

다중대역 MIMO 안테나의 차량탑재 필드테스트 결과 분석

Analysis of Throughput Field Test Data Acquired Using Vehicle Mounted Multi-Band MIMO Antenna

김 승 호 · 정 재 영

Seung-Ho Kim · Jae-Young Chung

요 약

본 논문에서는 차량 LTE 통신용 다중대역 MIMO 안테나를 설계하고, 이를 차량에 부착하여 수행한 데이터 전송률 필드테스트 측정 결과에 대한 분석을 다루고 있다. 필드테스트에 이용된 안테나는 다중대역 공진 특성 확보를 위해 다수의 스티브를 포함한 평판 구조로 LTE(0.8~0.9 GHz, 1.7~2.2 GHz), WiFi(2.4~2.48 GHz) 및 WAVE(5.8~5.9 GHz) 주파수 대역에서 동작하도록 설계하였다. 안테나 시제품을 차량의 대시보드 및 루프에 설치하고, 실험용 LTE 모뎀에 연결하여 다양한 실전과 환경에서의 데이터 전송률(throughput), 신호 대 잡음 간섭비(SINR), 참조 신호 수신 품질(RSRQ) 등을 측정하고 분석하였다. 이를 바탕으로 전계 강도에 따른 SINR과 데이터 전송률 사이의 관계를 확인하였다.

Abstract

This paper reports on the design of a multiband multiple-input and multiple-output(MIMO) antenna for long-term evolution(LTE) vehicular communication and includes an analysis of the throughput field test results that were acquired by mounting the antenna to a vehicle. The antenna used for the field test was designed as a planar structure and included multiple stubs to obtain multiband resonant characteristics operating in the LTE(0.8~0.9 GHz, 1.7~2.2 GHz), Wi-Fi(2.4~2.48 GHz), and wireless access in vehicular environments (WAVE)(5.8~5.9 GHz) frequency bands. For the field test, antenna prototypes were mounted on the dashboard and roof of a vehicle and connected to the experimental LTE modem. The data transfer rate(throughput), signal-to-interference-plus-noise ratio(SINR), and reference signal received quality(RSRQ) were measured and analyzed in various real-world radio wave environments. Based on these results, the relationship between the SINR and throughput according to the field intensity is confirmed.

Key words: Multiband MIMO Antenna, Vehicle Communication, Field Test, LTE Throughput

I. 서 론

최근 차량 내 정보 및 엔터테인먼트 제공을 위한 인포테인먼트(In-Vehicle Infotainment) 기술이 주목을 받으면서 안정적인 통신 네트워크 구현을 위한 무선 통신 기술

에 대한 수요가 커지고 있다. 특히 커넥티드 카 또는 스마트 카 개념이 구체화 되면서 안정적이고 효율적인 차량용 무선 통신 기술 구현에 대한 관심이 커지고 있다. 전파의 송수신을 관장하는 안테나의 경우, 다양한 통신주파수 대역에서 동작하는 복수의 안테나를 이용하여 데이터 전

「이 연구는 서울과학기술대학교 교내연구비의 지원으로 수행되었음.」

서울과학기술대학교 전기정보공학과(Department of Electrical and Information Engineering, Seoul National University of Science & Technology)

· Manuscript received August 17, 2018 ; Revised September 14, 2018 ; Accepted September 19, 2018. (ID No. 20180817-084)

· Corresponding Author: Jae-Young Chung (e-mail: jychung@seoultech.ac.kr)

송률을 높이는 다중대역 MIMO(Multiple Input Multiple Output) 안테나 기술이 필수적이다. MIMO 안테나 기술은 송·수신단에 다수의 안테나를 배치하여 대역폭을 증가시키지 않고, 데이터 전송률을 획기적으로 증가시킬 수 있는 기술이다^[1].

다중대역 MIMO 안테나 설계에 대한 다양한 논문 및 보고서가 존재하는 반면^{[2]~[4]}, 안테나를 차량에 탑재하여 실전과 환경에서 통신시스템의 특성을 확인하는 필드테스트를 수행한 결과물은 많지 않다^{[5],[6]}.

본 논문은 다중대역 MIMO 안테나의 설계와 더불어 이를 차량에 부착하고 수행한 필드테스트 결과에 대한 분석을 포함하고 있다. 안테나는 다수의 스테브를 통해 다중 공진을 유도하는 미앤더 형태로, LTE(0.8~0.9 GHz, 1.7~2.2 GHz), WiFi(2.4~2.48 GHz) 및 WAVE(5.8~5.9 GHz) 통신 주파수에서 동작하도록 설계하였다. 필드테스트는 안테나 시작품을 차량에 탑재한 상태로 현재 운용 중인 LTE 망 내에서 수행하였다. 이후 도심지, 주거지, 시골 등 서로 다른 실전과 환경에서 측정된 데이터 전송률(throughput), 신호 대 잡음 간섭 비(SINR), 참조 신호 수신 품질(RSRQ) 결과 등을 분석하였다.

II. 안테나 설계 및 제작

일반적으로 다중대역 특성의 안테나는 shorting strip을 이용하거나^{[7]~[9]}, coupled feeding을 이용하여^{[10],[11]} 설계할 수 있다. 하지만 이 방법들은 shorting strip의 위치 및 급전부 구성에 따라 안테나의 성능이 쉽게 변화할 수 있기 때문에 설계에 어려움이 있다. 본 논문에서는 스테브를 이용하여 다중대역 특성을 확보한 평판형 모노폴 안테나 구조를 바탕으로^[12], LTE, WiFi 및 WAVE 주파수 대역에서 동작하는 차량용 2x2 MIMO 안테나를 설계하였다.

그림 1은 설계된 안테나의 구조를 보여준다. 안테나는 두 개의 방사체와 접지면, 두께 1.6 mm의 FR-4 기판($\epsilon_r = 4.4$, $\tan\delta = 0.02$)으로 구성되어 있다. 접지면과 방사체를 포함한 안테나의 총 면적은 $120.55 \times 43.6 \text{ mm}^2$ 로 현재 차량의 대시보드에 탑재되는 안테나의 크기를 참고하였다. 접지면은 FR-4 기판의 전면과 후면에 $81.55 \times 43.6 \text{ mm}^2$ 크기로 형성되어 있고, 두 개의 방사체는 $37 \times 19 \text{ mm}^2$ 크기로 접지면을 기준으로 좌·우 대칭적으로 위치하고

있다. 각각의 개별 안테나는 다중대역 공진 특성 확보가 용이한 스테브를 포함한 미앤더 구조로 설계하였다. 안테나의 설계 및 최적화를 위해 Ansys HFSS v.18.1 소프트웨어를 사용하였으며, 이를 통해 얻은 최적화된 설계 변수의 값은 표 1과 같다. 최적화 과정 및 안테나의 구조 파라미터에 따른 시뮬레이션 연구 과정은 본 논문에 포함하지 않았다. 그림 2는 시뮬레이션을 통해 최적화된 안테나 모델을 PCB 공법으로 제작한 시작품이다. 제작한 시작품은 동축케이블과 SMA 커넥터로 급전하였다.

제작된 안테나의 성능 확인을 위해 네트워크 분석기를 이용하여 반사계수(S_{11})를 측정하였다. 그림 3은 제작된 두 안테나의 반사계수 측정값과 시뮬레이션 값을 비교한 결과로, 목표 주파수 대역에서 $S_{11} < 6 \text{ dB}$ 를 만족함을 확인할 수 있다.

제작된 안테나의 방사 특성을 확인하기 위해 전자파 무반향실에서의 측정을 진행하였으며, 측정 환경은 그림

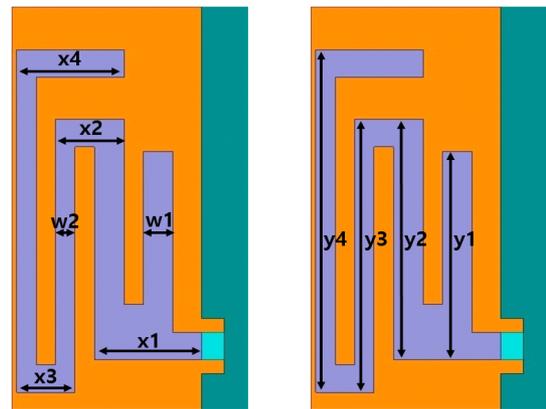


그림 1. 설계된 안테나의 구조
Fig. 1. Geometry of designed antenna.

표 1. 설계된 안테나의 최적화된 설계변수 값(mm)
Table 1. Optimized design parameters.

Parameter	Value	Parameter	Value
w_1	3.0	x_4	11.0
w_2	2.0	y_1	22.5
x_1	11.0	y_2	26.0
x_2	7.0	y_3	29.5
x_3	6.0	y_4	37.0



그림 2. 제작된 MIMO 안테나 시작품
Fig. 2. Fabricated MIMO antenna prototype.

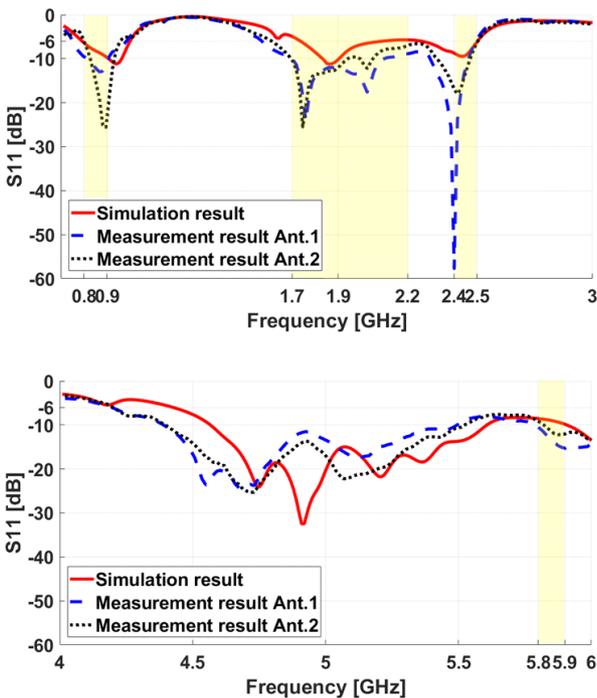


그림 3. MIMO 안테나 반사계수의 시뮬레이션 및 측정값 비교
Fig. 3. Comparison of simulation and measured reflection coefficients of the MIMO antenna.

4와 같았다. 그림 5는 제작된 안테나의 방사 효율 측정 결과로 5.8~5.9 GHz 주파수 대역을 제외하고, 목표 주파수 대역에서 모두 50 % 이상의 값을 보였다.

Ⅲ. 필드테스트

제작된 안테나의 LTE 데이터 전송률을 측정하기 위해



그림 4. 전자파 무반향실 내에서 제작된 안테나의 방사 효율 측정
Fig. 4. Measurement of the radiation efficiency of the antenna prototype in an anechoic chamber.

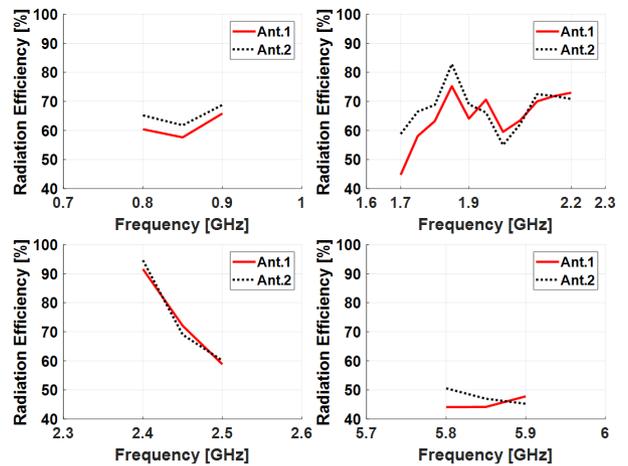
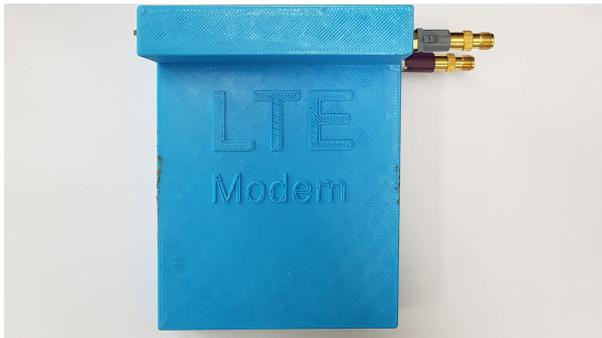


그림 5. 제작된 안테나의 방사 효율 측정 결과
Fig. 5. Measurement results of radiation efficiency of fabricated antenna.

다양한 전파 환경에서 필드테스트를 수행하였다. 필드테스트는 차량에 탑재된 안테나를 실험용 LTE 모뎀에 연결한 상태로, 차량을 운행하면서 FTP 서버로부터 1 GB 크기의 파일을 다운로드하는 방식으로 진행하였다. 측정 데이터는 차량 내 안테나의 탑재 위치(대시보드 및 루프), 실전과 환경(도심지, 주거지, 시골)과 전계강도(강전, 중전, 약전)를 달리하며 취득하였다. 그림 6은 실험에 사용한 LTE 모뎀과 MIMO 안테나의 설치 사진을 보여준다. LTE 모뎀과 안테나는 고주파 동축케이블을 이용해 연결하였다.

그림 7은 안테나의 탑재 위치를 달리하며 취득한 LTE 통신 지표의 측정 결과이다. 측정 셋업은 제작된 2x2



(a) 실험용 LTE 모뎀
(a) LTE modem



(b) 루프에 설치된 안테나
(b) Antenna mounted on roof



(c) 대시보드에 설치된 안테나
(c) Antenna mounted on dash-board

그림 6. 측정 셋업에 대한 사진

Fig. 6. Pictures for measurement set-up.

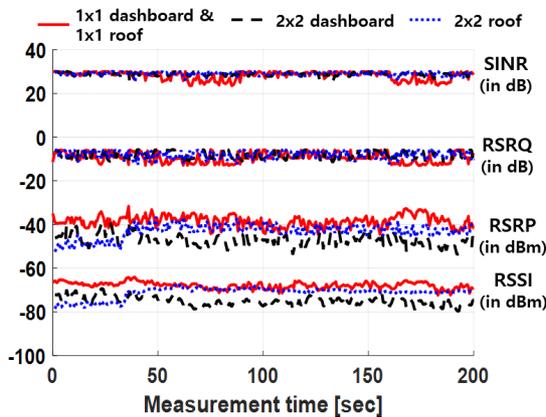


그림 7. 안테나 탑재 위치에 따른 LTE 통신 지표 측정 결과
Fig. 7. Measurement results of LTE communication index according to the antenna mounting position.

MIMO 안테나를 차량의 루프와 대시보드에 각각 탑재한 경우와 1x1 형태의 안테나를 루프와 대시보드에 모두 탑재하여 2x2 MIMO 안테나를 구현한 경우로 나누어 구성하였다. 동일 안테나 모듈에 대해 탑재 위치에 따른 안테

나 빔패턴 변화 및 통신 시스템 성능의 영향을 확인하였다. 하지만 측정 결과, 안테나 탑재 위치에 따른 LTE 통신 지표의 변화는 크지 않았다. 그림 8은 각각의 측정 셋업에서 취득한 데이터 전송률 측정 결과로, 측정 셋업이 모두 80 Mbps 안팎의 양호한 평균 데이터 전송률을 보이고 있음을 확인하였다. 안테나의 자체적인 성능이 변하더라도 다중 반사가 많이 일어나는 전파환경으로 인해 시스템 성능에 큰 변화가 없는 것으로 판단된다. 이러한 결과를 바탕으로 이후의 필드테스트는 측정의 편의를 고려하여 2x2 MIMO 안테나를 대시보드에 탑재한 뒤 진행하였다.

실전과 환경을 고려한 필드테스트는 도심지, 주거지, 시골 지역으로 구분하여 진행하였다. 측정 장소 선정에 있어 지역별 전파 환경의 특성을 고려하였으며, 이에 따라 도심지의 경우 서울특별시 종로구를, 주거지의 경우 서울특별시 노원구를, 시골의 경우 충청남도 서산시를 측정 장소로 택하였다. 세 측정 환경에서 제작된 안테나는 2x2 MIMO 형태로 차량의 대시보드에 탑재되었으며, 차량이 정지한 경우와 주행 중인 경우로 나누어 필드테스트를 진행하였다. 그림 9는 시골 지역에서 취득한 필드테스트 결과로, 차량의 주행 상태에 따른 데이터 전송률 변화 추이를 보여준다. 정지한 차량에서 이루어진 필드테스트의 경우, 100 Mbps 안팎의 안정적인 데이터 전송률 결과를 보였지만, 주행 중인 차량의 경우 핸드오버 및 전파 특성의 변화로 인해 데이터 전송률이 크게 변화하였다. 도심지, 주거지에서 이루어진 필드테스트 결과에서도 주

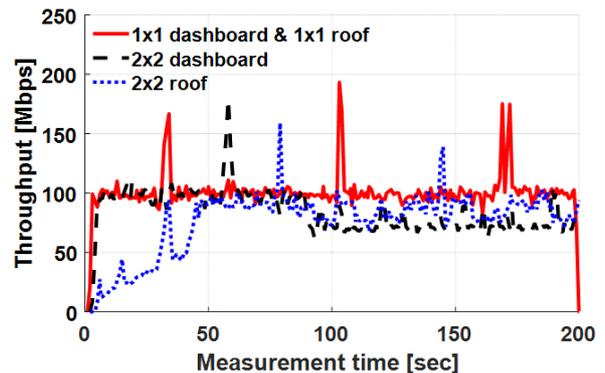


그림 8. 안테나 탑재 위치에 따른 데이터 전송률 측정 결과
Fig. 8. Measurement results of throughput according to the antenna mounting position.

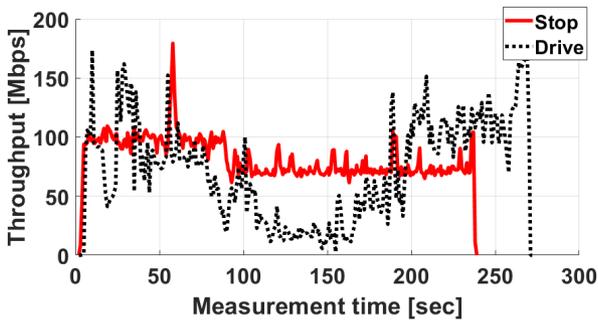


그림 9. 차량의 주행 상태에 따른 데이터 전송률 측정 결과
Fig. 9. Measurement results of throughput according to the vehicle driving condition.

행 중인 차량의 데이터 전송률은 크게 변화하였으며, 이로 인해 세 지역 간의 데이터 전송률의 비교가 어려웠다. 정확한 비교를 위해 차량이 정지했을 때 세 지역에서 측정된 데이터 전송률의 평균값을 계산하였으며, 그림 10의 결과를 얻을 수 있었다. 지역별 전파 환경의 특성을 고려하여 측정 장소를 선정하였음에도 불구하고, 전계 강도의 차이가 크지 않아 세 지역에서 모두 양호한 평균 데이터 전송률을 보이고 있었다.

전계 강도를 고려한 필드테스트는 임의의 강전, 중전 그리고 약전 지역에서 이루어졌다. 측정 장소 선정에 있어 평균 SINR 수치를 참고하였으며, 25 dB 이상의 SINR 값을 가지는 지역을 강전, 15 dB 안팎의 값을 가지는 지

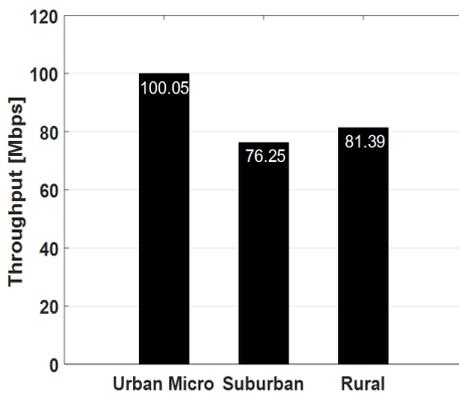


그림 10. 실전과 환경을 고려한 평균 데이터 전송률 측정 결과
Fig. 10. Measurement results of average throughput according to the real-world radio wave environment.

역을 중전, 10 dB 이하의 값을 가지는 지역을 약전으로 분류하였다. 이에 따라 강전 지역은 충청남도 서산시를, 중전 및 약전 지역의 경우 교내 건물 지하를 측정 환경으로 택하였다. 그림 11은 전계 강도에 따라 분류된 세 지역의 평균 SINR 측정 결과를 나타낸 그래프로, 측정 장소가 분류 기준에 부합하게 적절히 선정되었음을 알 수 있다. 그림 12는 해당 측정 장소들에서 확인한 평균 데이터 전송률 측정 결과를 나타낸 그래프이다. 강전 및 중전 지역은 10 dB 이상의 SINR 차이를 보였지만, 데이터 전송률에 있어 큰 차이를 보이지 않았다. 하지만 약전의 경우 중전 지역과 10 dB 미만의 SINR 차이를 보이지만, 데이터 전송

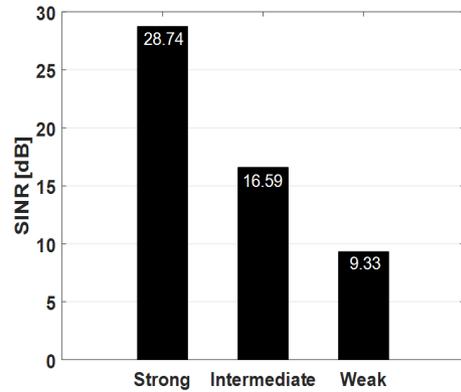


그림 11. 전계 강도에 따른 평균 SINR 측정 결과
Fig. 11. Measurement results of average SINR value according to the field intensity.

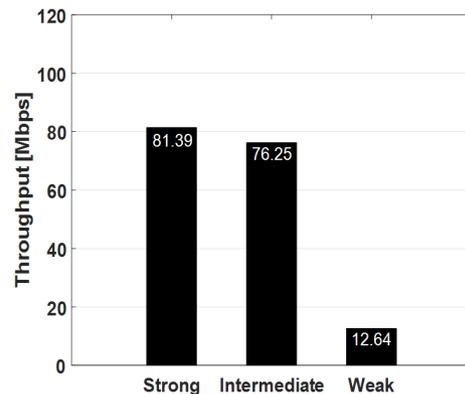


그림 12. 전계 강도에 따른 평균 데이터 전송률 측정 결과
Fig. 12. Measurement results of average throughput according to the field intensity.

률에 있어 50 Mbps 이상의 큰 차이를 보였다. 해당 결과를 바탕으로 SINR과 데이터 전송률의 상관관계를 확인할 수 있었다^[13]. 데이터 전송률은 SINR 값이 커짐에 따라 함께 증가하는 특성을 보이지만, SINR 값이 일정 값에 도달하게 되면 더 이상 증가하지 않고 포화하는 특성을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 LTE, WiFi 및 WAVE 주파수 대역에서 동작하는 차량용 다중대역 2×2 MIMO 안테나를 설계 및 제작하고, 이를 이용하여 수행된 필드테스트 결과를 분석하였다. 필드테스트는 차량 내 안테나의 탑재 위치, 실전과 환경 및 전계 강도를 고려하여 이루어졌다. 제작된 안테나는 탑재 위치 및 지역 환경 특성에 영향을 받지 않고 양호한 성능을 보였다. 전계 강도를 고려하여 필드테스트를 진행한 결과, SINR과 데이터 전송률 사이의 관계를 확인할 수 있었다.

References

[1] M. A. Jensen, J. W. Wallace, "A review of antennas and propagation for MIMO wireless communication," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 52, no. 11, pp. 2810-2824, Nov. 2004.

[2] Y. Yang, Q. Chu, and C. Mao, "Multiband MIMO antenna for GSM, DCS, and LTE indoor applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 15, pp. 1573-1576, Jun. 2016.

[3] B. Mun, C. Jung, M. J. Park, and B. Lee, "A compact frequency-reconfigurable multiband LTE MIMO antenna for laptop applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 1389-1392, Jul. 2014.

[4] S. Shoaib, I. Shoaib, N. Shoaib, X. Chen, and C. G. Parrini, "Design and performance study of a dual-element multiband printed monopole antenna array for MIMO terminals," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 13, pp. 329-332, Feb. 2014.

[5] L. Ekiz, A. Thiel, O. Klemp, and C. F. Mecklenbrauke, "MIMO performance evaluation of automotive qualified

LTE antennas," in *2013 7th European Conference on Antennas and Propagation(EuCAP)*, Gothenburg, Jun. 2013, pp. 1412-1416.

[6] B. Hagerman, K. Werner, and J. Yang, "MIMO performance at 700 MHz: Field trials of LTE with handheld UE," in *2011 IEEE Vehicular Technology Conference (VTC Fall)*, San Francisco, CA, Sep. 2011, pp. 1-5.

[7] T. W. Kang, K. L. Wong, "Simple two-strip monopole with a parasitic shorted strip for internal eight-band LTE/WWAN laptop computer antenna," *Microwave and Optical Technology*, vol. 53, no. 4, pp. 706-712, Apr. 2011.

[8] C. T. Lee, K. L. Wong, "Planar monopole with a coupling feed and an inductive shorting strip for LTE/GSM/UMTS operation in the mobile phone," *IEEE Transaction on Antenna and Propagation*, vol. 58, no. 7, pp. 2479-2483, Jul. 2010.

[9] H. W. Liu, S. Y. Lin, and C. F. Yang, "Compact inverted-F antenna with meander shorting strip for laptop computer WLAN applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 10, pp. 540-543, May 2011.

[10] T. W. Kang, K. L. Wong, L. C. Chou, and M. R. Hsu, "Coupled-fed shorted monopole with a radiating feed structure for eight-band LTE/WWAN operation in the laptop computer," *IEEE Transaction on Antenna and Propagation*, vol. 59, no. 2, pp. 674-679, Feb. 2011.

[11] X. L. Sun, L. Liu, S. W. Cheung, and T. I. Yuk, "Dual-band antenna with compact radiator for 2.4/5.2/5.8 GHz WLAN applications," *IEEE Transaction on Antenna and Propagation*, vol. 60, no. 12, pp. 5924-5931, Dec. 2012.

[12] Z. Liang, H. Jiang, and Y. Long, "Simulation and design of multi-band planar meandered monopole antenna for mobile phone application," in *2012 International Conference on Microwave and Millimeter Wave Technology(ICMMT)*, Shenzhen, 2012, pp. 1-4.

[13] J. Zik, *Maximizing LTE Performance through MIMO Optimization*, Germantown, PCTEL Inc., 2011.

김 승 호 [서울과학기술대학교/석사과정]



2017년 2월: 서울과학기술대학교 전기정보공학과 (공학사)
2017년 3월~현재: 서울과학기술대학교 전기정보공학과 석사과정
[주 관심분야] 전자파 측정, 안테나 설계

정 재 영 [서울과학기술대학교/조교수]



2002년 2월: 연세대학교 전기공학과 (공학사)
2002년 6월~2004년 6월: 모토로라 코리아 연구원
2007년 3월: 미국 Ohio State University 전기 및 컴퓨터공학과 (공학석사)
2010년 6월: 미국 Ohio State University 전기 및 컴퓨터공학과 (공학박사)
2010년 6월~2012년 8월: 삼성전자 책임연구원
2012년 9월~현재: 서울과학기술대학교 전기정보공학과 조교수
[주 관심분야] 전자파 측정, 안테나 설계