

Cross Decoupler를 이용한 LTE 펌토셀용 4-port MIMO 안테나

A 4-port MIMO Antenna for LTE Femtocell using Cross Decoupler

안 상 권*
(Sang-Kwon Ahn)

정 계 택*
(Gye-Taek Jeong)

이 화 춘***
(Hwa-Choon Lee)

곽 경 섭****
(Kyung-Sup Kwak)

요 약

본 논문에서는 LTE 700MHz(Band12, 13, 14, 17, 28, 44) 대역에서 동작 가능한 4개의 포트를 가진 펌토셀(Femtocell) MIMO 안테나를 설계 제작하였다. 마이크로스트립 패치 안테나를 기반으로 임피던스 매칭을 위하여 쇼트핀을 이용하였고, 한정된 크기에서 충분한 안테나 격리도를 얻기 위해 십자형 디커플러를 이용하였다. 시뮬레이션에 의한 최적화된 파라미터를 가지고 제작하였으며, 제작된 안테나는 VSWR ≤ 2 에서 105MHz(0.698-0.803) 대역폭을 만족하고 1.97dBi의 이득과 격리도는 13dB이상의 값을 얻었다. MIMO 안테나의 성능을 판단하는 주요 파라미터인 안테나간 상관계수는 0.2 이하의 결과를 얻었다.

핵심어 : LTE, MIMO, 상관도, 펌토셀, 마이크로스트립 패치

ABSTRACT

This paper describes the design, fabrication, and measurement of a 4-port femtocell MIMO antenna for LTE 700MHz(Band12, 13, 14, 17, 28, 44) applications. Based on microstrip patch antenna, an impedance matching is achieved by short pin. In order to obtain sufficient bandwidth and isolation between antenna elements in a limited dimension, a cross decoupler is used. With a Voltage Standing Wave Ratio (VSWR) ≤ 2 , the measured result of the fabricated antenna provides 105MHz(0.698-0.803MHz) bandwidth and shows the gain with 1.97dBi and isolation above 13dB. As one of the key parameters for MIMO performance evaluation, correlation coefficient of MIMO is achieved within 0.2.

Key words : LTE, MIMO, correlation, femtocell, microstrip patch

† 본 연구는 국토교통부 물관리연구사업의 연구비지원(12기술혁신C01)에 의해 수행되었습니다.

* 주저자 : 인하대학교 일반대학원 박사과정

* 공저자 : 인하대학교 박사졸업

*** 공저자 : 초당대학교 정보통신공학과 교수

**** 공저자 및 교신저자 : 인하대학교 정보통신공학과 교수

† 논문접수일 : 2014년 03월 10일

† 논문심사일 : 2014년 03월 28일

† 게재확정일 : 2014년 04월 11일

I. 서론

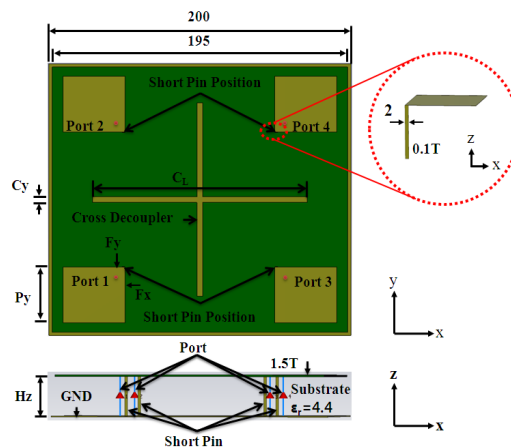
최근 버스, 기차, 자동차와 같은 이동수단에서의 모바일 데이터 트래픽이 약 35% 정도[1]에 이를 정도로 많은 승객이 이용하고 있는 교통수단에 대한 스마트 정보가 중요하다. 현재 버스 위치 실시간 정보는 매우 유용하게 사용된다. 그러나 주로 도시 위주 대상이어서 지역 확대가 필요한 상황이다. 전국 기반인 LTE 활용 시 효과적이며, 모바일 펌토셀은 하나의 대안이 될 수 있다. 최근 관련 연구가 진행되고 있으며 [2], 본 논문에서는 향후 이용 가능성이 큰 700MHz에서 펌토셀 MIMO 안테나에 대하여 제안하였다.

MIMO 안테나는 기존의 단일 안테나 특성을 만족시킴과 동시에 격리도 및 상관도가 함께 고려되어야 한다. 낮은 주파수에서 내장 안테나를 위한 공간의 제약은 높은 격리도를 얻을 수 없는 어려움이 있다. 높은 격리도를 얻기 위해 단말기용 내장형 안테나에 대한 연구[3-12]는 많이 이루어져 왔으나 펌토셀을 위한 MIMO 안테나에 대한 연구는 많이 이루어지지 않은 상태이다. 최근 펌토셀용 MIMO 안테나에 대하여 일부 연구가 이루어 졌으나[13-16], LTE 700MHz 주파수 대역에서 4개의 MIMO 안테나 및 격리도 개선에 대한 연구는 거의 없는 상태이다. [15, 16]은 구조적으로 크기가 커져 펌토셀 시스템에 실제 응용이 어렵고, [16]은 유전체 공진기 안테나(Dielectric Resonator Antenna)로 충분한 격리도를 얻었으나 700MHz 일부 대역과 두 개의 MIMO 안테나만을 지원하는 한계가 있다.

본 논문에서 제안된 안테나는 네 개의 MIMO 안테나로 LTE 700MHz 전 대역을 확보하였고 실제 응용을 위하여 소형의 단순한 구조로 설계하였다. 충분한 대역폭과 임피던스 매칭을 위하여 각각의 패치에 쇼트핀을 추가하고, 안테나 방사체 사이의 격리도를 개선하기 위하여 십자형 디커플러를 중앙에 위치시키는 방법을 제안하였다. II절에서 접지핀, 디커플러 등 안테나 설계의 최적 파라미터를 나타내었고, III절에서는 제안된 안테나의 VSWR, 방사패턴, 안테나 이득에 대한 시뮬레이션 및 실제 측정 결과를 기술하여 IV절에서 결론을 맺었다.

II. 안테나 설계

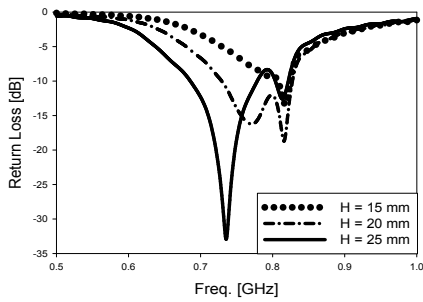
본 논문은 LTE 펌토셀 시스템을 위한 700MHz 대역에 사용 가능한 4-port MIMO 안테나에 대하여 설계 및 제작 하였다. 그림 1은 안테나 전체 구조를 나타내었다. 제안된 안테나는 두께 1.0 mm FR4($\epsilon_r=4.4$) 기판을 펌토셀 시스템의 회로 보드와 유사한 크기로 사용하였고 그라운드의 크기는 $200 \times 200 \text{mm}^2$ 이다. LTE 700MHz(Band 12, 13, 14, 17, 28, 44)를 모두 포함하는 698-803MHz 대역폭에서 VSWR 2:1을 만족하는 MIMO 안테나를 얻기 위하여 네 개의 대칭형 방사 패치를 이용하고 각각의 방사패치에 쇼트핀을 삽입하였다. 기판의 중앙부에 십자형 디커플러를 삽입하여 포트간 격리도를 확보하였다.



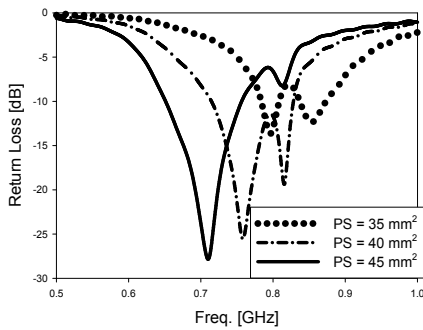
〈그림 1〉 제안된 4-port MIMO 안테나 구조. (in millimeters)

〈Fig. 1〉 Geometry of the proposed 4-port MIMO antenna

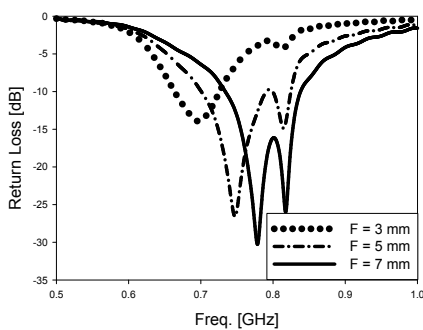
그림 2는 그라운드와 방사패치까지의 높이에 따른 특성을 나타내었다. 높이가 높을수록 반사계수의 특성이 좋아지나 펌토셀 기지국 시스템 장비의 두께는 30mm 내외임을 고려하여 최대 25mm까지 모의실험을 하였다. 그라운드로부터 안테나 방사패치 사이는 공기 갭을 갖고 있는 적층형 구조로 생각할 수 있어 대역폭을 확대하고 이득을 향상시키는 역할을 한다.



〈그림 2〉 그라운드와 안테나 방사패치 사이의 높이에 따른 반사계수 특성.
 〈Fig. 2〉 The characteristic of reflection coefficient due to height between ground and antenna patch



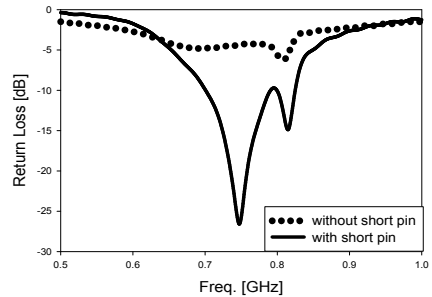
(a) The characteristic of reflection coefficients with the variation of patch size



(b) The characteristic of reflection coefficients with the location of feed point

〈그림 3〉 방사패치 크기와 급전 위치에 따른 반사계수 (a) 방사패치 크기 및 (b) 급전위치에 따른 변화.
 〈Fig. 3〉 The characteristic of reflection coefficients due to (a) patch size and (b) feed point of the proposed antenna.

그림 3은 방사패치의 크기와 급전 위치에 따른 반사계수 특성으로, 그림 3 (a)에서 방사패치의 크기가 $40 \times 40 \text{mm}^2$ 일 때 LTE 700MHz 대역에 가장 근접하는 값을 얻었다. 그림 3 (b)는 급전위치에 따른 반사손실을 나타내었다. 그림 1에서 port 1~4로 표시된 점이 동축 급전 위치이고, 각각의 방사패치에서 기판의 중앙부 쪽으로 향한 꼭지점의 양 선분으로부터 동축 급전 위치까지의 거리를 나타내고 있다. 동축 급전의 위치를 x와 y 방향에 대하여 동일 거리로 변화하여 대각선 주위에서 모의실험 하였으며 F=5mm에서 만족할 만한 대역을 얻을 수 있었다.



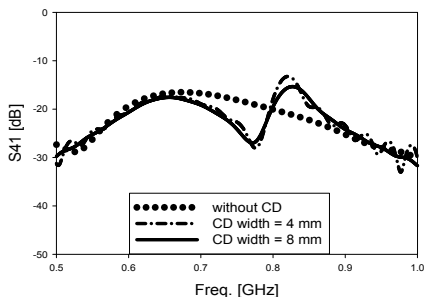
〈그림 4〉 쇼트핀 유무에 따른 반사계수 특성
 〈Fig. 4〉 The reflection coefficient due to short pin

그림 4는 쇼트핀의 유무에 따른 반사계수 특성이다. 쇼트핀을 추가한 경우 반사손실은 LTE 700MHz 대역에서 VSWR 2:1 기준으로 -10dB 이하로 개선되는 것을 볼 수 있다. 쇼트핀이 없을 경우 방사부와 접지면 사이에 커패시턴스 성분이 증가하여 용량성 리액턴스 성분이 커서 임피던스 매칭이 이루어지지 않지만, 쇼트핀을 삽입할 경우 인덕턴스 성분을 증가시켜 유도성 리액턴스 성분이 상대적으로 증가하는 효과를 가져와 동작주파수 대역에서 임피던스 매칭을 이루기 때문이다.

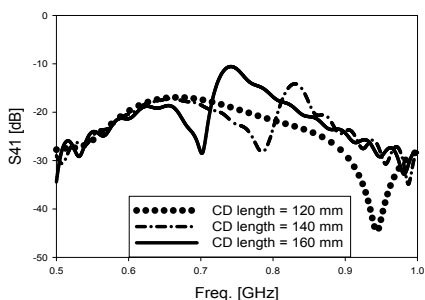
그림 5는 십자형 디커플러 (a)유무 및 폭, (b)길이에 따른 S41의 격리도 변화를 나타내었다. 십자형 디커플러가 존재하지 않을 때 20 dB 이하의 격리도 특성을 보였는데 십자형 디커플러 삽입 시 20 dB 이상의 격리도 특성을 보임을 확인하였다. LTE 700 대역에서 십자형 디커플러의 크기가 4 mm의 폭과 140 mm의 길이를 가질 때, 가장 좋은 S41 특성을

보였다. 이는 기판 중앙에서 일어나는 방사부 간의 커플링 현상을 십자형 디커플러가 억제시킴으로써 나타나는 결과로 판단된다.

은 그림1과 표1의 파라미터를 가지고 실제 제작한 모습으로 네 개의 방사패치와 기판 중앙에 십자 모양의 디커플러 모습을 보이고 있다.



(a) Isolation due to the variation of Cross Decoupler width



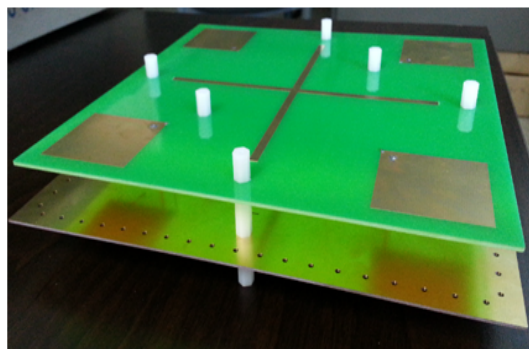
(b) Reflection coefficients due to the variation of Cross Decoupler length

<그림 5> Cross Decoupler의 (a)폭 변화, (b)길이 변화에 따른 반사계수 특성.

<Fig. 5> The characteristic of reflection coefficients due to (a)width and (b)length of Cross Decoupler.

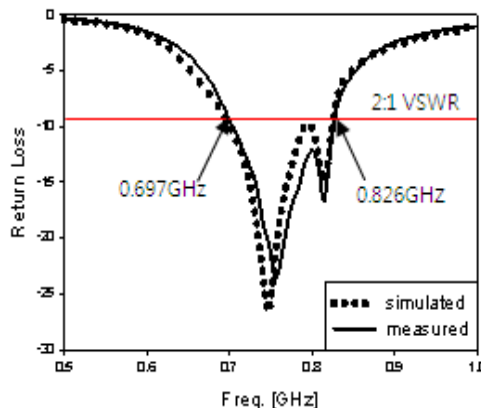
III. 안테나 제작 및 측정 결과

II절에서 모의실험을 통하여 얻은 결과를 가지고 표 1과 같은 최적의 파라미터를 얻었다. 그림 6



<그림 6> 제작된 안테나.
<Fig. 6> Photograph of the manufactured antenna.

그림 7은 애질런트 8753ES 네트워크 아날라이저로 실제 측정한 반사계수와 시뮬레이션에 의한 반사계수 특성을 나타내었다. 제작된 안테나에서 측정된 주파수 대역은 $VSWR \leq 2$ 기준으로 698-803MHz 주파수 대역을 포함하는 대역폭을 얻었다.



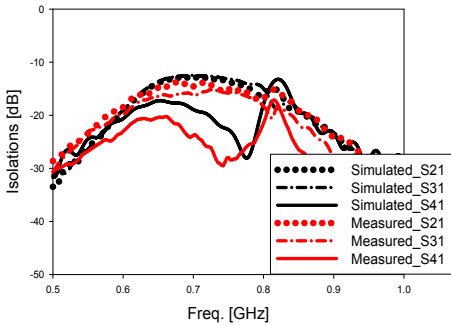
<그림 7> 제안된 안테나의 실 측정 및 모의실험 반사계수.
<Fig. 7> Simulated and measured return loss of the proposed antenna.

<표 1> 제안된 안테나의 최적화된 파라미터
<Table 1> Optimized Parameters of Proposed Antenna

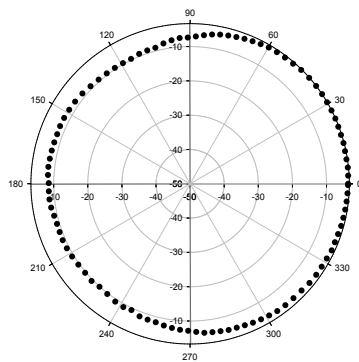
Parameters	Value(mm)	Parameters	Value(mm)
Cy	4	Py	40
CL	140	Hz	20
Fx	5	Fy	5

그림 8은 제안된 안테나의 모의실험 및 실제 측정된 격리도 특성이다. 측정결과 S21, S31, S41 모두 13 dB 이상의 격리도 특성을 얻었다. 특히, S41

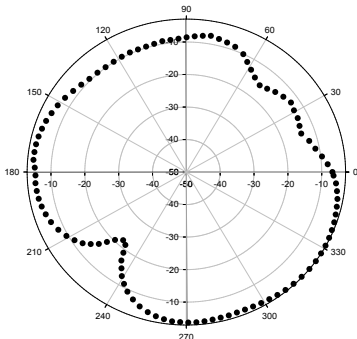
은 앞에서 언급했던 바와 같이 십자형 디커플러의 영향으로 측정결과 20 dB 이상의 격리도 특성을 LTE 700MHz 모든 대역에서 만족하는 것을 관찰할 수 있다. 방사패치의 배치가 대칭구조이므로 $S_{21} = S_{43}$, $S_{41} = S_{32}$, $S_{31} = S_{42}$ 이므로 S_{21} , S_{31} , S_{41} 값만 그래프에 나타내었다.



〈그림 8〉 제안된 안테나의 실 측정 및 모의실험 격리도.
 〈Fig. 8〉 Simulated and measured isolation of the proposed antenna.



(a) H-plane



(b) E-plane

〈그림 9〉 제안된 안테나의 측정된 방사 패턴(f=756MHz)
 (a) H 평면 (b) E 평면
 〈Fig. 9〉 Measured radiation patterns of the proposed antenna(f=756MHz) (a) H-plane (b) E-plane

그림 9 LTE 700MHz의 중간 정도인 756MHz 주파수 지점에서 측정된 방사패턴이다. 그림 9 (a)는 수평평면, 그림 9 (b)는 수직평면에서의 각각의 방사패턴으로 실내에서 활용이 가능한 펌토셀 시스템의 내장형 안테나로 양호한 전방향성 (Omnidirectional) 방사패턴을 얻었다. 측정된 안테나의 최고 이득은 1.97dBi의 얻었다. 다이버시티 및 MIMO 효과를 고려할 경우, 낮은 주파수에서 멀티 안테나에 의한 안테나 이득을 보완할 수 있다고 판단된다.

표 2는 MIMO 안테나 성능을 측정하기 위한 주요 파라미터인 상관계수를 나타내었다. 제안된 안테나는 LTE 700MHz 대역을 포함하는 주파수에 대하여 0.2 이하의 상관계수를 얻었으며, MIMO 안테나 시스템의 성능에 적합한 충분히 낮은 상호 상관도를 가진다고 판단된다.

〈표 2〉 제안된 4-포트 MIMO 안테나의 상관계수.
 〈Table 2〉 Correlation coefficient of the proposed 4-port MIMO antenna

f(MHz)	ρ_{21}	ρ_{31}	ρ_{41}
698	0.174	0.183	0.083
715	0.113	0.117	0.045
730	0.059	0.063	0.018
745	0.021	0.022	0.007
760	0.012	0.013	0.009
775	0.033	0.035	0.016
790	0.056	0.060	0.039

IV. 결론

본 논문에서는 LTE 펌토셀 시스템을 위한 네 개의 포트를 가진 내장형 MIMO 안테나를 제안하였다. 패치 안테나를 사용하여 반사손실을 개선하기 위하여 쇼트핀을 이용하였고, 격리도를 개선하기 위하여 십자형 디커플러를 적용하여 격리도를 개선하였다.

제안된 안테나는 $VSWR \leq 2:1$ 기준으로 LTE 700MHz(밴드 12, 13, 14, 17, 28, 44)를 포함하는 698-803MHz의 105MHz 대역 특성을 얻었다. 실내 적용을 위한 펌토셀용 내장형 MIMO 안테나로 1.97dBi의 안테나 이득을 얻었으며 전방향성(Omni-directional) 방사패턴을 나타내었다. LTE 서비스에 상용되는 펌토 시스템을 고려하여 제작이 용이하도록 크기를 소형화 하였으며, 간단한 구조의 내장형 안테나로 설계하여 효과적으로 적용 가능하도록 하였다. 상관계수는 0.2 이하의 값을 얻어 충분한 MIMO 성능을 기대할 수 있을 것으로 판단된다. 향후 제안된 안테나의 측정결과를 바탕으로 MIMO 안테나 성능에 대하여 추가적인 연구가 필요하고 실제 건물 내에서의 측정을 통한 안테나 성능 실험이 필요하다.

REFERENCES

- [1] Nokia Solution Networks, "Improving 4G coverage and capacity indoors and at hotspots with LTE femtocells", *Internal Report*, 2011
- [2] R. Rand and L. Lasebae, "From fixed to mobile femtocells in LTE systems: Issues and challenges," *Future Generation Comm. Tech. 2nd. Int. Conf.* pp.207-212, 2013.
- [3] M. Karaboikis, C. Soras, G. Tsachtsiris, and V. Makios, "Compact dual-printed inverted-F antenna diversity systems for portable wireless devices", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 3, pp.9-14, 2004.
- [4] G. A. Mavridis, J. N. Sahalos, and M. T. Chryssomallis, "Spatial diversity two-branch antenna for wireless devices", *Electron. Lett.*, vol. 42, no. 5, pp.266 - 268, Mar. 2006.
- [5] T.-Y. Wu, S.-T. Fang, and K.-L. Wong, "Printed diversity monopole antenna for WLAN operation", *Electron. Lett.*, vol. 38, no. 25, pp.1625 - 1626, Dec. 2002.
- [6] Y. Ding, Z. Du, K. Gong, and Z. Feng, "A novel dual-band printed diversity antenna for mobile terminals", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 7, pp.2088 - 2096, Jul. 2007.
- [7] X. Wang, Z. Du, and K. Gong, "A compact wide-band planar diversity antenna covering UMTS and 2.4 GHz WLAN bands", *IEEE Antennas Wireless Propag. Lett.*, vol. 7, pp.588 - 591, 2008.
- [8] A. C. K. Mak, C. R. Rowell, and R. D. Murch, "Isolation enhancement between two closely packed antennas", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 56, no. 11, pp.3411 - 3419, Nov. 2008.
- [9] A. Chebihi, A. Diallo, C. Luxey, P. Le Thuc, and R. Staraj, "User's head and hand influence on the diversity performance of neutralized two- antenna systems for UMTS handsets", in Proc. *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. (AP-S 2008)*, San Diego, CA, pp.1 - 4, 2008.
- [10] C.-Y. Lui, Y.-S. Wang, and S.-J. Chung, "Two nearby dual-band antennas with high port isolation", in Proc. *IEEE Antennas Propag. Soc. Int. Symp. (AP-S 2008)*, San Diego, CA, pp.1 - 4, 2008.
- [11] C. Caloz, H. Okabe, T. Iwai, and T. Itoh, "A simple and accurate model for microstrip structures with slotted ground plane", *IEEE Microwave Wireless Comp. Lett.*, vol. 14, no. 4, pp.133 - 135, Apr. 2004.
- [12] C.-Y. Chiu, C.-H. Cheng, R. D. Murch, and C. R. Rowell, "Reduction of mutual coupling between closely-packed antenna elements", *IEEE Trans. Antennas Propag.*, vol. 55, no. 6, pp.1732 - 1738, Jun. 2007.
- [13] Ang-Hsun. T., Li-Chu. W, Jane-Hwa. H., Ruey-Bing. H., "High-Capacity OFDMA Femtocells by Directional Antennas and Location Awareness", *IEEE Systems Journal*, vol. 6, Issue. 2, pp.329-340, June 2012.
- [14] Ang-Hsun. T., Li-Chu. W, Jane-Hwa. H., Ruey-Bing. H., "High-Capacity Femtocells with

- Directional Antennas”, in Proc. *IEEE Wireless Comm. and Net. Conf., Sydney, Aust.*, pp.1-6, April 2010.
- [15] C. Y. Chiu, J.B. Yan, R.D. Murch, “Compact three-port orthogonally polarized MIMO antennas”, *IEEE Ant. Wireless Propag. Letter*, vol. 6, pp.619-622, 2007
- [16] Jie-Bang. Y., Bernhard J.T, “Design of a MIMO Dielectric Resonator Antenna for LTE Femtocell Base Stations”, *IEEE Trans. on Ant. and Propat.* vol. 60, no. 2, Feb. 2012.

저자소개



안 상 권 (Ahn, Sang-Kwon)
 2011년 4월 ~ 현재 : KT(주) 근무
 2009년 2월 : 인하대학교 대학원 정보공학과 박사 수료
 1998년 2월 : 충남대학교 대학원 전기공학과 석사 졸업
 1994년 2월 : 충남대학교 전기공학과 학사 졸업
 e-mail : spmahn69@gmail.com
 연락처 : 032) 864-8935



정 계 택 (Jeong, Gye-Taek)
 2013년 3월 ~ 2013년 8월 : 인하대학교 박사후연구원
 2013년 2월 : 인하대학교 대학원 정보통신공학과(공학박사)
 2005년 2월 : 인하대학교 대학원 정보통신공학과(공학석사)
 2003년 2월 : 인하대학교 전자공학과(공학사)
 e-mail : gtjeong07@gmail.com
 연락처 :



이 화 춘 (Lee, Hwa-Choon)
 1995년 2월 ~ 현재 : 초당대학교 정보통신공학과 교수
 1995년 2월 : 인하대학교 대학원 전자공학과 박사졸업
 1987년 2월 : 인하대학교 대학원 전자공학과 석사졸업
 1985년 2월 : 인하대학교 전자공학과 학사졸업
 e-mail : orut@chodang.ac.kr
 연락처 : 061) 450-1223



곽 경 섭 (Kwak, Kyung-Sup)
 2000년 3월 ~ 현재 : 인하대학교 정보통신공학부 석좌교수(IFP)
 2003년 8월 ~ 현재 : 인하대학교 초광대역무선통신연구센터(UWB-ITRC) 센터장
 2009년 1월 ~ 2009년 12월 : 한국ITS학회 회장
 2006년 1월 ~ 2006년 12월 : 한국통신학회 회장
 2000년 3월 ~ 2002년 2월 : 인하대학교 정보통신대학원 원장
 1989년 2월 ~ 1990년 2월 : 미국 IBM Network Analysis Center 연구원
 1988년 2월 ~ 1989년 2월 : 미국 Hughes Network System 연구원
 1988년 2월 : 미국 UCSD 통신이론 및 시스템(공학박사)
 1981년 12월 : 미국 USC 전기공학과(공학석사)
 1977년 2월 : 인하대학교 전기공학과(공학사)
 e-mail : kskwak@inha.ac.kr
 연락처 : 032) 860-7416