

커플러와 반파장 루프 패턴을 활용한 광대역 샤크핀 안테나 설계

Design of a Wideband Shark-Fin Antenna Using Coupler and Half-Wavelength Loop Pattern

이혁*** · 정원선* · 김재현* · 최재훈**

Hyok Lee*** · Won-Sun Chung* · Jae-Hyun Kim* · Jae-Hoon Choi**

요약

Sub-6 5G 이동통신 대역에서 동작하는 광대역 샤크핀 안테나의 설계 방법을 보인다. 광대역 샤크핀 안테나는 두 개의 안테나 소자로 구성되는 multiple-input-multiple-output 안테나로 구현된다. 4G와 5G 이동통신 대역에서 동작할 수 있도록 커플러와 반파장 루프 패턴을 활용하여 광대역 특성을 구현하였다. 최종 제작된 광대역 샤크핀 안테나는 4G와 5G 이동통신 대역에서 VSWR<3.5:1 특성을 만족하였고, 대역폭 내에서 -1.97 dBi 이상의 평균 이득을 가져 통신용 안테나로 우수한 특성을 보였다.

Abstract

This study proposes a design of a wideband shark-fin antenna that operates in the sub-6 GHz band for 5G communication. A wideband shark-fin antenna is a multiple-input-multiple-output antenna consisting of two antenna elements. For operation in the 4G and 5G operation bands, wideband characteristics were implemented using a coupler and a half-lambda loop pattern. The manufactured wideband shark-fin antenna satisfied the condition VSWR<3.5:1 in the 4G and 5G operating bands. The average gains over the operating bandwidth were greater than -1.97 dBi, indicating that the shark-fin antenna had excellent radiation characteristics.

Key words: Automotive Antenna, IVI, Loop Antenna, Shark-Fin Antenna, Wideband

I. 서론

현대의 차량용 안테나는 전화 기능을 위한 단일 안테나로 시작하여, 다양한 기능의 안테나를 포함한 샤크핀 안테나 형태로 지난 10년간 발전하였다^{[1]~[4]}.

무선통신 기술의 발전함에 따라 자동차 분야에서 4G/5G

이동통신 기술을 활용하기 위한 수요가 높아지고 있으며, 더 높은 성능을 제공하는 이동통신 기술을 활용하여 자율주행 기술과 IVI(in-vehicle infotainment) 등 다양한 서비스 제공을 위해 국내외 자동차 제조사는 Sub-6 대역의 5G 이동통신이 가능한 무선통신 시스템을 개발하고 있다^{[5],[6]}. 모바일 통신을 위한 5G 안테나는 많은 연구가 있었지만,

†이 연구는 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술평가위원회의 지원(No. 20016516, 소재부품기술개발사업)과 2022년도 산업통상자원부의 재원으로 한국산업기술진흥원의 지원(No. P0021508, 산업혁신기반구축사업)을 받아 수행된 연구임.

*한국자동차연구원(Korea Automotive Technology Institute)

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

· Manuscript received November 14, 2022 ; Revised December 15, 2022 ; Accepted March 8, 2023. (ID No. 20221114-011S)

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

차량용 5G 안테나는 자동차의 공간적인 제약으로 인한 설계의 어려움이 따른다. 본 논문에서는 공간적인 제약을 극복하기 위해 4G 이동통신 대역에서 동작하는 안테나에 커플러^{[7],[8]}와 반파장 루프 패턴^[9]을 활용하여 5G 이동통신 대역까지 대역폭을 확장한 1,710~3,500 MHz 광대역 샤크핀 안테나를 설계하는 방법을 보인다.

본 논문의 구성은 다음과 같다. II장에서는 차량용 광대역 샤크핀 안테나의 4G/5G 이동통신 대역 설계 목표와 커플러와 반파장 루프 패턴을 활용한 광대역 설계 방법을 보인다. III장에서는 제작된 광대역 샤크핀 안테나의 측정 결과를 보인다. 마지막으로 IV장에서는 본 논문의 결론을 맺는다.

II. 광대역 샤크핀 안테나 설계

그림 1은 4G/5G 이동통신을 활용한 차량용 IVI 무선통신 시스템의 구성도를 보인다. 4G/5G 이동통신용 MIMO (multi input multi output) 안테나는 샤크핀 안테나와 C-PAD(crush pad) 안테나로 구성되며, 차량용 통신장비 (TCU: telematics control unit)에 연결된다. 샤크핀 안테나에 통합 설계되는 AM(amplitude modulation)/FM(frequency modulation) 라디오 안테나와 DMB(digital multimedia broadcasting)/DAB(digital audio broadcasting) 방송 수신 안테나, 위성 방송(SXM: sirius XM) 수신 안테나는 헤드 유닛 (H/unit: head unit)에 연결되고, GNSS(global navigation sa-

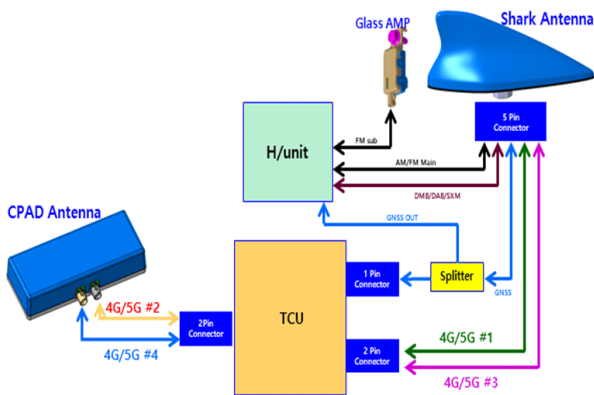


그림 1. 차량 4G/5G IVI 무선통신 시스템 구성도
Fig. 1. Block diagram of a automotive IVI wireless communication system using 4G/5G.

tellite system) 안테나는 분배기를 통해 차량용 통신장비와 헤드 유닛에 연결된다. 또한, FM 라디오의 수신 기능을 보완하기 위한 글라스 안테나가 증폭기(glass amplifier)와 함께 헤드 유닛에 연결된다.

표 1은 광대역 샤크핀 안테나의 설계 목표를 보인다. 설계 목표는 완성차 제조사 요구사항으로 구성하였으며, 주파수 대역은 4G 이동통신을 위한 저대역(699~960 MHz)과 중간대역(1,710~2,690 MHz), 그리고 5G 이동통신을 위한 고대역(3,300~3,500 MHz)으로 구성된다. 광대역 샤크핀 안테나는 차량과 기지국 간의 통신 방향을 고려하여 $\theta=60^\circ$ 와 $0^\circ < \varphi < 360^\circ$ 범위에서 -3.5 dBi 이상의 성능을 가져야 하고, 대역폭 내에서 VSWR은 4:1 이하를 만족해야 한다.

그림 2는 광대역 샤크핀 안테나의 블록도와 구조도를 나타낸다. 광대역 샤크핀 안테나는 Tx와 Rx로 사용하는 안테나 소자 1(ANT 1)과 Rx로 사용하는 안테나 소자 3(ANT 3)으로 구성된다. 각각의 안테나 소자와 입력단 사이에는 임피던스 매칭 회로와 전체 시스템 결합 후 각각의 부품에 대한 고장 진단을 위한 DTC(diagnostic trouble code)가 연결된다. 그림 2(b)는 안테나 소자 1과 3이 공통 PCB 접지면 위에 설계되고, 각각 샤크핀 안테나의 전방과 후방에 위치한 구조를 보인다. 샤크핀 안테나 후방에 위치하는 안테나 소자 1은 4G/5G 이동통신 대역을 모두 지원하도록 설계하였지만, 샤크핀 안테나의 전방에 위치하는 안테나 소자 3은 공간 제약으로 인해 4G 이동통신 대역의 중간대역과 5G 이동통신 대역에서 동작하도록 설계하였다.

그림 3은 안테나 소자 1과 안테나 소자 3의 구조도를 보인다. 그림 3(a)의 안테나 소자 1은 마이크로스트립 모

표 1. 광대역 샤크핀 안테나의 설계 목표
Table 1. Requirement of wideband shark-fin antenna.

Telecommunication		Frequency (MHz)	Gain (dBi)	VSWR
4G	Low	699 ~ 960	> -3.5 ($\theta=60^\circ$)	$< 4:1$
	Mid	1,710 ~ 2,170, 2,300 ~ 2,400, 2,496 ~ 2,690		
5G	High	3,300 ~ 3,500		

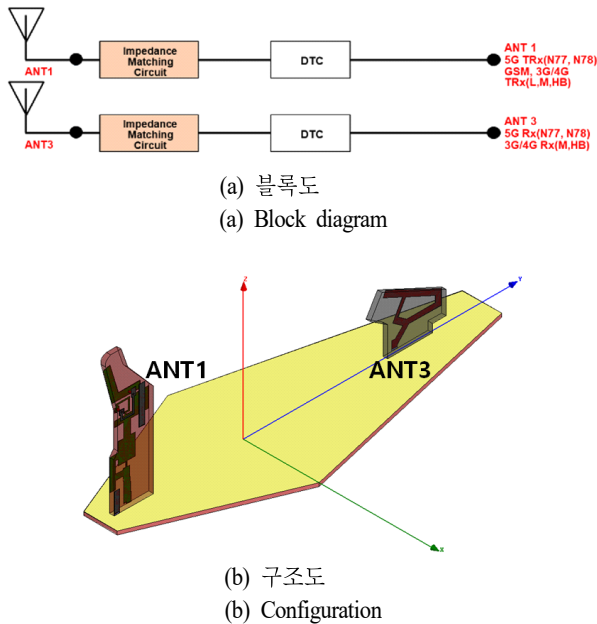


그림 2. 광대역 샤크핀 안테나의 블록도와 구조도
Fig. 2. Block diagram of a wideband shark-fin antenna.

노폴 안테나 구조로 커플러를 활용하여 광대역 특성을 구현하였다. 급전 포트에서 1~1.5 GHz 대역 차단 필터와 비아(via)를 통해 연결된 경로로 저대역 공진을 구현하였고, 1.7~2.2 GHz 커플러, 2.6~3.5 GHz, 3.3 GHz 커플러를 활용하여 중간대역과 고대역을 포함한 1.7~3.5 GHz의 광대역 특성을 구현하였다. 그림 3(b)의 안테나 소자 3은 2.4~3.5 GHz에서 동작하는 반파장 루프 안테나와 1.7~2.2 GHz에서 공진하는 마이크로스트립 라인을 결합하여 1.7~3.5 GHz의 광대역 특성을 구현하였다.

그림 4는 광대역 샤크핀 안테나의 임피던스 매칭 회로를 보인다. PCB 안테나의 공간 제약으로 발생하는 안테나 소자의 임피던스 부정합 특성을 RLC 소자를 이용한 매칭 회로를 사용하여 특성을 개선하였다. 1단 II형태의 임피던스 매칭 회로를 안테나 소자 1과 3에 적용하여 광대역 샤크핀 안테나의 광대역 특성을 구현하였다.

III. 광대역 샤크핀 안테나 특성

그림 5는 안테나 소자 1과 3을 통합한 광대역 샤크핀 안테나의 제작 사진을 보인다. 안테나 소자 1과 3 사이에

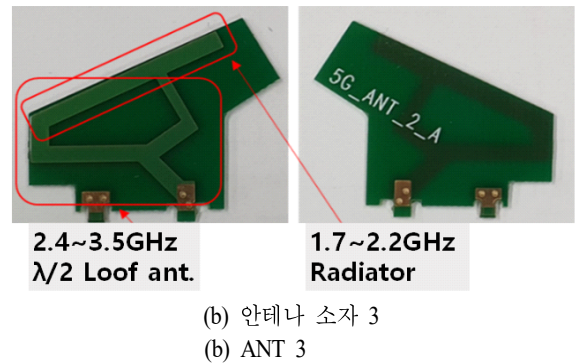
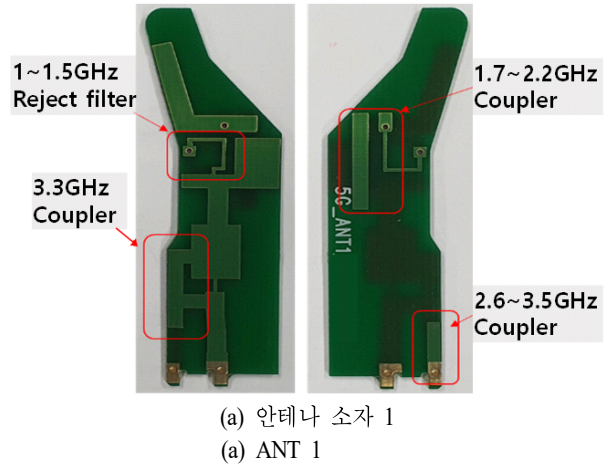


그림 3. 안테나 소자 1과 3의 구조도
Fig. 3. Layout of ANT 1 and ANT 2.

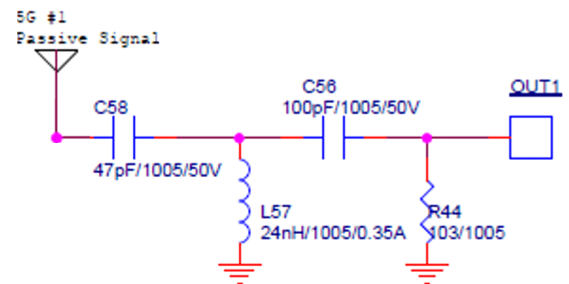


그림 4. 광대역 샤크핀 안테나 임피던스 매칭 회로
Fig. 4. Impedance matching circuits of the wideband shark-fin antenna.

라디오, DAB, GPS 안테나가 통합된 것을 볼 수 있다. 광대역 샤크핀 안테나의 크기는 186 mm(길이)×80 mm(폭)×66 mm(높이)이다.

그림 6은 광대역 샤크핀 안테나의 정재파비 특성을 보

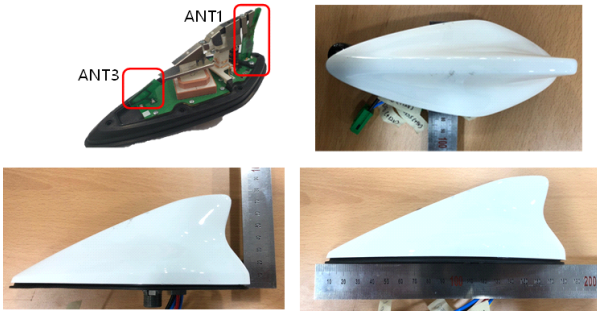


그림 5. 광대역 샤크핀 안테나 제작 사진
Fig. 5. Photograph of the wideband shark-fin antenna.

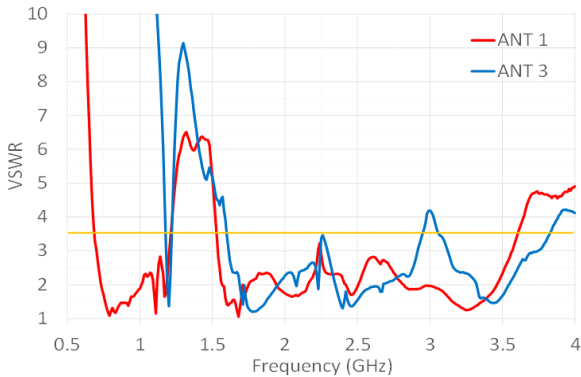


그림 6. 광대역 샤크핀 안테나의 정재파비 특성
Fig. 6. VSWR of the wideband shark-fin antenna.

이다. 안테나 소자 1의 정재파비 특성은 4G/5G 이동통신 대역에서 모두 VSWR이 3.5:1 이하인 것을 볼 수 있으며, 4G 중간대역과 5G 대역의 경우 1.53~3.6 GHz의 광대역 특성이 구현된 것을 볼 수 있다. 안테나 소자 3은 1.6~2.94 GHz와 3.07~3.82 GHz에서 VSWR<3.5:1 특성을 만족하여 4G 중간대역과 5G 대역에서 설계 목표보다 우수한 성능을 만족하는 것을 볼 수 있다.

그림 7은 광대역 샤크핀 안테나의 방사패턴 측정 사진을 보인다. 샤크핀 안테나는 차량 루프 접지면과 반사판으로 활용하기 때문에 측정 과정에 이러한 환경을 반영해야 한다. 따라서 차량 루프를 가정할 수 있는 지름 1 meter의 원형 철판을 이용하여 광대역 샤크핀 안테나의 측정 환경을 구성하였다.

그림 8은 광대역 샤크핀 안테나의 $\theta=60^\circ$ 방사패턴을 보인다. 통신 기지국과의 원활한 통신이 가능한 등방성

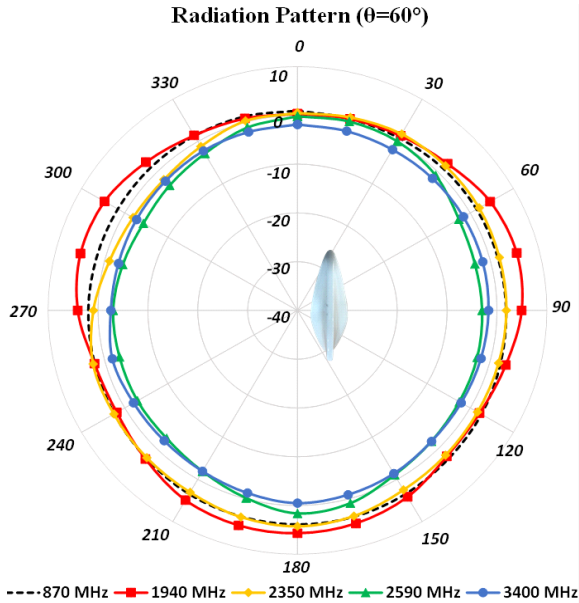


그림 7. 광대역 샤크핀 안테나의 방사패턴 측정 사진
Fig. 7. Measurement setup photograph of the wideband shark-fin antenna.

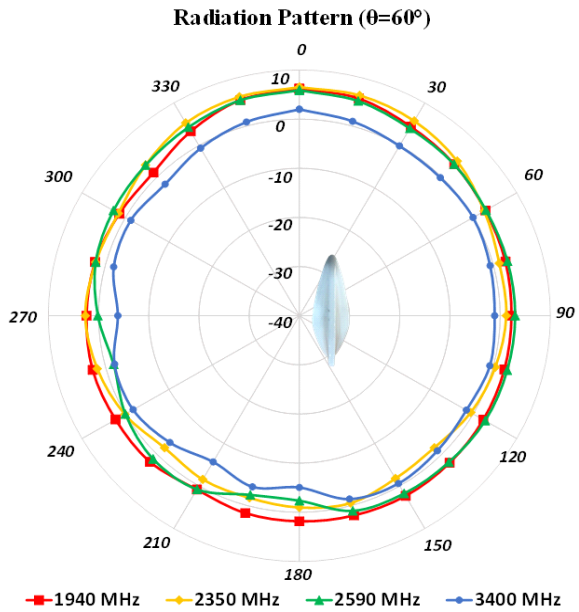
패턴을 가지며, 안테나 위치에 따라 방사패턴이 한쪽으로 조금 더 큰 것을 볼 수 있다. 그림 8(a)의 안테나 소자 1의 방사패턴은 샤크핀 안테나 후방으로 더 크게 나타났고, 그림 8(b)의 안테나 소자 3의 방사패턴은 샤크핀 안테나 전방으로 더 크게 나타났다. 광대역 샤크핀 안테나의 주파수별 평균 이득과 최대 이득을 표 2에 정리하였다. 안테나 소자 1과 3 모두 동작 주파수 대역에서 -3.5 dBi 이상의 설계 목표를 만족하는 것을 볼 수 있다. 동작 주파수 내에서 평균 이득은 안테나 소자 1의 경우 $-1.97\sim 3.26$ dBi, 안테나 소자 3의 경우 $-1.3\sim 2.38$ dBi로 우수한 성능을 보였다.

IV. 결 론

본 논문에서는 4G/5G 이동통신 대역에서 동작하는 광대역 샤크핀 안테나의 설계 방법을 보였다. 커플러와 반파장 루프 패턴을 활용하여 5G 이동통신 대역인 3.5 GHz 까지 대역폭을 확장하였으며, 제작된 광대역 샤크핀 안테나를 측정하여 특성을 살펴보았다. 제작된 광대역 샤크핀 안테나는 설계 목표 대역 내에서 VSWR < 3.5:1의 성능을 만족하였다. 통신 기지국과의 통신을 위한 $\theta=60^\circ$ 에서의 방사패턴은 -1.97 dBi 이상으로 설계 목표인 -3.5 dBi보다 1.5 dB 이상 우수한 특성을 보였다. 본 논문의 광대역 샤크핀 안테나는 기존의 4G 이동통신용 샤크핀 안테나에



(a) 안테나 소자 1
(a) ANT 1



(b) 안테나 소자 3
(b) ANT 3

그림 8. 광대역 샤크핀 안테나의 방사패턴
Fig. 8. Radiation pattern of the wideband shark-fin antenna.

5G 이동통신 대역을 추가한 안테나로 기존 샤크핀 안테나의 외관 변경이 없다는 점에서 외관 변경을 위한 추가

표 2. 광대역 샤크핀 안테나의 방사 특성

Table 2. Radiation characteristics of the wideband Shark-fin antenna.

Frequency (MHz)	ANT 1		ANT 3	
	Average gain (dBi)	Peak gain (dBi)	Average gain (dBi)	Peak gain (dBi)
790	0.57	3.79	-	-
870	2.15	3.9	-	-
960	1.8	4.03	-	-
1,710	1.44	5.53	0.35	4.87
1,940	3.31	5.7	2.75	6.18
2,170	2.86	5.87	2.75	7.64
2,300	2.12	4.2	1.48	5.46
2,400	1.12	4.85	2.35	8.4
2,496	0.39	3.77	1.56	4.65
2,590	-1.89	1.62	2.16	5.89
2,690	-1.94	1.13	1.89	4.73
3,300	-1.88	0.93	-0.95	1.54
3,400	-1.88	-0.68	-1.47	1.98
3,500	-1.97	0.61	-1.77	1.82

개발 비용을 절감할 수 있다.

References

[1] G. Artner, W. Kotterman, G. D. Galdo, and M. A. Hein, "Automotive antenna roof for cooperative connected driving," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 20083-20090, Feb. 2019.

[2] O. Y. Kwon, R. Song, and B. S. Kim, "A fully integrated shark-fin antenna for MIMO-LTE, GPS, WLAN, and WAVE applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 17, no. 4, pp. 600-603, Apr. 2018.

[3] A. Michel, P. Nepa, M. Gallo, I. Moro, A. P. Filisan, and D. Zamberlan, "Printed wideband antenna for LTE-band automotive applications," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 16, pp. 1245-1248, Nov. 2016.

- [4] I. Goncharova, S. Lindenmeier, "Compact satellite antenna module for GPS, Galileo, GLONASS, BeiDou and SDARS in automotive application," *IET Microwaves, Antennas and Propagation*, vol. 12, no. 4, pp. 445-451, Mar. 2018.
- [5] H. Ullah, N. G. Nair, A. Moore, C. Nugent, P. Muschamp, and M. Cuevas, "5G communication: An overview of vehicle-to-everything, drones, and healthcare use-cases," *IEEE Access*, vol. 7, pp. 37251-37268, Mar. 2019.
- [6] H. Lee, J. H. Choi, "Design of wideband automotive C-PAD antenna using shorted coupling stubs," *The Journal of Korean Institute of Electromagnetic Engineering and Science*, vol. 33, no. 4, pp. 253-258, Apr. 2022.
- [7] Z. Zhou, Z. Wei, Z. Tang, and Y. Yin, "Design and analysis of a wideband multiple microstrip dipole antenna with high isolation," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 18, no. 4, pp. 722-726, Feb. 2019.
- [8] K. L. Lau, K. M. Luk, and D. Lin, "A wide-band dual-polarization patch antenna with directional coupler," *IEEE Antennas and Wireless Propagation Letters*, vol. 1, pp. 186-189, 2002.
- [9] G. Pan, Y. Li, Z. Zhang, and Z. Feng, "A compact wideband slot-loop hybrid antenna with a monopole feed," *IEEE Transactions on Antennas and Propagation*, vol. 62, no. 7, pp. 3864-3868, Jul. 2014.
- [10] *Performance and Reliability Requirements of Antenna Unit for Hyundai/Kia Motor Company Vehicle*, ES96270-00 Rev. K. 15, 2022.

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 책임연구원

책임연구원

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

정 원 선 [한국자동차연구원/책임연구원]

<https://orcid.org/0000-0001-8009-7188>



2000년 2월: 아주대학교 기계공학과 (공학사)
 2002년 2월: 아주대학교 기계공학과 (공학석사)
 2012년 2월: 아주대학교 기계공학과 (공학박사)
 2002년 01월~2007년 12월: LG산전 선임연구원

연구원

2021년 1월~2022년 9월: 한국자동차연구원 커넥티드융합센터 센터장

2008년 1월~현재: 한국자동차연구원 책임연구원
 [주 관심분야] 차량 통신 관제, 차량 보안 등

김 재 현 [한국자동차연구원/연구원]

<https://orcid.org/0000-0002-7403-7135>



2012년 2월: 숭실대학교 정보통신전자공학부 (공학사)
2014년 2월: 숭실대학교 전자공학과 (공학석사)
2019년 8월: 숭실대학교 전자공학과 (공학박사)
2020년 6월~2022년 4월: (주)피코젠 책임

연구원

2022년 5월~현재: 한국자동차연구원 연구원

[주 관심분야] 위성 배열 안테나, 마이크로스트립 안테나, 차량용 안테나

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