

主題

# 광대역 안테나 기술

연세대학교 기계·전자공학부 운영중, 김연정

차례

- I. 서론
- II. 안테나의 대역폭 특성
- III. 광대역 선형 안테나
- IV. 광대역 혼 안테나
- V. 광대역 마이크로스트립 안테나
- VI. 결론

## I. 서론

최근의 이동통신 및 위성통신의 급속한 발달로 인하여 정보화 사회에서 무선통신의 역할은 아무리 강조하여도 부족함이 없을 것이다. 이러한 무선통신의 기반을 형성하는 기술이 바로 안테나 기술이고, 송수신단의 최우선 단인 안테나의 성능이 서비스 영역 및 서비스 형태에 따른 통신의 질을 좌우하게 되므로 이의 중요도가 날로 증가하고 있다. 우리 생활 주변에서 항상 접하는 휴대전화, 가정이나 사무실에서 무선전화기로부터 옥상의 위성방송수신 안테나, 도로변의 이동통신 기지국 안테나, 드넓은 남산타워의 방송송출 안테나에 이르기까지 그 용도와 형태가 실로 다양하다. 특히, 이동통신 업무에서는 사용 주파수가 점점 높아짐에 따라 사용자들의 통신 추세가 현재의 음성에서 데이터, 팩스, 정지영상, 오디오, 그래픽, 동영상 등으로 멀티미디어화 되면서 필요한

무선 스펙트럼의 양이 급격히 증가되고 있다. 이와 같이 향후의 전파이용기술은 그림 1, 그림 2와 같이 음성위주의 협대역 통신으로부터 인터넷과 멀티미디어와 같은 광대역 통신으로 서비스의 변화가 일어나고 있으며, 또한 하나의 단말기로 다종의 서비스를 할 수 있는 통합 시스템의 개발에 대한 무한한 욕

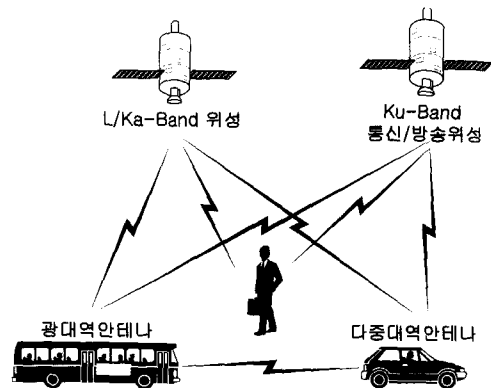


그림 1. 광대역 기술 응용 사례

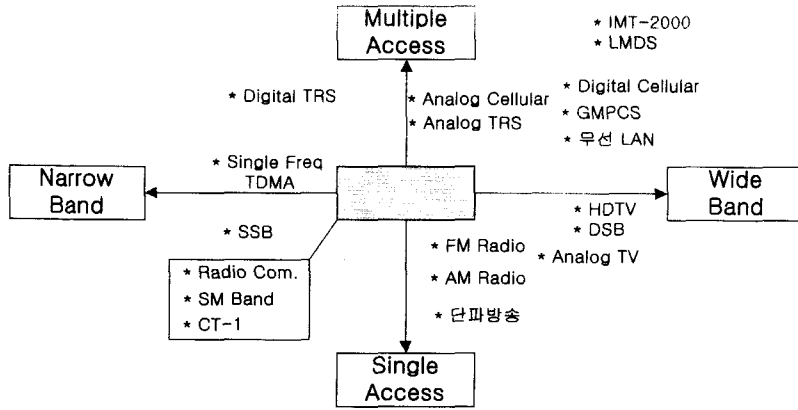


그림 2. 광대역 기술 동향

구 때문에 광대역 안테나 기술이 계속해서 발전될 것으로 예측된다. 본 고에서는 광대역 안테나에 초점을 맞추어 안테나 대역폭에 대한 기본적인 이론과 다양한 광대역 안테나 종류를 소개하고 광대역 안테나의 최근 동향을 기술하고자 한다.

## II. 안테나의 대역폭 특성

안테나는 무선 시스템의 첫 단계에서 송신시에는 전력을 전파에너지로 바꾸어 공간으로 방사하며, 수신시에는 공간의 전파에너지를 흡수하여 전력으로 바꾸어 주는 에너지 변환장치로써 음성, 화상 등의 신호를 전송하고 수신하는 장치이다. 이러한 안테나의 특성은 입력 임피던스, 방사패턴, 이득, 편파 및 대역폭과 같은 다양한 요소들에 의해서 결정된다. 그 중에서도 광대역 안테나에서 중요한 요소인 대역폭 특성은 임피던스 대역폭, 패턴 대역폭, 축비 대역폭 등에 의해서 결정되며 사용목적에 따라 안테나의 대역폭을 증가시키기 위해 임피던스 정합이나 구조적 변화와 같은 다양한 방법을 사용하고 있다. 아래는 안테나의 대역폭 특성을 결정짓는 요소들에 대해서 설명하였다.

### 1. 임피던스 대역폭(Impedance Bandwidth)

안테나는 특정 주파수에서 공진이 일어나도록 설계되어 있기 때문에 안테나에 있어서 임피던스 대역폭은 그림 3과 같이 신호가 안테나에 입력되어 반사되는 반사손실로써 정의되며 이 주파수에서 벗어날 경우 부정합에 의해 반사계수 또는 정재파비가 높아지게 된다. [1][2] 대역폭은 반사 계수가 -10dB 이하가 되는 주파수 대역으로 정의되며, 정재파비와, 반사손실 대역폭은 식 (1)과 같은 관계가 있다. 이때 대역폭이 넓을수록 광대역 안테나라고 부른다.

$$VSWR = \frac{1 + |\Gamma|}{1 - |\Gamma|}$$

$$Return Loss = 20 \log |\Gamma| \tag{1}$$

$$BW = \frac{VSWR - 1}{Q \sqrt{VSWR}}$$

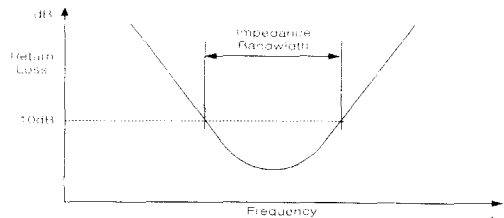


그림 3. 임피던스 대역폭

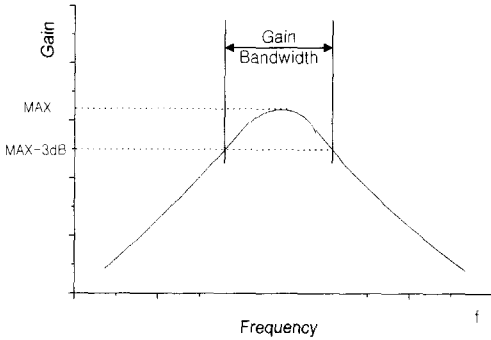


그림 4. 이득 대역폭

## 2. 패턴 대역폭 (Pattern Bandwidth)

안테나의 패턴 대역폭에는 안테나 이득, 부엽 레벨, 빔폭, 주빔의 위치등이 대역폭을 결정하는 중요한 요소로서 작용한다. 그 중에서도 이득은 특정 주파수에 정합 되었을 경우 그 주파수에서 최대 이득을 갖게 되며, 이득 대역폭은 그림 4와 같이 최대 이득에서 -3dB 떨어지는 주파수의 대역으로 결정된다. [1][2] 일반적인 선형 편파 안테나의 경우 임피던스 대역폭과 패턴 대역폭이 동시에 만족하는 대역을 안테나의 전체 대역폭으로서 정의한다.

## 3. 축비 대역폭 (Axial Ratio Bandwidth)

최근 실내 환경에서 다중반사에 의한 전파 왜곡 특성을 개선하기 위한 목적으로나 방송용으로 원형 편파를 많이 사용하고 있다. 이 때 원형 편파에 대한 성능을 나타내는 축비 대역폭은 원형편파 안테나의 성능을 분석하는 지표로 그림 5에서처럼 축 방향의 비가 -3dB 이하가 되는 대역폭으로써 정의되며, 전체 대역폭은 임피던스 대역폭과 이득 대역폭, 축비 대역폭을 동시에 만족하는 대역으로서 결정된다. [1][2]

## Ⅲ. 광대역 선형 안테나

이 절에서는 기존에 많이 사용되고 있는 선형 안테나 중 광대역 특성을 갖는 광대역  $\lambda/4$  다이폴 안테나, Spiral 안테나, 진행파형 안테나, 광대역 임피던스 안테나에 대해 서술하겠다.

### 1. 광대역 $\lambda/4$ 다이폴 안테나

$\lambda/4$  다이폴 안테나는 안테나 기술 초기에 쓰인

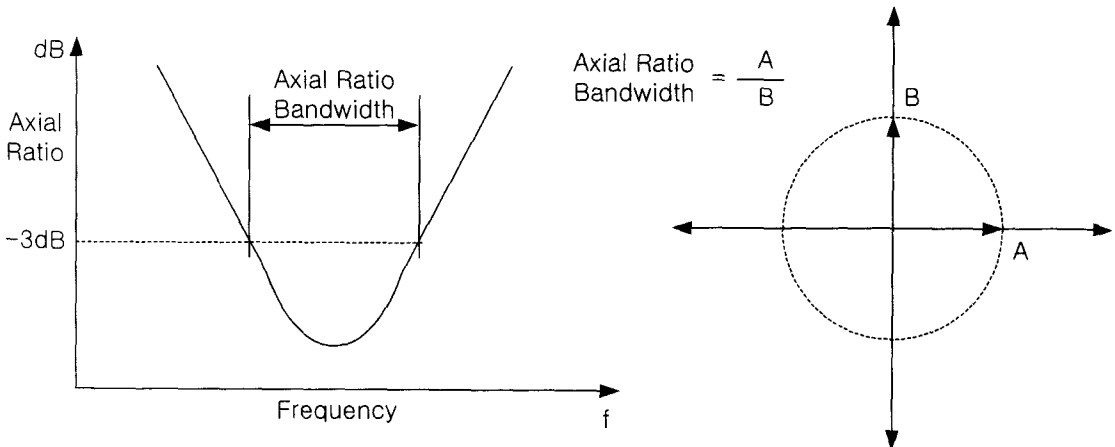


그림 5. 축비 대역폭

안테나로 그 간단함과 효율 때문에 현재까지도 많이 사용되고 있는 안테나이지만, 대략 3% 정도의 좁은 대역폭을 가진다는 단점이 있다. 그래서 광대역  $\lambda/4$  다이폴 안테나는 그림 6처럼 길이가  $\lambda/4$ 에서 조금씩 다른 2개 혹은 3개의 다이폴 안테나의 조합으로 배치함으로써 대역폭 확장을 얻을 수 있도록 한 구조이다. [3]

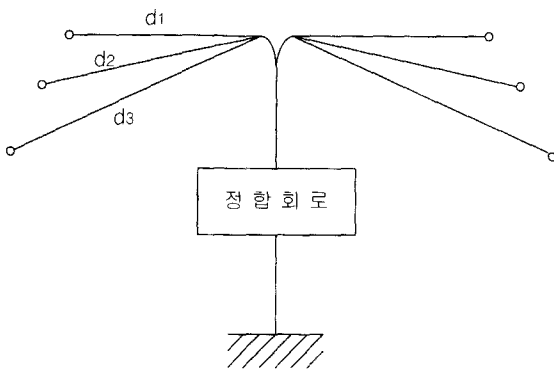


그림 6. 광대역  $\lambda/4$  다이폴 안테나

## 2. 스파이럴 안테나

일반적인 안테나는 주파수가 변화하면 안테나의 전기적인 크기, 임피던스 및 복사패턴이 달라진다. 따라서 안테나의 물리적인 크기가 정해지면 사용 주파수 범위가 제한되게 된다. 이에 반해 임피던스, 복사 패턴 등이 넓은 주파수 대역에서 크게 변하지 않는 안테나를 주파수 독립 안테나라고 부르며, 스파이럴 안테나가 이에 속한다. 그림 7과 같은 스파이럴 안테나는 주파수에 따른 안테나의 길이 변화를 주회 각도로 표현할 수 있기 때문에 안테나의 물리적인 크기 변화를 회전 각도의 변화로 대치할 수 있어 광대역에서 사용될 수 있다. 스파이럴 안테나는 소형, 경량, 넓은 빔폭 및 주파수 독립 특성 등을 지니기 때문에 항공기, 미사일 또는 차량 등에 사용되고 있고 특히, 전자전 지원책 시스템의 방향 탐지용 안테나로 많이 이용되고 있다. 스파이럴 안테나는

크게 스파이럴 안테나, backing cavity, balun 의 3부분으로 구성되어 있다. [4]

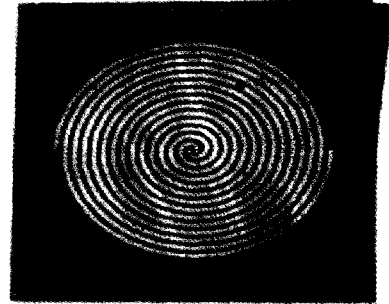


그림 7. Spiral Antenna

## 3. 진행파형 안테나

진행파형 안테나는 단방향성이며 효율은 낮지만, 사용 주파수가 변화하여도 안테나 특성 변화가 매우 적은 성질을 가지며, 도선의 길이와 파장의 관계가 무관한 진행파를 이용한 안테나이므로 한 개 안테나를 여러 주파수에 사용할 수 있는 광대역 특성을 가지며 지향성과 이득이 큰 장점이 있다. 이러한 진행파형 안테나에는 그림 8처럼 각 도선에서 복사빔 5,6,7,8은 역상으로 상쇄되고, 1,2,3,4는 합성되어 단방향성의 지향성의 빔 지향특성을 가지는 Rhombic 안테나가 있으며, Rhombic 안테나와 구조는 유사하나 이득이 3dB 적은 진행파 V형 안테

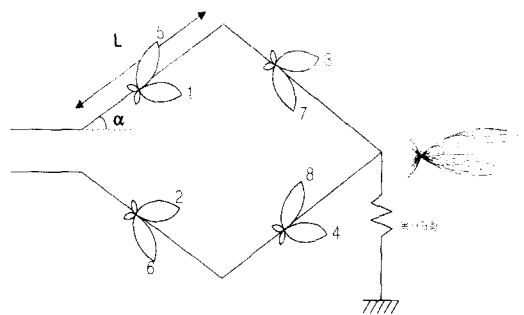


그림 8. Rhombic 안테나



그림 9. Helical 안테나

나가 있고, 이외에도 평행 2선식 급전선의 양측에 많은 비공진 소자를 미소용량을 통하여 소 결합시키고, 종단에 파동 임피던스와 같은 종단저항을 접속하여 진행파형 안테나로 동작시킨 Fish bone 안테나, 그림 9와 같은 동축 급전선의 중심도체에 나선형의 도체를 연결하고, 외부 도체는 접지 평면과 연결한 형태의 Helical 안테나 등이 있다. [3][4]

#### 4. 광대역 임피던스 안테나

광대역 임피던스 안테나는 길이 변화에 따라 각각의 주파수는 달라도 입력 임피던스가 넓은 대역에서 거의 일정하고 좋은 지향 특성을 가진 안테나이다. 이러한 광대역 임피던스 안테나의 종류에는 그림 10 처럼 원추형 안테나를 2개 마주 세운 구조의 biconical 안테나, biconical 안테나에서 한쪽의 원추를 원판으로 변형한 discone 안테나, bicone 안테나를 도체판 형태로 변형한 부채형 안테나, 그림 11처럼 안테나의 크기와 모양이 비례적으로 커지

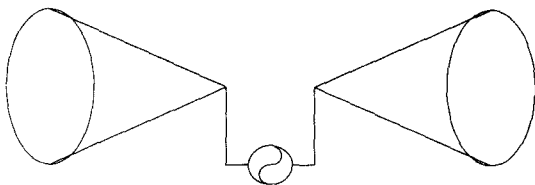


그림 10. Biconical 안테나

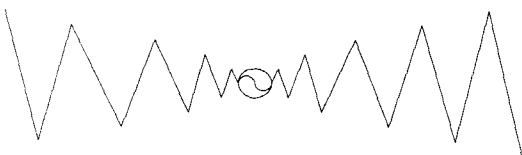


그림 11. 대수 주기형 안테나

는 여러 개의 소자로 구성된 대수 주기형 안테나 등이 있다.[3][4]

### IV. 광대역 혼 안테나

혼 안테나는 도파관의 단면을 서서히 넓혀 도파관의 특성 임피던스를 자유공간의 특성 임피던스에 가까워지도록 하여 경계면에서의 반사를 줄이고, 복사 전자계에 예리한 지향성과 이득을 갖게 한 안테나로써 주파수가 높아져 반파장 다이폴 안테나가 너무 작아져서 사용하기 곤란할 때 많이 사용하는 안테나이다.[1][4] 이러한 혼 안테나를 광대역화 하기 위해서는 TEM 혼 안테나, Wedged 혼 안테나, Corrugated 혼 안테나 등과 같이 변형된 혼 안테나를 사용해야 한다.

#### 1. TEM 혼 안테나

TEM 혼 안테나는 그림 12처럼 TE, TM파를 전송하는 완전한 도파관 형태가 아니라 옆면은 비어 있는 구조로써 진행파형 안테나 역할을 하는 광대역 안테나이다. 이러한 TEM 혼 안테나는 지반탐사 레이다와 임펄스 통신과 같은 초광대역 특성을 필요로 하는 곳에 많이 이용되고 있다.[5]

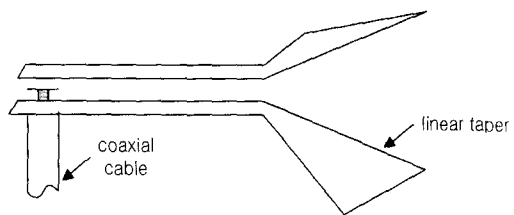


그림 12. TEM 혼 안테나

#### 2. Corrugated 혼 안테나

Corrugated 혼 안테나는 1964년에 Kay에 의

해서 처음 제안된 안테나로써 그림 13처럼 혼 안테나 표면에  $\lambda_0/4$  길이의 슬롯을 일정한 간격으로 배열한 구조를 가지고 있다.[6] 이러한 corrugated 혼 안테나는 혼 안테나의 가장자리로부터의 회절에 의한 부엽이나 주빔의 원치 않는 방사를 줄이고, corrugation에 의해서 안테나의 임피던스와 VSWR에 영향을 주며, 넓은 대역에서 낮은 VSWR을 가지는 장점을 가지고 있다.[7][8][9] 하지만, corona나 다른 breakdown과 같은 현상 때문에 corrugation의 폭이  $\lambda_0/10$ 를 넘어서는 안되는 단점이 있다.[1]

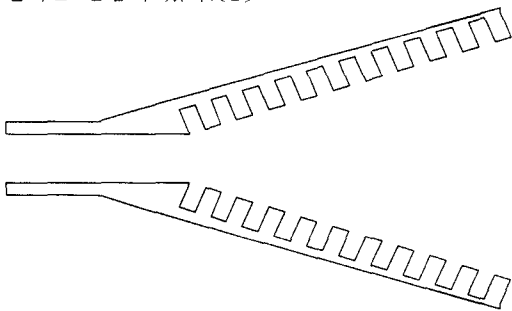


그림 13. Corrugated 혼 안테나

## V. 광대역 마이크로스트립 안테나

마이크로스트립 안테나는 그림 14와 같이 유전체 한 면에는 방사 패치가 있고 반대 면은 접지 면으로 구성되어 있는 구조로서 소형, 경량, 평판구조, 여러 가지 편파 구현의 용이성, 이중 공진 특성 및 능동소자와의 집적성 등의 많은 장점을 가지고 있으나, 1~2% 정도의 협대역 특성, 낮은 이득, 표면파의 발생, 유효 전력의 한계성 등을 가지고 있어 실제 사용에는 많은 제약을 받아왔다. 하지만 최근 광대역 구현 기술, 이중 및 다중 대역 구현 기술 등과 같은 마이크로스트립 안테나의 협대역 특성을 극복하기 위한 많은 연구가 진행되고 있다.[10][11][12] 본

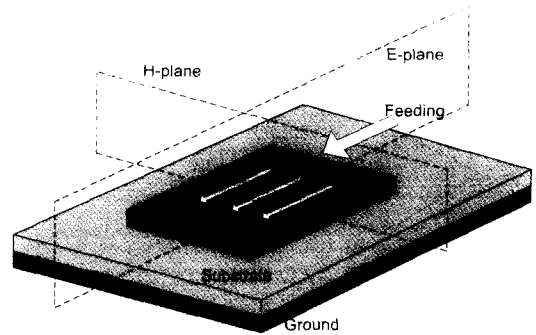


그림 14. 마이크로스트립 안테나 구조

절에서는 마이크로스트립 안테나의 단점인 협대역 특성을 개선하기 위한 여러 가지 광대역 방법들에 대해서 알아보겠다.

### 1. 물리적 구조에 의한 광대역 방법

마이크로스트립 안테나의 임피던스 대역폭을 증가시키기 위해서는 기판의 두께를 증가시키거나 낮은 유전율의 기판을 사용하면 되지만, 기판의 두께가 두꺼워질수록 안테나 패턴의 왜곡을 일으키는 표면파가 증가하게 되며 방사 효율이 떨어지고, 임피던스의 특성이 왜곡되는 고차 모드가 발생하게 된다. 또한 낮은 유전율에 의한 광대역 기법은 유전율을 낮출 수 있는 한계 때문에 광대역 특성이 제한되므로, 적절한 두께의 유전체와 유전율을 선택해야 한다.[13]

### 2. 슬롯 결합 구조를 이용한 광대역 방법

마이크로스트립 안테나의 급전구조에는 마이크로스트립, 프루브, 슬롯 결합 등을 이용하는 방법이 있는데, 그 중에서 그림 15처럼 슬롯 결합 급전을 이용한 안테나를 슬롯 결합 안테나라고 한다.[14] 이러한 슬롯 결합 안테나는 1985년에 David M. Pozer에 의해 처음 제안된 방법으로써 슬롯 결합 특성에 의해서 10~20% 정도의 광대역 효과를 얻

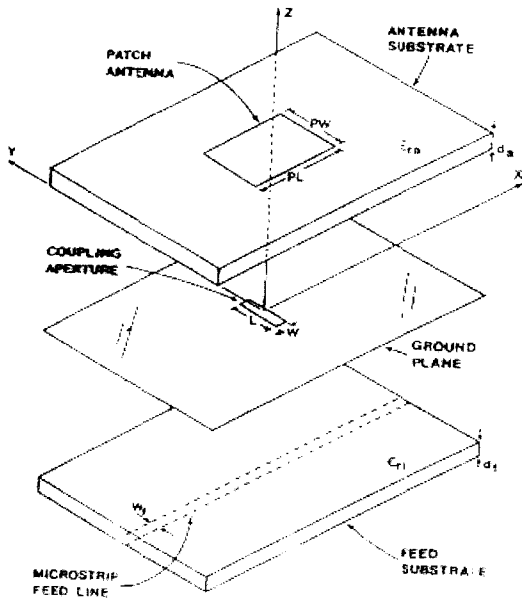


그림 15. 슬롯 결합 안테나

을 수 있으며, 슬롯의 모양을 사각형에서 bow-tie 형, H형 그리고 모래 시계 형태로 바꾸어 줌에 따라서 coupling이 커지는 현상이 발생한다. 이러한 모래 시계 형태의 슬롯은 H형과 bow-tie 모양을 합쳐서 불연속인 면을 제거하여 슬롯 내부의 전자계 분포를 더 uniform하게 만들었기 때문에 대역폭이 더 넓은 장점을 가지고 있다.[15] 또한 패치 위에 크기가 다른 패치를 조합함으로써 30% 이상의 광대역 특성을 얻을 수 있는 장점이 있다.[16]

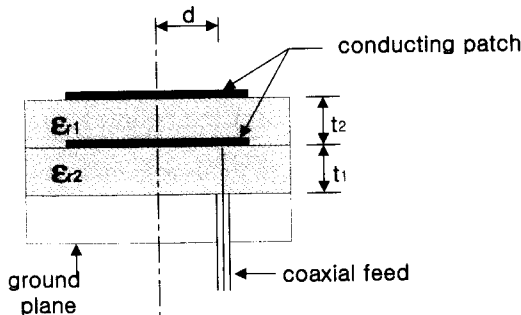


그림 16. 적층 구조 안테나

### 3. 적층 구조를 이용한 광대역 방법

적층 구조 안테나는 그림 16처럼 두 개 이상의 패치를 서로 다른 층에 수직으로 배열하고, 적층 패치의 크기 조절과 위 패치와 아래 패치간의 높이를 적절히 조정함으로써 각각의 패치에 의한 공진과 패치 서로 간의 결합에 의해서 20% 이상의 광대역 특성 및 이중공진 특성을 갖도록 하는 방법이다.[17] 위 패치의 크기를 크게 하면 공진 주파수가 감소하며 스미스 차트 상에서 루프가 반시계 방향으로 이동하는 특성이 있으며, 위 패치의 크기를 작게 하면 공진 주파수에는 거의 영향을 주지 않는다. 또한 아래와 위 패치 간의 offset이 발생할 경우 높은 공진 주파수에서 심각한 변화를 초래하지만, 낮은 공진 주파수에는 크게 영향을 주지 않는 특성이 있다. 이러한 적층 구조를 이용한 광대역 방법은 특히 이중공진 이중편파 특성을 만족해야 하는 안테나의 광대역 특성을 얻기 위한 가장 적당한 방법으로써 이용되고 있다.[18] 하지만, 수직적인 부피 증가와 대량생산이 어렵다는 단점이 있다.

### 4. 기생 구조를 이용한 광대역 방법

기생 구조를 이용한 광대역 안테나는 1978년에 H. Pues에 의해서 처음 제시된 방법으로써 그림 17처럼 주 패치의 주위에 크기가 다른 기생 패치를 둬으로써 기생 패치 각각의 서로 다른 공진과 패치 간의 결합 특성에 의해서 10-20% 정도의 광대역 특성을 얻는 방법이다.[19] 주 패치 주위에 두 개의 기생 패치를 둘 경우 약 15%의 대역폭 증가가 발생하며, 네 개의 기생 패치를 둘 경우 대역폭을 20% 까지 증가시킬 수 있다.[20] 현재는 이러한 기생 구조를 이용한 광대역 방법에 적층 구조를 이용한 광대역 방법과 그 밖의 다른 광대역 방법을 첨가함으로써 좀 더 넓은 광대역 특성을 얻는 연구가 진행 중에 있다.[21] 하지만, 기생 구조를 이용한 광대역

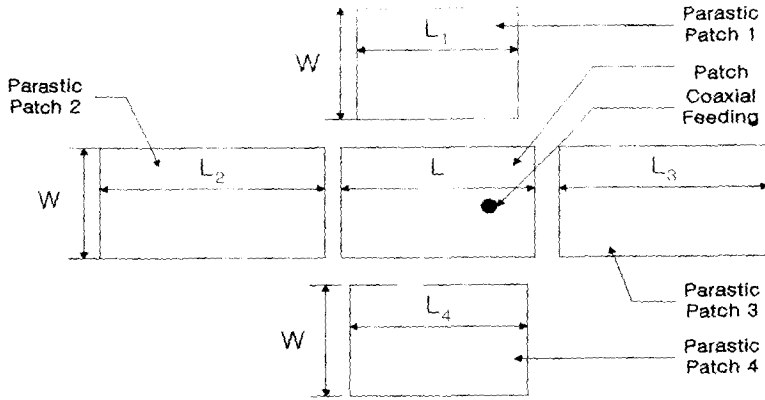


그림 17. 기생패치를 이용한 안테나

방법은 부피가 증가하는 단점과 배열로 확장이 어렵다는 단점이 있다.

이 있지만, 입력 전력에 대한 효율이 나쁜 단점이 있다.[23]

### 5. 대수 주기를 이용한 광대역 방법

대수 주기를 이용한 광대역 안테나는 1981년에 H. Poes에 의해서 제안된 방법으로써 그림 18처럼 안테나의 크기를 조금씩 변화시켜 각각의 공진 특성에 의해서 광대역 특성을 얻어내는 방법이다.[22] 이 방법은 패치 사이의 간격과 패치의 크기 조절에 의해서 쉽게 정합이 가능하고, 스택 안테나에 비해 대역폭이 1.5배 넓으며, 마이크로스트립 스파이럴 안테나에 비해 좋은 효율을 나타낸다는 장점

### 6. Tuning Stub나 Reactive Load를 이용한 광대역 방법

Tuning Stub나 Reactive Load를 이용한 광대역 안테나는 마이크로스트립 스텐더브나 그림 19와 같은 길이 조정 단락회로 동축 스텐더브, 단락 핀 등의 리액턴스 부하를 달아줌으로써 10% 정도의 대역폭 향상이나 다중 공진 특성을 얻을 수 있는 방법이다.[24][25][26] 이 방식은 리액턴스 성분에 의한 임피던스 변화와 고차 모드 변화에 의한 주파수 분

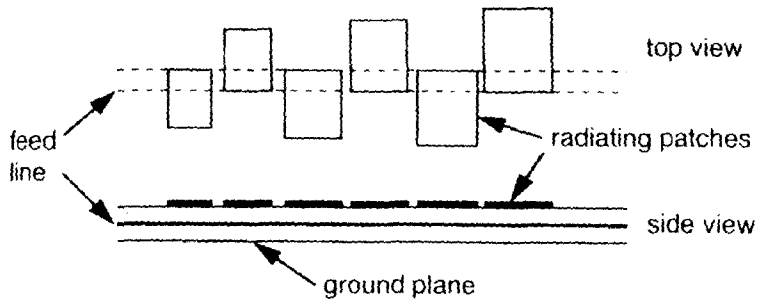


그림 18. 대수 주기형 안테나



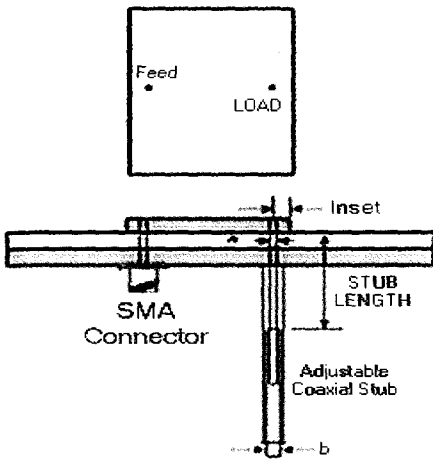


그림 19. Reactive Load를 이용한 안테나

리도를 조정할 수 있는 장점이 있지만, 제조가 어렵다는 단점이 있다.

### 7. U 슬롯 구조를 이용한 광대역 방법

적층 구조나 기생 구조는 광대역 특성을 쉽게 얻을 수 있다는 장점은 있지만, 어레이로 확장하기 힘들거나 기판 층을 여러 개 붙여야하는 단점이 있다. 그러나, K. F. Lee에 의해서 제안된 그림 20과 같

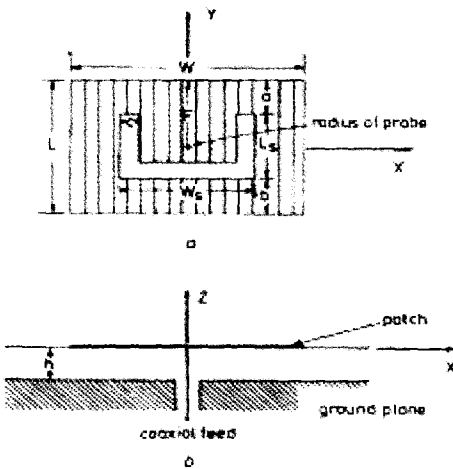


그림 20. U-slot 구조

은 U 슬롯 구조는 U슬롯 자체의 전류분포에 따른 공진 특성과 패치 자체의 공진 특성을 이용하므로 하나의 기판을 이용해서 40% 정도의 광대역 특성을 얻을 수 있다는 장점이 있다.[27][28] 현재 국내에서도 기존의 동축선로 급전이 아닌 슬롯 결합 급전을 이용한 U 슬롯 마이크로스트립 안테나를 이용하여 35%의 대역폭 특성을 얻었다.[29]

### 8. 광대역 임피던스 정합을 이용한 광대역 방법

광대역 선형 안테나에서 사용된 대수 주기형 안테나와 Bow-tie 안테나와 같은 임피던스 정합에 의한 광대역 방법은 대수 주기형 마이크로스트립 안테나, 그림 21과 같은 Bow-tie형 마이크로스트립 안테나 등과 같이 광대역 특성을 필요로 하는 마이크로스트립 안테나에서 널리 응용되고 있다.[30][31][32][33]

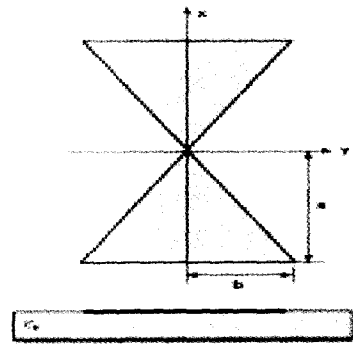


그림 21. Bow-tie형 광대역 안테나

## IV. 결론

인간의 활동 범위가 넓어지면서 이동하는 중에도 다양한 정보를 송수신할 필요가 있게 되었으며, 이에 따라 다양한 무선 통신 서비스가 급속하게 증가하고 있다. 이 중에서도 하나의 단말기로 다수의 서

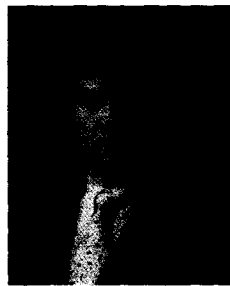
비스를 제공받을 수 있는 광대역 단말기에서는 소형, 경량의 구조적인 문제와 성능과 기능을 좌우하는 결정적인 열쇠를 광대역 안테나가 제공할 것으로 예상된다. 따라서 차세대 단말 장치 기술 발전의 관건은 바로 안테나 기술 개발에 달려 있으며, 이를 위해 선진 연구 기관에서는 기능과 성능이 향상된 새로운 광대역 안테나 기술 개발에 주력하고 있다. 앞으로는 국내에서도 다양한 통신 서비스 시대를 맞이하여 다양한 서비스를 동시에 제공받기 위한 광대역 안테나 개발에 더욱 더 많은 연구와 지원으로 기술 장벽을 극복하고, 국제 경쟁력을 높여 나아가 할 것이다.

#### ※ 참고 문헌

- Constantine. A. Balanis, *Antenna Theory Analysis and Design*, John Wiley & Sons, 1997.
- David M. Pozar, *Microwave Engineering*, Addition-Wesley Publishing Company, 1990.
- 강정진, *최신 안테나 공학*, 집문당, 1996.
- W. L. Stutzman, G. A. Thiele, *Antenna Theory and Design*, John Wiley & Sons, 1998.
- H. L. Bertoni, L. Carin and L. B. Felsen, *Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics*, Plenum Press, 1993.
- A. F. Kay "The Scalar Feed", *AFRL Rep. 64-347*, AD601609, March 1964.
- R. E. Lawrie and L. Peters, Jr. "Modifications of Horn Antennas for Low Side Lobe Levels", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 14, no. 5, pp. 605-610, September, 1966.
- R. S. Elliott "On the Theory of Corrugated Plane Surfaces", *IRE Trans. Antenna Propagat.*, vol. 2, no. 2, pp 71-81, April, 1954.
- C. A. Mentzer and L. Peters, Jr. "Pattern Analysis of Corrugated Surfaces for Corrugated Horn Design", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 24, no. 3, pp. 304-309, May, 1976.
- H. F. Lee, W. Chen, *Advances in Microstrip and Printed Antennas*, John Wiley & Sons, 1997.
- J. R. James, P. S. Hall, *Handbook of Microstrip Antennas*, Peter Peregrinus, 1989.
- "A Survey of Broadband Microstrip Patch Antennas", *Microwave Journal*, pp. 60-84, 1996.
- Robert A. Sainati, *CAD of Microstrip Antennas for Wireless Applications*, Artech House, 1996.
- D. M. Pozar "Microstrip Antenna Aperture-Coupled to A Microstrip-line", *Electron Lett.*, vol. 21, pp. 49-50, January, 1985.
- V. Rathi, G. Kumar and K. P. Ray "Improved Coupling for Aperture Coupled Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 44, no. 8, pp. 1196-1199, August, 1996.
- S. D. Targonski, R. B. Waterhouse "Design of Wide-Band Aperture-Stacked Patch Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antennas and*

- Propagation*, vol. 46, no. 9, pp. 1245-1251, September, 1998.
17. S. A. Long and M. D. Walton "A Dual-frequency Stacked Circular Disc Antenna". *IEEE Antennas & Propagation International Symposium Digest*, pp. 260-263, 1978.
  18. 김연정, 김정일, 윤영중 "광대역 이중공진 이중편파 마이크로스트립 안테나에 관한 연구". *1999년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, vol. 22, pp. 213-216, 1999. 5.
  19. H. Pues et al. "Broadband Microstrip Resonator Antennas". *IEEE Antennas & Propagation International Symposium Digest*, pp. 268-271, 1978.
  20. G. Kumar and K. C. Gupta "Nonradiating Edges and Four Edges Gap Coupled Multiple Resonator Broadband Microstrip Antennas". *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 33, no. 2, pp. 173-178, 1985.
  21. T. H. Liu and W. X. Zhang "Compound Techniques for Broadening the Bandwidth of Microstrip Patch Antenna". *97 Asia Pacific Microwave Conference*, pp. 241-244, 1997.
  22. H. Pues et al. "Wideband quasi-log-periodic Microstrip Antenna" *IEE Proc.*, Part H, vol. 128, no. 3, pp. 159-163, 1981.
  23. P. S. Hall, "Multioctave Bandwidth Log-Periodic Microstrip Antenna Array". *IEE Proc.*, vol. 133, no. 2, pp. 127-136, April, 1986.
  24. M. D. Plessis and J. H. Cloete "Tuning Stubs for Microstrip Patch Antennas" *IEEE Antennas & Propagation Society International Symposium*, pp.964-967, 1993.
  25. S. E. Davidson, S. A. Long and W. F. Richards, "Dual-band Microstrip Antennas with Monolithic Reactive Loading", *Electron Lett.*, vol. 21, pp. 936-937, 1985.
  26. W. F. Richards, S. E. Davidson and S. A. Long "Dual-Band Reactively Loaded Microstrip Antennas", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 33, no. 5, pp. 556-561, May, 1985.
  27. K. F. Lee, K. M. Luk, K. F. Tong, S. M. Shum, T. Huynh, and R. O. Lee. "Experimental and simulation studies of the coaxially fed U-slot rectangular patch antenna". *IEE Proc.*, vol. 144, no. 5, pp. 354-358, October, 1997.
  28. Y. L. Chow, Z. N. Chen, K. F. Lee and K. M. Luk "A Design Theory on Broadband Patch Antenna with Slot", *IEEE Antennas & Propagation Society International Symposium*, pp. 1124-1127, 1998.
  29. 유명환, 이범선 "개구 결합 급전 방식에 의한 U 슬롯 마이크로스트립 안테나 제작 및 측정". *1999년도 춘계 마이크로파 및 전파 학술대회 논문집*, vol. 22, pp. 225-228, 1999. 5.
  30. P. S. Hall, M. Eng and C. Eng "Multioctave Bandwidth Log-periodic Microstrip Antenna Array". *IEE Proc.*, Part H, vol. 133, no. 2, pp. 127-136, April, 1986.
  31. R. C. Compton et al. "Bow-tie

- Antennas on a Dielectric Half Space : Theory and Experiment", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 35, no. 6, pp. 622-631, 1987.
32. C. H. Ng, S. Uysal and M. S. Leong "Microstrip Bowtie Patch Antenna for Wireless Indoor Communications", *IEEE RAWCON '98 Proceedings*, pp. 205-207, 1998.
33. K. W. Loi, S. Uysal, M. S. Leong "Design of a Wideband Microstrip Bowtie Patch Antenna", *IEEE Trans. Antennas and Propagation*, vol. 145, no. 2, pp. 137-140, April, 1998.



윤 영 중

1981년 2월 연세대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년 9월 연세대학교 전자공학과 대학원 (석사)  
1991년 12월 Georgia Institute of Technology, Ph. D.  
1992년 3월~1993년 2월 한국전자통신연구원 위성통신기술연구단 선임연구원  
현재 : 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 부교수  
\*주관심분야:안테나, 전파전파, RF소자설계



김 연 정

1998년 2월 경북대학교 전자·전기공학부 공학사  
1998년 3월~현재 연세대학교 전기·컴퓨터공학과 대학원 석사과정  
\*주관심분야 : 안테나 및 RF소자설계