

## 요 약

UWB 시스템에서 핵심 기술요소 중에 하나인 안테나에 관한 연구동향을 살펴본다. UWB 관련기술의 역사를 간략하게 알아보고, 다양한 응용분야에서 사용되는 광대역 안테나 소자의 종류와 일반적인 특성 등을 기술한다. 그리고 이러한 UWB 안테나의 설계시 고려사항 및 복사효율 등에 관한 연구동향을 살펴본다.

## I. 서 론

UWB 기술은 이미 1962년에 마이크로파 네트워크의 과도특성(transient behavior)을 명확하게 기술하기 위해 특성 임펄스 응답(characteristic impulse response)을 이용한 시간영역 전자기학 분야의 연구에서 비롯되었다<sup>[1]</sup>.

1980년대 후반부터 UWB 관련 기술은 급격한 발전을 이루었으나 다양한 용어로 불려져 왔으며, 거의 1989년이 되었어야 미국방성(U. S. Department of Defense)에 의해 “Ultra Wide Band”라고 명명되어졌다. 이것이 일반인에게 알려진 것은 1990년대 중반부터이며, 이제는 무선통신분야에서 차세대의 선두주자로 생각되어지고 있다<sup>[1],[2]</sup>.

UWB 소자는 매우 짧은 펄스를 가지며 아주 낮은 전력의 무선신호를 전송하는데, 매우 넓은 신호대역폭을 이용하여 종종 피코초(나노초의 1/1,000) 영역에 포함된다<sup>[3]</sup>.

이러한 UWB의 응용 예는 이미 잘 알려져 있으

며, 대표적인 분야로는 통신 및 레이더 탐지 등에서 활발한 연구가 수행되어 왔다<sup>[4]</sup>.

UWB 기술에 관련된 국가적 차원의 정책은 ITU-R에서 2001년 11월부터 활발하게 논의되기 시작했으며, IEEE에서는 2003년 중순까지 표준화를 완성하기로 목표를 세우고 있다<sup>[5]</sup>. 이에 발맞추어 국내에서도 다양한 관련기관에서 연구개발 및 표준화를 준비하고 있다.

따라서, 본고에서는 이렇게 최근 각광을 받고 있는 UWB 시스템에 사용할 수 있는 UWB 안테나에 관한 연구개발 동향에 대해 기술하고자 한다.

## II. 광대역 안테나 소자

본 장에서는 먼저, 광대역 안테나의 일반적인 사항에 관하여 살펴보고자 한다.

### 2-1 UWB 안테나의 일반적인 특성

다양한 UWB의 응용 중에서 레이더 탐지분야는 표면침투 레이더(surface-penetrating radar)<sup>[6],[7]</sup>를 포함한다. 이 경우, 전자파의 전파경로는 일반적으로 손실이 있거나 비균질(inhomogeneous)의 유전체 또는 비등방성(anisotropic)일 때도 있으므로 주파수에 따른 감쇠에 의해 마치 저역필터(lowpass filter) 역할을 한다. 따라서, 이러한 응용에 사용되는 안테나 형태에는 엄격한 제한이 따른다. 넓은 대역폭과 최대주파수에 대한 두 요구조건은 상충하며, 그래서 해상도(resolution)와 특정한 범위에 따라 주파수 대

역 10 MHz~5 GHz의 일부분에서 안테나가 동작하도록 설계하는 것이 일반적이다.

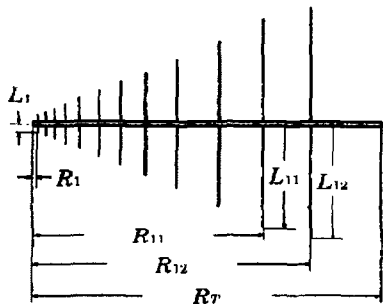
한편, 사용자의 휴대가 간편하도록 하기 위해서는 전기적으로 소형의 안테나가 요구되며, 결과적으로 저이득(low gain)과 넓은 복사패턴을 가지게 된다<sup>[6]</sup>.

### 2-2 광대역 안테나의 종류

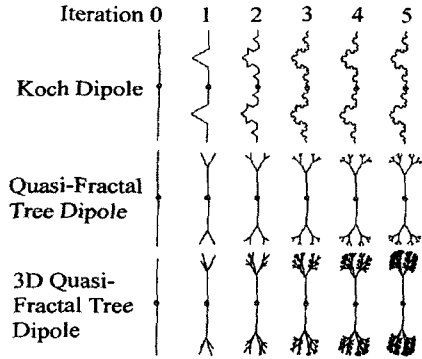
광대역의 안테나 소자로는 프랙탈(fractal) 안테나<sup>[8],[9]</sup>, 나비넥타이(bow-tie) 안테나<sup>[10]</sup>, 나선형(spiral) 안테나<sup>[5]</sup>, 그리고 대수주기(log-periodic)안테나<sup>[6],[11]</sup> 등이 있다. 이들 안테나의 fractional 대역폭은 25% 이상으로 매우 넓으며, 보상구조(complementary structure)와 자기유사구조(self-similar structure)<sup>[12]</sup>로 안테나를 구성할 때 100% 이상의 대역폭을 구현할 수 있다<sup>[13]</sup>.

[그림 1]에 대수주기 안테나의 한 예를 나타내었다. 각 안테나 소자들은 일정한 주기를 가지며, 각각 다른 길이에 의해서 다중공진(multi-resonance)을 만들어냄으로써 광대역을 구현한다<sup>[11],[14]</sup>.

다음으로, 되풀이 되는 유사구조로 다중공진을 일으키는 Fractal 안테나구조를 [그림 2]와 [그림 3]에 나타내었다. [그림 2]는 Fractal 다이폴 안테나이며 대표적인 세 가지 경우를 나타내었다. 각각의 경



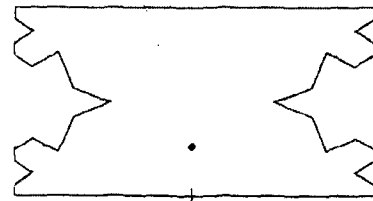
[그림 1] 대수주기안테나(Log-periodic antenna)<sup>[14]</sup>



[그림 2] Fractal 다이폴 안테나<sup>[9]</sup>

우에 대해 여섯번의 반복적 단계에 따른 변화 양상을 보였는데, 모두 기본적인 다이폴 구조에서 시작한다. 이러한 구조는 공진형 안테나(Resonant antenna)의 크기를 줄이기 위한 연구에서 비롯되었다. 일반적으로 공진형 안테나의 크기를 감소하면 입력임피던스가 매우 작아져서 입력단으로부터 안테나로의 전력을 전달하기 어려워진다. 이러한 문제점을 해결하기 위하여 공진형 안테나에 Fractal 원리를 적용함으로써 크기는 줄어들면서 입력임피던스를 증가시킬 수 있다<sup>[9]</sup>.

[그림 3]은 Fractal 패치를 나타낸다. 이것은 Fractal 다이폴에서와 같이 패치를 소형화하기 위한 방법으로 연구되었다. 기본적인 개념은, 패치복사기의 전기적 길이를 증가시키는 것이다. 즉, 패치안테나는 마이크로스트립 전송선으로 간주할 수 있으므로, 패치에 흐르는 전류를 기존의 직선경로(Eucli-



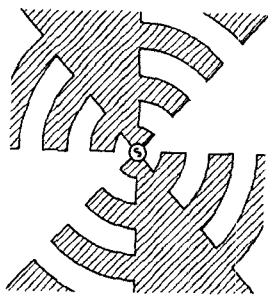
[그림 3] Fractal 패치<sup>[9]</sup>

dean path) 대신에 fractal로 구현한 변형된 경로를 따라 흐르게 하면 공진형 전송선의 면적을 줄일 수 있다는 것이다<sup>[9]</sup>.

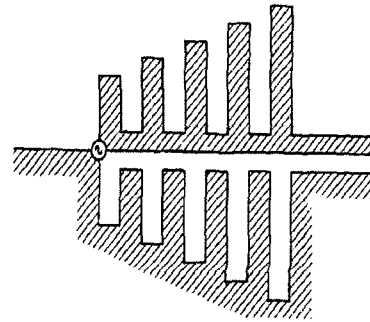
한편, 앞에서 언급한 바와 같은 자기유사구조와 자기보상구조의 원리에 기초하여 주파수독립(frequency independence)적인 구조<sup>[11]</sup>를 만들어 주면, 안테나 소자로부터 UWB 응답을 구현할 수 있다. 먼저 예를 든 프랙탈, 나비넥타이, 나선형 그리고 대수주기 안테나 등은 그 전기적 크기(electrical size)를 적당히 크게 만들어주면 1:4 이상의 대역폭을 얻을 수 있다. 전체적인 배열크기가 비교적 큰 대수주기 안테나를 제외하고, 프랙탈, 나비넥타이 그리고 나선형 안테나 등은 중심 주파수의 파장과 거의 같은 특성길이(characteristic length)를 가진다<sup>[13]</sup>.

[그림 4]에 평면형의 자기보상 평면 안테나 구조의 예를 나타내었다. 여기서 '자기보상 평면구조'라는 용어는 [그림 4]와 [그림 5]에서의 같이 평면구조의 형태가 상보(相補)의 구조와 동일하다는 것을 의미한다. 이러한 자기보상구조는 전원 주파수와 구조의 형상에 관계없이 일정한 입력 임피던스를 가지므로, 광대역 특성을 가지며 주파수독립 안테나라고도 불린다<sup>[12]</sup>.

비프랙탈(non-fractal) 형태의 광대역 안테나는 주파수의 변화에 대한 연속적인 임피던스 정합을 이



[그림 4] 평형 형태 자기보상 평면안테나(balanced type self-complementary planar antenna)<sup>[12]</sup>



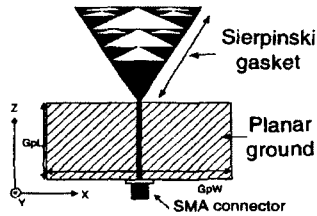
[그림 5] 비평형 형태 자기보상 평면 안테나(unbalanced type self-complementary planar antenna)<sup>[12]</sup>

루기 위해 [그림 4] 및 [그림 5]와 같은 보상구조를 이용하는 반면, 앞서 언급한 프랙탈 안테나의 다중대역 특성(multiband behavior)은 매우 독특하며 각각의 특정 대역에 대해 보다 좋은 제한손실(return loss)을 얻을 수 있다<sup>[13]</sup>.

일반적으로, 대수주기 안테나와 같은 장주기(long-periodic)의 안테나는 양호한 편파와 대역폭 성능을 가지나, 한편으로는 전체적으로 크기가 크다는 단점이 있다. 반면, [그림 6]과 같은 나선형 안테나<sup>[6]</sup>의 경우는 오로지 원형편파만을 생성한다는 사실에도 불구하고, 매우 소형이며 많은 연구가 수행되어 왔다. 이 구조의 경우, 다양한 방법으로 나선형 팔의 전류를 tapering 시켜줌으로써 나선형 요소로부터 구



[그림 6] 등각 나선형안테나(Equiangular spiral antenna)<sup>[6]</sup>



[그림 7] Sierpinsky gasket 모노폴 안테나<sup>[15]</sup>

현할 수 있는 대역폭을 확장시켰다<sup>[13]</sup>.

이와 유사하게, 나비넥타이 안테나도 소형이며, 광대역에, 단순한 구조이며, 대신 선형편파를 생성한다. [그림 7]에 나타낸 Sierpinski Gasket 모노폴 안테나는 동조(tuning)와 stacking으로 양호한 대역폭을 구현하지만, 실제적인 구현에서 접지판(ground plane)에 수직인 구조이기 때문에 소형의 휴대 가능한 UWB 안테나 구조로는 바람직하지 못하다<sup>[13],[15]</sup>.

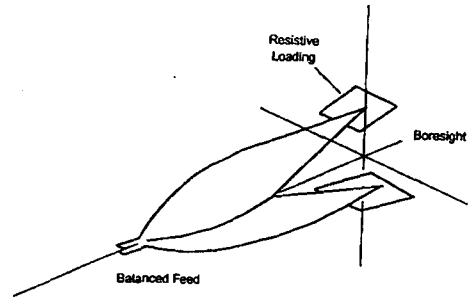
지금까지 일반적으로 광대역 특성을 갖는 안테나 구조의 대표적인 몇 가지 예를 보였다. 이러한 안테나들은 구조적 특징이나 설계과정 및 응용분야에 따라 분류할 수 있으며, 일반적으로 다음과 같이 크게 세 가지로 나누어진다<sup>[6]</sup>.

### 2-2-1 요소 안테나(Element Antennas)

모노폴, 다이폴, 원뿔형 안테나, 그리고 나비넥타이 안테나 등이 여기에 속하며, 광대역이 필요한 표면침투레이더(surface-penetrating-radar) 등과 같은 응용분야에 널리 사용되어 왔다. 이러한 안테나들은 선형편파를 생성하며, 낮은 지향성, 그리고 비교적 한정적인 대역폭을 가진다.

### 2-2-2 진행파 안테나(Travelling-wave Antennas)

진행파 안테나는 전방으로 진행하는 TEM 파를 유지할 수 있는 안테나 구조이다. 이러한 안테나는



[그림 8] 진행파 TEM 안테나<sup>[6]</sup>

[그림 8]에 나타낸 바와 같이 편평하거나 원통형 또는 원뿔형의 단면을 갖는 두 개의 도체가 V자 형태를 구성하며, V 구조의 축방향으로 복사가 일어난다.

안테나를 저항성으로 종단(resistive termination)함에도 불구하고, 이러한 형태의 안테나는 10~15 dB 정도의 지향성(directionality)을 가지므로, 종단손실이 3~5 dB 정도가 되는 경우에도 충분히 유용한 이득을 얻을 수 있다.

### 2-2-3 Frequency-independent Antennas<sup>[6],[11]</sup>

주파수독립 안테나는 [그림 6]과 같이 그 구조가 전적으로 각도에 의해 정의된다. 전형적인 예로서는 [그림 6]의 등각 나선형 안테나 외에도 biconical 다이폴, 원뿔 나선형 안테나 등이 있다. 이러한 구조의 임피던스 특성은 그 공진 특성이 안테나의 길이에 의한 것이 아니라 오직 각도변화에 의해 결정된다.

[그림 6]과 같은 평면의 등각 나선형 안테나는 쌍방향의 복사패턴을 가지는데, 즉 동일한 로브(lobe)로 안테나 평면의 전방과 후방으로 각각 복사된다. 한쪽 면을 흡수체 등으로 막으면, 단일방향 복사를 구현할 수도 있다.

나선पाल을 따르는 근역장(near fields)은 파장당 20 dB 이상으로 매우 빨리 감소하며, 이러한 감소는 나

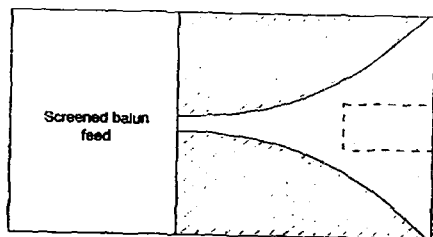
선팔의 전기적 길이비(ratio of electrical length)에 관한 함수로 주어진다. 실제적으로, 주파수가 증가해도 유효 팔길이(active arm length)는 일정하며, 따라서 주파수에 따른 안테나의 실효개구(effective aperture)는 증가한다. 그리고 이러한 평면 등각 나선형 안테나의 잠정적인 장점으로는 원형편파의 복사를 들 수 있는데, 이것은 표면침투 레이더의 응용에서 파이프나 케이블 등과 같이, 목표물이 상당한 편파 특성을 보이는 경우보다 효과적인 탐색을 가능하게 한다.

위와 같이 주파수의 변화에 관계없이 일정한 임피던스 특성을 가짐으로써 광대역 특성을 구현할 수 있는 안테나 구조에는 [그림 9]와 같은 비발디 안테나도 포함된다. 비발디 안테나는 end-fire 복사를 하며 선형편파를 가진다. 그리고 주파수가 변해도 일정한 이득을 갖는 구조이다.

위의 세 가지 형태의 분류 외에도 Horn 안테나<sup>[16],[17]</sup>와 배열 안테나(Array antennas)<sup>[18]</sup> 등이 있으나, 점차 소형화 추세를 보이는 UWB 안테나 구조로서는 적합하지 않은 것으로 판단된다. 그러나 보다 높은 이득과 전파환경에 따른 beam steering 또는 beam forming 등을 구현하기 위해서 여전히 많은 연구가 계속되고 있다.

안테나가 주파수 독립적인 동작을 하기 위한 요구조건은 다음과 같다<sup>[6]</sup>.

첫째, 고주파가 복사되는 안테나 영역에서 안테



[그림 9] 비발디 안테나(Vivaldi antenna)<sup>[5]</sup>

나의 여기(excitation).

둘째, 급전점(feed point)과 활성영역(active region) 사이의 전송영역(transmission region). 이 영역에서는 원역장(far-field) 복사가 일어나지 않도록 설계해야 한다.

셋째, 전류의 크기와 위상의 적절한 조합으로 안테나가 매우 강한 복사를 일으키는 활성영역.

넷째, 동작영역을 지나 반사나 흡수가 일어나는 비활성영역(inactive region). 활성영역을 지나서는 전류가 급격히 감쇠하는 현상을 보인다. 효율적인 안테나는 이 활성영역에서 복사를 하며, 반면 다소 비효율적인 안테나의 경우에는 이런 특성을 구현하기 위하여 저항성부하(resistive-loading)기법을 사용한다.

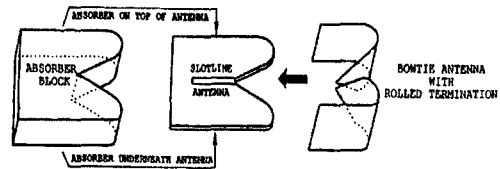
끝으로 다섯째, 전적으로 각도에 의해 정의되는 구조. 즉, biconical 다이폴, 원뿔 나선형, 평면 나선형 등은 모두 각도에 의해 정의된다. 이러한 안테나들은 한정적인 크기로 정의되는 주파수 영역 전체에 걸쳐서 일정한 성능을 유지한다.

### 2.3 고에너지 레벨의 UWB 펄스 생성

앞 절에서는 UWB의 응용에서 주로 저전력의 경우에 알맞은 UWB 안테나 구조에 대하여 살펴보았다. 그러나 경우에 따라서는 고전력의 전송이 필요하므로, 본 절에서는 고에너지 레벨의 UWB 펄스 생성에 필요한 안테나 구조에 대해 간략하게 알아보기로 한다.

공간상의 특정방향으로 고에너지레벨(high energy level)의 UWB 펄스를 생성하거나 전송하는 것은 매우 흥미로운 일이다. 전통적인 구현방법은 먼저 저전력(low power)의 UWB 전원을 이용하여 펄스를 생성하고, 그 다음에 원하는 전력레벨까지 증폭을 시키는 것이었다. 이보다 효과적인 해결책으로는, 큰 저항기(resistor)를 이용하여 전원으로부터 안테나 단자에서 어떤 DC 전압이 될 때까지 원뿔형

안테나(conical antenna)를 서서히 충전시키는 방법이다. 사용되는 절연층(insulating layer)의 유형에 따라 단자 간극(gap)에 매우 높은 전압레벨을 발생시킬 수 있다. 안테나 접지판을 급격하게 접지시키면 안테나는 방전을 하고, 그리하여 좁은 복사 펄스를 생성해 내는 것이다<sup>[19]</sup>.



[그림 10] 슬롯라인-나비넥타이 혼합형 안테나<sup>[21]</sup>

### III. UWB 안테나의 설계시 고려사항

앞장에서는 UWB 안테나의 다양한 종류에 대하여 정성적으로 간략하게 살펴보았다. 본 장에서는 이러한 UWB 안테나의 설계과정에서 요구되는 기본적인 조건들에 관하여 알아보려고 한다.

동작주파수의 초광대역(UWB)이 필요한 경우, UWB 안테나 소자가 요구된다. 이 UWB 안테나는 넓은 주파수 범위에서 양호한 임피던스 정합 및 복사패턴을 유지하는 특성을 가진다. 특히, 안테나의 입력단에서 케한손실(return loss)이 10 dB보다 작아지도록 임피던스 정합을 시켜주어야 한다<sup>[13]</sup>.

UWB 안테나는 E-평면과 H-평면 빔폭의 제어가 가능하면서 편평한 주빔(main beam)을 가지며, 낮은 측엽(sidelobes)은 물론 낮은 VSWR이 요구된다. 이러한 UWB 안테나의 성공적인 개발을 위해서는 광대역에 걸친 입력 임피던스와 패턴의 제어에 관한 문제점을 해결해야만 한다. 아직까지는 이러한 두 가지 요구조건을 모두 만족시키는 안테나 구조는 발표되지 않았다. 그러나 이 두 가지 목적에 알맞은 구조로서, 슬롯라인(slotline) 안테나와 나비넥타이 혼(bowtie horn) 구조가 제안되었다. 슬롯라인 안테나는 광대역과 평형 급전 구조(balanced feed structure)를 제공하며, 나비넥타이 혼구조는 광대역의 복사패턴 제어를 가능하게 한다. 이러한 슬롯라인과 나비넥타이 혼의 혼합으로 구현한 안테나 구조를 [그림 10]에 나타내었다<sup>[20],[21]</sup>.

UWB 안테나는 기본적으로 광대역 안테나이며,

지금까지 언급한 바와 같이 주파수에 관계없이 일정한 임피던스 특성과 복사패턴을 유지하도록 설계되어야 한다. 또한, 점차 소형화의 추세에 있는 RF 시스템의 요구조건에 맞추기 위해서는 무엇보다도 안테나의 소형화가 이루어져야 하며, 앞서 예를 보인 다양한 광대역 안테나 구조들로부터 최적의 구조를 선정하여 응용분야에 알맞은 크기로 설계하여야 할 것이다.

### IV. UWB 안테나의 복사 효율

IEEE의 안테나 측정표준<sup>[22]</sup>에 따르면, “안테나의 복사효율은 복사가 일어나는 과정에서 안테나의 단자에 도달하는 순전력(net power)에 대한 안테나로부터 복사되는 총전력(total power)의 비(ratio)이다.”와 같이 복사효율이 정의된다. 기존의 협대역 안테나의 경우에는 위와 같은 공식적 정의로부터 복사 효율(radiation efficiency)을 산출하기가 비교적 용이하다. 협대역 필터를 부착함으로써 입사전력의 거의 전부를 안테나에 공급할 수 있기 때문이다. 그러나 UWB 안테나의 경우, 매우 넓은 주파수 범위에 대한 초광대역의 필터를 구현하기가 쉽지 않다. 그리고 만약 저항성 부하로 중단시키지 않을 경우에는 부하로부터의 부정합으로 반사전력이 상당한 손실항(loss term)으로 작용하게 된다. 따라서 이러한 부하의 부정합에 의한 반사전력까지 포함하여 안테나 효율을 정의할 필요가 있으며, 특히 UWB 안테나의 경우 총 에너지를 산출하기 위해 복사과정의 지속

기간(duration) 전체에 걸친 전력의 총합을 계산해야 한다. 또는 적절한 주기에 대해 전력의 평균치를 산출할 수도 있다. 대개 협대역 시스템의 경우는 rms 전력을 이용하지만, UWB 안테나나 짧은 펄스 복사 안테나의 경우에는 복사효율을 주파수에 관한 함수로 계산하는 방법이 이용된다. 2002년에 Schantz는 이러한 새로운 개념의 복사효율 계산법으로 'Wheller Cap 방법'을 제안하였다<sup>[23],[24]</sup>.

## V. 결 론

본고에서는 최근 각광을 받고 있는 UWB 관련 분야 중에서도 UWB 안테나에 관한 연구동향을 살펴보았다. 일반적인 광대역 안테나에 관한 기존연구와 UWB 시스템에 알맞은 안테나로서의 요구조건, 다양한 응용분야에서의 실제 구현방법, 그리고 UWB 안테나의 복사 효율 계산법 등에 관해 기술하였다.

UWB 안테나는 비록 UWB 전체 시스템의 극히 작은 일부로, 소모품 개념으로 간과되기 쉬우나, 이러한 혁신적인 기술의 실제 구현에 있어서는 필수 불가결한 소자임에 틀림없다. 따라서, 지금까지 연구 개발되어온 국내외의 UWB 안테나의 연구결과들을 바탕으로 보다 효율적이고 경제적인 안테나 구조의 연구개발이 요구된다.

## 참 고 문 헌

- [1] R. J. Fontana, "A Brief History of UWB Communications", <http://www.multispectral.com/history.html>
- [2] 이근호, "UWB 무선기술 도입현황", 전파기술 세미나 자료집, 전파연구소, pp. 83-100, 2002. 5. 29.
- [3] Technology Development-Ultra Wide Band, <http://www.ida.gov.sg/Website/IDAContent.nsf>.
- [4] 박민기 등, "UWB ANTENNA, UWB 기술동향" 연구 보고서, 서울산업대학교, 2002. 1.
- [5] 이근호, "UWB 무선통신 국내 도입방안 연구", 전파연구소 전파기술세미나 자료집, pp. 79-100, 2002. 5. 29.
- [6] D. J. Daniels, *Surface-Penetrating Radar*, Ch4. Antennas, The Institution of Electrical Engineers, Michael Faraday House, 1996.
- [7] Henry L. Bertoni, Lawrence Carin and Leopold B. Felsen, *Ultra-Wideband, Short-Pulse Electromagnetics*, Plenum Press, 1993.
- [8] C. T. P. Song, P. S. Hall, H. Ghafouri and I. Henning, "Fractal Antenna Research at University of Birmingham", *11th Int. Conf. on Antennas and Propagation*, vol. 2, pp. 724-727, 2001.
- [9] John P. Gianvittorio and Yahya Rahmat-Samii, "Fractal Antennas: A Novel Antenna Miniaturization Technique, and Applications", *IEEE Antennas and Propag. Mag.*, vol. 44, no. 1, pp. 23-29, Feb. 2002.
- [10] Kurt L. Shlager, Glenn S. Smith and James G. Maloney, "Optimization of Bow-Tie Antennas for Pulse Radiation", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 42, no. 7, pp. 975-982, July 1994.
- [11] Victor H. Rumsey, *Frequency Independent Antennas*, Ch. 5, Academic Press, 1966.
- [12] Yasuto Mushiaki, "Self-Complementary Antennas", *IEEE Antennas and Propag. Mag.*, vol. 34, no. 6, pp. 23-29, Dec. 1992.
- [13] Jin Au Kong, Yan Zhang, Robert T. Shin, Fernando L. Teixeira and Y. Eric Yang, *Wideband Antenna Element in Electromagnetic Wave Theory and Applications*, *RLE Progress*

---

*Report 143.*

- [14] Daegeun Kim, Qiang Chen and Kunio Sawaya, "Numerical Analysis of Broadband Phased Array Using Log-Periodic Dipole Elements", *IEEE Int. Sym. Antennas and Propag. Soc.*, vol. 3, pp. 824-827, 2001.
- [15] Douglas H. Werner and Junho Yeo, "A Novel Design Approach for Small Dual-Band Sierpinski Gasket Monopole Antennas", *2001 IEEE Int. Sym. Antennas and Propagation*, vol. 3, pp. 632-635, 2001.
- [16] Xiaolong Liu, Yajun Fan, Guozhi Liu, Gang Wang and Wenbing Wang, "Pulse Radiation Antenna Fedded with a Face-to-Face TEM Horn", *Proc. of 5th Int. Symp. on Antennas, Propagation and EM Theory(ISAPE 2000)*, pp. 447-450, 2000.
- [17] Cam Nguyen, Jeong-Soo Lee and Joong-Suk Park, "Ultra-Wideband Microstrip Quasi-Horn Antenna", *Electron. Lett.*, vol. 37, no. 12, pp. 731-732, 7th, June 2001.
- [18] Kavech Heidary, "Ultra-Wideband Antenna Arrays", *IEEE Int. Sym. Antennas and Propag. Soc.*, vol. 2, pp. 472-475, 2001.
- [19] R. Holtzman, R. Kastner, E. Heyman and R. W. Ziolkowski, "Ultra-Wideband Antenna Design Using the Green's Function Method(GFM) ABC with Genetic Algorithm", *IEEE Int. Symp. Antennas and Propag. Soc.*, vol. 4, pp. 238-241, 2001.
- [20] Albert K. Y. Lai, Albert L. Sinopoli and Walter D. Burnside, "A Novel Antenna for Ultra-Wide-Band Applications", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 40, no. 7, pp. 755-760, July 1992.
- [21] Albert Lai, Walter D. Burnside and Albert Sinopoli, "A Novel Ultra-Wideband Antenna", *Dig. of Int. Sym. Antennas and Propag. Soc.*, pp. 703-706, 1991.
- [22] *IEEE Standard Test Procedures for Antennas* (IEEE Std 149-1979), New York: IEEE, pp. 112, 1979.
- [23] Hans Gregory Schantz, "Radiation Efficiency of UWB Antennas", *Dig. of 2002 IEEE Conf. on UWB Systems and Technologies*, pp. 351-355.
- [24] H. G. Schantz, "Measurement of UWB Antenna Efficiency", *IEEE Vehicular Tech. Conf.*, vol. 2, pp. 1189-1191, 2001.



≡ 필자소개 ≡

김 종 규



1995년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학사)

1997년 2월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학석사)

2002년 8월: 경북대학교 대학원 전자공학과 (공학박사)

[주 관심분야] 안테나 이론, 전자파 결합 문제, 안테나 설계 및 수치해석

조 영 기



1978년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학사)

1981년 2월: 한국과학기술원 전기전자공학과 (공학석사)

1998년 2월: 한국과학기술원 전지전자공학과 (공학박사)

1981년 9월~현재: 경북대학교 전자전기 컴퓨터공학부 교수

[주 관심분야] 안테나 이론, 마이크로파 공학, 전자기 산란 및 전자기 이론

허 유 강



2000년 2월: 경일대학교 전자공학과 (공학사)

2002년 2월: 경북대학교 전자공학과 (공학석사)

2002년 3월~현재: 경북대학교 대학원 전자공학과 박사과정

[주 관심분야] 광대역 안테나, 전자장 수치해석