

LTE 라우터용 저상관도 MIMO 안테나 설계

MIMO Antenna Design with Low Correlation for LTE Router

조하석 · 장 서 · 김지훈 · 김형훈 · 김형동

Ha-seok Jo · Rui Zhang · Ji-hoon Kim · Hyung-hoon Kim · Hyeong-dong Kim

요 약

본 논문은 LTE Band 5(824~894 MHz)에서 모노폴 타입과 슬롯 타입을 적용하여 저상관도를 갖는 MIMO(Multiple-Input Multiple-Output) 안테나 설계를 제안한다. 두 안테나 사이의 상관도 성능을 향상시키기 위하여 설치되는 그라운드 특성 모드 이론에 기초하여 안테나의 형태를 서로 다르게 제작하였다. 논문에서 제안하는 MIMO 안테나는 각각 PIFA와 슬롯 안테나로 구성되어 있고, 두 개 모두 PIFA(Planar Inverted F Antenna)로 제작한 경우와 상관도 성능을 비교하였다. 서로 다른 구조의 두 개의 PIFA 타입으로 제작된 MIMO 안테나의 평균 상관 계수는 0.71로 매우 높았으나, 본 논문에서 제안된 MIMO 안테나는 0.17로 상관도 특성이 매우 낮아짐을 확인할 수 있었다.

Abstract

In this paper, MIMO antenna with low correlation for LTE band 5(824~894 MHz) was designed by adopting monopole antenna and slot antenna. Based on ground characteristic mode theory, MIMO antenna was designed using different types of antennas for enhancement of correlation. MIMO antenna using PIFA and slot type antennas is proposed and correlation coefficient was compared with MIMO antenna using two PIFAs. Average correlation coefficient of MIMO antenna using two PIFAs was 0.71 but the proposed MIMO antenna had very low correlation coefficient of 0.17.

Key words: MIMO Antenna, Correlation Coefficient, Isolation, PIFA, Slot Antenna, Characteristic Mode

I. 서 론

4G 이동통신의 발전으로 증가한 데이터 양과 신호의 질을 향상시키기 위하여 MIMO 안테나 시스템의 사용이 증가하고 있다. 이러한 MIMO 안테나 시스템을 수행하기 위해서는 2개 또는 그 이상의 안테나가 필요하다^[1]. 또한, MIMO 안테나 설계에 있어서 낮은 상관도 성능을 만족시켜야 한다. 하지만 현재 무선기기의 물리적인 크기가 작기 때문에 원하는 성능을 만족시키기 어렵다. 이 문제를

해결하기 위하여 감결합 구조물을 추가하여 상관도 성능을 낮추는 방법들이 연구되어 왔다. 예를 들어 보면 그라운드에 슬롯 또는 패턴을 추가하거나^{[2],[3]}, 서로 다른 그라운드 패스를 사용하는 방법^[4], Neutralization-line을 추가하는 방법 등이 있다^[5].

본 논문에서는 감결합 구조물을 추가하지 않고, 두 개의 안테나 형태를 다르게 하여 Band 5(824~894 MHz) 대역에서 두 안테나 간의 상관도 성능을 향상시키는 MIMO 안테나 설계 방법을 제안한다. 비교 안테나는 서로 다른

「본 연구는 미래부가 지원한 2014년 정보통신·방송(ICT) 연구개발사업의 연구결과로 수행되었음.」

한양대학교 전자컴퓨터통신공학과(Department of Electronics and Computer Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received September 19, 2014 ; Revised December 8, 2014 ; Accepted December 22, 2014. (ID No. 20140919-075)

· Corresponding Author: Hyeong-dong Kim (e-mail: hdkim@hanyang.ac.kr)

구조의 두 개의 PIFA 타입 안테나로 제작되었고, 제안된 안테나는 PIFA와 슬롯 안테나로 제작하였다. 두 안테나의 형태를 다르게 제작함으로써 다른 특성 모드를 사용하였고, 그 결과 두 안테나의 상관도 성능이 향상되었다 [6],[7]. 이후 두 종류의 MIMO 안테나를 시뮬레이션과 측정을 통해 S -파라미터, 방사패턴, 상관 계수 등을 살펴보겠다.

II. 안테나 구조 및 동작원리 분석

그림 1은 본 논문에서 언급하고 있는 비교 안테나와 제안된 안테나의 구조를 나타낸 것이다. 유전율 4.4, 두께 1 mm의 FR-4 기판 위에 안테나를 제작하여 시뮬레이션을 수행하였고, 실제 측정은 시중에 출시한 LTE router의 PCB 위에 안테나를 제작하여 측정하였다. 그리고 #1 안테나와 #2 안테나는 LTE Band 5, Band 3, Band 1 대역(824~894 MHz, 1,710~2,170 MHz)을 만족하지만, 비교 안테나에서 Band 5 대역의 상관계수는 0.71로 Band 3와 Band 1 대역의 상관계수가 0.54, 0.49에 비하여 좋지 못하기 때문에, LTE Band 5 대역(824~894 MHz)에 초점을 맞추어 살펴 보도록 하겠다. 그라운드의 크기는 106×53 mm²이고, 두 안테나의 제작공간은 10×53 mm²이며, 그라운드의 위와 아래에 위치해 있다. 제안된 안테나의 #1 안테나는 PIFA 형태로 제작되었고, #2는 슬롯 형태의 안테나로 제작하였다. PIFA의 입력 임피던스와 공진 주파수는 두 개의 칩 인덕터로 조절할 수 있다. 공진주파수를 조절하는 L_1 의 값이 커질수록 주파수가 내려가고, 작아질수록 주파수가 올라간다. 입력 임피던스를 조절하는 L_2 는 값이 커질수록 임피던스 값도 커지고, 작아질수록 임피던스 값도 작아진다. 이는 그림 2(a)와 그림 2(c)를 통하여 확인할 수 있다. LTE Band 5 대역에서 L_1 은 11 nH와 L_2 는 3.3 nH를 사용했다. 슬롯 안테나의 공진 주파수 조절은 칩 커패시터로 할 수 있고, 입력 임피던스의 조절은 안테나에 추가된 슬롯 #3의 길이로 조절할 수 있다. C_1 값은 조절하여 공진주파수를 변경한다. C_1 값이 커질수록 공진주파수는 내려가고, C_1 값이 작아질수록 공진주파수는 올라간다. 입력 임피던스는 #3의 길이를 통해서 조절하며, 길이가 길어질수록 입력 임피던스가 작아진다. 이는 그림 2(b)와 (d)를 통하

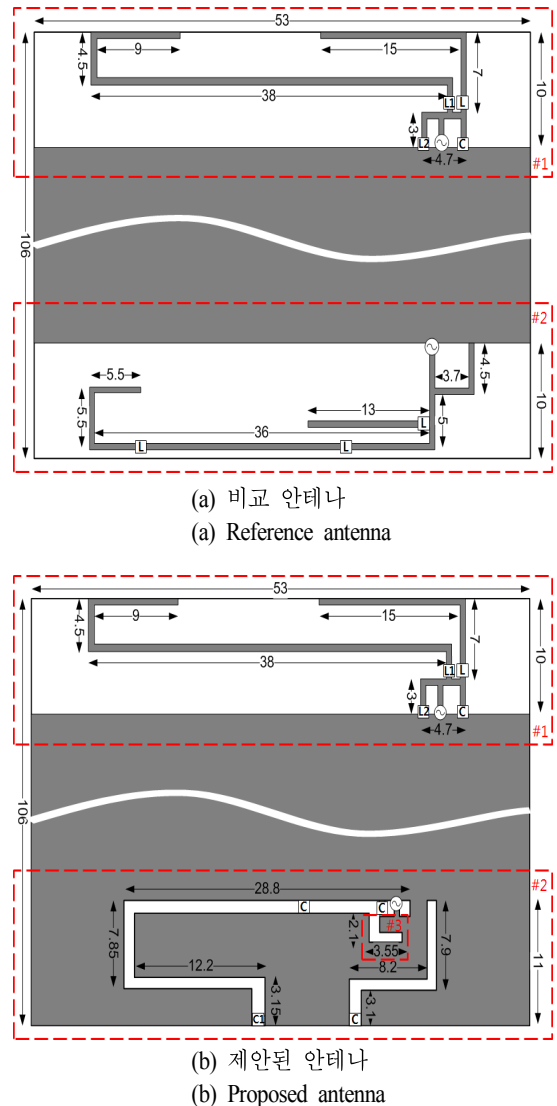


그림 1. 비교 안테나와 제안된 안테나의 구조
Fig. 1. The structure of the reference antenna and the proposed antenna.

여 확인할 수 있다. 사용된 커패시터는 0.51 pF이고, #3의 길이는 3 mm이다. 안테나의 특성모드를 분석하기 위하여 안테나의 전류 분포와 방사패턴에 대해서 살펴보도록 하겠다. 그림 3은 874 MHz에서 비교 안테나와 제안된 안테나의 전류 분포를 나타낸 것이다. 그림 3(a), (b)는 비교 안테나의 전류 분포를 나타낸 것이다. #1 안테나와 #2 안테나의 동작으로 그라운드의 z축으로 전류가 분포되어

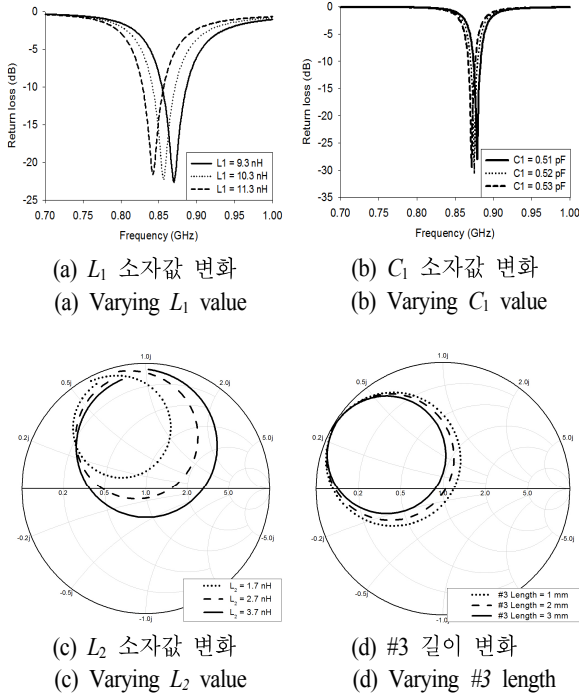
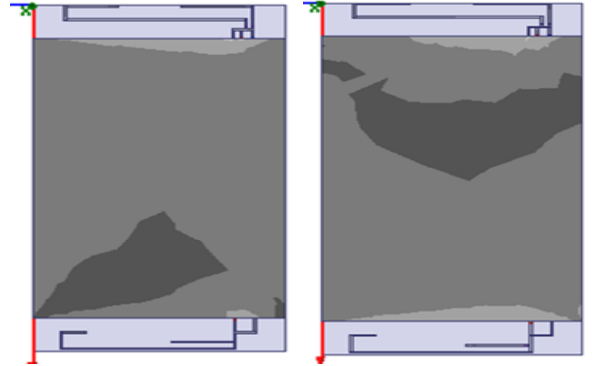


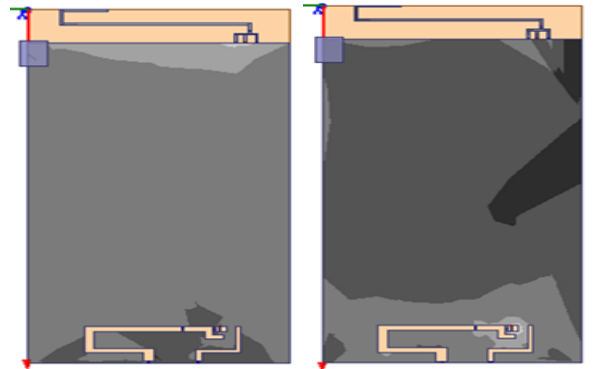
그림 2. 파라미터에 따른 주파수와 입력임피던스 변화
Fig. 2. Frequency and input impedance variation due to parameters.

있다. 하지만 그림 3(c), (d)의 전류 분포는 위의 그림과는 다르게 나타난다. 제안된 안테나의 #1 안테나는 비교 안테나와 유사하게 그라운드의 z 축으로 전류가 분포되어 있으나, 제안된 #2 안테나는 그라운드의 z축보다는 x축으로 더 많이 전류가 분포되어 있는 것으로 보인다.

다음으로 그림 4(a), (b)는 비교 안테나의 방사 패턴을 나타낸 것이다. 그림 4(a)에 나타난 x-y, x-z, y-z 평면의 방사 패턴을 보면 z축을 기준으로 다이폴 형태의 특성 모드가 구동되고 있다. 그림 4(b)는 그림 4(a)와 유사한 형태의 방사 패턴을 보이고 있으며, z축을 기준으로 다이폴 형태의 특성 모드가 구동되고 있다. 그림 4(c), (d)는 제안된 안테나의 방사패턴을 나타내며, 그림 4(c)에 나타난 방사 패턴은 z축을 기준으로 다이폴 형태의 특성모드가 구동되고 있다. 하지만 그림 4(d)에 나타난 x-y, x-z, y-z 평면의 방사 패턴을 보면 등방성 형태의 방사 패턴 결과를 보이고 있다. 시뮬레이션으로 그라운드의 전류 분포와 안테나의 방사 패턴 결과를 통해, 안테나 형태를 PIFA에서 슬롯 안테



(a) 그림 1(a)의 #1 안테나 (a) Fig. 1(a) #1 antenna
(b) 그림 1(a)의 #2 안테나 (b) Fig. 1(a) #2 antenna



(c) 그림 1(b)의 #1 안테나 (c) Fig. 1(b) #1 antenna
(d) 그림 1(b)의 #2 안테나 (d) Fig. 1(b) #2 antenna

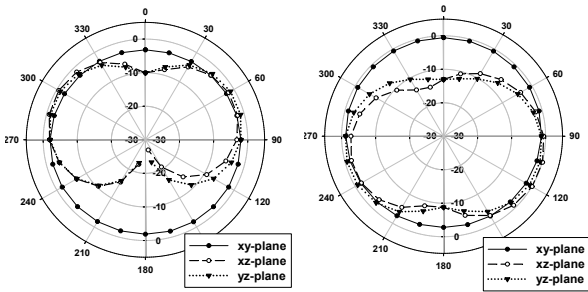
그림 3. 비교 안테나와 제안된 안테나의 전류 분포
Fig. 3. The current distribution of the reference antenna and the proposed antenna.

나로 변화시킴으로써 구동되는 특성모드가 변화함을 알 수 있다. 또한, 시뮬레이션을 통해 얻은 방사 패턴은 아래의 상관계수 식 (1)로부터 상관계수가 낮아질 수 있음을 알 수 있다.

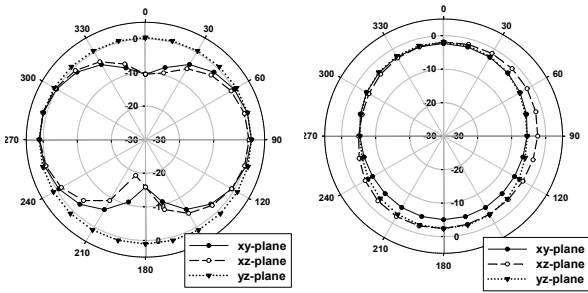
$$\rho_s = \frac{\iint_{4\pi} [\vec{F}_1(\theta, \phi) \cdot \vec{F}_2(\theta, \phi)] \sigma \Omega}{\iint_{4\pi} |\vec{F}_1(\theta, \phi)|^2 \sigma \Omega \iint_{4\pi} |\vec{F}_2(\theta, \phi)|^2 \sigma \Omega} \quad (1)$$

여기서 $\vec{F}_1(\theta, \phi)$, $\vec{F}_2(\theta, \phi)$ $\iint \vec{F}_1(\theta, \phi)$, $\vec{F}_2(\theta, \phi)$ 는 안테나 #1과 #2의 방사패턴을 나타낸다.

다음으로 구동되는 특성 모드의 변화가 #1 안테나와



(a) 그림 1(a)의 #1 안테나 (a) Fig. 1(a) #1 antenna
 (b) 그림 1(a)의 #2 안테나 (b) Fig. 1(a) #2 antenna

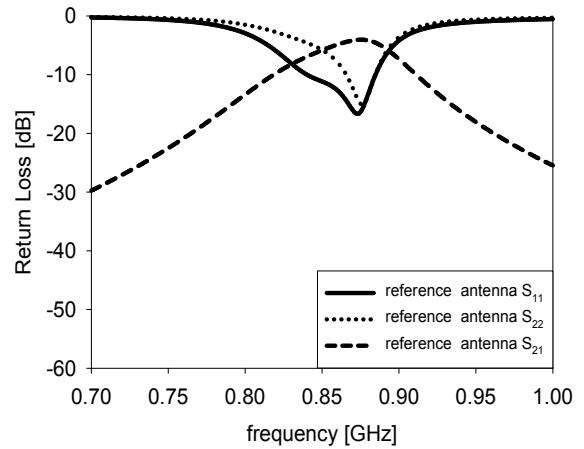


(c) 그림 1(b)의 #1 안테나 (c) Fig. 1(b) #1 antenna
 (d) 그림 1(b)의 #2 안테나 (d) Fig. 1(b) #2 antenna

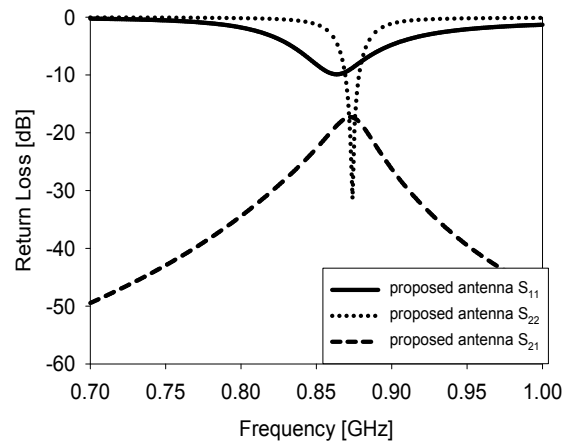
그림 4. 비교 안테나와 제안된 안테나의 시뮬레이션 방사 패턴

Fig. 4. The simulated radiation pattern of the reference antenna and the proposed antenna.

#2 안테나 사이의 결합에 미치는 영향을 관찰하기 위하여 #1 안테나를 port-1, #2 안테나를 port-2로 지정하였다. 그림 5는 시뮬레이션을 통해서 구한 비교 안테나와 제안된 안테나의 S-파라미터 결과이다. #1 안테나는 LTE Band 5의 downlink 주파수와 uplink 주파수 대역인 824~894 MHz를 만족시켜야 하며, #2 안테나는 downlink 주파수인 869~894 MHz를 만족시켜야 한다. 그 결과, 비교 안테나의 대역은 -6 dB 기준으로 #1 안테나에서 824~898 MHz 대역을, #2 안테나에서 869~897 MHz 대역을 가진다. 하지만 S_{21} 값은 874 MHz에서 -4 dB로 높은 값을 가지고 있다. 반면에 제안된 안테나의 대역은 -6 dB 기준으로 #1 안테나에서 823~890 MHz 대역을 #2 안테나에서 869~887 MHz의 대역을 가진다. S_{21} 값은 874 MHz에서 -17.3 dB로 낮은 값을 나타내고 있다. 특성 모드의 변화를 통해서 안테나의 격리도 성능은 비교 안테나에 비하여 13.3



(a) 비교 안테나
 (a) Reference antenna



(b) 제안된 안테나
 (b) Proposed antenna

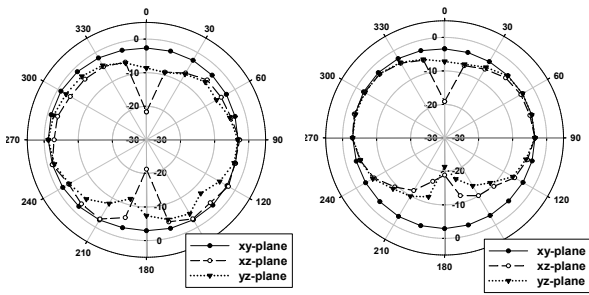
그림 5. 비교 안테나와 제안된 안테나의 시뮬레이션된 S-파라미터

Fig. 5. The simulated S-parameter of the reference antenna and the proposed antenna.

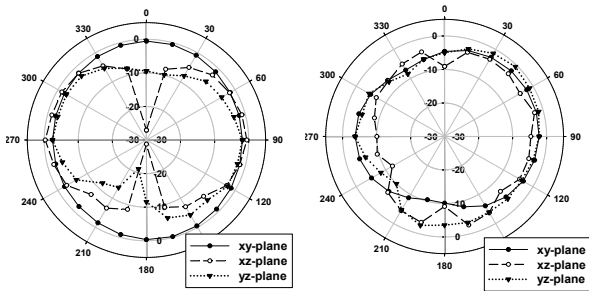
dB 향상되었다.

III. 측정 및 논의

그림 6는 실제 측정된 비교 안테나와 제안된 안테나의 방사 패턴을 나타낸 것이며, 그림 3과 유사한 결과를 가진다. 그림 6(a), (b)는 비교 안테나 방사 패턴을 나타내며, 두 그림의 x-y, x-z, y-z 평면의 방사 패턴을 통해 두 안테나가 z축을 기준으로 다이폴 형태의 특성 모드가 구동되



(a) 그림 1(a)의 #1 안테나 (a) Fig. 1(a) #1 antenna
 (b) 그림 1(a)의 #2 안테나 (b) Fig. 1(a) #2 antenna



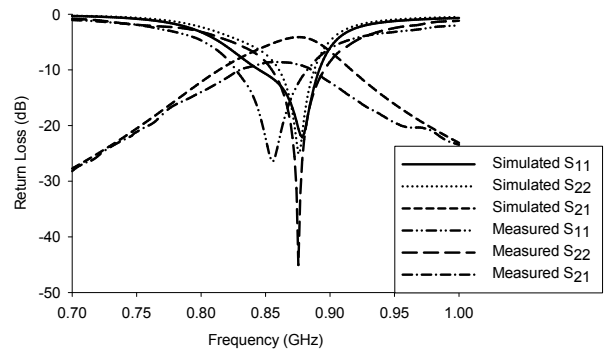
(c) 그림 1(b)의 #1 안테나 (c) Fig. 1(b) #1 antenna
 (d) 그림 1(b)의 #2 안테나 (d) Fig. 1(b) #2 antenna

그림 6. 비교 안테나와 제안된 안테나의 측정된 방사 패턴

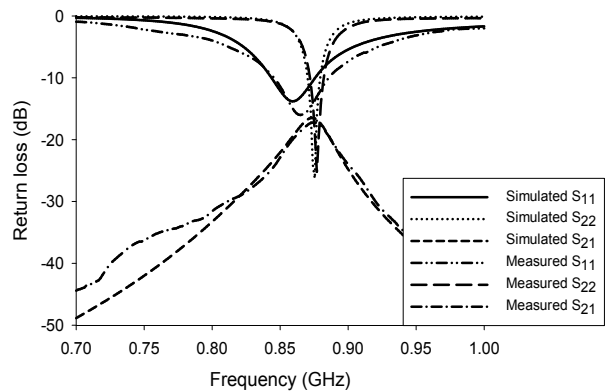
Fig. 6. The measured radiation pattern of the reference antenna and the proposed antenna.

고 있다는 것을 알 수 있다. 그리고 그림 6(c), (d)는 제안된 안테나의 방사 패턴을 나타내며, 그림 6(c)를 통해 #1 안테나가 z축을 기준으로 다이폴 형태의 특성 모드로 구동되는 것을 알 수 있고, 그림 6(d)를 통해 #2 안테나가 등방성 방사 패턴의 형태를 보이고 있다는 것을 알 수 있다. 이 결과로 안테나 형태를 변화시키는 것이 구동하는 특성 모드를 변화시킨다는 것을 확인할 수 있다.

그림 7은 실제 측정된 기존의 안테나와 제안된 안테나의 S 파라미터 특성을 나타낸다. 측정 결과, 비교 안테나의 #1 안테나는 -6 dB 기준으로 810~900 MHz 대역을 가지고 제안된 안테나의 #1 안테나는 822~910 MHz 대역을 가지고 있다. 비교 안테나의 #2 안테나는 835~910 MHz 대역을 가지고 제안된 안테나의 #2 안테나는 869~886 MHz의 대역을 가진다. 그리고 비교 안테나의 #1안테나와 #2 안테나 사이의 격리도 성능은 -8.5 dB이고, 제



(a) 비교 안테나 (a) Reference antenna



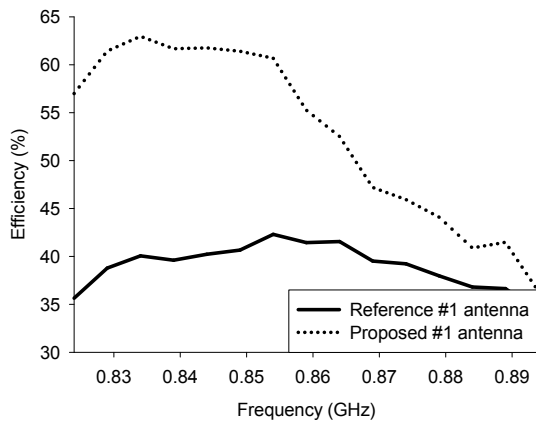
(b) 제안된 안테나 (b) Proposed antenna

그림 7. 비교 안테나와 제안된 안테나의 시뮬레이션 및 측정된 S-파라미터 비교

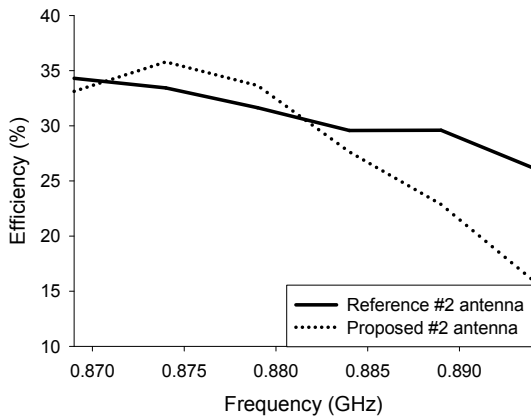
Fig. 7. The simulated and measured S-parameter of the reference antenna and the proposed antenna.

안된 #1 안테나와 #2 안테나 사이의 격리도 성능은 -17 dB로 8.5 dB 향상되었다. 이 결과를 통하여 안테나 형태를 PIFA에서 슬롯으로 변경하면서 #2 안테나의 대역은 줄어들었지만 구동하는 특성 모드를 변화시키는 것이 두 안테나의 coupling도 줄이는 방법임을 확인할 수 있었다.

그림 8은 비교 안테나와 제안된 안테나의 방사 효율을 나타낸 그래프이다. #1 안테나의 경우, 비교 안테나의 평균 효율은 40%(peak gain=-1.39 dB)이지만, 제안된 안테나의 평균 효율은 52%(peak gain=0.28 dB)로 10% 이상 향상되었다. 하지만 #2 안테나의 경우, LTE Band5 down-link 주파수 대역에서 비교 안테나의 평균 효율은 32%



(a) #1 안테나
(a) #1 antenna



(b) #2 안테나
(b) #2 antenna

그림 8. 비교 안테나와 제안된 안테나의 방사 효율
Fig. 8. The efficiency of the reference antenna and the proposed antenna.

(peak gain=-2.88)이지만, 제안된 안테나의 평균 효율은 28%(peak gain=-1.88)로 5% 저하되었다. 다음과 같은 결과는 그림 3의 전류 분포로 설명할 수 있다. 제안된 안테나의 #2 안테나를 슬롯 안테나로 제작하면서 그라운드 영역이 넓어지게 되고, 그림 3(c)와 같이 더 넓은 그라운드로 전류가 분포되어졌고, 그로 인하여 #1 안테나의 효율이 상승하였다. 하지만 #2 안테나를 슬롯으로 변경하면서 PIFA로 제작했을 때보다 좁은 그라운드로 전류가 분포되었고, 그 결과, 주파수 대역과 효율이 줄어들었다.

그림 9 실제 측정된 기존의 안테나와 제안된 안테나의

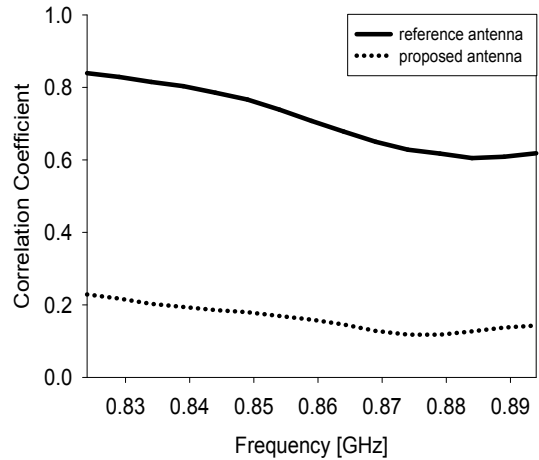


그림 9. 비교 안테나와 제안된 안테나의 측정된 상관계수
Fig. 9. The measured correlation coefficients of the reference antenna and the proposed antenna.

상관 계수 결과를 나타낸다. 실선은 비교 안테나의 상관 계수 값을 나타내며, 점선은 제안된 안테나의 상관 계수 값을 나타낸다. 측정 결과, 비교 안테나의 평균 상관 계수 값은 0.71로 상당히 높은 값을 가졌으나, 제안한 안테나의 평균 상관 계수 값은 0.17로 비교 안테나에 비하여 0.54 정도 낮은 값을 보였다. 이 결과는 결과적으로 본 논문에서 제안하는 MIMO 안테나 설계가 격리도 성능은 향상시키고 상관 계수 값을 낮출 수 있는 구조임을 확인할 수 있다. 또한, 통신사 망 적합성 테스트에서 비교 안테나는 수신감도 성능이 -57.30 dBm으로 -60 dBm인 사업자 스펙을 만족시키지 못하였으나, 본 논문에서 제시한 제안된 안테나는 수신감도 성능이 -65.50 dBm으로 8 dBm 정도의 감도 개선 효과가 있어 사업자 스펙을 충분히 만족시켰다.

IV. 결 론

본 논문은 LTE Band 5 대역에서 상관도 성능을 개선하는 MIMO 안테나 설계에 대한 것이다. 구조물을 추가하여 상관도 성능을 향상시키는 기존의 방법이 아닌 추가적인 구조물 없이 두 안테나의 형태를 그라운드의 특성 모드를 고려하여 다르게 함으로써 상관도 성능을 향상시키는 방법을 제안한다. 두 개의 PIFA 안테나로 구성된 비

교 안테나에서 PIFA와 슬롯 안테나로 구성된 제안된 안테나로 형태를 변경하면서 서로 다른 특성 모드를 구동하게 되어 상관도 특성이 크게 개선됨을 확인하였다. 두 MIMO 안테나 특성은 시뮬레이션과 측정에 의해 명확히 확인하였고, 제안된 안테나의 제작 가능성을 확인하였다.

References

[1] V. Ssorin, A. Artemenko, A. Sevastyanov, and R. Maslennikov, "Compact bandwidth-optimized two element MIMO antenna system for 2.5~2.7 GHz band", *Proceedings of the 5th European Conference on Antennas and Propagation(EUCAP)*, pp. 319-323, Apr. 2011.

[2] Jian Ren, Wei Hu, Yingzeng Yin, and Rong Fan, "Compact printed MIMO antenna for UWB applications", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 1517-1520, Jul. 2014.

[3] Sultan Shoaib, Imran Shoaib, Xiaodong Chen and G. Clive, "Design and performance study of a dual-element multiband printed monopole antenna array for MIMO ter-

minals", *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 329-332, Feb. 2014.

[4] Y. Ge, K. -P. Esselle, and T. -S. Bird, "Compact diversity antenna for wireless devices", *Electronic Letters*, vol. 41, pp. 52-53, Jan. 2005.

[5] Jian-Feng Li, Qing-Xin Chu, "Tri-band antenna with compact conventional phone antenna and wideband MIMO antenna", *IEEE Antennas Propagation Society International Symposium*, pp. 1-2, Jul. 2012.

[6] Roger F. Harrington, J. R. Mautz, "Theory of characteristic modes for conducting bodies", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 19, no. 5, pp. 622-628, Sep. 1971.

[7] P. Vainikainen, J. Ollikainen, O. Kivekas, and I. Kellander, "Resonator-based analysis of the combination of mobile handset antenna and chassis", *Antennas and Propagation, IEEE Transactions on*, vol. 50, no. 10, pp. 1433, 1444, Oct. 2002.

조 하 석



2013년 2월: 남서울대학교 전자공학과 (공학사)
 2015년 2월: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 (공학석사)
 2015년 3월~현재: LG전자 MC사업부 연구원
 [주 관심분야] 모바일 안테나 설계

장 서



2011년 6월: 동양대학교 정보통신공학부 (공학사)
 2011년 7월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 석·박사과정
 [주 관심분야] 안테나 설계

김 지 훈



2011년 8월: 한양대학교 전자전기컴퓨터
공학부 (공학사)
2013년 9월 ~ 현재: 한양대학교 전자컴퓨
터통신공학과 석·박사 통합과정
[주 관심분야] 모바일 안테나 설계

김 형 동



1984년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학
사)
1986년 2월: 서울대학교 전자공학과 (공학
석사)
1992년 5월: University of Texas at Austin
전기공학과 (공학박사)
1989년 5월 ~ 1992년 5월: University of
Texas at Austin (Research Assistant)
1992년 6월 ~ 1993년 1월: University of Texas at Austin (Post
Doctoral Fellow)
1993년 3월 ~ 현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수
[주 관심분야] 안테나 설계 및 해석, 마이크로파 회로, 전자파
해석

김 형 훈



1986년 2월: 전남대학교 계산통계학과 (이
학사)
1988년 2월: 한국과학기술원 전산학과 (이
학석사)
1997년 2월: 한양대학교 전자통신컴퓨터
공학과 (공학박사)
1988년 3월 ~ 1990년 9월: 기아자동차 기

술센터 연구원

1990년 9월 ~ 1994년 7월: 휴먼컴퓨터 선임연구원
1994년 9월 ~ 현재: 광주여자대학교 보건의료공학과 교수
[주 관심분야] 전자파수치해석