
MD 매질을 이용한 차세대 이동통신 단말기용 다중대역 MIMO 안테나 설계 및 구현

김우수* · 윤철* · 이원종* · 강석엽** · 박효달*

A Study on the Multi-band MIMO Antenna with MD material
for Next-generation Mobile Communication

Woo-Su Kim* · Cheol Yoon* · Won-Jong Lee* · Suk-Youb Kang** · Hyo-Dal Park*

이 논문은 2010년 정부(교육인적자원부)의 재원으로 한국학술진흥재단의 지원을 받아 수행된 연구임

요 약

본 논문에서는 향후 차세대 통신망으로 예상되는 LTE(Long Term Evolution)와 DCS1800, DCS1900, WCDMA 대역에 적용 가능한 MIMO 안테나를 설계 및 제작하였다. 기존 모노폴 안테나 구조에 MD 매질을 이용하여 저주파 대역인 LTE 대역의 성능을 만족함과 동시에 소형화를 이루고, 고주파 대역인 DCS, WCDMA 대역의 광대역화를 동시에 만족시켰으며 전 대역 우수한 격리도 특성을 나타내었다. 제안된 MIMO 안테나는 LTE 대역과 DCS1800, DCS1900, WCDMA 대역 모두 VSWR < 2 및 격리도 -10 dB 이하를 만족하였고, -1.66 ~ 1.33 dBi의 이득 및 전방향성 방사패턴을 얻었다.

ABSTRACT

In this paper, we designed and implemented the MIMO antenna for LTE(Long Term Evolution), supposed to be a next generation communications network, DCS1800, DCS1900 and WCDMA. Using conventional monopole antenna with MD material results in good characteristics, miniaturization for LTE band and as well as broadbanding for DCS, WCDMA band. The performance of the proposed MIMO antenna shows VSWR < 2, under -10 dB of isolation and the gain is -1.66 ~ 1.33 dBi for LTE(Long Term Evolution), DCS1800, DCS1900 and WCDMA, which has omnidirectional radiation pattern.

키워드

자성 유전체, 다중입출력 안테나, 다중대역, 격리도

Key word

MD, MIMO Antenna, Multi-band, Isolation

* 인하대학교 전자공학과

** 국립한국해양대학교 전파공학과 (교신저자)

접수일자 : 2010. 03. 10

심사완료일자 : 2010. 03. 20

I. 서 론

3GPP(3rd Generation Partnership Project)는 지난 2004년 고품질의 다양한 서비스를 제공하는 새로운 이동통신 기술의 필요성을 인식하고 3G LTE(Long Term Evolution) 표준 기술 연구에 대한 논의를 시작하였다. 그 후 활발한 표준화 작업이 진행되었으며, 현재 3G LTE는 2G의 GSM(Global System for Mobile communication)과 3G의 WCDMA(Wideband Code Division Multiple Access) 기술의 진화로 와이브로와 함께 유력한 4G 이동통신 기술 후보로 대두되고 있다. 3G LTE 이동통신 단말 시스템은 패킷 데이터 전송을 기반으로 최대 20 MHz 대역폭 기준 저속 이동 시 하향링크 100 Mbps, 상향링크 50 Mbps의 고속 전송과 최대 120 km/h의 고속 이동 시 하향링크 30 Mbps, 상향링크 15 Mbps를 갖는 다양한 서비스 지원을 목표로 연구되고 있다[1][2][3]. 또한, 3G LTE의 가장 큰 특징 중 하나는 2G 및 WCDMA와 연동이 가능하다는 것이다. 이에 따라 3G LTE를 기반으로 2G 및 WCDMA 대역을 포함하는 단말기용 내장형 안테나에 대한 연구가 필요하다.

2G 및 WCDMA 이동통신 시스템에서 단말기용 내장형 안테나로는 모노폴 안테나, 역 F형 안테나 등이 사용되고 있다[4][5]. 모노폴 안테나는 시스템에 비해 작은 크기를 차지하여 회로기판과 함께 제작할 수 있는 장점이 있으나 임피던스 대역폭이 협대역이며 높은 전류밀도로 인한 입력 임피던스의 증가로 저항성 손실을 증가시켜 임피던스 정합에 있어 다소 비효율적이라는 단점이 있다. 역 F형 안테나는 소형·경량이면서 제작이 용이하지만 안테나의 높이가 낮아질수록 커패시턴스의 성분이 감소해 대역폭이 좁아지는 단점이 있다. 2G 및 WCDMA에 3G LTE 이동통신 시스템 대역을 모두 만족시키기 위해 기존의 방법만으로는 부족한 현실이다. 특히, 3G LTE 이동통신 시스템 주파수 대역은 700 MHz로서 상당히 긴 파장을 가지며 이와 인접한 GSM 대역을 함께 만족시키기 위해서는 광대역 특성을 지닌 소형 안테나 기술이 필요하다. 또한, LTE 이동통신 시스템은 고속 패킷 데이터 전송방식으로 만족시(Multi성능을nput Multi Output) 기술을 기반으로 하기 때문에 단말기 내에 두 개의 안테나가 내장되어야 하며 격리도도 고려되어야 한다.

최근 MD(Magneto-Dielectric) 매질을 이용하여 안테나를 소형화 하는 연구가 활발히 이루어지고 있다[6][7]. MD 매질은 유전율과 투자율이 모두 1 이상인 매질로서 안테나의 소형화가 용이하며 대역폭의 손실 없이 효율을 개선할 수 있다는 장점을 지닌다.

본 논문에서는 LTE 대역과 DCS1800/DCS1900 및 WCDMA 이동통신 시스템을 모두 만족하는 단말기용 MIMO 안테나 설계 및 구현에 관한 연구를 수행하였다. MD 매질을 사용하여 저주파대역에서 광대역화와 소형화를 하였고, MIMO 기술을 위한 격리도 향상을 위해 기존 모노폴 안테나 구조에 MD 매질을 이용한 방법을 제안한다.

II. MD(Magneto-Dielectric) 매질의 특성

임의의 물질의 유전율 및 투자율은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\epsilon_r = \epsilon' - j\epsilon'' = \epsilon'(1 - \tan\delta) \quad (1)$$

$$\mu_r = \mu' - j\mu'' = \mu'(1 - \tan\delta) \quad (2)$$

식 (1)과 (2)에서 $\tan\delta$ 는 로스탄젠트값이다.

마이크로 스트립안테나의 공진주파수는 식(3)과 같다.

$$f \cong \frac{c}{2L\sqrt{\mu_r\epsilon_r}} \quad (3)$$

위에서 $n = \sqrt{\mu_r\epsilon_r}$ 은 소형화 계수 또는 물질의 굴절율이며 소형화 계수값이 클수록 안테나 소형화가 가능하다.

또한, 물질의 특성임피던스 값은 식(4)와 같으며, 특성임피던스가 공기 중의 특성임피던스값에 가까워질 경우 표면파가 사라지게 되어 안테나의 효율이 증가되는 장점을 갖는다.

$$\eta = \eta_0 \sqrt{\mu_r/\epsilon_r} \quad (4)$$

그러나 일반적인 유전체의 투자율은 1이며 이 경우 소형화를 위해서는 높은 유전율 값을 갖는 유전체가 필요하나 Q값이 높아져 협대역의 특성을 지니게 된다.

이에 비해 동일한 유전율을 가진 경우 투자율이 1 보다 큰 MD 물질이 같은 조건에서 소형화가 용이하며 및 광대역 특성을 나타내는 장점을 갖고 이때의 대역폭은 식(5)와 같다.

$$BW \approx \frac{96 \sqrt{\mu_r \epsilon_r} \frac{t}{\lambda_0}}{\sqrt{2(4 + 17 \sqrt{\mu_r \epsilon_r})}} \quad (5)$$

위에서 t는 MD 기관의 두께이며, λ_0 는 공진주파수의 파장이다[8][9].

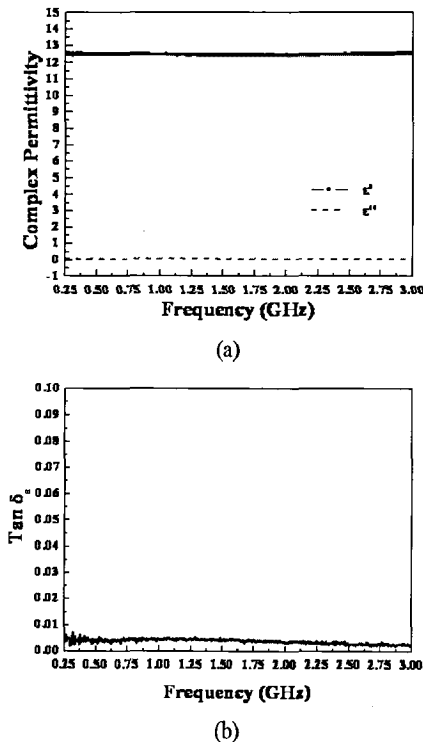


그림 1. 주파수의 변화에 따른 유전율과 유전탄젠트 손실 (a) 주파수에 따른 유전율 (b) 주파수에 따른 유전탄젠트 손실

Fig. 1 Permittivity and dielectric loss tangent depending on frequency (a) The permeability by frequency varying (b) The tangent loss of the permeability by frequency varying

본 논문에서는 NiO, Fe₂O₃, ZnO를 이용하여 MD 매질을 제작하고 Agilent사의 RF Impedance Analyzer를 이용하여 측정하였다. 측정결과에는 그림 1, 2와 같으며 주파수에 변화에 따른 유전율과 투자율의 변화를 나타낸다.

안테나 설계를 위한 시뮬레이션은 1.4GHz에서의 유전율 12.5, 유전탄젠트손실 0.005, 투자율 4.6, 투자탄젠트손실 0.3을 이용하였다.

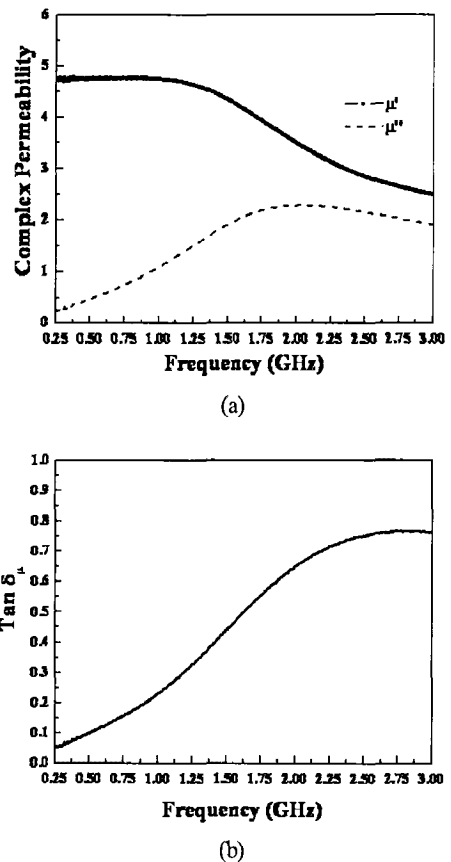


그림 2. 주파수의 변화에 따른 투자율과 투자탄젠트 손실 (a) 주파수에 따른 투자율 (b) 주파수에 따른 투자탄젠트 손실

Fig. 2 Permeability and loss tangent depending on frequency (a) The permeability by frequency varying (b) The tangent loss of the permeability by frequency varying

III. 안테나 설계

본 논문에서는 차세대 휴대 단말기에 사용하기에 적합하게 LTE(746 ~ 787 MHz) 대역과 DCS1800 (1710 ~ 1880 MHz), DCS1900(1850 ~ 1990 MHz), WCDMA (1920 ~ 2170 MHz) 대역을 포함하는 다중대역 MIMO 안테나를 설계하였다. 안테나의 소형화와 넓은 대역폭을 얻기 위해 유전율 12.5, 유전탄젠트손실 0.005, 투자율 4.6, 투자탄젠트손실 0.3의 특성을 갖는 MD 매질을 사용하였다.

먼저 휴대 단말기에 적용하기 위해 안테나부와 접지면을 합산한 총 크기는 일반적인 Bar 모양 단말기 크기 (50 mm × 100 mm)로 결정하였고, 안테나의 길이, 폭, 패치 간의 간격 등을 변화시켜가며 시뮬레이션하여 최적화된 파라미터 값을 얻었다. 최적화된 값으로 설계한 안테나는 그림 3과 같다.

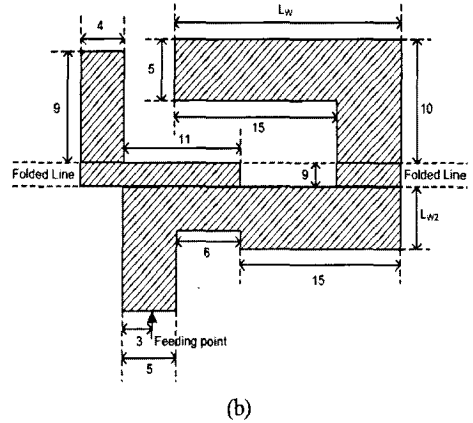


그림 3. 제안한 안테나의 구조
 (a) 설계된 안테나의 전체 전면도와 측면도
 (b) 안테나를 펼친 모습과 각 파라미터의 제원
 Fig. 3 Structure of proposed antenna
 (a) The top view and the side view of proposed antenna (b) The plane figure of antenna and dimensions of each parameters

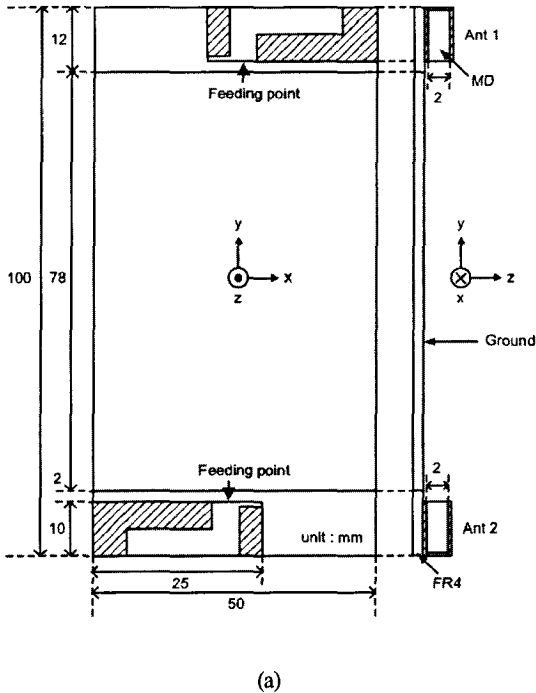


그림 4는 투자율의 변화에 따른 반사손실 특성을 나타낸 그래프이며, 그림 5는 투자율의 변화에 따른 격리도 특성을 나타낸 그래프이다. 투자율은 2부터 6까지 변화시켜 가며 시뮬레이션 하였다. 투자율이 높아질수록 저주파 대역으로 이동하는 반사손실 특성을 보였으며, 이를 통해 MD 매질을 이용해 소형화가 가능함을 알 수 있다. 반사손실과 격리도 특성을 고려한 LTE 대역의 MD 매질최적의 투자율은 4임을 확인할 수 있었다.

그림 4. 투자율에 따른 반사손실
 Fig.4 Variation of return loss with permeability

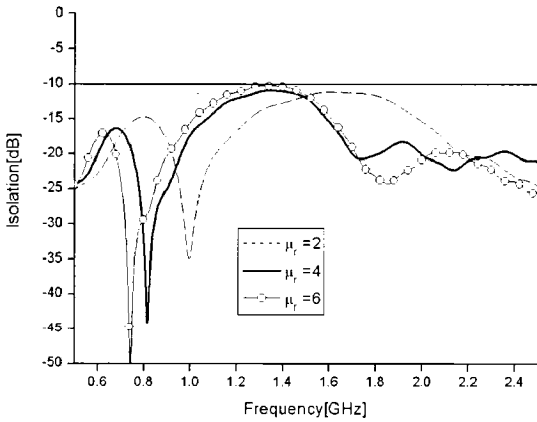


그림 5. 투자율에 따른 격리도
Fig. 5 Variation of isolation with permeability

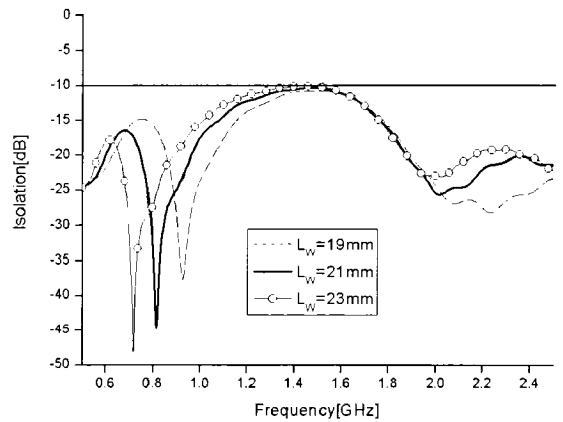


그림 7. 길이 L_w 의 따른 격리도 변화
Fig. 7 Variation of isolation for a length of L_w

그림 6은 안테나의 패치 길이 L_w 에 따른 반사손실 특성을 나타낸 그래프이며 그림 7은 격리도를 나타낸 그래프이다. L_w 를 19 mm에서 23 mm까지 2 mm씩 길이가 증가함에 따라 고주파 대역보다 LTE 대역인 저주파 대역에서 민감한 반응을 보였다. 이는 파장이 긴 LTE 대역의 주 방사지점이 방사 패치 상단이기 때문인 것으로 판단된다. LTE 대역에서 반사손실과 격리도를 최적의 L_w 값은 21 mm로 결정하였다.

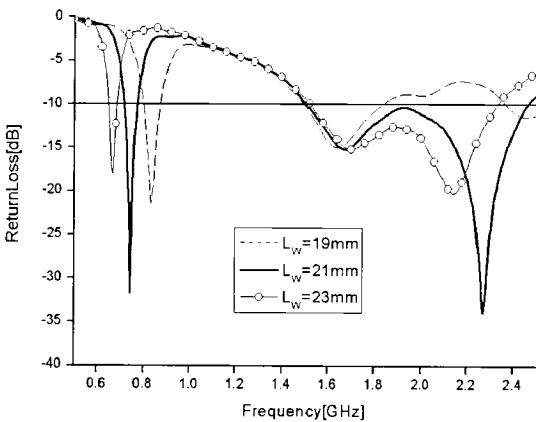


그림 6. 길이 L_w 에 따른 반사손실
Fig. 6 Variation of return loss for a length of L_w

그림 8은 패치 폭 L_{w2} 의 변화에 따른 반사손실 특성 그래프이며 그림 9는 격리도를 나타낸 그래프이다. 접어지는 부분을 기준으로 3 mm에서 7 mm까지 변화시킨 결과, 저주파 대역에서 보다 DCS, WCDMA 대역인 고주파 대역에서 대역폭에 민감한 영향을 보였다. 이는 파장이 짧은 DCS, WCDMA 대역의 주 방사지점이 Feeding Line과 접어진 부분이 만나는 곳 근처이기 때문인 것으로 판단된다. LTE 대역에는 큰 영향을 미치지 않으므로 DCS, WCDMA 대역에서 반사손실과 격리도를 고려한 L_{w2} 의 최적의 파라미터 값은 5mm로 결정하였다.

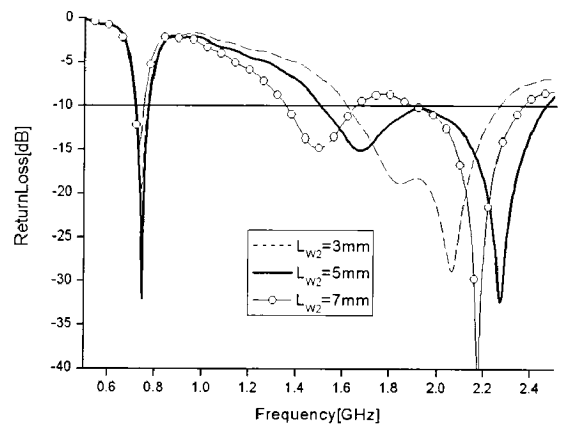


그림 8. 폭 L_{w2} 에 따른 반사손실
Fig. 8 Variation of return loss for a width of L_{w2}

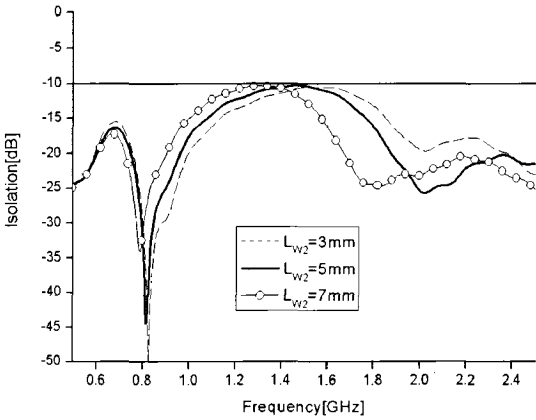


그림 9. 폭 L_{w2} 에 따른 격리도
Fig. 9 Variation of isolation for a width of L_{w2}

IV. 안테나 제작 및 측정

앞에서 설계한 최적의 파라미터 값으로 실제 제작하였으며, 제작된 안테나는 HP 8510C Network Analyzer를 이용하여 반사손실을 측정하였고, 무반사실에서 방사패턴을 측정하였다. 그림 10은 HP 8510C Network Analyzer를 통해 실제 측정된 반사손실과 격리도 특성을 나타낸다. LTE(746 ~ 787 MHz), DCS, WCDMA 대역 모두 $VSWR < 2$ 에서 만족하였으며, 격리도도 모든 대역 -10 dB 이하를 얻었다.

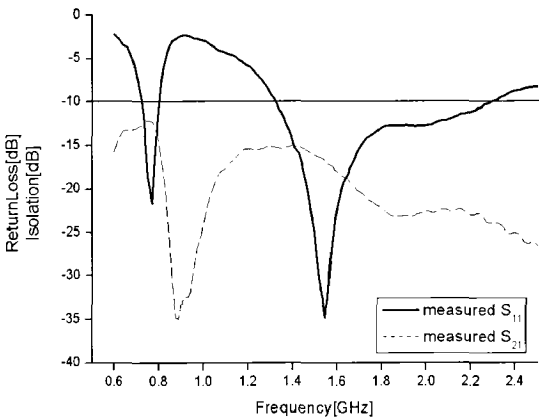


그림 10. 측정값의 반사손실과 격리도
Fig. 10 Measured return loss and isolation of the fabricated antenna

그림 11은 제작된 안테나의 방사패턴을 측정한 결과를 나타낸 그래프이다. LTE/DCS1800/DCS1900/WCDMA 대역을 5°간격으로 측정하였으며 E-plane 과 H-plane 모두 전방향성 특성을 나타낸다.

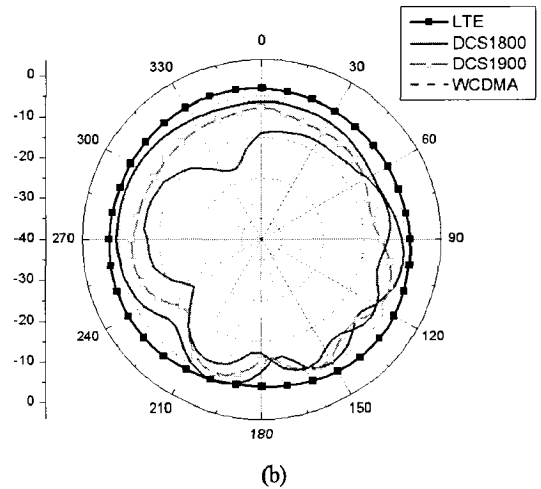
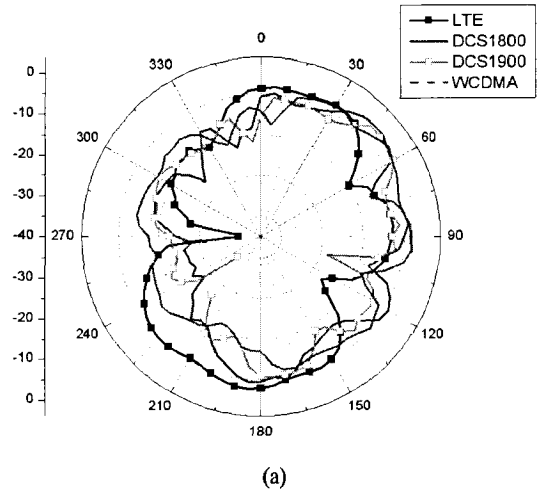


그림 11. 측정된 안테나의 방사패턴
(a) 수직평면 (b) 수평평면
Fig. 11 Radiation patterns of the fabricated antenna
(a) E-plane (b) H-plane

그림 12는 측정된 안테나의 이득을 나타낸 그래프이다. 700 ~ 2200 MHz 까지 측정한 결과 -1.66 ~ 1.33 dBi의 이득을 얻었다.

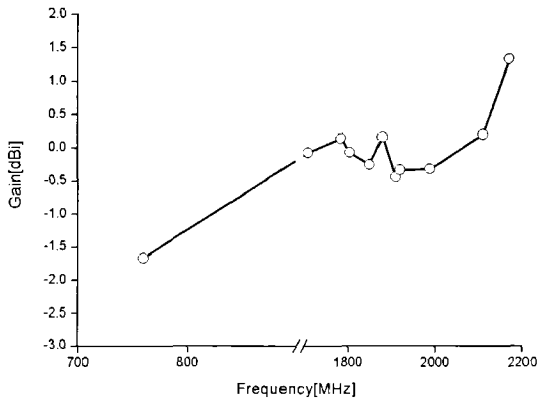


그림 12. 측정된 안테나의 이득
Fig. 12 Measurement of gain

V. 결론

본 논문에서는 2G와 WCDMA를 연계하는 3G LTE가 진정한 4G로 운용될 수 있도록 다중대역에서 동작하는 차세대 이동통신 단말기용 MIMO 안테나를 설계, 구현에 관하여 연구하였다.

파장이 긴 LTE 대역의 안테나 성능을 향상시키고 MIMO 시스템 적용으로 인한 안테나 격리도 개선을 위해 MD 매질을 이용하였다. 투자율이 4인 MD 매질을 이용함으로써 안테나의 소형화와 LTE 대역의 안테나 성능을 개선하였다. 최적화된 파라미터로 제작된 안테나는 모든 대역이 $VSWR < 2$ 에서 만족하였고 -10 dB 이하의 격리도를 만족하였으며, -1.66 ~ 1.33 dBi의 이득 및 전방향성 방사패턴을 얻었다. 기존에 격리도를 개선하기 위한 연구로는 2개의 안테나사이의 그라운드 기판에 다수의 L-slot으로 대역차단필터효과를 나타내어 안테나 간의 상호 결합을 억제시켜 격리도를 향상시킨 연구가 있다. 하지만 본 연구에서 제안한 MD매질을 이용하여 격리도를 개선시킨 사례는 아직 발표되지 않았다.

본 연구에서 제안된 안테나는 추후 저주파 대역에서 보다 나은 광대역성을 확보한다면 차세대 이동통신 표준 중 하나로 유력한 4G LTE 이동통신 단말기용 다중대역 MIMO 안테나로 적용이 가능한 매우 우수한 구조로 판단된다.

참고문헌

- [1] Amitava Ghosh, Weimin Xiao, Rapeepat Ratasuk, Alan Rottinghaus, and Brian Classon, "Multi-Antenna System Design for 3GPP LTE," IEEE ISWCS 2008.
- [2] Zheng Ruiming, Zhang Xin, Li Xi, Pan Qun, Fang Yinglong, and Yang Dacheng, "Performance Evaluation on the Coexistence Scenario of two 3GPP LTE System," VTC 2009-Fall, 2009.
- [3] Dahlman. E, Ekstrom. H, Furuskar. A, Jading. Y, Karlsson. J, Lundevall. M, and Parkvall. S, "The 3G Long-Term Evolution-Radio Interface Concepts and Performance Evaluation," VTC 2006-Spring, 2006.
- [4] Gyubok Park, Minchan Kim, Taesik Yang, Joonho Byun, and Austin S. Kim, "The Compact Quad-band Mobile Handset Antenna for the LTE700 MIMO Application," IEEE AP-S Int. Symp., pp. 1-4. 2009.
- [5] Jeongsam Cho, and Kangwook Kim, "A Frequency-reconfigurable Multi-port Antenna Operating over LTE, GSM, DCS, and PCS Bands," IEEE AP-S Int. Symp., pp. 1-4. 2009.
- [6] Pekka M. T. Ikonen, Konstantin N. Rozanov, Alexey V. Osipov, Pekka Alitalo, and Sergei A. Tretyakov, "Magnetodielectric Substrates in Antenna Miniaturization: Potential and Limitations", IEEE Trans. Antennas Propagation, Vol. 54, No. 11, November, 2006.
- [7] Wang Encheng and Fang Shaojun, "Dual-Band Patch Antenna on Magnetic Substrate For WLAN Communication," Microwave Opt Technol Lett, Vol. 49, No. 6 June, 2007.
- [8] Hossein Mosallaei, and Kamal Sarabandi, "Magneto-dielectric materials in Electromagnetics: Concept and Applications," IEEE Transactions on Antenna and Propagation, Vol. 52, No. 6, June 2004, pp. 1558-1567.
- [9] R. C. Hansen and M. Burke, "Antennas with magneto-dielectric materials," Microwave Opt. Tech. Letter, Vol. 26, No. 2, July 2000, pp. 75-78.

저자소개



김 우 수(Woo-Su Kim)

1996년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1998년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2006년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정
2001년~현재 한국산업기술평가관리원 선임연구원
※관심분야: 전자장이론, 안테나설계



박효달(Hyo-Dal Park)

1978년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학사)
1984년: (불)국립항공우주대 전자공학과(공학석사)

1987년: (불)국립항공우주대 전자공학과(공학박사)
1992년~현재 인하대학교 전자공학과 정교수
※관심분야: 항공통신 시스템 설계, 초고주파 공학, 전자장이론, 안테나공학



윤 철(Cheol Yoon)

2006년 2월 초당대학교 정보통신 공학과(공학사)
2008년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2009년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정
※관심분야: 전자장이론, 안테나설계

이원종(Won-Jong Lee)



2002년 2월 초당대학교 정보통신 공학과 (공학사)
2004년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2004년 3월~현재 인하대학교 전자공학과 박사과정
※관심분야: 전자장이론, 안테나설계

강석엽(Suk-Youb Kang)



1997년 2월 인천대학교 전자공학과 (공학사)
1999년 2월 인하대학교 전자공학과 (공학석사)

2005년 8월 인하대학교 전자공학과(공학박사)
2006년 8월~현재 국립한국해양대학교 연구교수
※관심분야: 초고주파공학, 무선통신 시스템, 항공통신 시스템, 안테나설계, 공학 응용