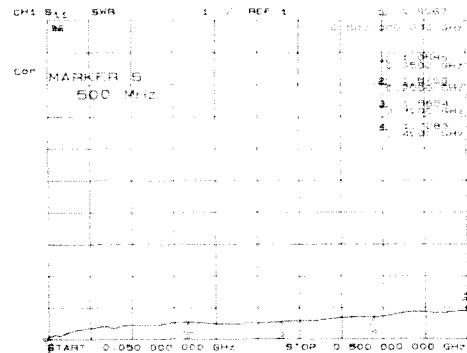
[그림 2]는 정합회로를 사용한 광대역 다이폴 안



(a) 외관



(b) VSWR(정합전)



(c) VSWR(정합후)

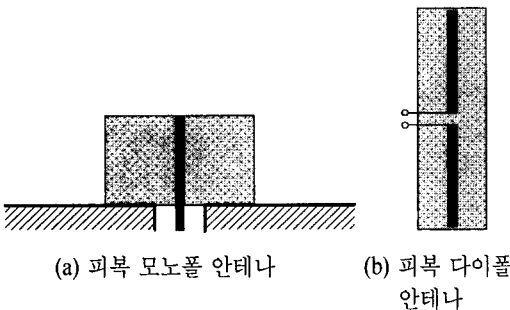
[그림 2] 정합회로를 사용한 다이폴 안테나

테나의 외관과 VSWR 특성을 나타낸 것이다^[5]. 안테나 길이는 650 mm, 직경은 25 mm이다. [그림 2(b)]의 정합전 VSWR 계산치를 보면 정합전 다이폴 안테나는 195 MHz 부근에서만 VSWR 2:1 이하를 만족하고 있는 전형적인 협대역 안테나임을 알 수 있다.

[그림 2(c)]는 195 MHz 부근에서 공진하는 다이폴 안테나에 정합회로를 삽입하여 측정된 VSWR이다. 그림에서 보듯이 정합회로를 사용한 경우 주파수 50 MHz에서 500 MHz 사이에 VSWR 2:1 이하를 만족하고 있으며 50 MHz 이하에서도 2:1 이하를 만족할 것으로 생각된다. 정합회로의 사용으로 VSWR 특성은 충분히 개선되었지만, 여기서 문제점으로 지적될 수 있는 것은 안테나의 손실이다. 안테나의 복사효율을 증가시키기 위해서는 손실이 작은 정합회로 개발이 반드시 필요하다.

3-1-2 피복 안테나

[그림 3]은 유전체 또는 페라이트와 같은 자성체 재료 안에 안테나 소자를 삽입한 피복 안테나(coated antenna)이다^{[11][6][7]}. [그림 3]에서 (a)는 모노폴 타입의 안테나이고, (b)는 다이폴 타입의 안테나이다. 유전체내의 실효 파장이 자유공간의 파장에 비하여 짧아짐으로써 안테나 소자의 길이가 줄어드는 소형 안테나이다. 비유전율 81의 유전체를 이용한 경우 충분한 효과를 얻기 위해서는 유전체의 두께가 0.03



[그림 3] 피복 안테나

이상이 필요하다.

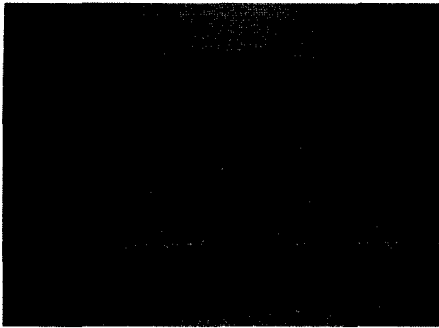
3-1-3 프린트 모노폴 안테나

[그림 4]는 프린트 기판에 구성된 PCS 대역 프린트 모노폴 안테나(printed monopole antenna)이다^[8]. 기존의 1/4 파장 모노폴 안테나보다 높이를 줄이고 대역폭을 넓히기 위해서 안테나 소자를 [그림 4(a)]와 같이 먼 형태로 변형한 안테나이다. [그림 4(b)]는 측정된 VSWR로서 PCS 대역 1750~1870 MHz 사이에서 1.5:1 이하를 만족하고 있다. [그림 4(c)]는 측정된 복사 패턴으로 다이폴 안테나의 복사 패턴과 거의 유사하게 나타나고 있다. 이는 접지판 크기가 크지 않기 때문이다. 모노폴 안테나에서 접지판의 크기 모양은 안테나의 복사 특성에 큰 영향을 준다. 따라서 모노폴 안테나로 소형화 광대역할 때는 반드시 접지판의 크기와 형태가 고려되어야 한다.

3-1-4 역 L / 역 F 안테나

[그림 5]는 모노폴 안테나의 중간을 꺾어서 소형화한 것으로 (a)는 역 L 안테나(inverted L antenna) (b)는 역 F 안테나(inverted F antenna)라고 한다^{[11][9]}.

역 L 안테나는 안테나의 높이를 0.1 파장의 이하로 할 수 있으며 복사 효율도 같은 높이의 모노폴 안테나에 비하여 다소 높다. 이 안테나는 접지판 위에 수평, 수직 2소자로 구성되어 있어 두 개의 편파가 복사된다. 그러나 역 L 안테나는 접지판에 평행한 수평 소자에 흐르는 전류가 그 영상 소자에 흐르는 전류와 역위상이 되어 복사에 그다지 기여하지 못하기 때문에 복사 저항이 1/4 파장 모노폴 안테나보다 작다. 이 안테나는 수직 소자의 길이로 결정되는 저항 성분이 작고, 수평 소자의 길이로 결정되는 리액턴스는 용량성으로 큰 값을 갖는다. 이 때문에 정합에 어려움이 있다. [그림 5]에서 (b)는 역 L 안테나에서 나타나는 정합의 어려움을 개선한 구조로 급전점 가까이 접지판과 복사소자 사이에 스텔브를 삽입한



(a) 안테나 외관

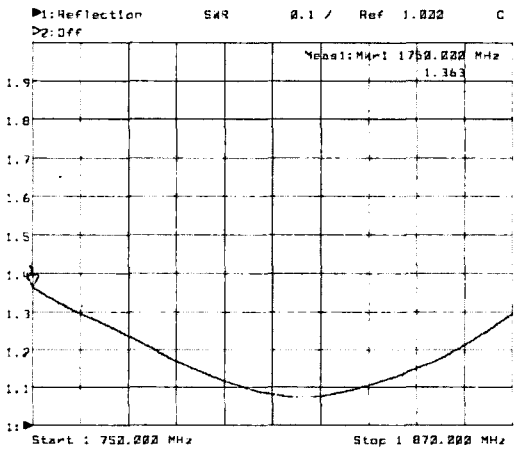


(a) 역 L

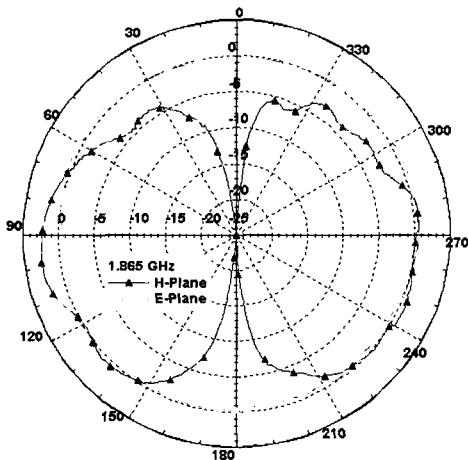


(b) 역 F

[그림 5] 역 L / 역 F 안테나



(b) VSWR



(c) 복사패턴

[그림 4] 프린트 모노폴 안테나

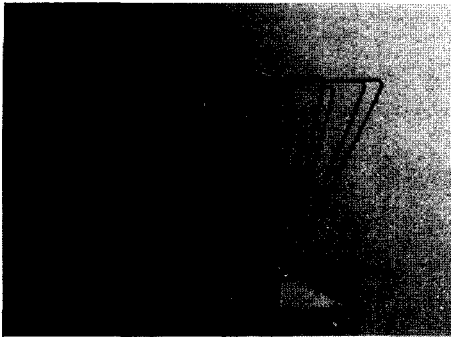
것이다. 이 스테브를 조정하여 정합을 시킬 수 있다. 안테나의 복사 패턴은 역 L 안테나와 거의 유사하고 직교 2편파를 복사한다. 역 F 안테나에서 광대역화는 주로 수평소자를 판으로 바꾼 판형 역 F 안테나(planar inverted F antenna)로 실현하거나 수평소자와 수직소자 연결부에 능동소자를 삽입하여 실현한다^[1].

[그림 6]은 역 L 안테나에서 단점으로 지적되고 있는 협대역 특성을 개선하기 위하여 수직부분을 타원추로 바꾼 안테나로서 타원추 역 L 안테나(inverted L antenna with elliptic cone)라고 한다^[10]. 역 L 구조로 안테나 높이를 줄이고 여기에 타원추의 광대역 특성을 결합한 안테나이다. 그림에서 (a)는 안테나의 외관, (b)는 측정된 VSWR, (c)는 90 MHz에서 측정된 복사 패턴이다.

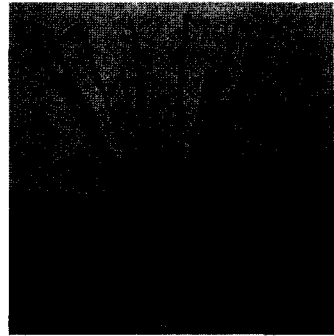
3-1-5 원추 모노폴 안테나

[그림 7]은 모노폴 안테나의 소형화와 광대역화를 위하여 일반적인 원추 모노폴 안테나(conical monopole antenna)의 광대역 특성을 그대로 유지하면서 안테나의 높이를 줄인 안테나이다^[11]. 안테나 높이를 줄이기 위하여 안테나 소자를 꺾어 내린 구조를 하고 있다. 꺾어 내린 부분의 길이에 따라 안테나의 복사특성이 변화한다.

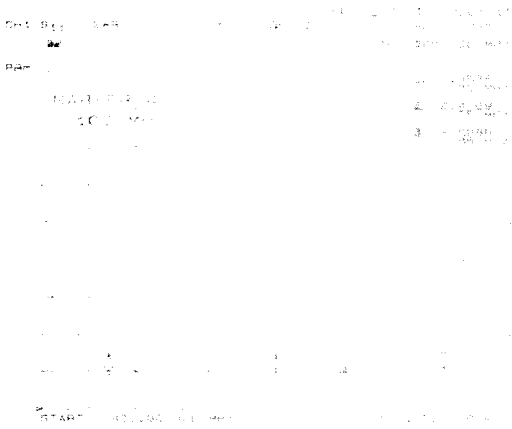
[그림 7]에서 (a)는 제작된 안테나이고, (b)와 (c)는



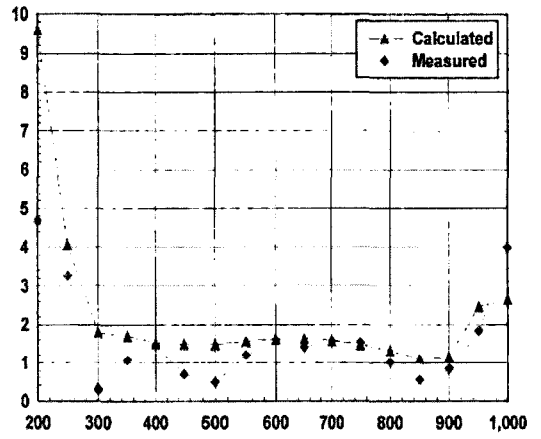
(a) 안테나 외관



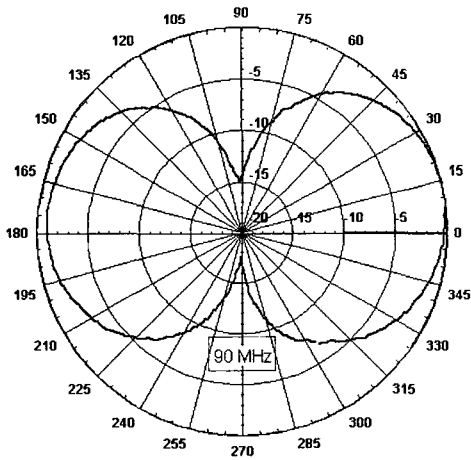
(a) 외관



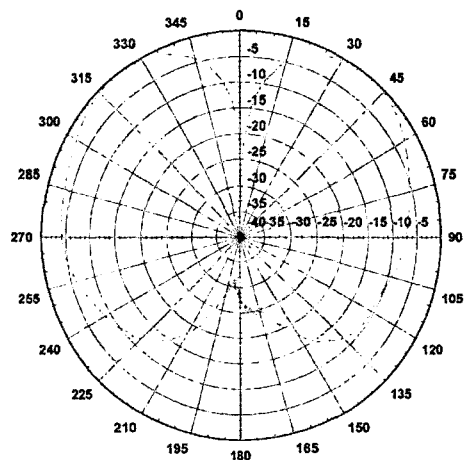
(b) VSWR



(b) VSWR



(c) 복사 패턴



(c) 복사 패턴

[그림 6] 타원추 역 L형 안테나

[그림 7] 변형된 원추 모노폴 안테나

각각 측정된 VSWR과 800 MHz에서의 복사 패턴이다. 복사 패턴은 다이폴 안테나의 복사 패턴과 유사하게 나타난다. 이는 접지판의 크기 때문이다.

3-1-6 원판 장하 안테나

[그림 8]은 모노폴 안테나의 높이를 줄여 소형화한 원판 장하 안테나(disc loaded antenna)이다^{[12]~[14]}. (a)는 모노폴 안테나의 수직소자에 원판을 장하한 구조이다. 금속 원판과 접지판 사이에 정전용량이 나타나서 완전정합은 이루어지지 않지만 같은 높이의 모노폴 안테나에 비하여 복사 저항이 크다. (b)는 (a) 구조에서 수직소자의 인접한 위치에 단락 핀(short pin)을 둔 구조로 원판 장하 폴디드 모노폴

안테나(disc loaded folded monopole antenna)^[13]라고 한다. (c)는 (b) 구조에서 정합판을 사용하여 광대역화한 구조이다^[14]. [그림 8(b)]와 [그림 8(c)]를 비교할 때 안테나 높이 1/30 파장, 디스크 반경 1/12 파장의 안테나에서 정합판이 있음으로 해서 VSWR ≤ 2가 만족되는 대역폭이 약 1.7 배 넓어진다.

선형 안테나를 광대역화 하는 방법으로 위에서 설명한 방법들 외에 급전소자 근처에 무급전 소자를 두어 2주파수 공진을 하여 광대역화 하는 방법이 있다.

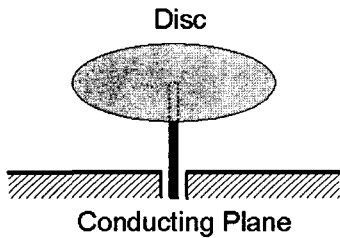
3-2 평판 안테나의 소형화 및 광대역화

여기서는 마이크로스트립 안테나로 대표되는 평판을 이용한 안테나에 대하여 소형화 및 광대역화 기법을 고찰한다.

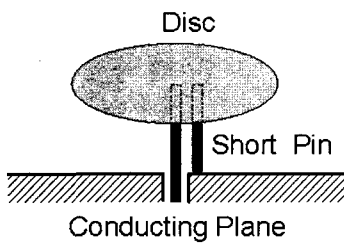
3-2-1 소형화

[그림 9]는 평판 안테나(planar antenna)의 소형화 기법을 나타내고 있다. [그림 9]에서 (a)는 마이크로스트립 안테나의 복사체 일부를 접지판과 접속하여 안테나 크기를 반으로 줄인 것이다. 기본 형상의 마이크로스트립 안테나의 경우 복사판의 길이 d 가 약 1/2 파장이므로 그 중앙부에서 전계가 0이 된다. 따라서 이 중앙부에서 복사판과 접지판을 단락해도 전계분포에는 변화가 없다. 이런 점을 이용하여 복사판의 길이를 반으로 하여 안테나를 소형화 한 것이다^[15]. 그러나 안테나가 소형화된 만큼 복사판이 반으로 줄어들어 이득이 3 dB 감소한다.

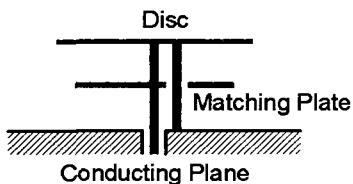
(b)는 (a)의 구조에서 단락판을 좁게 한 안테나로 판형 역 F 안테나라고 한다^{[16]~[18]}. 여기서 단락 판의 크기를 변화시켜 주파수 대역폭이나 공진주파수를 조정할 수 있다. 판형 역 F 안테나는 [그림 5(b)]의 역 F 안테나에서 수평 소자를 판으로 바꾼 구조로 생각할 수 있다. 이 때문에 복사 패턴은 가는 단락판을 소형 모노폴로 생각하고 그것에 복사판 주변의 자류에 의한 복사를 가한 것으로 생각할 수도 있다.



(a) 디스크 장하 모노폴 안테나

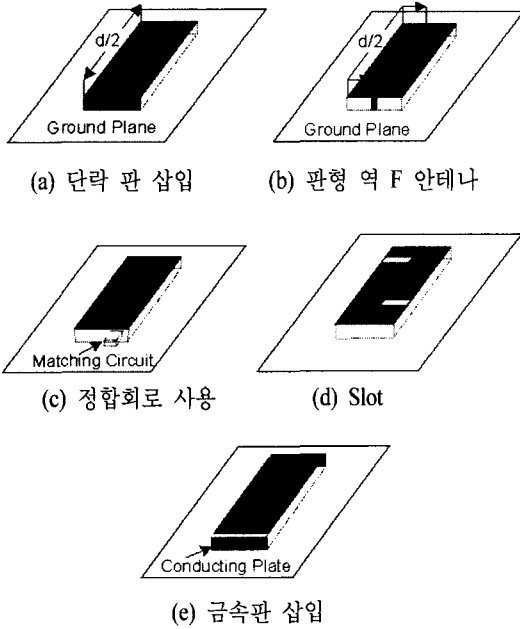


(b) 디스크 장하 폴디드 모노폴 안테나



(c) 정합판을 갖는 디스크 장하 폴디드 모노폴 안테나

[그림 8] 디스크 장하 안테나



[그림 9] 평판 안테나의 소형화

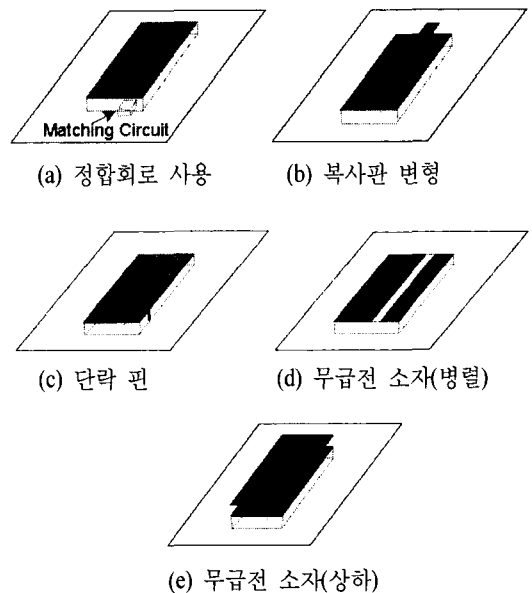
(c)는 소형 마이크로스트립 안테나의 급전부에 정합회로를 삽입한 것이다. 이에 의해 복사판의 길이가 1/2 파장을 만족하지 않는 경우에도 정합회로에 의해서 급전선과 정합시킬 수 있다. 단, 복사판의 길이가 짧기 때문에 복사효율이 저하한다.

(d)는 마이크로스트립 안테나에서 전류가 흐르는 방향과 직교하도록 복사판에 홈을 삽입한 것이다^{[16],[18]}. 이에 의해 리액턴스가 복사판 상에 장하됨으로써 복사판의 길이를 줄일 수 있지만 대역폭이 줄어든다. (e)는 복사판의 양 끝에 금속판을 근접시켜 소형화를 한 안테나이다^[18]. 복사판의 끝과 금속판 사이에 정전용량이 생겨서 복사원에 리액턴스를 장하한 것과 같은 효과가 얻어진다. 단, 제작상의 정도 때문에 정전용량에 한계가 있어 소형화를 크게 하는 것은 어렵다.

3-2-2 광대역화

[그림 10]은 소형화된 평판 안테나에 대역폭을 증

가시키는 기법을 나타낸다^{[16]~[18]}. (a)는 정합회로를 사용하는 것으로 공진주파수가 크게 떨어져 있지 않은 2주파수에 대하여 잘 이용되는 방법이다. 이 경우도 안테나 자체의 복사저항은 변화하지 않으므로 정합회로 삽입에 의한 효율 저하와 강제 정합에 의한 접지판과 복사판 사이의 전계 위상이 일치하지 않아 복사 패턴의 변화가 나타난다. (b)는 안테나 소자에서 2 주파수에 공진시키도록 복사판을 변형한 것으로 복사판에 돌기를 두어서 리액턴스를 부가한 것이다. 이런 종류의 안테나는 비교적 제작이 용이하여 안테나 특성 개선에 널리 이용되고 있다. (c)는 복사판과 접지판 사이에 금속 포스트를 설치한 것으로 포스트에 의해 리액턴스 장하의 효과를 갖게 한 것이다. (d)는 공진주파수가 다른 두 개의 복사소자를 나란하게 둔 것으로 그것들이 각각의 공진을 하는 것에 의해 다공진화를 도모한 것이다. (e)는 크기가 다른 복사판을 상하로 중첩시킴으로써 다공진화를 도모하는 것이다.



[그림 10] 평판 안테나의 광대역화

IV. 결 론

최근 무선통신 시스템의 발달로 소형, 경량, 박형, 광대역 특성을 갖는 안테나가 요구되고 있다. 안테나를 소형화시키면 전기적으로 성능이 저하하지만 기구적으로 크기가 작아서 사용상 편리한 점이 있다. 이 때문에 소형 안테나에 대한 연구는 끊임없이 이루어져 왔고, 현재 많은 연구 성과가 발표되었다. 여기서는 독자들로 하여금 소형 안테나의 연구에 조금이나마 도움이 될 수 있도록 하기 위하여 소형 안테나를 분류하고 소형화시 발생하는 문제점, 소형화 및 광대역화 기법을 고찰하였다.

참 고 문 헌

- [1] K. Fujimoto, A. Henderson, K. Hirasawa, and J. R. James, *Small Antennas*, Chapter 1, RSP LTD, 1987.
- [2] M. Shinji, "Small or low profile antennas and radio communication systems", *IEICE*, vol. J71-B, no. 11, pp. 1198-1205, Nov. 1988.
- [3] S. Tokumaru, "Electrically small antennas", *IEICE*, vol. J71-B, no. 11, pp. 1206-1212, Nov. 1988.
- [4] K. Fujimoto, K. Hirasawa, "On electrically-beam-controllable dipole antenna", *IEEE AP-S International Symposium*, pp. 692-695, 1980.
- [5] 최학근, 광대역 안테나 소자연구, 전자통신연구원 보고서, 2004년.
- [6] R. W. P. King, G. S. Smith, *Antenna in Matter*, MIT Press, Cambridge, Massachusetts, 1981.
- [7] J. R. James, R. M. Burrows, "Resonance properties of dielectrically loaded short unipoles", *Electronics Letter*, vol. 9, pp. 303-302, Jul. 1973.
- [8] 서승엽, 이상수, 최학근, "프린트 모노폴 안테나의 복사특성", 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집, 27(2), 2004년.
- [9] R. J. F. Guertler, "Isotropic transmission line antenna and its toroid-pattern modification", *IEEE Trans.*, AP-25, pp. 386-392, 1977.
- [10] 김기호, 이재욱, 송명선, 이형수, 최학근, "타원형 원추 모노폴 안테나의 복사특성 해석", 마이크로파 및 전파학술대회 논문집, 24(2), pp. 271-274, 2001년.
- [11] 박준한, 최학근, "꺾임형 원추 모노폴 안테나의 복사특성 해석", 전파 및 광파기술 학술대회 논문집, 4(1), 2003년.
- [12] H. A. Weeks, *Antenna Engineering*, McGraw-Hill Book Co., 1968.
- [13] S. Sekine, T. Uno, K. Sawaya, and S. Adachi, "Theoretical analysis of disc-loaded folded monopole antenna", *IEICE*, vol. J71-B, no. 11, pp. 1244-1247, Nov. 1988.
- [14] S. Sekine, T. Ishizone, and S. Adachi, "Disc-loaded folded monopole antenna with matching plate", *IEICE*, vol. J71-B, no. 11, pp. 1248-1251, Nov. 1988.
- [15] J. R. James, P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus Ltd., 1989.
- [16] R. Garg, P. Bhartia, I. Bahl, and A. Ittipiboon, *Microstrip Antenna Design Handbook*, Artech House, 2001.
- [17] K. Hirasawa, M. Haneishi, *Analysis, Design, and Measurement of Small and Low-Profile Antennas*, Artech House, 1992.
- [18] K. Fujimoto, *Mobile Communication Antenna System*, Japan Edition, 1996.

≡ 필자소개 ≡

임 성 빈



1988년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
1993년 8월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
1998년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 박사과정
1994년 3월~현재: 한국항공우주연구원

선임연구원

[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로

최 학 근



1979년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학사)
1981년 2월: 고려대학교 전자공학과 (공학석사)
1988년 8월: 고려대학교 전자공학과 (공학박사)
1981년 3월~1990년 2월: 동서울대학 전

자통신과 부교수

1991년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 교수
1989년 3월~현재: (주) 하이게인안테나 기술고문
[주 관심분야] 안테나 전파전파, 마이크로파 회로

박 용 옥



2004년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
2004년 3월~현재: 단국대학교 전자공학과 석사과정
[주 관심분야] 안테나 및 전파전파, 마이크로파 회로