

산업체 기고문

메타머티리얼(Metamaterial) 최근 기술 동향

지정근·성원모

(주)EMW Antenna

(주)EMW Antenna는 이동통신 단말기용 안테나 개발 및 제조회사로 1998년 창립 이래로 휴대용 단말기 안테나의 개발 및 제조에 역량을 투입하여 왔으며, 매년 100%에 가까운 매출 성장으로 창립 7년 만에 국내 1위, 세계 3위의 단말기 안테나 제조사로 성장하였다. 휴대 인터넷(와이브로) 및 휴대 이동 방송(DVB-H·미디어플로·DMB), RFID 등의 신규 무선 통신 서비스 시장 상황에 적극적으로 대응, 지속적인 성장을 해왔으며, 최근에는 기존의 안테나보다 주변 환경에 둔감하고 소형화에 제약이 없는 ‘메타머티리얼(Metamaterial)’ 안테나를 개발에 주력하여 메타머티리얼을 이용한 초소형 안테나 기술에 대한 특허권 취득으로 원천 기술을 보유한 유일한 기업이 됐다.

I. 서 론

정보화 시대를 살아가는 현대인들은 아침 일찍 일어나 먼 곳에 위치한 학교, 직장을 찾아 떠난다. 기업 또한 영업, 마케팅, 생산 그리고 판매를 위해 과거에 비해 해외 기업과의 긴밀한 제휴와 협력이 필요하다. 캐나다의 마셜 맥루현이라는 미디어 학자가 ‘사람들은 빠르게 움직이면서 전자 제품을 이용하는 유목민이 될 것이다.’라고 말한 것처럼 잦은 이동을 필요로 살아가는 현대의 많은 사람들에게 있어 휴대용 디지털 통신 기기들은 하나의 필수 요소가 되었고 디지털 유목민(Digital Nomad)이라는 새로운

문화 키워드까지 등장하였다^[1]. 게임, 음악 듣기, 영화/TV 감상 그리고 인터넷 검색과 같이 소비자들은 언제 어디서나 자신이 원하는 다양한 고품질 서비스를 제공 받기 원한다. 또한 이동시 불편함을 감내할 수 있는 휴대성과 디자인 그리고 다양한 기능은 소비자들의 휴대용 디지털 통신기기의 선택에 있어 매우 중요한 요소이다.

휴대용 디지털 통신기기는 추가적인 주변 기기의 구성이 없어야 하고, 작은 크기를 가지면서도 다양한 기능을 제공하여야 한다. 디지털 기기의 소형화 디자인 때문에 안테나의 물리적 크기는 점점 작아지고 통신 기기의 내부에 실장되어야 한다. 때문에 안테나는 주변의 간섭을 많이 받게 되고 물리적 크기에 의존하는 안테나 성능은 점점 좋은 성능을 발휘하기 어려운 환경이 되었다. 그럼에도 불구하고 최근 휴대용 디지털 통신기기들의 안테나는 다양한 서비스를 제공하여야 한다.

최근 기존 물질인 Right-Handed Material(RHM)에서의 전파가 진행함에 있어 가져야 되는 물리적 제약을 메타머티리얼이라는 자연적으로는 존재하지 않는 유전율(permittivity)과 투자율(permeability)이 동시에 음의 값을 갖는 새로운 전자기 특성을 갖는 물질을 인공적으로 만들어 냈으므로 Left-Handed Material(LHM) 특성을 이용하여 물리적 크기에 제약을 받지 않는 소형 안테나 개발에 대한 연구들이 활발히 이루어지고 있다^{[2]-[8]}. 그중에서도 메타머티리얼 기법을 이용한 0차 공진(Zeroth-Order Resonator: ZOR)

이라는 특수한 공진 특성을 이용한 연구가 주목을 받고 있다. 신호를 전송하는 선로 또는 회로에 직렬 커패시턴스(capacitance)와 병렬 인덕턴스(inductance)를 추가 구현하여 이 값을 적절하게 조정함으로써 공진 주파수가 전송 선로의 물리적 크기와 무관하게 결정될 수 있도록 구현할 수 있다는 것이다. 이러한 0차 공진 특성을 이용하여 안테나 등의 소자를 구현하게 되면 안테나의 공진 주파수가 전송 선로 등의 특성과 관련되는 안테나 크기와 무관하게 정해지므로 안테나를 얼마든지 소형화 시킬 수 있다. 또한 다중 대역 안테나 구현 시 0차 공진에 의해 방사하는 방사체는 선형적인 체배 주파수를 갖지 않기 때문에 서로 다른 방사체 간의 간섭이 적으며, β (위상 상수)와 ω (주파수)의 관계가 비선형이므로 주파수에 따른 위상차가 작아 광대역 회로의 구현이 가능하며, 위상 변화가 전송 선로의 길이에 비례하지 않으므로 소형화된 회로를 구현할 수 있다.

본 원고에서는 최근 메타머티리얼의 대표적인 특성 중 하나인 0차 공진 모드를 이용한 안테나 소형화에 대한 연구와 다양한 메타머티리얼 안테나 동향, 그리고 더불어 현재 당사에서 진행하고 있는 휴대폰에 내장 가능한 소형 메타머티리얼 0차 공진 안테나에 대한 연구 결과를 소개하고자 한다.

II. 최근 메타머티리얼 안테나 연구 동향

2-1 기술 연구 동향

최근 발표된 대표적인 메타머티리얼 안테나의 연구 동향을 소개하고자 한다. 기존 메타머티리얼 기법을 이용하여 안테나 구현 시에 협소한 대역폭을 가지는 문제를 해결하기 위해 이중 모드 합성을 통한 다중 대역 및 광대역 안테나 연구가 활발히 진행되고 있는 것을 볼 수 있었다.

Toronto 대학의 Eleftheriades 교수 연구실에서는 이중 모드 합성을 통한 광대역 안테나에 대한 연구

를 진행하였다^{2],[3]}.

기존에 많이 사용되어진 평면 형태의 모노폴 안테나에 추가적인 메타머티리얼 기법을 적용하여 이중 모드 동작을 통한 안테나의 광대역 효과를 구현하였다. 이중 모드 동작을 위하여 모노폴 안테나와 병렬 인덕턴스에 해당하는 메타머티리얼 로딩의 전류 흐름을 이용하여 하나의 모드를 구현하였고, 접지면의 전류 흐름을 이용하여 다이폴 안테나와 비슷한 모드를 추가 구현하여 각 모드가 서로 orthogonal한 방사 모드를 나타낸다. 모노폴 안테나와 수직 형태인 접지면을 또 다른 방사체로 이용하므로 넓은 대역폭을 나타내는 것을 볼 수 있었다^{2]}.

또 다른 연구 내용으로 두 개의 메타머티리얼 구조의 공진 특성을 이용하여 광대역, 소형 안테나를 구현하였다. 서로 다른 공진 주파수를 갖는 두 개의 메타머티리얼 셀(cell) 구조를 연결함으로써 인접한 두 개의 공진 주파수를 합성하여 넓은 대역폭을 구현하였다. 그러나 각 공진 주파수가 좁은 대역폭을 갖기 때문에 합성 후에도 광대역이라 보긴 어려운 점이 있다^{3]}.

한양대학교 최재훈 교수 연구실에서는 Epsilon Negative(ENG) ZOR 메타머티리얼 기법을 이용한 MIMO 시스템을 위한 다중 대역 안테나에 대한 연구를 진행하였다^{4],[5]}.

ENG ZOR 셀을 이용하여 GPS와 WLAN 서비스를 위한 이중 대역 안테나와 WLAN 서비스를 위한 단일 대역의 안테나로 구성되어 있으며, 이중 대역을 가지는 MIMO 안테나의 안테나 간 격리도(isolation) 개선을 위하여 hairpin 공진기를 사용하였다. 모두 세 개의 소형 ENG ZOR 셀로 구성되었으며, 전체 안테나 크기 또한 소형화된 안테나를 구현하였다^{4]}.

또 다른 연구 내용으로 WCDMA 서비스를 위한 이중 대역 안테나와 WiBro 서비스를 위한 MIMO 안테나로 구성된 다중 안테나 시스템을 구현하였다. WCDMA 이중 대역 안테나는 두 개의 ENG ZOR cell을 연결

하여 구현하고 WiBro MIMO 안테나는 각각 한 개의 ENG ZOR 셀을 이용하여 구현하였으며, 안테나 간 격리도 개선을 위한 공진기가 추가되었다. 각 대역을 구성하는 ENG ZOR에서 병렬 인덕턴스에 해당하는 집중정수 소자를 이용함으로써 전체 안테나 크기가 소형화 되었다^[5].

(주)EMW Antenna에서는 메타머티리얼 ZOR를 이용하여 휴대 단말기 내장형 다중 대역 안테나를 구현에 대한 연구를 진행하였다^{[6][7]}.

GSM900 서비스를 위하여 저주파수 대역 ZOR의 0차 공진을 이용하였고, GSM1800/1900, WCDMA, WiBro 서비스를 위하여 고주파수 대역 ZOR의 0차 공진과 저주파수 대역 ZOR의 고차 공진을 합성하였다. 각 대역 ZOR은 급전 선로로부터 직렬 커패시턴스에 해당하는 커플링 방식으로 급전되어 패치를 통해 병렬 인덕턴스에 해당하는 종단의 스트립 선로가 접지면과 연결된다^[6].

또 다른 발표 논문은 GSM850 서비스를 위하여 저주파수 대역 ZOR의 0차 공진을 이용하였고, GSM1800/1900, WCDMA, WiBro 서비스를 위하여 고주파수 대역 ZOR의 0차 공진과 저주파수 대역 ZOR의 고차 공진을 합성하였다. 저주파수 대역 ZOR은 급전 헬리컬 선로로부터 패치를 통해 병렬 인덕턴스에 해당하는 종단의 헬리컬 선로가 접지면과 연결된다. 패치 중앙에 임피던스 매칭을 위하여 직렬 커패시턴스에 해당하는 갭이 존재한다. 고주파수 대역 ZOR은 급전 헬리컬 선로로부터 직렬 커패시턴스에 해당하는 커플링 방식으로 급전되어 패치를 통해 병렬 인덕턴스에 해당하는 종단의 스트립 선로가 접지면과 연결된다^[7].

2-2 국내 특허 동향

국내 특허인 특허번호 2009-0022024는 두 개의 CRLH(Composite Right/Left-Handed) 메타머티리얼 전송 선로가 주파수 변화에 따른 위상 변화가 서로 일

정하게 유지되는 것을 특징으로 하는 안테나 급전 회로를 구현하였다. 안테나에 구현한 급전 회로를 적용함으로써 넓은 주파수 대역에서 축비를 만족시킬 수 있는 장점이 있다.

특허번호 2009-0088721은 모노폴 안테나와 모노폴 안테나와의 커플링을 통하여 인덕티브 로딩 역할을 하는 메타머티리얼 구조를 구현하여 소형 안테나에서 나타나는 이득과 효율 감소 특성을 개선하였으며, 이중 공진 특성을 갖도록 함으로써 대역폭 감소 특성도 개선된 소형 이중 대역 모노폴 안테나를 구현하였다.

특허번호 2009-0111103에서는 메타머티리얼 평면 안테나를 제안하였다. 직렬 인덕턴스 및 직렬 커패시턴스가 직렬 연결되고, 병렬 인덕턴스 및 병렬 커패시턴스가 병렬 연결되는 구조를 단위 셀로 하는 전송 선로를 포함하여 직렬 커패시턴스는 인터디지털(interdigital) 구조에 의하여 구현하여 낮은 공진 주파수에서도 동작 가능한 소형 평면 안테나를 제시하였다.

2-3 국외 특허 동향

국외 특허인 특허번호 2009-0014279, 2009-0055002 그리고 2009-0251385는 전자파 신호를 처리 및 취급함에 있어서 하나 이상의 CRLH 메타머티리얼 구조를 이용하여 안테나 또는 안테나 어레이가 다양한 다중 대역/광대역 공진을 제공하도록 하는 구조를 제시하였다.

Ⅲ. 메타머티리얼 소형 안테나 개발

메타머티리얼 안테나의 상용화는 다음과 같은 장점을 가지고 있다. 우선 기존 물질을 사용한 경우에 비해 매우 작은 크기의 안테나를 구현할 수 있다. 또한 0차 공진 모드를 사용하여 안테나가 주변 환경에 둔감하기 때문에 안테나의 실장 위치에 따른 영향이

적어 단말기에 적용하기 쉬운 장점을 가지고 있다.

본 절에서는 메타머티리얼 소형 안테나 설계 및 제작에 관하여 (주)EMW Antenna에서 보유하고 있는 기술을 중심으로 살펴보고자 한다.

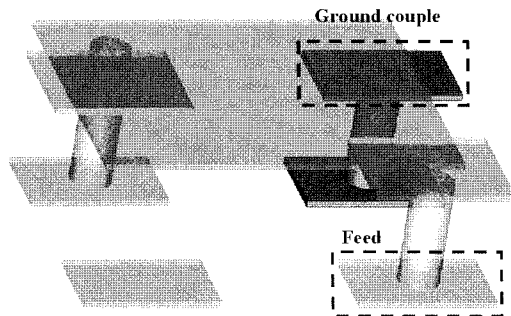
3-1 칩 안테나

본 절에서 설명하고자 하는 칩 안테나는 이동통신용 단말기에 적용할 수 있는 초소형 메타머티리얼 칩 안테나로 SMD(Surface Mount Device) 형태로 제작되었다^[8].

제안된 메타머티리얼 BT 칩 안테나(출원번호: 10-2009-0068302) 크기는 3.0 mm(W)×2.0 mm(L)×1.2 mm(H)이며, 일반적인 RH 특성을 갖는 전송 선로에 LH 특성을 적용하기 위해 직렬 커패시턴스 C_L , 병렬 인덕턴스 L_L 를 추가한 CRLH 전송 선로 구조를 사용하였으며, 메타머티리얼의 0차 공진 특성은 C_L , L_L 값에 따라 정해진다.

[그림 1]은 메타머티리얼 BT 칩 안테나의 패턴을 나타낸다. 상단면의 큰 사각 패치가 주 방사체이며, 급전과 연결된 중간면의 패턴과 직렬 커패시턴스를 형성한다. 급전 위쪽에 접지 커플링(ground coupling)을 위한 패턴을 형성하여 임피던스 매칭을 가능하게 하였다.

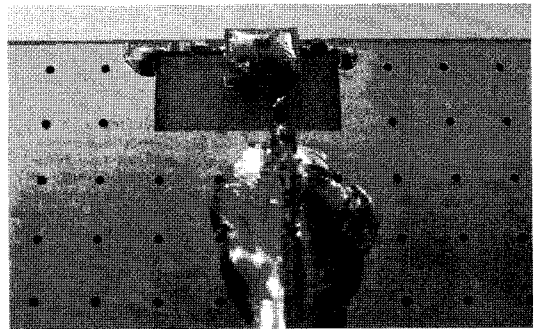
[그림 2]는 제작된 메타머티리얼 BT 칩 안테나를



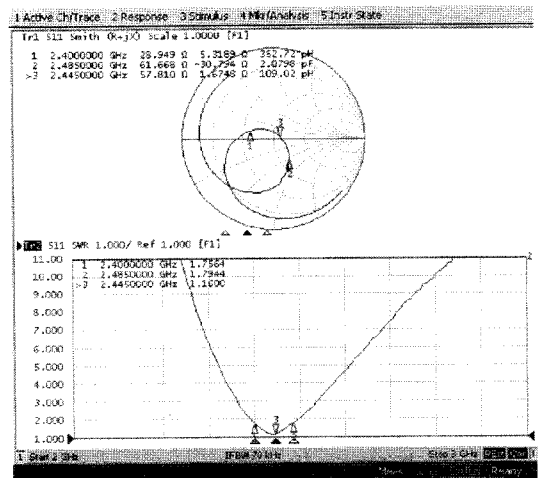
[그림 1] 메타머티리얼 BT 칩 안테나 패턴

나타낸다. 유전율 3.4의 유전체를 적층해서 제작하였다. 제작된 메타머티리얼 BT 칩 안테나의 VSWR 측정 결과는 [그림 3]에 나타내었다. 제작된 BT 칩 안테나는 2.4 GHz, 2.445 GHz, 2.485 GHz에서 각각 1.75, 1.16, 1.79의 VSWR을 가짐으로써 BT 전 대역에서 VSWR 2.0 이하의 광대역 특성을 가짐을 확인할 수 있었다. 이는 기존의 칩 안테나에 비해 낮은 유전율을 가지는 유전체를 사용하여 Q 값이 작아지기 때문이다.

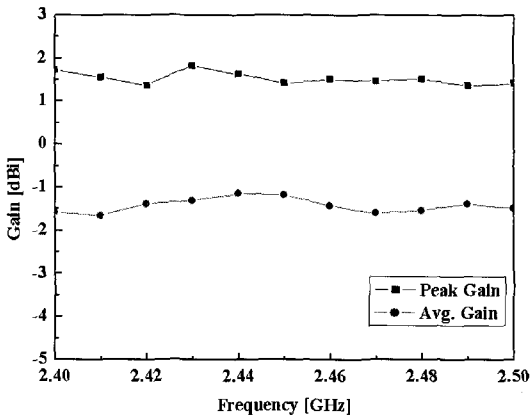
[그림 4]는 제작된 BT 칩 안테나의 3D 최대, 평균 이득 측정 결과를 나타낸다. 3D 이득 측정 결과 전 대



[그림 2] 제작된 메타머티리얼 BT 칩 안테나



[그림 3] 메타머티리얼 BT 칩 안테나 VSWR

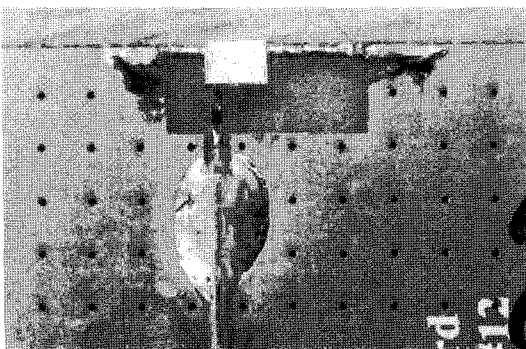


[그림 4] 메타머티리얼 BT 칩 안테나 이득

역에서 최대 이득 1.3 dBi 이상, 평균 이득 -1.7 dBi 이상의 높은 이득을 가짐을 확인할 수 있었다.

[그림 5]는 제작된 메타머티리얼 GPS(Global Position System) 칩 안테나를 나타낸다. 제안된 안테나는 BT 칩 안테나의 패턴을 수정하여 GPS 칩 안테나로 제작하였다. 메타머티리얼 칩 안테나의 주변 환경에 대한 둔감도를 실험하기 위하여 GPS 칩 안테나의 주변에 휴대폰 배터리와 같은 도전체를 안테나의 양 옆 혹은 하단에 근접하게 위치를 변화시켜가면서 안테나 이득 변화를 살펴보았다. 또한 현재 상용중인 세라믹 GPS 안테나와 비교하였다.

<표 1>은 안테나 주변에 아무 것도 존재하지 않을



[그림 5] 제작된 메타머티리얼 GPS 칩 안테나

<표 1> 메타머티리얼 안테나와 세라믹 안테나의 주변 환경 변화에 따른 이득 변화 비교

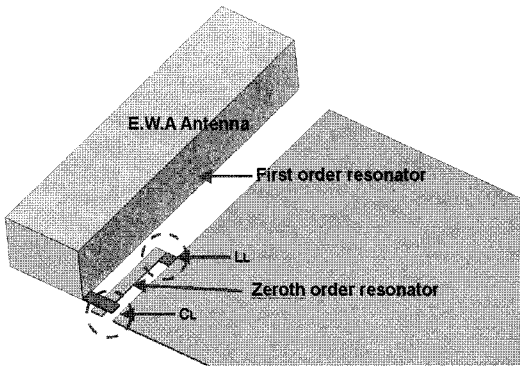
| | EMW chip antenna | | | Ceramic chip antenna | | |
|------------|------------------|------------|------------|----------------------|------------|------------|
| | Freq. [MHz] | Peak [dBi] | Avg. [dBi] | Freq. [MHz] | Peak [dBi] | Avg. [dBi] |
| Default | 1530 | 0 | 0 | 1,490 | 0 | 0 |
| Left side | 1530 | -0.24 | -0.06 | 1,450 | -0.48 | -0.36 |
| Right side | 1530 | -0.53 | -0.34 | 1,510 | -0.83 | -0.89 |
| Bottom | 1530 | -0.48 | -0.42 | 1,530 | -0.95 | -1.17 |

때를 기준으로 하여 주변 환경 변화 시의 이득 차이를 나타내었다. 세라믹 안테나의 경우 주변 환경 변화에 의하여 공진 주파수가 이동하는 것을 볼 수 있었으며, 이동된 공진 주파수에서의 이득 차이를 측정하였다. 메타머티리얼 GPS 칩 안테나의 경우 환경 변화에 의해 주파수가 변화하지 않으며 공진이 이동된 세라믹 GPS 안테나에 비해서도 이득 차이가 거의 없는 것을 확인할 수 있었다.

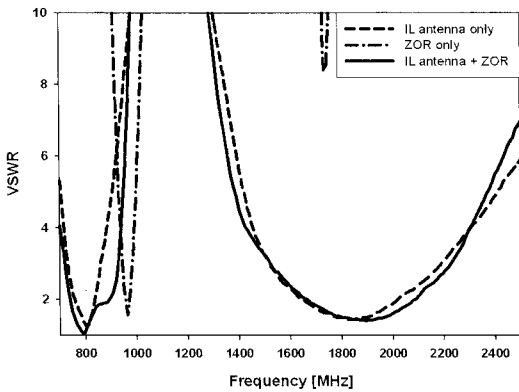
3-2 USB 동글용 안테나

[그림 6]은 0차와 1차 공진 모드를 합성하여 저주파 대역에서 광대역 특성을 만족시키는 메타머티리얼 소형 안테나를 도시하였다(출원번호: 10-2009-0022246). Modified Inverted-L(MIL) 타입의 1차 공진기(First Order Resonator: FOR)와 0차 공진기의 합성을 통하여 소형 광대역 안테나를 구현하였다. 0차 공진 특성을 결정하는 C_L , L_L 의 값은 급전부분과 0차 공진기 사이의 갭(gap)으로 직렬 커패시턴스 성분, 인덕터 집중정수 소자(lumped L)를 이용하여 병렬 인덕턴스 성분은 구현하였다.

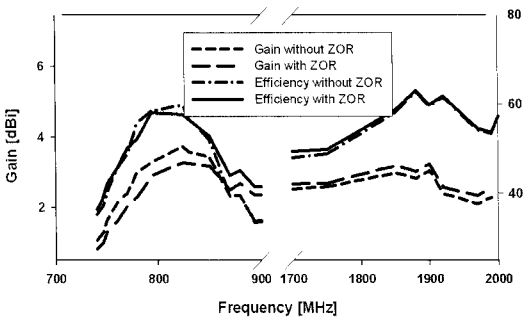
제작된 USB 동글용 메타머티리얼 소형 안테나의 VSWR 측정 결과는 [그림 7]에 나타내었다. 0차와 1차 공진 모드의 합성으로 저주파 대역인 LTE 대역 뿐만 아니라 DCN 대역까지 VSWR 2.0 이하의 광대역 특성을 가짐을 확인할 수 있었다.



[그림 6] 0차와 1차 공진 모드 합성을 이용한 메타머티리얼 소형 안테나 구조



[그림 7] 0차 공진기 유무에 따른 메타머티리얼 소형 안테나 VSWR 변화



[그림 8] 0차 공진기 유무에 따른 메타머티리얼 소형 안테나 이득 변화

[그림 8]은 제작된 USB 동글 안테나의 3D 최대 이득과 안테나 효율 측정 결과를 나타낸다. 3D 이득 측정 결과 0차와 1차 공진 모드의 합성으로 DCN 대역에서 10 % 이상의 이득 향상을 확인할 수 있었다.

IV. 결 론

최근 휴대용 기기들은 휴대성과 디자인 그리고 다양한 서비스를 제공하는 가능성을 강조하기 때문에 안테나에서의 최적의 효율을 기대하기 어려운 환경으로 발전해 나가고 있다. 따라서 기존의 물결과 기술로의 한계가 분명하기 때문에 메타머티리얼 기술에 대한 기대가 더욱 더 커지고 있다.

본 고에서는 메타머티리얼 안테나에 대한 최근 연구와 특히 동향을 소개하였다. 최근 논의된 많은 연구들은 실질적인 환경에 구현하여 적용하기 어려운 구조가 많고 대역폭이 좁다는 문제들을 가지고 있다. 때문에 메타머티리얼 기법을 이용한 주변 환경에 둔감하면서도 소형화 및 광대역 특성을 가지는 안테나에 대한 요구가 절실하다.

본 고에서 현재 본 회사에서 보유하고 있는 안테나 기술을 소개하였다. 메타머티리얼 기법을 이용한 칩 안테나를 구현함으로써 기존에 상용화 된 세라믹 칩 안테나와 비교하여 소형의 크기를 가지고 이득에서도 많이 뒤지지 않고 주변 환경에 둔감한 안테나를 구현하였다. 또한 0차와 1차 공진기의 합성을 통해 저주파에서 0차 모드와 1차 모드의 합성을 통해 안테나의 소형화, 다중 대역, 광대역 특성을 얻을 수 있음을 확인할 수 있었다. 실제 모델에 적용하기 위해 앞으로 해결해야 할 문제들이 많겠지만 메타머티리얼 안테나에 대한 연구가 꾸준히 지속되고 있고, 논문과 특허가 꾸준히 발표되고 있는 한 물리적 제약 없이 많은 대역을 서비스할 수 있는 혁신적인 안테나의 개발은 곧 이루어질 수 있을 것이라고 본다.

참 고 문 헌

- [1] Attali Jacques, "DICTIONNAIRE du XXle SIECLE".
- [2] M. A. Antoniadis, G. V. Eleftheriades, "A broadband dual-mode monopole antenna using NRI-TL metamaterial loading", *IEEE Antennas and Wireless Propagat. Letters*, vol. 8, pp. 258-261, 2009.
- [3] M. A. Antoniadis, G. V. Eleftheriades, "A compact transmission-line metamaterial antenna with extended bandwidth", *IEEE Antennas and Wireless Propagat. Letters*, vol. 8, pp. 258-261, 2009.
- [4] Jeongpyo Kim, Jaehoon Choi, "Design of an ENG-ZOR multiband antenna for GPS and WLAN MIMO system", ISAP 2008, Taipei, Taiwan, Oct. 2008.
- [5] Jeongpyo Kim, Jaehoon Choi, "Design of a multi-antenna structure for WCDMA and Wibro MIMO systems using ENG-ZOR unit cells", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 52, no. 1, pp. 13-17, 2010.
- [6] Jeong Keun Ji, Gi Ho Kim, and Won Mo Seong, "A compact multiband antenna based on CRLH-TL ZOR for wireless mobile system", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 51, no. 1, pp. 2852-2855, 2009.
- [7] Jeong Keun Ji, Gi Ho Kim, and Won Mo Seong, "A compact multiband antenna based on DNG ZOR for wireless mobile system", *IEEE Antennas and Wireless Propagat. Letters*, vol. 8, pp. 920-923, 2009.
- [8] 박영환, 이강희, 지정근, 류지웅, 김기호, 성원모, "Ground Coupling 구조를 이용한 초소형 Metamaterial Bluetooth 칩 안테나", *한국전자과학회논문지*, 20(9), 2009년 9월.

≡ 필자소개 ≡

지 정 근



책임연구원

1997년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학사)
 1999년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)
 1999년 3월~2007년 10월: (주)팬택&큐리텔 중앙연구소 선임연구원
 2007년 11월~현재: (주)EMW Antenna

성 원 모



구소장

[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석

1995년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학사)
 1997년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학석사)
 2007년 2월: 단국대학교 전자공학과 (공학박사)
 1998년 6월~현재: (주)EMW Antenna 연