

## 단락된 전자기 결합 스텐브를 활용한 광대역 차량용 C-PAD 안테나 설계

### Design of Wideband Automotive C-PAD Antennas Using Shorted Coupling Stubs

이 혁\*\*\* · 최 재 훈\*\*

Hyok Lee\*\*\* · Jea-Hoon Choi\*\*

#### 요 약

본 논문에서는 자동차용 4G/5G 통신을 활용한 IVI(in vehicle infotainment) 무선통신 시스템을 위한 1 Tx, 2 Rx를 갖는 2-port MIMO C-PAD(crush PAD) 안테나를 설계하였다. 개발된 C-PAD 안테나는 단일 2층 PCB위에 2개의 안테나 소자를 마이크로스트립 라인 모노폴 형태로 구성되었다. 1,710~3,500 MHz 광대역을 구현하기 위하여, 기본 모노폴 구조와 단락된 전자기 결합 스텐브를 이용하여 2개의 안테나 소자를 설계하였다. 최종 제작된 C-PAD 안테나는 1,710~3,500 MHz 광대역 구간에서 VSWR 2.1:1 이하이며,  $\theta=60^\circ$ 에서 측정된 이득은  $-2.14 \sim 1.52$  dBi 로 매우 양호한 성능을 갖는다.

#### Abstract

In this study, an automotive two-port MIMO C-PAD antenna with 1 Tx and 2 Rx for 4G/5G IVI wireless communication systems was designed. The C-PAD antenna consisted of two antenna elements using a microstrip line monopole on a two-layer PCB. To implement the wideband characteristics of 1,710 to 3,500 MHz, two antenna elements were designed using a basic monopole structure and a shorted coupling stub. The fabricated C-PAD antenna had a VSWR below 2.1 in the 1,710 to 3,500 MHz range and a measured gain of  $-2.14$  to  $1.52$  dBi at  $\theta=60^\circ$ , thus exhibiting an excellent performance.

Key words: C-PAD Antenna, Automotive Antenna, IVI, Wide-Band Antenna, Coupling Stub

#### I. 서 론

최근 글로벌 자동차 산업은 ICT 무선통신 기술이 융합된 커넥티드카가 미래자동차의 트렌드이며, 다양한 서비스

및 파생 산업이 발전하고 있다. 커넥티드 카는 무선통신 기술을 이용하여, 주행안전성 향상을 위한 V2X(vehicle to everything) 통신과, 운전자 편의를 위한 IVI(in vehicle infotainment) 통신을 포함한다. 국내외 완성차 제조사들

「이 연구는 산업통상자원부 “소재부품기술개발사업(과제번호 20016522)”의 연구비의 지원으로 연구되었음.」

\*한국자동차연구원(Korea Automotive Technology Institute)

\*\*한양대학교 융합전자공학부(Department of Electronic Engineering, Hanyang University)

· Manuscript received February 14, 2022 ; Revised April 17, 2022 ; Accepted April 26, 2022. (ID No. 20220214-002S)

· Corresponding Author: Jea-Hoon Choi (e-mail: choijh@hanyang.ac.kr)

은 다양한 통신방식과 플랫폼을 활용하여 커넥티드카 양 산계획을 발표하고 있으며, 현대자동차도 2022년 이후 전 차종 커넥티드 카로 개발 계획을 선언한바 있다.

국내의 자동차 제조사는 다양한 운전자 편의서비스 및 인포테인먼트 정보 제공을 위하여 3G/4G 통신을 비롯하여 Sub6 주파수 대역을 사용하는 5G 통신을 활용한 IVI 무선통신 시스템(TCU: telematics control unit)을 장착한 커넥티드 카를 개발하고 있다<sup>[4]</sup>.

이와 같이, 자동차에 다양한 무선통신 기술이 적용되고 폭 넓은 주파수가 활용됨에 따라, 차량용 안테나는 기존 루프에 장착되는 샤크프/루프폴 안테나 형태에서, 차량 내부 크러쉬 패드(이하 C-PAD), 도어, 스포일러, 룸미러 등에 다양한 형태로 다수의 안테나가 도입되고 있는 추세이다<sup>[2],[3]</sup>.

그러나, 4G/5G 주파수 대역은 1.7 GHz 이상의 고주파수를 사용함에 따른 경로손실과 고주파 케이블 길이/무게 증가에 따른 문제가 발생한다. 이러한 문제를 최소화하기 위해 TCU와 가장 인접한 C-PAD에 장착되는 안테나 개발이 보편화되고 있다. 그림 1은 TCU와 4G/5G IVI 통신용 MIMO(multi input multi output) 샤크핀 안테나와 C-PAD 안테나의 구조도이다. 본 논문에서는 자동차용 4G/5G를 위한 1,710~3,500 MHz 광대역 1 Tx, 2 Rx를 갖는 2-port MIMO C-PAD 안테나 설계 내용을 기술하였다.

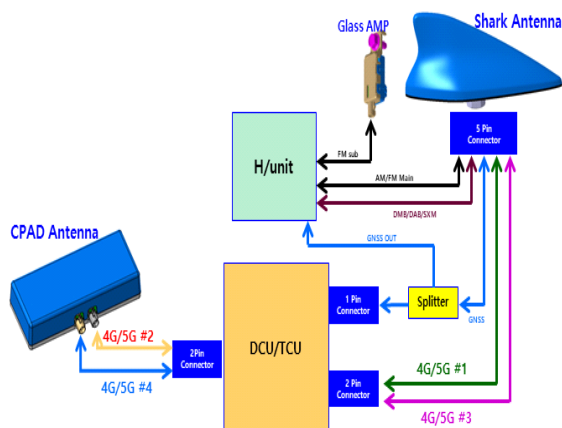


그림 1. 차량 4G/5G IVI 통신용 MIMO 안테나 구조도  
Fig. 1. MIMO antenna structure in automotive 4G/5G IVI system.

## II. 광대역 C-PAD 안테나 설계 및 제작

## 2-1 광대역 C-PAD 안테나 설계 목표

차량용 C-PAD 안테나는 장착 위치와 구조의 제약으로 인하여 낮은 높이의 기구 설계가 필요하여 PCB 패턴을 사용해야 한다. 또한 현재 자동차에 사용되는 4G/5G 통신 대역은 1,710~3,500 MHz로, 이를 광대역으로 구현하기 위한 설계 기술이 필요하다<sup>[4]</sup>.

표 1은 4G/5G C-PAD 안테나의 완성차 제조사 요구사항이자 설계 목표이다. 주파수 대역은 699~960 MHz의 low band, 1,710~2,690 MHz의 mid band, 3,300~3,500 MHz high band를 가지며,  $\theta=60^\circ$ 에서 -3 dBi 이상의 이득, 3.5:1 이하의 VSWR을 만족해야 한다.

그림 2는 광대역 C-PAD 안테나 블록도이다. TCU의 1Tx, 2Rx 포트 구성에 따라, C-PAD 안테나는 Tx/Rx를 동시에 사용되는 ANT2(low, mid, high band)와 Rx 전용으로 사용되는 ANT4(lmid, high band)로 구성된다. 2개의 안테나 소자는 1,710~3,500 MHz(mid, high band) 대역에서 동작하는 광대역으로 구현하였다.

표 1. C-PAD 안테나의 4G/5G 설계 목표  
Table 1. Requirement of wideband C-PAD antenna.

TCU	Frequency	Gain	VSWR
4G	699~960 MHz 1,710~2,170 MHz 2,300~2,400 MHz 2,496~2,690 MHz	-3 dBi (H+V SUM / 60°)	3.5:1
5G	3,300~3,500 GHz	-3 dBi (H+V SUM / 60°)	3.5:1

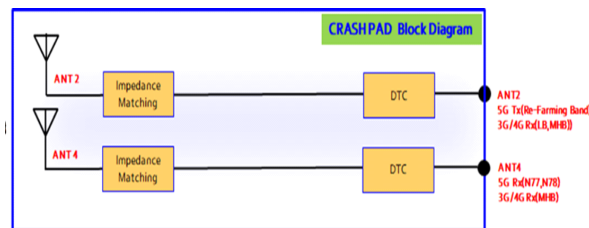


그림 2. 광대역 C-PAD 안테나 블록도  
Fig. 2. Wideband C-PAD antenna block diagram.

## 2-2 광대역 C-PAD 안테나 설계

그림 3은 설계된 2개의 안테나 소자를 갖는 PCB 패턴으로 설계된 C-PAD 안테나이다. 광대역 구현을 위하여 PCB위에 패치 안테나를 3차원 구조로 설계할 경우, 차량 내부의 장착 환경으로 인하여 진동 충격에 문제가 발생한다. 이에, 본 논문에서는 단일 2층 PCB 기판 좌/우로 2개의 안테나 소자(ANT2, ANT4)를 마이크로스트립 모노폴 형태로 설계하였다. 그러나, 2차원 평면 구조로 설계할 경우 광대역 구현이 어렵기 때문에 이를 극복하기 위하여 결합 스테르브를 활용하였다<sup>[5],[6]</sup>. 2개의 안테나 소자 모두 PCB 앞면에 중심 주파수  $f_{c1}(1,710 \text{ MHz})$  대역으로 모노폴 타입의 스트립 선로로 메인 패턴을 설계하여 급전선과 연결하고, 뒷면에는 중심 주파수  $f_{c2}(2,500 \text{ MHz})$  대역으로 접지면과 연결되는 결합 스테르브 형태의 스트립 선로를 설계하여, 양면의 두 소자 간 전자기 결합이 이용될 수 있도록 간격을 조정하여  $1,710 \sim 3,500 \text{ MHz}$  광대역으로 확장하였다. 이때,  $3,000 \text{ MHz}$  이상의 대역은  $f_{c1}$ 의 체배 주파수이다. PCB 오른쪽에 위치하는 ANT2의 경우, 모노폴 소자를 추가하여 low band를 구현하였다. 이때, 저주파 대역 간섭을 최소화하기 위하여 ANT2의 급전 반대쪽 접지영역의 크기를 저주파 모노폴 소자의 끝단과 동일선상으로 줄였다. 또한, 2개의 안테나 소자 간 isolation 특성을 위하여 접지부는 서로 분리되도록 설계하였다.

## 2-3 광대역 C-PAD 안테나 제작 및 광대역 매칭

그림 4는 FR-4 PCB로 제작된 광대역 C-PAD 안테나 최종 샘플이다. PCB 전체 크기는  $12.5 \text{ cm} \times 5 \text{ cm}$ 이며, 급전부는 차량 통신에서 사용되는 파크라 커넥터를 사용하였

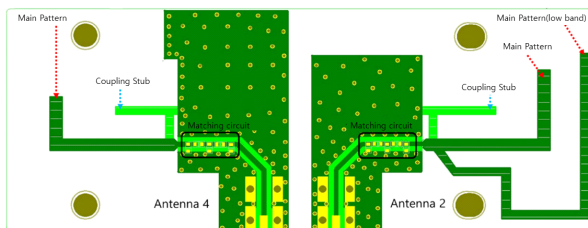
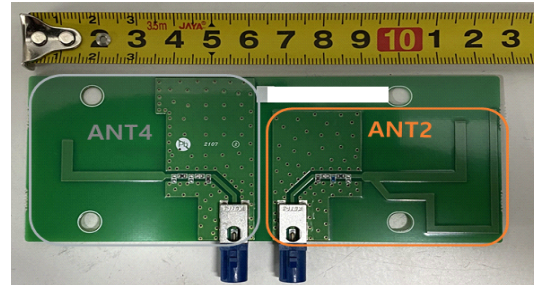
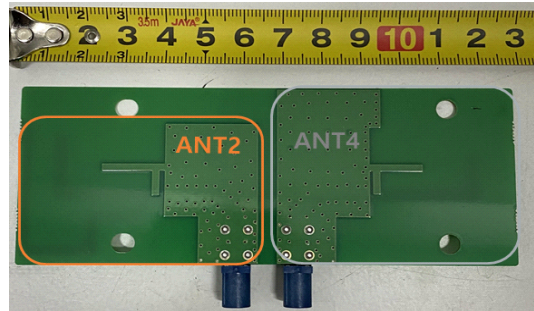


그림 3. 광대역 C-PAD 안테나 설계  
Fig. 3. Design of wideband C-PAD antenna.



(a) 앞면  
(a) Front side



(b) 뒷면  
(b) Back side

그림 4. 광대역 C-PAD 안테나 제작  
Fig. 4. Production of wideband C-PAD antenna.

다. 2층 기판의 앞면에는 급전부, 메인 패턴, 임피던스매칭회로와 커넥터가 위치하며, 뒷면에는 접지와 연결되는 결합 스테르브가 위치한다.

그림 5는 안테나 급전부에 2단 II형태의 임피던스 매칭 회로이다. 단일 PCB위에 스트립 선로를 설계하였기 때문

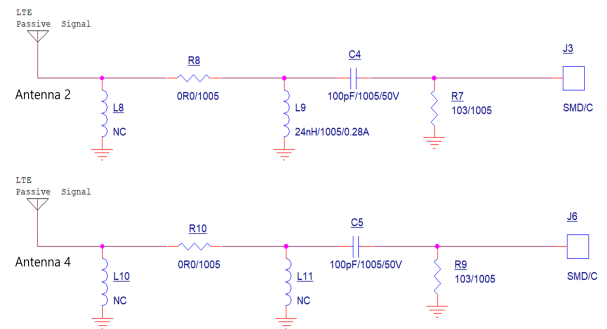
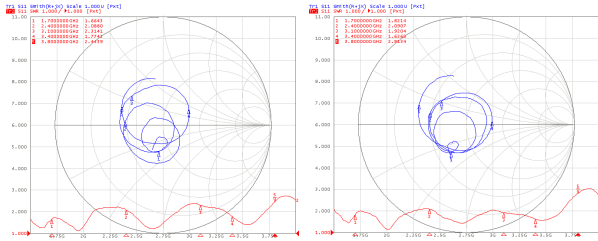
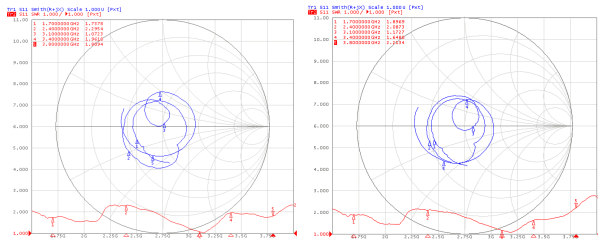


그림 5. 임피던스 매칭 회로  
Fig. 5. Impedance matching circuit.



(a) ANT2의 임피던스 매칭 전(좌) 후(우) 개선 효과  
(a) Before(L) and after(R) impedance matching for ANT2



(b) ANT4의 임피던스 매칭 전(좌) 후(우) 개선 효과  
(b) Before(L) and after(R) impedance matching for ANT4

그림 6. 임피던스 매칭 회로 최적화  
Fig. 6. Optimizing of impedance matching circuit.

에 RLC 소자를 이용하여 광대역 매칭 회로 설계가 용이하다.

그림 6은 최적화된 임피던스 매칭 결과이다. 임피던스 매칭 전에는 1,710~3,500 MHz 광대역 구간 중 일부 대역에서 VSWR 2.3:1 이상의 값을 보이지만, 매칭 후에는 전체 광대역 구간에서 VSWR 2.1:1 이하의 성능을 만족하고 있다. 최종 제작된 임피던스 매칭 회로는 1단  $\Pi$  형태이며, 1005 칩타입 RCL 소자를 사용하였다. ANT2의 경우, 24 nH~100 pF~10 k $\Omega$ 이며, ANT4의 경우 NC 100 pF~10 k $\Omega$ 이다.

### III. 광대역 C-PAD 안테나 성능

#### 3-1 광대역 C-PAD 안테나 VSWR 특성

그림 7은 최종 제작된 C-PAD 안테나의 VSWR 측정 결과이다. 요구 주파수 대역에서 설계 요구 사양인 3.5:1 이하의 특성을 보이고 있으며, 특히 ANT2, ANT4 안테나 소자 2종 모두 1,710~3,500 MHz 광대역 구간에서 1.87:1 이하로 매우 양호한 성능을 갖는다. ANT2의 경우, 699~

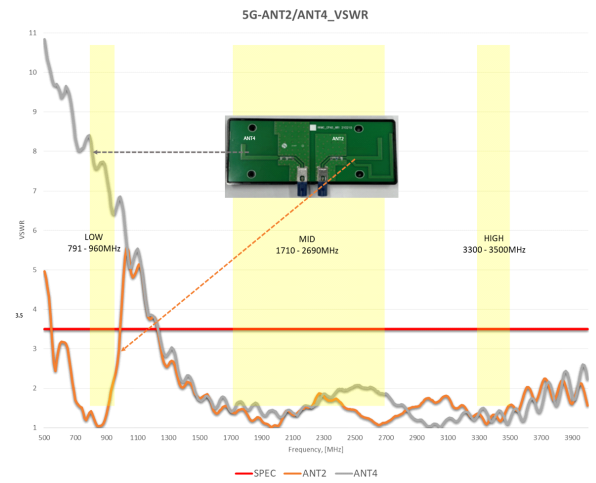


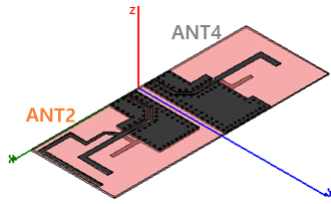
그림 7. VSWR 특성  
Fig. 7. Characteristic of the VSWR.

960 MHz low band에서 3:1 이하의 성능을 갖는다.

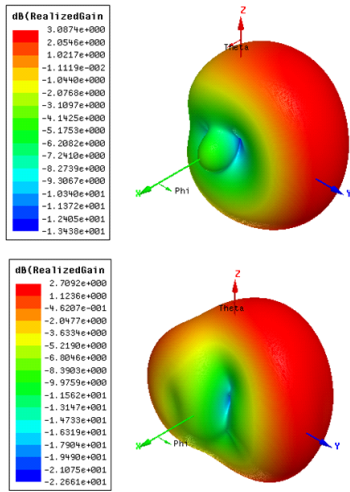
#### 3-2 광대역 C-PAD 안테나 이득 특성

그림 8은 설계된 C-PAD 안테나의 4G 이동통신 대역 중심 주파수인 2.3 GHz와 5G 이동통신 대역 중심주파수 3.4 GHz에서 이득 시뮬레이션 결과이다. Y축이 차량의 정면 방향으로, C-PAD 안테나의 경우 차량의 C-PAD에 장착 위치로 인하여 Y축 방향 이득이 중요하다. 시뮬레이션 결과, 최대 이득은 Y축에서 나타나고 있음을 확인할 수 있다. 또한, 완성차 제조사는 4G/5G 이동통신 대역에서 Z 축( $\theta=0^\circ$ )에서 Y축( $\theta=90^\circ$ )까지 안테나 이득 측정을 요구하지 않는다. 차량의 주행 환경에서 이동통신망과 연결되는 상황은 도로망 중계기 또는 기지국과의 통신이기 때문에, 표 1과 같이 z축을 기준으로  $\theta=60^\circ$ 에서만 -3 dBi 이상의 이득 측정 결과를 요구하고 있다.

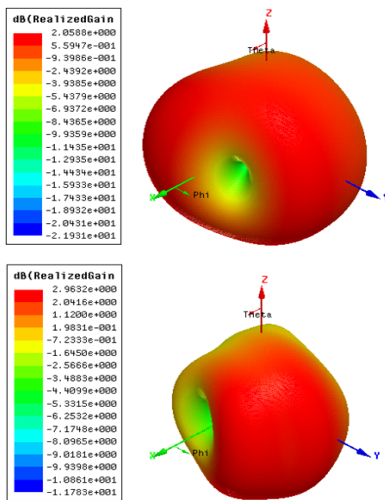
그림 9는 완성차 제조사 요구사항에 따라  $\theta=60^\circ$ 에서 측정된 C-PAD 안테나의 이득 특성과 패턴이다. 2개의 안테나 소자의 측정된 이득은 1,710~3,500 MHz 광대역 구간에서 -2.14~1.52 dBi 매우 양호한 성능을 갖는다. ANT2의 경우, 699~960 MHz low band에서 -3 dBi 이상의 성능을 갖는다. 이는 저주파 파장 대비 공간의 제약 때문이다.



(a) C-PAD 안테나 모델링  
(a) Modeling of C-PAD antenna

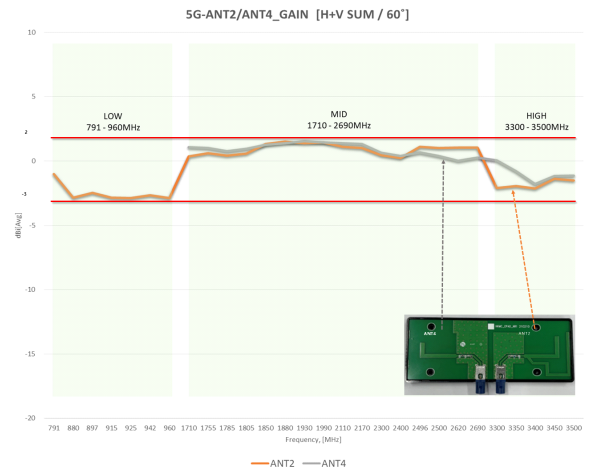


(b) 2.3 GHz(위)와 3.4 GHz(아래)에서 ANT2 시뮬레이션 이득  
(b) Simulated gain of ANT2 at 2.3 GHz(up), 3.4 GHz(down)

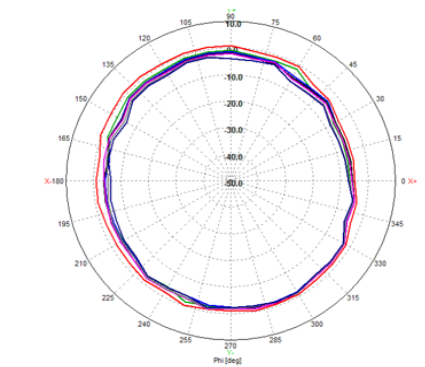


(c) 2.3 GHz(위)와 3.4 GHz(아래)에서 ANT4 시뮬레이션 이득  
(c) Simulated gain of ANT4 at 2.3 GHz(up), 3.4 GHz(down)

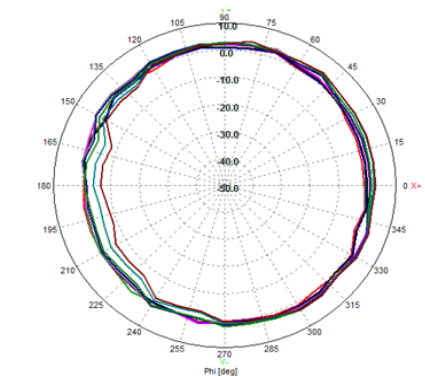
그림 8. 1.8 GHz와 3.4 GHz 대역에서 시뮬레이션 이득  
Fig. 8. Simulated gain at 2.3 GHz & 3.4 GHz.



(a) C-PAD 안테나  $\theta=60^\circ$ 에서 이득 특성 종합  
(a) Measured gain characteristics of C-PAD antenna at  $\theta=60^\circ$



(b) ANT2  $\theta=60^\circ$ 에서 요구 대역 이득 패턴  
(b) Measured gain pattern of ANT2 at  $\theta=60^\circ$



(c) ANT4  $\theta=60^\circ$ 에서 요구 대역 이득 패턴  
(c) Measured gain pattern of ANT4 at  $\theta=60^\circ$

그림 9. 측정된 이득 특성  
Fig. 9. Measured gain characteristics.



#### IV. 결 론

본 논문에서는 차량용 IVI 시스템의 4G/5G 요구사항에 따라 1,710~3,500 MHz 광대역 2-port MIMO C-PAD 안테나를 설계 개발하였다. 설계된 안테나는 결합 스티브를 활용하여 요구 대역을 광대역으로 구현하였으며, 2개의 마이크로스트립 모노폴 형태이다. 최종 제작된 C-PAD 안테나는 1,710~3,500 MHz 광대역 구간에서 VSWR 2.1:1 이하이며,  $\theta=60^\circ$ 에서 측정된 이득은  $-2.14\sim 1.52$  dBi로 매우 양호한 성능을 갖는다. 따라서 본 논문에서 제작된 C-PAD 안테나는 완성차 제조사의 요구사항에 부합되는 특성으로 차량에 장착 적용이 가능할 것으로 예상된다. 향후, 4G/5G 광대역 구현을 위한 결합 스티브를 활용한 마이크로스트립 안테나는 샤크핀 안테나에도 적용하여 개발할 예정이다.

#### References

[1] H. Lee, "Automotive EMC technical trend due to expansion of telematics technology in connected car," *The Proceedings of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 32, no. 1, pp. 17-22, Jan. 2021.

[2] S. B. An, H. S. Chu, "Latest design trend of glass printed antenna," *The Proceedings of The Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 20, no. 6, pp. 17-26, Nov. 2009.

[3] T. H. Yang, S. M. Cho, S. A. Ju, B. C. Yoo, S. H. Lim, and J. K. Hwang, "A study on design of crash pad antenna for wireless access in vehicular environment," *Proceedings of the Korean Institute of Communication Sciences Conference*, Jeju, Jun. 2017, pp. 985-986.

[4] C. M. Su, L. C. Chou, C. I. Lin, and K. L. Wong, "Internal DTV receiving antenna for laptop application," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 44, no. 1, pp. 4-6, Jan. 2005.

[5] S. G. Jeon, K. W. Ryu, and J. H. Choi, "A novel monopole antenna with parallel structure for DVB-H/SDMB applications," *Microwave and Optical Technology Letters*, vol. 50, no. 4, pp. 1054-1056, Apr. 2008.

[6] J. Kim, G. Kim, M. Yang, and W. Seong, "Design of a multi-band and wide-band antenna for a portable broadcasting terminal," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 18, no. 4, pp. 358-363, Apr. 2007.

이 혁 [한국자동차연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-9526-3414>



2001년 2월: 한양대학교 전자통신전파공학과 (공학사)  
2003년 2월: 한양대학교 전파공학과 (공학석사)  
2003년 3월~2008년 8월: LG전자 MC사업본부 선임연구원  
2008년 9월~현재: 한국자동차연구원 책임

연구원

2016년 3월~현재: 한양대학교 전자컴퓨터통신공학과 박사과정

2015년 1월~현재: CISPR/D, ISO TC22 SC32 WG3 전문위원  
[주 관심분야] V2X 통신, RF 능동회로, 차량용 안테나, EMC

최 재 훈 [한양대학교/교수]

<https://orcid.org/0000-0003-0596-7934>



1980년 2월: 한양대학교 전자공학과 (공학사)  
1986년 12월: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학석사)  
1989년 8월: 미국 Ohio State University 전자공학과 (공학박사)  
1989년 9월~1991년 3월: 미국 Arizona

State University 연구교수

1991년 4월~1995년 2월: 한국통신위성사업단 연구팀장

1995년 3월~현재: 한양대학교 융합전자공학부 교수

[주 관심분야] 이동통신/자동차/군용 안테나 설계, WBAN/IoT 시스템, RF 능동회로, EMC