

원통형 자성체를 이용한 고이득 및 광대역 안테나 설계

이지철* · 민경식†

*한국해양대학교 대학원, †한국해양대학교 전파공학과 교수

High gain and broad bandwidth antenna design using cylindrical magneto material

Ji-Chul Lee* · Kyeong-Sik Min†

*Graduate school of National Korea Maritime University, Pusan 606-791, Korea

†Department of Radio Science and Engineering, National Korea Maritime University, Busan 606-791, Korea

요약 : 본 논문은 패치 안테나의 급전선 주위에 원통형 자성체를 이용하여 안테나의 고이득 및 광대역 안테나 설계법에 대해서 기술한다. 안테나의 고이득 설계를 위해서 급전선 주위에 생기는 자기장과 원통형 자성체 주위에 생기는 자기장을 결합시켜 급전선에 강한 전류를 유도시키는 방법을 사용하였고, 안테나의 광대역 설계를 위해서 shorting 스티브를 추가한 PIFA의 원리를 적용하여 설계하였다. 단일 원통형 자성체의 경우, 참고 안테나와 비교하여 3.96 dB 이득이 증가하였으나 대역폭 특성은 개선되지 않았다. 이중 원통형 자성체의 경우, 참고 안테나와 비교하여 이득은 약 10 dB 개선되었으며, -10 dB 이하 대역폭은 700 MHz(50 MHz ~ 750 MHz)로써 광대역 특성을 가지는 안테나를 설계하였다.

핵심용어 : 광대역, 고이득, 자성 유전 물질, 원통형 자성체, PIFA

Abstract : This paper describes patch antenna design method of antenna high gain and broad bandwidth using cylindrical magneto material around feeding line. Strong current induction method applied combination to generate magnetic fields around feeding line for antenna high gain characteristic and principle of PIFA designed application for design of antenna broadband. In case of single CMM, gain increased 3.96 dB compare with the reference antenna gain however bandwidth characteristic not increased compare with the reference antenna. In case of dual CMM, gain improved about 10 dB compare with the reference antenna and -10 below bandwidth is 700 MHz(50 MHz ~ 750 MHz) with this paper designed high gain characteristic.

Key words : Broad bandwidth, High gain, Magneto-Dielectric Material(MDM), Cylindrical Magneto Material(CMM), PIFA

1. 서 론

최근 무선 통신 시스템의 크기는 줄어드는 추세인 반면 하나의 무선 통신 시스템에 다양한 무선 서비스들이 제공되어 지고 있다(Hossein et al, 2004). 예를 들어, SDMB(2.5 GHz 대역), 블루투스(2.4 GHz 대역), TDMB(200 MHz 대역) 그리고 FM라디오(100 MHz 대역)등의 무선 통신 서비스들이 하나의 핸드폰(800 MHz 대역)으로 이러한 서비스들이 제공된다.

이러한 여러 가지 무선 서비스들을 제공하기 위해서는 광대역 또는 다중 공진 안테나가 필요하다. 최근 이러한 연구가 활발히 진행 중 이다(Hsieh et al., 2009) ~ (Rashid et al., 2007) 대표적인 예로써는 PIFA, 칩 안테나, 패치 안테나 등 여러 가지 방법들이 있지만 이러한 방법들은 낮은 주파수 대역에서 몇 가지 문제점들이 있다. 대표적인 문제점들로는 안테나 효율 저하, 유도성 저항으로 인한 입력 임피던스 증가 그리고 안테나 이득 감소 등의 많은 문제점들이 있다(Min et al., 2006). 이러한 문제점들을 해결하기 위해 자성 유전 물질(MDM: Magneto

-Dielectric Material)을 이용하여 안테나를 소형화하는 방법(Shin et al., 2008) ~ (Hansen et al., 2000), 유전 매질을 이용하는 방법, 자성매질을 이용하는 방법(Yoshimi et al., 2005)등의 자성 유전 물질을 이용한 연구가 진행되고 있지만 이러한 방법들 역시 높은 투자율과 유전율에 의한 안테나 방사 효율의 감소와 임피던스 매칭에 있어서 문제점들이 발생한다(Pekka et al., 2006). 이러한 문제점이 생기는 가장 큰 이유로는 복소 비투자율($\mu_r = \mu_r' + j\mu_r''$)과 복소 비유전율($\epsilon_r = \epsilon_r' + j\epsilon_r''$)을 가지는 매질은 손실항을 포함하기 때문에 안테나의 방사를 억제함으로 이러한 문제점들이 야기된다.

본 논문에서는 원통형 자성체(CMM : Cylindrical Magneto Material)을 이용하여 이러한 문제점들을 해결하고 고이득 및 광대역 안테나 설계 방법을 제안하였다. 그 방법으로는 급전선에 흐르는 전류로 인해 생기는 자기장과 원통형 자성체 주위에 생기는 자기장을 급전선 주위에 생기는 자기장과 결합시키는 방법으로 암페어의 법칙과 페르테이의 법칙에 의해 급전선에 원 전류보다 강한 전류를 유도시켜 안테나의 이득을 증가시킬

* 대표저자 : 이지철(정회원), jichulee@hotmail.com, 051)410-4921

† 교신저자 : 민경식(정회원), ksmin@hhu.ac.kr, 051)410-4921

수 있는 설계법을 사용하였고, 광대역 설계를 위해 단락 스텐드를 추가하는 PIFA 설계 기법을 적용하였다.

2. 이론

본 논문에서는 원통형 자성체를 이용하여 고이득 및 광대역 안테나를 설계하였다.

그림 1은 원통형 자성체를 이용한 고이득 안테나의 설계 원리를 나타낸다.

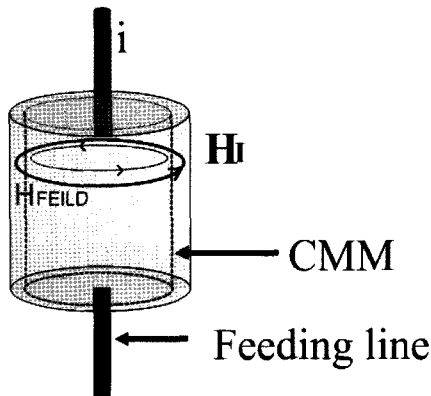


Fig. 1 Principle of the CMM structure

고이득 안테나 설계의 원리는 급전선에 전류 i 가 흐를 때 ① 급전선에 흐르는 전류 i 에 의해 급전선 주위에 자계(HI)가 형성된다. ② CMM에 의해 CMM 내부에 자계(HFEILD)가 생성된다. ③ 두 자계 HI와 HFEILD는 중첩되어 강한 자계가 형성된다. ④ ③에서 중첩된 두 자계에 의해 급전선에 원 전류보다 강한 전류 i' 이 Faraday의 법칙에 의해 유도된다. ⑤ 강하게 유도된 전류는 안테나의 방사부에서 강하게 방사되므로 안테나의 이득을 높일 수 있다.

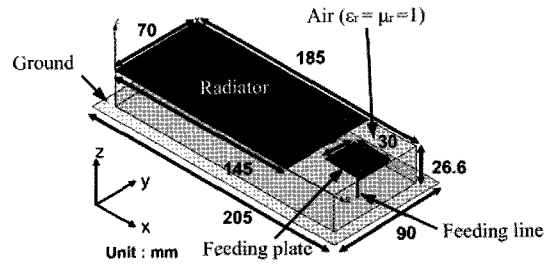
광대역 설계를 위해서는 PIFA의 원리를 적용하였다. PIFA에서 대역폭 확장을 위한 대표적인 방법들로는 안테나의 높이를 조절하거나 기생소자를 추가하는 방법(Gabriel et al., 2001), 슬롯을 이용하는 방법(Salonen et al., 2000) 그리고 이중 공진 구조를 이용하는 방법(Wang et al., 2000)등 다양한 방법이 있다.

뿐만 아니라, 참고문헌[14]와 [15]에서는 PIFA에 단락 스텐드를 추가함으로써 대역폭을 확장할 수 있는 방법을 제안하였다. 본 논문에서 참고문헌[14]와 [15]의 방법으로 대역폭을 확장하였고 본문 3에서 자세히 다루었다.

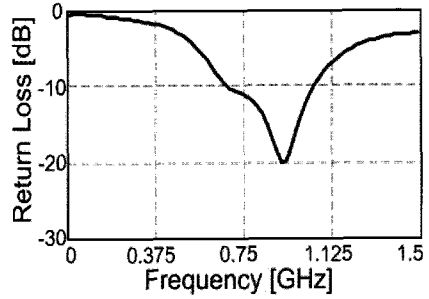
3. 설계

3.1 참고안테나

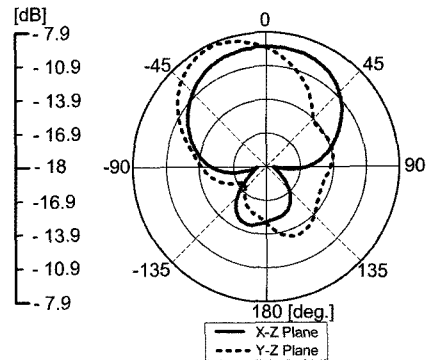
그림 2는 CMM을 이용하여 안테나의 고이득 및 광대역을 실현하기 위한 참고 안테나의 크기, 반사손실 그리고 방사패턴을 나타낸다(Min et al., 2004).



(a) Structure of the reference antenna



(b) Return loss of the reference antenna



(c) Radiation pattern of the reference antenna

Fig. 2 Structure, return loss and radiation pattern of the reference antenna

참고 안테나의 전체 크기, 공진 주파수 그리고 -10 dB 이하 대역폭은 각각 $90 \text{ mm} \times 205 \text{ mm} \times 26.6 \text{ mm}$, 0.92 GHz 에서 -19.84 dB 그리고 0.32 GHz ($0.72 \text{ GHz} \sim 1.04 \text{ GHz}$)이다. 최대 지향성 이득의 경우 X-Z Plane은 0° 에서 약 -9.2 dB , Y-Z Plane은 -25° 에서 약 -8 dB 이다.

그림 3과 표 1은 각각 참고 안테나의 등가회로와 회로기호의 의미를 나타낸다.

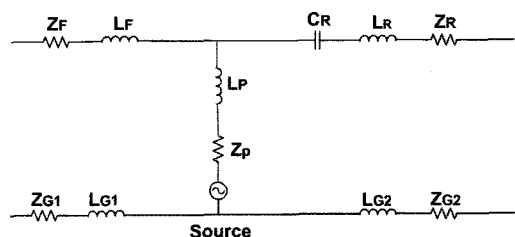


Fig. 3 Equivalent circuit of the reference antenna

Table 1 Meaning of equivalent circuit symbols

기호명	의미
ZF, LF	Feeding plate의 저항과 인덕터 성분
ZR, LR	Radiator의 저항과 인덕터 성분
CR	Feeding plate와 Radiator사이의 용량성 성분
Lp, Zp	Feeding line의 인덕터와 저항 성분
ZG, LG	Ground의 저항과 인덕터 성분

3.2 단일 CMM (Single CMM)

고이득 특성을 갖는 안테나를 설계하기 위한 방법은 그림 1에서 설명하였다.

그림 4는 고이득 안테나 설계를 하기 위한 방법으로 참고 안테나의 Feeding line 주위에 단일 CMM을 적용시킨 구조를 나타낸다.

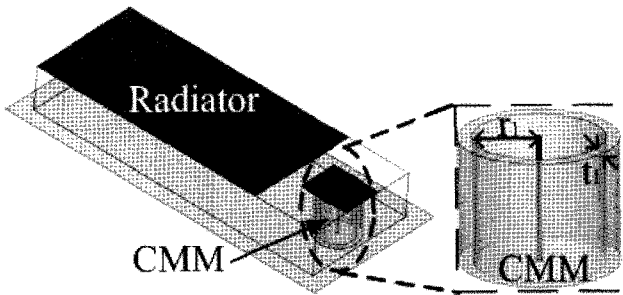


Fig. 4 Structure of applying CMM antenna

CMM에서의 r_1 은 CMM 내경 반지름을 의미하며, t_1 은 CMM의 두께를 의미한다. 실제 존재하는 자성 매질의 성분은 식 (1)과 식 (2)로 구성된다.

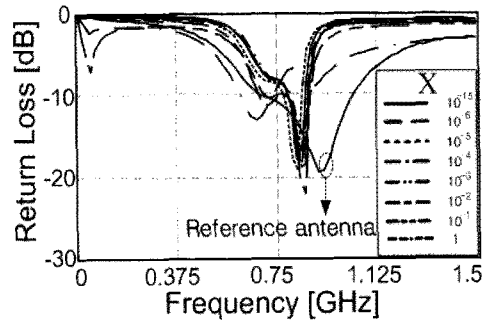
$$\xi_r = \xi_r' + j\xi_r'' = \xi_r'(1 + j\tan \delta) \tag{1}$$

$$\mu_r = \mu_r' + j\mu_r'' = \mu_r'(1 + j\tan \delta') \tag{2}$$

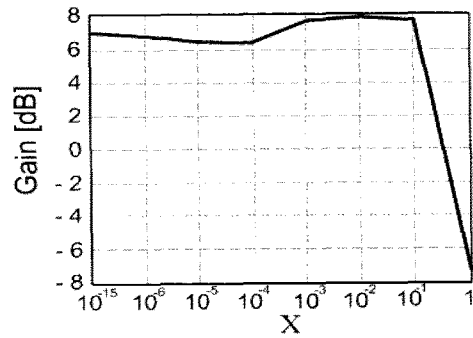
여기서 ξ_r', μ_r' 은 복소 비유전율과 복소 비투자율을 나타내며, $\tan \delta$ 와 $\tan \delta'$ 은 유전체와 자성체의 손실 탄젠트를 의미한다.

본 논문에서의 실제 적용된 복소 비유전율은 공기중과 동일한 $\xi_r' + j\xi_r'' = 1 + j10^{-15}$ 로 고려하였고, 복소 비투자율은 $\mu_r' + j\mu_r'' = 10 + jX$ 로 고려하였다. $j\xi_r''$ 의 값이 $j10^{-15}$ 인 것은 시뮬레이션 상에서의 오차를 없애기 위해서이다. 만약 허수부가 0이 되면 계산상에서 오차가 발생할 확률이 높아지기 때문이다.

그림 5는 r_1 이 4.7 mm이고, t_1 이 1.5 mm일 때, 최적 자성 손실탄젠트 값을 얻기 위해 $\mu_r' + j\mu_r'' = 10 + jX$ 의 X값의 변화에 따른 반사 손실과 최대 지향성 이득을 나타낸다.



(a) Variation of return loss by 'X' parameter



(b) Variation of gain by 'X' parameter

Fig. 5 Variation of return loss and gain by 'X' parameter

X값이 10^{-15} 에서 10^{-1} 일 때 최대 지향성 이득은 평균 약 7 dB로써 CMM을 사용하지 않았을 때 보다 공진 주파수에서의 최대 지향성 이득은 약 15 dB 증가하였다. 이러한 이득 증가의 원인은 본론 2에서 설명하였다. 하지만 X의 값이 10^{-1} 을 초과하게 되면 안테나의 이득 특성이 현저히 저하된다. 이는 매질 내 loss의 증가로 인해 안테나의 방사를 억제하기 때문이다. 본 논문에서는 최대 지향성 이득이 가장 양호한 $j\mu_r'' = j10^{-2}$ 으로 설정하였다.

그림 6은 참고 안테나에 $\xi_r' + j\xi_r'' = 1 + j10^{-15}$, $\mu_r' + j\mu_r'' = 10 + j10^{-2}$ 의 CMM을 $r_1 = 4.7$ mm, $t_1 = 1.5$ mm의 크기로 급전선 주위에 위치시켰을 때의 방사패턴을 나타낸다.

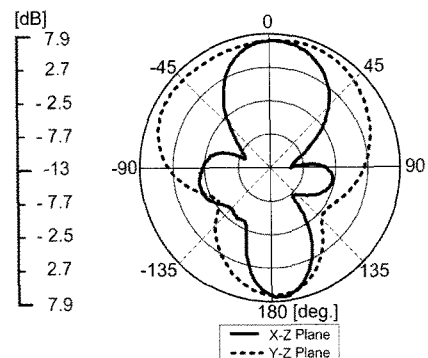
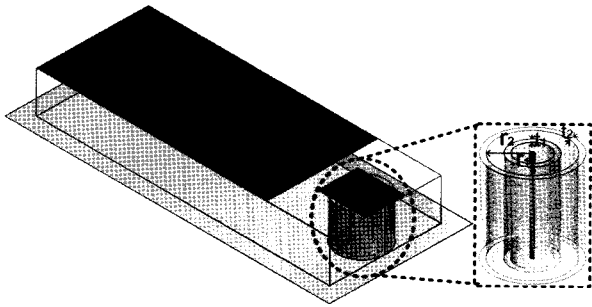


Fig. 6 Radiation pattern of the single CMM

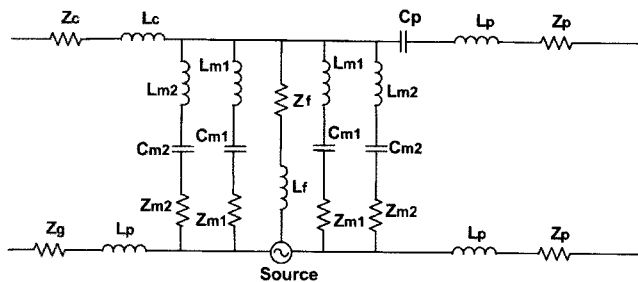
X-Z Plane 그리고 Y-Z Plane의 최대 지향성 이득은 0°에서 모두 약 7.9 dB로써 참고 안테나의 최대 지향성 이득보다 최대 17.1 dB 향상 되었다. 이는 본론 2에서 설명하였듯이 CMM에 의해 이득이 증가함을 보인다. 하지만 방사패턴의 back lob가 증가된 원인은 단일 CMM에 의해 방사부와 그라운드가 short 되었기 때문이다. 단일 CMM을 사용하였을 때, 참고 안테나보다 저주파수에서 고이득 특성을 가지지만 대역폭 특성은 향상 되지 않았다. 본론 3의 3-3에서는 저주파수에서의 대역폭 확장을 위해 참고문헌[14], [15]에서 사용한 추가 단락 스티브(이중 CMM)를 이용하여 실현하였다.

3.3 이중 CMM (Dual CMM)

그림 7은 참고문헌[14]와 [15]에서 제안한 대역폭 확장을 위해 CMM을 추가한 구조인 이중 CMM을 적용시킨 안테나의 등가회로를 나타낸다.



(a) Structure of dual CMM



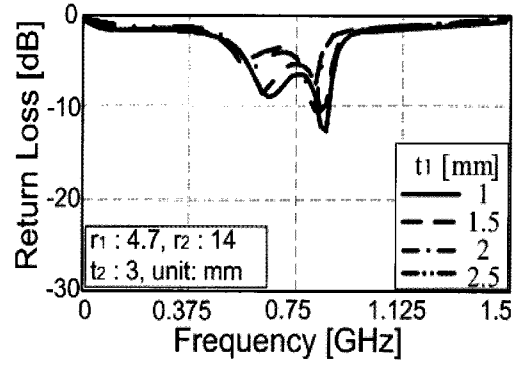
(b) Equivalent dual CMM

Fig. 7 Structure of dual CMM and equivalent circuit

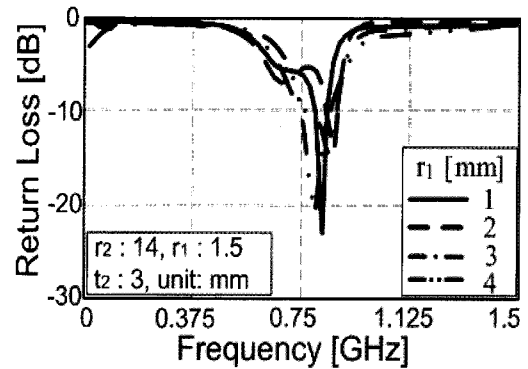
이중 CMM의 등가회로에서 Lm, Cm 그리고 Zm은 각각 CMM의 인덕터, 커패시터 그리고 저항을 의미하며 기호명 뒤의 숫자 1은 내부 CMM이고 2는 외부 CMM을 의미한다.

등가회로에서 보는바와 같이 CMM의 역할은 방사부와 그라운드를 short시켜주는 PIFA와 동일한 역할을 하며, 광대역 특성을 위해 참고문헌에서 추가 단락 스티브를 이용한 것과 동일한 방법으로 CMM을 추가하였다.

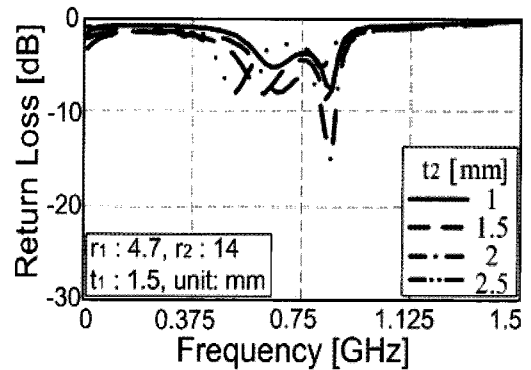
그림 8은 이중 CMM을 적용하였을 때, 각각의 파라미터(t_1 , r_1 , t_2 , r_2) 변화에 따른 반사손실의 변화를 나타낸다.



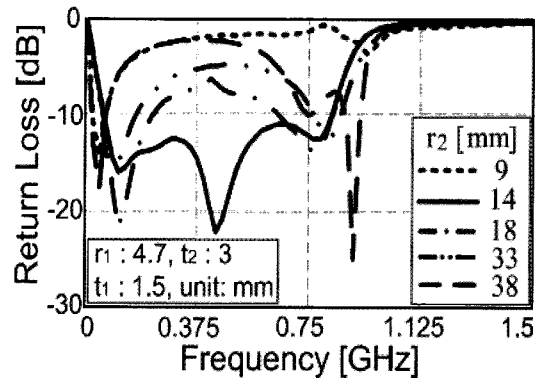
(a) Return loss according to the t_1



(b) Return loss according to the r_1



(c) Return loss according to the t_2



(d) Return loss according to the r_2

Fig. 8 Return loss according to the each parameters

$t1$, $r1$, $t2$ 그리고 $r2$ 파라미터가 변화할 때, 반사손실의 변화를 살펴보면 반사손실의 변화가 가장 큰 파라미터는 외부 CMM의 내경 반지름인 $r2$ 이다. 외부 CMM의 두께인 $t2$ 가 2.5 mm까진 변화가 없다가 3 mm일 때 $r2$ 가 변화하게 되면 50 MHz 이하 저주파수대와 700 MHz 이상 고주파수대에서 이중 공진하며, 뿐만 아니라 $r2 = 14$ mm일 때 저주파수대에서 700 MHz (50 MHz ~ 750 MHz)의 넓은 대역폭 특성을 가지게 된다. 이는 두개의 CMM이 PIFA에서 단락 스테브 역할을 하기 때문에 다중공진 특성을 유도시켜 저주파수대에서 넓은 대역폭 특성을 가진다. 뿐만 아니라 두 CMM의 다른 역할은, 두 CMM 으로부터 발생한 자계에 의해 급전선에 강한 전류를 유도시켜 안테나 방사부 전체면에서 전류가 고루 분포하기 때문에 저주파수대에서 넓은 대역폭 특성이 나타나는 것이고, 이로 인해 안테나의 이득이 증가됨을 알 수 있다.

그림 9는 참고안테나, 단일 CMM, 이중 CMM 방사부에서의 전류 분포를 각 공진점에서 나타낸다.

이중 CMM을 적용시키면, 앞에서 설명한 이론적인 내용대로 CMM이 급전선에 전류를 유도시켜 안테나 방사부에 강한 전류를 분포시켜 주게 됨으로써 광대역, 고이득 설계가 가능해지는 것을 알 수 있다.

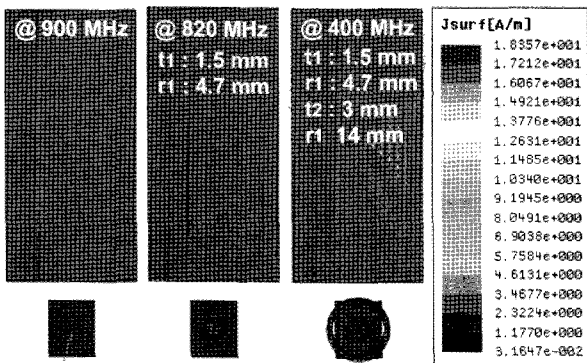
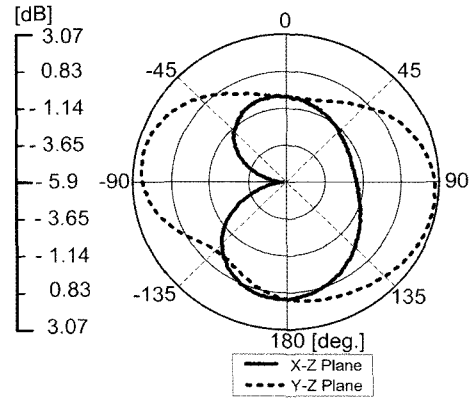


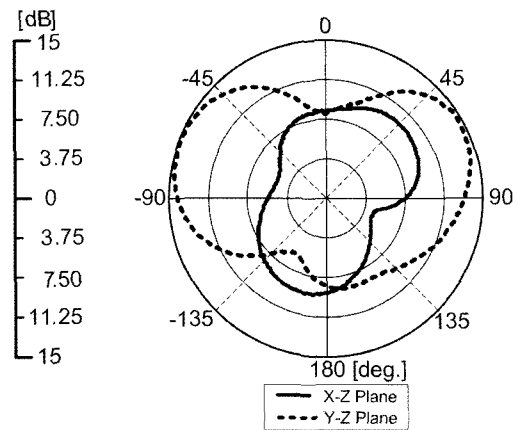
Fig. 9 Current distributions in the reference antenna, the single CMM and the dual CMM by radiator parts

그림 10은 그림 9에서 나타낸 이중 CMM과 크기가 동일할 때, 첫 번째 공진점과 두 번째 공진점인 10 MHz와 400 MHz에서 방사패턴을 나타낸다.

X-Z Plane의 최대 지향성 이득은 10 MHz에서 180° 방향에서 약 1 dB, 400 MHz에서는 180° 방향에서 약 9.4 dB로써 참고 안테나와 비교하였을 때, 최대 17.1 dB 향상되었다. Y-Z Plane의 경우의 최대 지향성 이득 역시 10 MHz에서 90° 방향에서 약 3.1 dB, 400 MHz에서는 ± 67° 방향에서 약 15 dB로써, 참고 안테나와 비교하였을 때 최대 23 dB 향상되었다. 방사패턴에서 지향성이 바뀐 이유는 참고문헌[15]와 마찬가지로 추가 삽입된 CMM에 의해 지향성의 모양이 바뀌었다. 하지만 참고 안테나의 이득과 비교하였을 때, X-Z Plane, Y-Z Plane의 전방향에서 향상되었다. 이는 추가된 CMM에 의해 급전선에 단일 CMM보다 더 많은 전류가 유도되어 이득이 향상되었다.



(a) Radiation pattern at 10 MHz



(b) Radiation pattern at 400 MHz

Fig. 10 Radiation pattern of the dual CMM

그림 11은 참고 안테나, 단일 CMM 그리고 이중 CMM의 주파수별 안테나 이득을 나타낸다.

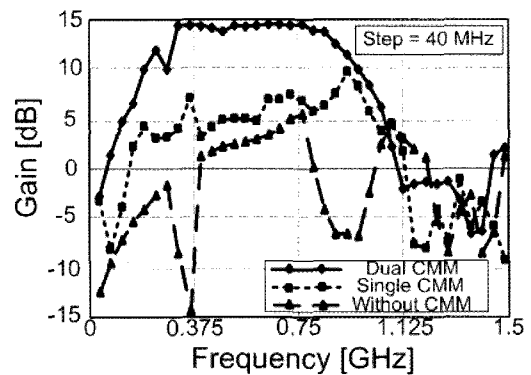


Fig. 11 Gains with each frequency by each antennas

10 MHz에서 1.5 GHz 까지 주파수별 평균이득은 참고 안테나의 경우 -2.18 dB, 단일 CMM의 경우는 1.79 dB 그리고 이중 CMM의 경우 7.45 dB로써 단일 CMM을 적용하면 평균 이득은 3.97 dB 증가하고, 이중 CMM을 적용하면 CMM을 적용하면 CMM을 적용하지 않은 경우보다 약 10 dB 향상시킬 수 있다.

4. 결 론

본 논문에서는 패치 안테나의 고이득과 광대역 특성을 얻기 위해 참고한 패치 안테나의 급전선 주위에 원통형 자성체를 이용하여 CMM의 자계를 급전선에 유도시켜 안테나의 이득을 향상시키고, CMM에 의해 방사부와 그라운드가 short되어 PIFA와 같은 원리로 광대역화가 가능한 설계 방법을 제안하였다. 뿐만 아니라, CMM을 추가한 이중 CMM을 이용하여 단일 CMM보다 안테나 특성이 월등히 뛰어난 설계법을 제안하였다. 안테나의 고이득 및 광대역화를 위해 단일 CMM을 사용하였을 경우, 공진 주파수는 참고 안테나보다 평균 100 MHz 이상 낮아지고 평균 이득 또한 참고 안테나와 비교 했을 때 3.96 dB 증가하였다. 하지만 대역폭은 참고 안테나와 비교 했을 때, 크게 개선되지 않았다. 대역폭 개선을 위해 단일 CMM에 추가로 CMM을 삽입하였을 때, -10 dB 이하 대역폭은 700 MHz(50 MHz ~ 750 MHz)로써 참고 안테나와 중심 주파수를 중심으로 비교하였을 때 138.6% 향상 되었으며, 주파수별 평균 이득은 참고 안테나와 비교하여 10 dB 향상된 안테나를 설계하였다.

후 기

본 연구는 Post-BK21 사업과 지적경제부의 2008년 중소기업 기술 혁신 개발 사업 지원으로 이루어졌음.

참 고 문 헌

[1] 오경진, 한영태, 최채훈(2003), "추가 단락관을 이용한 소형 및 광대역 특성의 PIFA 설계", 한국통신학회논문지, Vol. 28, No. 8, pp.591-597.

[2] Gabriel, K., Lui, H., and Ross D. (2001), "Compact Dual Frequency PIFA Using LC Resonators", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol. 49, No. 7, pp.1016-1019.

[3] Hansen, R. C. and Mary, B. (2000), "Antenna with Magneto-Dielectrics", *Microwave and Optical Technology Letters*, Vol. 26, No. 2, pp.75-78.

[4] Hossein, M. and Kamal, S. (2004), "Magneto Dielectric in Electromagnetics: Concept and Applications", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol 52, NO. 6, pp.1558-1567.

[5] Hsieh, H. W., Yi, C., Tiong, K. K., and Sun, J. Shiun S. (2009), "Design of a Multiband Antenna for Mobile Handset Operations", *IEEE Antenna and Wireless Propagation Letter*, Vol 8, pp.200-203.

[6] Min, K. S. and Viet, H. (2006), "Application of Magneto-Dielectric Materials in Antenna Design", *Journal of The Korea Electromagnetic Engineering Society*, Vol. 6, No. 3, pp.165-170.

[7] Min, K. S., and Kim, D. J. (2004), "Patch Array Antennas for Home network System", *Korea Japan Joint Conference on AP/EMC/EMT*, pp 5-8.

[8] Pekka, M. T., Ikonen, S. I., Maslovski, Constantin, R. S., and Sergei, A., Tretyakov(2006), "On Artificial Magnetodielectric Loading for Improving the Impedance Bandwidth Properties of Microstrip Antennas", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol 54, No. 6, pp.1654-1662.

[9] Qinjiang, R. and Wen, G. (2009), "Compact Multiband Antenna for Handheld Devices", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol. 57, No. 10, pp. 3337-3339.

[10] Rashid, A. and Park, S. O. (2007), "Hepta-Band Internal Antenna for Personal Communication handsets", *IEEE Transactions on Antenna and Propagation*, Vol. 55, No. 12, pp.3398-3403.

[11] Salonen, P. and Keskilam, M. (2000), "Novel dual-band planar inverted-F antenna", *Asia-Pacific Micro Conference*, pp.706-710.

[12] Seok, B. and Yasuhiko, M. (2005), "A Small Meander VHF & UHF Antenna by Magneto-dielectric Materials", *Asia Pacific Microwave Conference 2005 India*, pp.3-5.

[13] Shin, Y .S. and Park, S. O.(2008), "A Chip Antenna with Magneto-Dielectric Material", *Antenna and Propagation Society International Symposium 2008*, pp.1-4.

[14] Wang, Y. and Kwang, L. C. (2000), "One novel single-patch dual-frequency planar inverted-F antenna", *International Conference on Microwave and millimeter Wave Technology Proceedings*, pp. 444-447.

[15] Yoshimi, K., Shogo, H., Bea, S. Y., and Hisashi, M. (2005), "A Study on miniaturization of 900 MHz and 2 GHz band antennas utilizing magnetic material", *Antenna and Propagation Society International Symposium*, Vol. 3B, pp.347-350.

[16] Yves, T., Charles, J., and Vichate, U. (2008), "The Effects of an Additional Shorting Stub on PIFA Performance", *Asia Pacific Symposium on Electromagnetic Compatibility Singapore*, pp.558-561.

원고접수일 : 2010년 1월 26일

심사완료일 : 2010년 2월 24일

원고채택일 : 2010년 2월 24일