한국항행학회 논문지 제13권 제6호 2009년 12월

안테나 기판으로의 자성유전체 특성에 관한 연구

A study on characteristics of magneto-dielectrics as the antenna substrate

이영순*, 유진하*, 이가영*, 조윤기*, 김의중**,오병희***

Young-Soon Lee*, Jin-Ha Yoo*, Ga-Young Lee*, Yun-Ki Cho*, Ui-Jung Kim**, and Byoung-Hee Oh***

요 약

유전체 기판을 대신하여 안테나 기판으로 사용되어질 다양한 유전율과 투자율을 가지는 자성유전체를 얻기 위하여 유전체 재료로는 실리콘 레진과 에폭시 레진을 그리고 자성재료로는 카보닐 아이언, 바륨 및 스트론튬을 사용하여 다양한 합성물로 제조하였고, 이러한 자성유전체들의 비유전율 및 비투자율을 HP4291B 임피던스 분석기를 사용하여 측정하였다. 본 논문에서 필름형태로 제조된 자성유전체를 안테나 기판으로 사용했을 때 공진주파수, 임피던스 대역폭과 같은 안테나 특성 변화의 차이점을 유전체 기판 사용과 비교하여 알아보기 위해 측정된 비유전율 및 비투자율에 근거하여 IFA형태의 미앤더 모노폴 안테나 설계 및 제작을 하였고, 모의실험 결과 및 측정 결과를 제시하였다. 본 논문에서는 이러한 결과를 토대로 자성재료의 종류 선택 및 자성재료와 유전체 재료의 혼합비 변화에 따른 자성유전체의 특성 변화들을 논의한다.

Abstract

In order to obtain magneto-dielectrics with various permmittivity and permeability which could be used as the antenna substrate, various magneto-dielectrics compounded of dielectric materials(such as silicon and epoxy resin) and magnetic materials(such as carbonyl iron, barium and strontium powder) were fabricated. The relative permittivity and permeability of those were measured by use of HP 4291B impedance analyzer. Based upon the measured results, inverted-F meander monopole antennas(IFA) which were printed on the magneto-dielectric substrates fabricated as film type were designed and fabricated to investigate into variations of antenna characteristics such as the resonant frequency and impedance bandwidth in comparison with use of dielectric substrate. Some simulated and measured results for the designed IFA were presented. Characteristics of magneto-dielectrics which are different according as the choice of magnetic material or the composition ratio between magnetic material and dielectric material is different have been discussed.

Key words : magneto-dielectric, inverted F meander monopole antenna

I. 서 론

핸드폰의 기능이 단순 통화 기능 뿐 아니라 여러 가지 부가 기능이 추가되면서 안테나 역시 그 개수가 늘어나거나 크기가 커지는 추세에 있다. 한정된 휴대폰 공간 내부에 늘어나는 기능만큼 부품의 수도 늘

* 금오공과대학교 전자공학부(Department of Electronic Engineering,, Kumoh National University)
** 한국전자통신연구원 부설연구소(The attached Institute of ETRI)
*** 삼성전자(주) (Samsung Electronics)
· 제1저자 (First Author) : 이영순
· 투고일자 : 2009년 10월 22일
· 심사(수정)일자 : 2009년 10월 27일 (수정일자 : 2009년 12월 23일)
· 게재일자 : 2009년 12월 30일

어가고 이에 따라 안테나가 실장 될 수 있는 공간이 줄어들고 있는 추세에서 안테나의 소형화는 필수적인 요소가 되었다 하겠다. 이와 같이 안테나의 소형화를 위해 지금까지 안테나의 기판 소재로 높은 유전율을 가지는 다양한 유전체를 개발해 왔었다. 그러나 높은 유전율을 가지는 유전체를 안테나의 기판으로 사용할 경우, 안테나 패턴의 소형화에는 도움이 되는 반면에 복사효율이 떨어지는 것은 여전히 문제점으로 지적될 수 있다.

최근 이와 같은 유전체 기판 사용의 문제점을 해소하기 위한 하나의 방법으로 유전체 기판을 대신하여 magneto-dielectric(자성유전체)를 안테나 기판으로 사용하는 방법이 제안되고 있다[1]-[3]. 또한 자성유전체를 안테나의 기판으로 사용한 다양한 형태의 안테나 구현을 통해 안테나의 이득, 방사 효율 및 대역폭과 같은 안테나의 특성 변화에 관한 연구가 병행되고 있다[4]-[7].

유전체 기판을 대신하여 자성유전체를 안테나 기판으로 사용할 경우 얻을 수 있는 장점은 크게 두 가지로 볼 수 있다. 먼저 자성유전체의 경우 유효 유전율이 permittivity(유전율)과 permeability(투자율)의 곱에 비례하므로, 단순한 유전체를 사용하여 유전율을 높이는 것과는 달리 효과적으로 유효 유전율을 높일 수 있다는 것이다. 이와 더불어 relative permittivity(비유전율)과 relative permeability(비투자율)을 같게 하는 경우 자성유전체 매질의 파동임피던스가 자유공간의 파동임피던스와 같아져 impedance matched material이 된다는 점이다. 이와 같이 효과적으로 유효 유전율을 높이면서도 복사 효율이 낮아지지 않을 수 있는 아이디어가 안테나 기판으로 유전체를 대신하여 자성유전체를 사용하겠다는 논리적인 근거인 것이다.

참고문헌 [1] 및 [2]에서는 자성재료로 카보닐 아이언과 유전체 재료로 실리콘 에폭시를 사용하여 자성유전체를 제작하였고, 이 경우 자성유전체가 쉽게 깨어진다는 단점이 있어 본 논문에서는 유전체 재료로 실리콘 레진 혹은 에폭시 레진을 사용하여 탄성이 있는 자성유전체를 제작하고자 한다. 또한 다양한 비유전율과 비투자율을 가지는 자성유전체 제작을 위해 자성재료로 금속계 재료인 카보닐 아이언 분말 뿐만 아니라 산화물계 자성재료인 바륨(Ba) 및 스트론튬(Sr)을 유전체 레진의 혼합재료로 사용하였다.

이렇게 다양한 자성재료와 유전체 레진재료의 혼합 비율을 달리하여 제조된 자성유전재료를 안테나의 기판으로 사용하기 위하여 얇은 필름형태의 기판으로 제작 한 후, 이를 비유전율과 비투자율을 1GHz 주파수 대역까지 측정하여 제시하였다. 실험을 통해 측정된 자성유전체 필름기판의 비유전율과 비투자율의 값을 토대로 안테나를 설계 및 제작 하여 대역폭, 복사 효율과 같은 안테나 특성을 측정하여 안테나 기판으로의 사용가능성을 확인해 보고자 한다.

Ⅱ. 본 론

2-1 자성유전체 제작

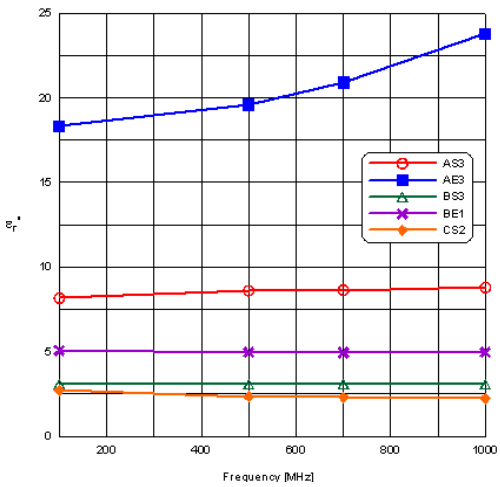
자성유전체의 제작에 사용된 유전체 재료는 비교적 양호한 고주파 특성을 가지는 실리콘 레진(DC-184)과 에폭시 레진(LDC-2577D)이다. 유전체 재료에 따른 유전율 및 투자율 특성변화를 확인하기 위해 두 종류의 유전체 재료를 사용하였다. 자성재료로는 금속계 자성재료인 카보닐 아이언과 산화물계 자성재료인 바륨(Ba), 스트론튬(Sr) 분말이 사용되었다. 혼합된 시료를 필름형태로 제작하기 위해 유전체 필름 제작 장비(STC-28 C/A)를 사용하였다. 자성유전체 제작을 위해 유전체 재료와 자성재료를 일정 중량비로 혼합 한 후 진공 탈포 과정을 거쳐 경화시킨다. 실리콘 레진을 사용하는 경우 혼합 과정에서 실리콘 경화를 위한 경화제와, 혼합 과정 중 재료가 경화되는 것을 방지하기 위해 약간의 용매(MEK)가 첨가된다. 혼합물은 유전체 필름제작 장비에 투입시켜 일정한 두께의 필름 형태로 뽑아내고 70 C의 온도로 1시간 이상 경화 시켰다. 이렇게 제작된 다양한 자성유전체는 자성재료의 종류, 유전체 종류, 자성재료와 유전체의 혼합비에 따라 구분하기 위하여 표 1과 같이 별도의 명칭을 사용하기로 한다. 예를 들어 AS3 자성유전체의 경우, 유전체 재료인 S(실리콘 레진)에 3배의 자성재료인 A(카보닐 아이언)을 혼합하여 제조된 자성유전체를 의미한다.

표 1. 자성유전체 구분을 위한 명칭
Table 1. Names of magneto-dielectric

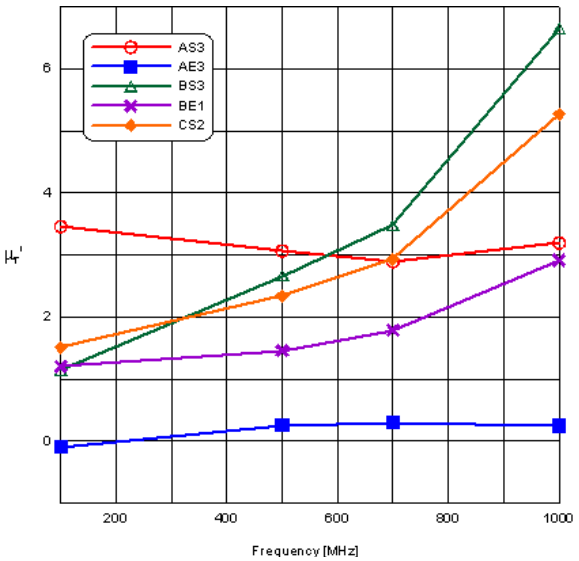
자성재료 종류	유전체 종류	자성재료 혼합비 (유전체 1 기준)
A(카보닐아이언) B(바륨) C(스트론튬)	S(실리콘) E(에폭시)	1(1 : 1) 2(2 : 1) 3(3 : 1)

2-2 자성유전체 제작

자성유전체가 안테나 기판 사용으로 적합하려면 비유전율과 비투자율이 유사하면서 유전 손실과 자성손실이 매우 작은 값을 가져야 하는데, 기존의 자성유전체 들은 1GHz 부근에서부터 유전손실과 자성손실이 급격히 증가하기 때문에 안테나 설계용으로 적합하지 않다. 그러므로 제작한 자성유전체의 특성 분석은 200~1000MHz 대역에 중점을 두었다. 본 논문에서 제작된 다양한 자성유전체의 특성은 임피던스 분석기인 HP 4291B를 사용하여 측정하였다. 그림 1에 본 눈문에서 제작된 5가지 자성유전체(AS3, AE3, BS3, BE1, CS2)의 비유전율과 비투자율을 1GHz 주파수 대역까지 측정한 결과를 제시하였다. 이 결과를 토대로 흥미로운 점은 자성유전체 BS3(실리콘 레진에 바륨을 3배 혼합한 자성유전체)의 경우 700MHz에서 1GHz 대역에 비유전율과 비투자율의 실수부 값이 각각 3 근방의 값으로 서로 유사한 값을 갖는다는 것이다.



(a) 비유전율의 실수부
(a) real part of relative permittivity



(b) 비투자율의 실수부
(b) real part of relative permeability

그림 1. 제조된 자성유전체들의 비유전율 및 비투자율의 측정값
Fig 1. Measured relative permittivity and permeability of the fabricated magneto-dielectrics

2-3 안테나의 설계

본 논문에서 제조된 자성유전체 필름을 안테나 기판으로 사용하기 위하여 선택한 안테나는 참고문헌 [8]에서 제시한 그림 2와 같은 IFA형태를 갖는 미앤더 모노폴 안테나이다.

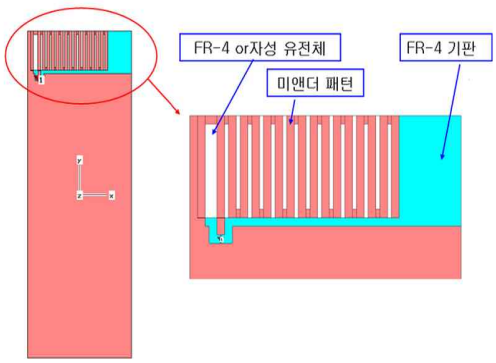


그림 2. IFA 형태의 미앤더 모노폴 안테나
Fig 2. Inverted-F meander monopole antenna

본 논문의 자성유전체를 안테나 기판으로 사용할 경우 안테나 소형화 및 효율개선 정도를 확인하기 위

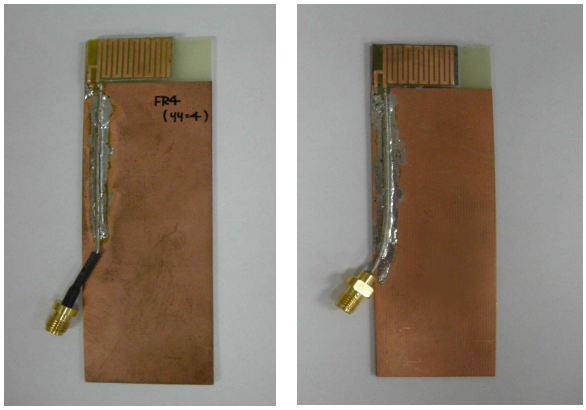
해, 먼저 유전체 기판인 FR4($\epsilon_r = 4.4$)를 사용하여 모의실험 설계한 후, 설계된 안테나 패턴을 그대로 유지하며 본 논문의 자성유전체를 기판으로 한 경우, 공진주파수와 대역폭 및 안테나 효율이 어떻게 변화하는지를 모의실험 결과로 알아보기로 하였다. 모의설계 및 실험을 위해서 상용 S/W인 CST 사의 MWS(Microwave Studio)가 사용되었다.

먼저 FR4($\epsilon_r = 4.4$) 유전체 기판을 사용하여 중심주파수가 930MHz에 나타나도록 설계하였다. 그 결과 미앤더 라인은 7turns로 구성되었고 안테나 도선의 폭은 1mm, 안테나 도선과 도선사이의 거리는 0.5mm, 안테나 도선의 세로 길이는 12mm, 가로의 총 길이는 23mm로 설계되었다. 안테나의 급전부와 그라운드간의 연결부의 높이(shorting pin의 위치)에 따라서 안테나의 반사손실 특성이 변화되는 형태의 안테나이고 기판 유전체의 유전율이 변하면서 안테나의 최적화가 필요하였다. 본 논문의 자성유전체 기판의 유전율과 투자율은 700MHz와 1GHz에서의 측정결과를 기준으로 입력하였고, 안테나의 급전부와 그라운드 간 연결부의 세로 높이를 변경해 가며 최적화한 후에 각각의 경우에 따라 안테나 설계를 최적화한 후 연결부의 높이를 달리하여 실험을 진행하였다.

모의실험 결과 안테나의 공진주파수 및 대역폭(VSWR<2)을 2.4절 에서 측정결과와 비교하여 점선으로 그림 4 및 그림 5에 각각 제시하였다. 그림 4와 5에서 가로축은 안테나 기판으로 유전체 기판인 FR4, 본 논문의 자성유전체 5종류인 AS3, AE3, BE1, BS3, CS2 이고, 세로축은 그 사용 안테나 기판에 따른 결과인 공친 주파수와 대역폭을 나타내었다. 모의실험 결과 FR4기판을 사용한 경우보다 본 논문의 자성유전체를 사용한 경우들이 공진주파수가 낮아, 안테나의 소형화가 가능하고 대역폭 또한 대체로 넓어지는 경향을 보임을 확인 할 수 있었다.

2-4 안테나 제작 및 측정결과

FR4기판과 자성유전체를 동일한 크기로 준비한 후에 양면테이프를 이용하여 유전체와 안테나 패턴을 부착하는 방법으로 안테나를 제작하였다. 안테나의 그라운드 면은 단면 FR4기판을 사용하여 한 면만 그라운드가 있는 형태로 제작하였다. 단 안테나의 급전부와 그라운드를 연결하는 부분의 높이는 각각의 물성을 대입하고 최적화한 높이로 설계하여 각 경우마다 조금의 차이가 있으나 안테나의 전체 크기와 패턴은 동일하게 제작하였다. 그림 3은 안테나를 FR4 기판(두께t=1.6mm)및 본 논문의 BS3기판(두께 t=0.14mm)을 사용하여 실제 제작한 안테나의 모습이다.



(a) FR4 기판
(a) FR4 substrate

(b) BS3 기판
(b) BS3 substrate

그림 3. 제작된 안테나
Fig 3. Fabricated antenna

제작된 안테나의 급전부에 세미 리지드 케이블을 연결하고 Agilent E8358B VNA(Vector Network Analyzer)를 사용하여 측정하였다. FR4 유전체 기판과 본 논문의 5가지 종류 자성유전체 기판 사용에 의한 안테나의 공진주파수 및 대역폭(VSWR<2) 측정결과를 실선으로 하여 점선으로 된 모의실험과 비교하여 그림 4 및 5에 제시 하였다.

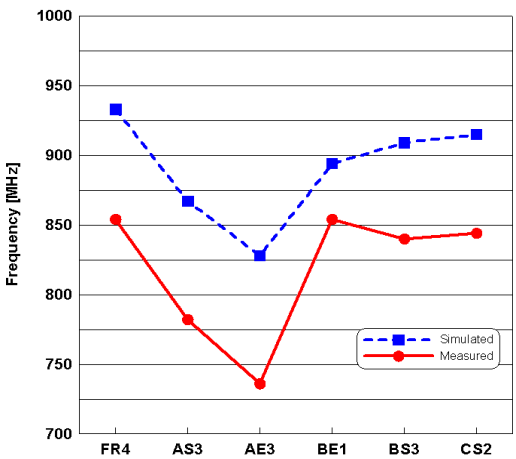


그림 4. 안테나 공진주파수 비교
Fig 4. Comparison of resonant frequency

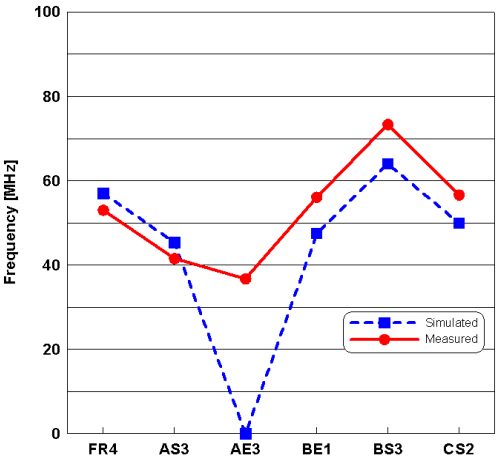
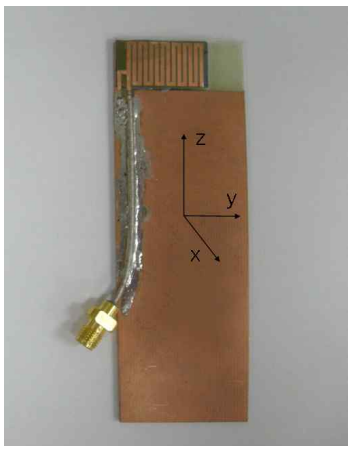


그림 5. 안테나 대역폭 비교 (VSWR<2)
Fig 5. Comparison of bandwidth (VSWR<2)

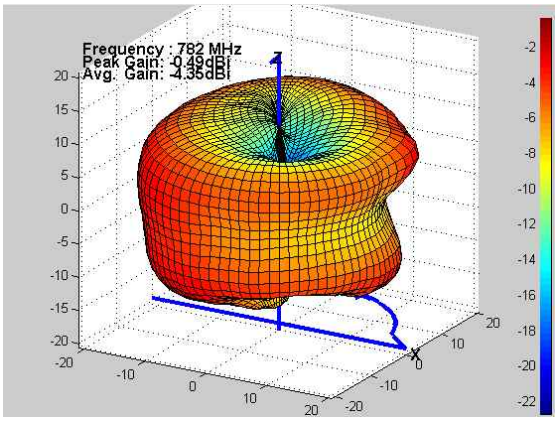
측정결과 모의실험에 비해 공진주파수가 낮게 측정된 것을 확인할 수 있다. 금속계 자성재료와 산화물계 자성재료를 사용한 자성유전체간을 비교해 볼 때 금속계 자성재료를 사용한 자성유전체의 공진주파수가 산화물계 자성재료를 사용한 것 보다 낮음을 알 수 있다. 그 이유는 그림 1에서 보는 바와 같이 금속계 자성재료인 A(카보닐 아이언)을 사용한 AS3 및 AE3이 비교적 높은 비유전율을 가지기 때문인 것으로 생각된다.

대역폭(VSWR<2)의 경우 대체로 모의실험에 비해 더 넓은 대역폭이 측정되었다. 특히 비유전율과 비투자율 값이 유사했던 BS3 시료에서 다른 시료들 보다 넓은 대역폭이 측정 되었다.

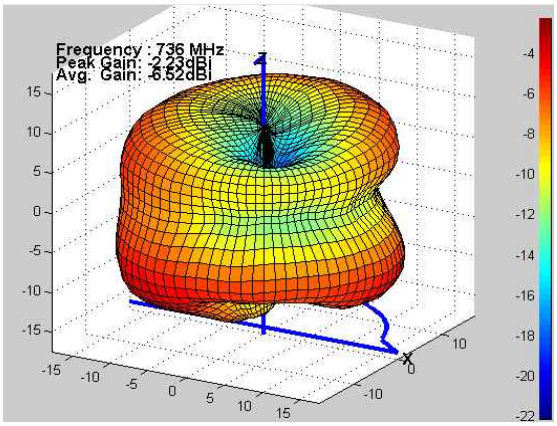
본 논문의 5가지 종류의 자성유전체 기판을 사용한 안테나의 3D방사패턴을 무반사 챔버에서 측정한 결과를 그림 6에 제시하였다.



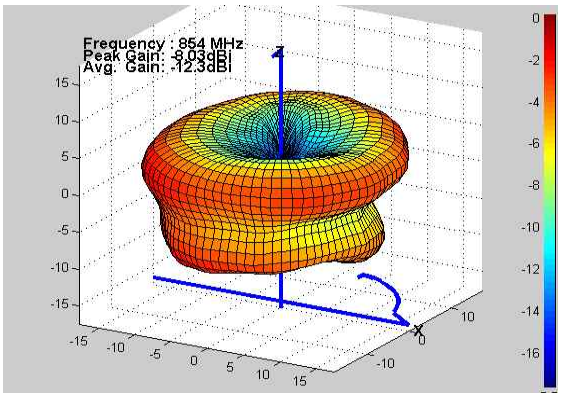
(a) 방사패턴 측정 시 사용된 기준 좌표축
(a) Reference axis for the 3D radiation pattern



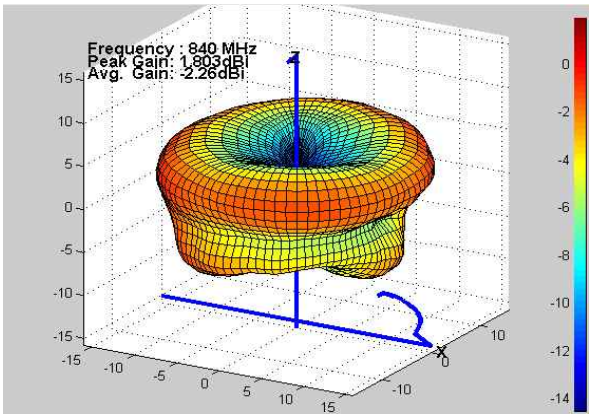
(b) AS3 자성유전체 기판 안테나의 경우
(b) For the case of AS3 substrate



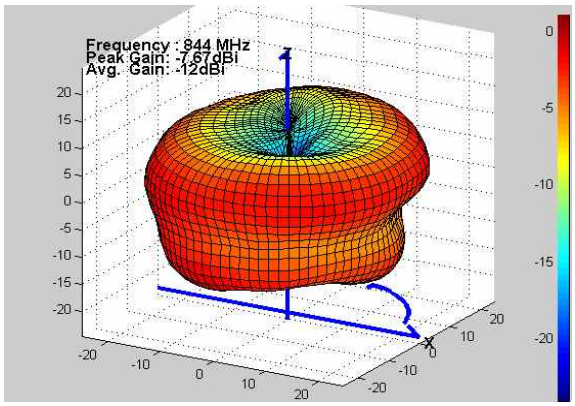
(c) AE3 자성유전체 기판 안테나의 경우
(c) For the case of AE3 substrate



(d) BE1 자성유전체 기판 안테나의 경우
(d) For the case of BE1 substrate



(e) BS3 자성유전체 기판 안테나의 경우
(e) For the case of BS3 substrate



(f) CS2 자성유전체 기판 안테나의 경우
(f) For the case of CS2 substrate

그림 6. 본 논문의 자성유전체 기판을 사용한 안테나 3D 방사패턴
Fig 6. 3D radiation patterns of the present antennas using magneto-dielectric substrates

마지막으로 FR4 및 본 논문의 자성유전체를 기판으로 사용 한 안테나들의 효율 측정 결과(실선)를 모의실험 결과(점선)과 비교하여 그림 7에 제시하였다. 효율 측면에서는 AE3시료 외의 나머지 시료들은 모의실험 결과보다 낮은 값이 측정 되었다. 그리고 금속계열보다 산화물계열의 시료를 사용한 것이 더 높은 효율을 가짐을 알 수 있었다. 특히 BS3의 경우 가장 높은 59%의 안테나 효율을 가지는 것으로 측정되었는데, 이러한 결과는 비유전율과 비투자율이 유사한 값의 경우가 되어 나타난 것으로 사료된다.

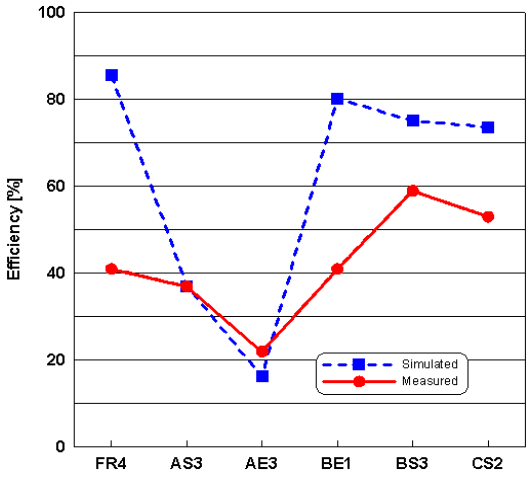


그림 7. 방사효율
Fig 7. Radiation efficiency

Ⅲ. 결 론

본 논문에서는 금속계열과 산화물계열 자성재료를 사용하여 제작된 자성유전체의 유전율 및 투자율 특성을 분석하였다. 그 결과 참고문헌 [2]에서는 비투자율 1.5~3과 비유전율 4~8.5인 자성유전체를 얻은 반면에 본 논문에서는 비투자율이 1.2~6.7 및 비유전율이 2.2~18.3인 자성유전체를 얻을 수 있었고, 이러한 자성유전체를 기판으로 사용하여 제작한 안테나의 특성을 확인하였다. 그 결과 안테나 소형화를 위해서는 공진주파수가 낮게 측정되는 카보닐 아이언과 같은 금속계열 자성재료를 혼합재료로 사용하는 것이 좋으나 안테나 효율이 낮아지는 단점이 있고, 반면에 바륨과 같은 산화물 계열 자성재료를 사용할 경우 유전율은 크지는 않으나 비유전율과 비투자율 값이 유사한 자성 유전체 제조가 가능해 대역폭 및 방사효율이 높은 자성유전체 안테나 기판으로의 사용이 가능함을 알 수 있었다. 일 예로 700MHz에서 1GHz의 UHF 대역에서 비유전율($\epsilon_r = 3.063$)과 비투자율($\mu_r = 3.473$)으로 유사하여 유효 유전율 ($\sqrt{\epsilon_r{}'\mu_r{}'}$)이 3.26으로 FR4기판의 유전율 4.4에 비하여 낮음에도 불구하고, 동일한 IFA 미앤더 패턴으로 했을 때 FR4 기판 사용과 비교하여 공진주파수는 24MHz가 낮고 대역폭은 7MHz가 넓게 측정되었으며 그 효율은 59%로 FR4를 사용한 안테나보다 18% 높은 값이 측정 되었다. 금속계열 자성재료보다 산화물

계열 자성재료를 사용할 때 비유전율과 비투자율이 유사하게 나타났으며 두 값이 유사하게 조절됨으로써 공진주파수는 낮아지고 대역폭 확보가 용이하며 방사효율이 개선되는 것을 확인 할 수 있었다. 결론적으로 유전율과 투자율이 모두 유사한 값을 가지는 자성유전체를 사용하면 안테나의 소형화와 더불어 보다 넓은 대역폭 확보가 가능함을 확인 할 수 있었다.

감사의 글

이 연구는 교육과학기술부와 한국산업기술진흥원의 인력양성사업으로 수행된 연구결과임.

참 고 문 헌

[1] 배석, 김인영 “1cc 부피 페라이트 DVB-H 안테나”, *한국자기학회 2006년도 정기총회 동계학술연구발표회 및 자성 및 스핀트로닉스 국제학술대회 논문 개요집*, pp. 230-231, 2006. 11.

[2] 배석, 김인영, “휴대폰용 자성유전체 안테나”, *한국자기학회 2006년도 임시총회 및 하계학술연구 발표회 논문개요집*, 제16권, 제1호, pp. 88-89, 2006. 6.

[3] Y. Deng and Q. Chu, “A DVB-H antenna on organic magneto-dielectric substrate”, *Microwave Conference, 2007. APMC 2007. Asia-Pacific*, pp. 1-4, Dec 2007.

[4] J.R. James, R. Chair, K.M. Luk, K.M. Chow, K.W. Leung and J.C. Vardaxogiou, “Influence of magnetic material on dielectric resonator antenna excitation”, *IEEE Proceedings-Microwaves Antennas and Propagation*, vol. 151, no. 4, pp. 293-298, Aug. 2004.

[5] Shun-Shi Zhong, Jun-Hai Cui, Rui-Feng Xue and Jun-Wei Niu, “Compact circularly polarized microstrip antenna on organic magnetic substrate", *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 40, no. 6, pp.793-796, Mar. 2004.

[6] Kyeong-Sik Min, Viet-Hong Tran, “Application of magneto-dielectric materials in Antenna Design”, *Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society*, vol. 6, no. 3, pp. 165-170, Sep. 2006.

[7] Y. Deng and Q. Chu, “Comb-shaped antenna on magneto-dielectric substrate for DVB-H reception”, *Microwave and Millimeter Wave Technology*, 2007. ICMMT '07. International Conference on, pp. 1-3, April 2007.

[8] Seok Bae, Y. Mano, “VHF antenna using ferrite-epoxy composite materials”, *한국자기학회 2005년도 임시총회 하계학술연구발표회 및 국제 차세대 HDD 기술워크샵 논문개요집*, 제15권, 제1호, pp. 190-191, 2005. 6.

이 영 순 (李永淳)

1979년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
1981년 2월 : 한국과학기술원 전자공학과(공학석사)
1996년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학박사)
1981~현재 : 금오공과대학교 전자공학부 교수
관심분야 : 전자기 이론, 안테나의 산란문제, 도파관 불연속, 개구결합

김 의 중 (金義中)

1996년 2월 : 금오공과대학교 전자통신공학(공학사)
1998년 2월 : 금오공과대학교 전자공학과(공학석사)
2005년 2월 : 금오공과대학교 전자통신공학과(공학박사)
2008년 3월~2006년 3월 : (주) 오성전자 리모컨 사업부 연구소
2006년 9월~2009년 4월 : 금오공과대학교 모바일연구소 연구교수
2009년 4월~현재 : 한국전자통신연구원 부설연구소
관심분야 : Closed-form Green's function method, 안테나의 산란문제 도파관 필터

유 진 하 (劉振河)

2009년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학사)
2009년 3월~현재 : 금오공과대학교 전파통신공학과 석사과정
관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계

이 가 영 (李嘉英)

2008 2월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학사)
2008년 3월~현재 : 금오공과대학교 전파통신공학과 석사과정
관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계

조 윤 기 (趙允基)

2009년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학사)
2009년 3월~현재 : 금오공과대학교 전파통신공학과 석사과정
관심분야 : 안테나 설계 및 해석, RF 회로설계

오 병 희(吳秉熙)

1984년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학사)
1989년 2월 : 경북대학교 전자공학과(공학석사)
2004년 2월 : 금오공과대학교 전자공학부(공학박사)
1983년 3월~현재 : 삼성전자(주)
관심분야 : Closed-form Green's function method, low profile antenna, RF circuit design