

# 차량의 자율주행을 위한 레이더 기술

## I. 서론

제조유통 산업과 실생활에서 떼어낼 수 없는 자동차는, 여러 영역에서 많이 사용된다. 차량과 교통량이 증가할 수록 안전(Safety)에 대한 각별한 주의와 대책이 필요하다. 법규적 대책이 있더라도 인간으로서의 운전자는 물리적이고 심리적인 능력상의 한계를 가지고 있어, 날씨에 따른 시계의 변화와 졸음운전 등의 취약한 점을 보완하기 위해, 자동차의 전장기술은 다각도로 발전하고 있다.

올해 CES에는 독일의 자동차 회사 Audi의 최고 경영자가 기조연설을 하기로 되어있다. 이는 자동차도 상용 전자제품의 하나로 보는 시각이 보편화되어 가고 있음을 의미한다. 운전자들은 차량 기기의 반자동 작동은 물론 방송통신 장치를 수 년 전부터 사용해왔으며, 일정 부분의 조작은 차량의 지능화된 기술에 의존하기 시작했다. 똑똑한 차량은 컴퓨터와 통신용 하드웨어의 유기적인 결합 하에서 운전 기능을 자동적으로 보조적으로 수행해야하며,

**심한 강수, 먼지나 야간의 경우에도 원래의 기능을 잃지 않는 전자파 송수신 기반의 레이더 센서가 주목**

실제로 업그레이드 된 OS/알고리즘 등의 소프트웨어 기반의 정보수집과 정보처리 장치와 이들에 연결된 트랜스듀싱 최전방 기능을 하는 센서들을 가진 자율주행 차량의 개발로 나아가고 있다<sup>[1-3]</sup>.

자율주행 기능을 차량에 부과함으로써 달성하려는 목표들은 대체로, 차선 내외의 장애물 인식과 자동크루즈제어(ACC)이다. 이를 위해서는 카메라와 같은 광학 센서나 레이더와 같은 전자파 센서가 필수적이라고 여겨진다. 그런데, 구글이 선보인 스마트 차와 같이 광학 센서를 기반으로 자율주행 실험을 하는 예를 어렵지 않게 볼 수



강 승택  
인천대학교  
정보통신공학과

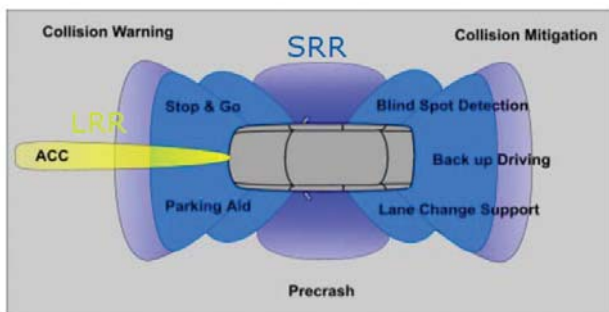
있는데, 어둡거나 강우 또는 안개가 심할 경우, 장애물 인식이 불가능하다는 단점이 발생한다. 따라서 심한 강수, 먼지나 야간의 경우에도 원래의 기능을 잃지 않는 전자파 송수신 기반의 레이더 센서가 주목을 받으며 국외 자동차 개발회사와 전자기술업체를 중심으로 활발히 개발되고 있다<sup>[4]</sup>. 본 문서에서는, 차량 충돌 방지용 레이더에 대한 국내 산업계의 참여촉진과 핵심 기술 확보를 바라는 마음에서, 레이더의 기본동작원리를 간단히 기술하고 선진기술의 특징을 살펴해보도록 한다. 이해를 돕기 위해, 직접 작성한 그림과 발췌된 사진들이 절의 주제에 맞춰 제시될 예정이다.

## II. 차량용 레이더 사용의 목적

### 1. 차량용 레이더의 기능

자율주행 차량에 장착될 레이더를 통해 이뤄지는 기능들은 다음의 그림과 같이 집약적으로 설명될 수 있다.

차량용 전자장치 기술의 선도그룹인 Bosch는 <그림 1>으로써, 차량용 레이더는 자동크루즈제어, 충돌경보, 정지와 진행, 후진주차, 주차 도우미 기능을 수행하는 센서임을 명백히 나타내고 있다. 자율주행이 필요로 하는 기능들인 것이다. 색깔, 위치, 분포영역을 통해 전후방과 측방에서 레이더 시스템이 해야 할 일들이 구별된다. 전방에 있는 먼 거리의 산란체는 노란색의 강도가 세고 폭이 좁은 전자파 빔으로, 근거리 물체는 상대



<그림 1> 차량용 레이더의 활용분야

적으로 약한 세기(파란색과 보라색)이며 넓은 빔을 방사한다. 이에 대한 좀 더 자세한 설명은 다음과 같다.

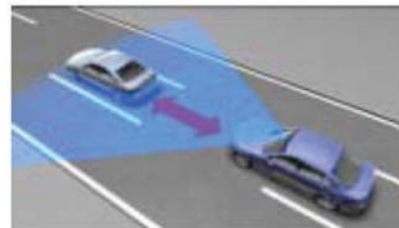
### 2. 거리와 주파수별 분류

탐색거리가 증가하게 되면 전자파 신호의 강도가 급격히 약화되므로, 레이더의 최전선인 안테나는 고이득을 가져야만 한다.

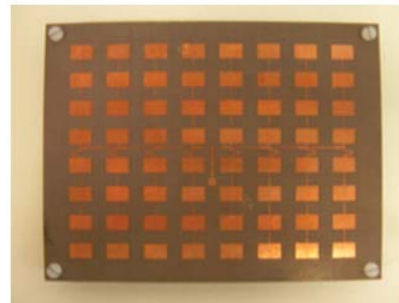
안테나가 고이득 방사특성을 갖기 위해서는, 방사체가 주기적으로 놓인 배열구조 형식을 띄어야한다<sup>[5]</sup>. 그런데, 배열 안테나는

많은 요소 방사체들을 가질 때 레이더의 물리적 크기가 커지므로 외관의 디자인과 장착물의 최소화라는 상업적 목적에 반하게 된다. 따라서 주파수를 높이면 그에 다른 파장이 짧아지고, 요소 각각과 배열 안테나 전체 크기도 줄일 수 있어, 밀리미터파 대역인 77 GHz의 발생장치와 안테나 구조를 앞다퉈 개발하고 있다. 이러한 원거리 레이더(Long range radar, LRR)는 다음과 같은 사양을 가진다.

- 거리 : 150 m - 250 m



(a) 원거리 레이더의 작동



(b) 배열 안테나의 예

<그림 2> 원거리용 레이더와 배열 안테나

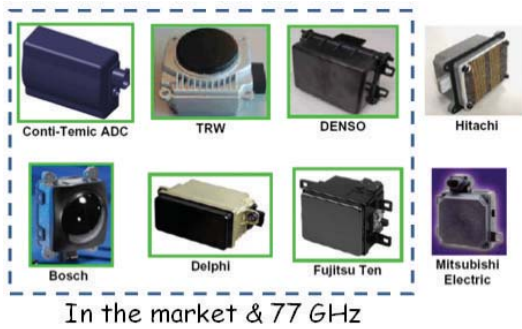
- 차량주행 속도 : 30 km/h - 250 km/h
- 빔폭, 대역폭, 해상도 : 각각 협각, 1 GHz, 0.5 m

반면, 근거리에 위치한 표적까지는 전자파 감쇄가 상대적으로 작아, 물리적 치수를 증가시키면서까지 이득을 높일 필요가 없으므로, 넓은 빔과 24 GHz와 같은 주파수를 주로 사용한다. 따라서 근거리 레이더(Short range radar, SRR)의 특징은 아래와 같은 사양으로 요약가능하다.

- 거리 : 30 m
- 차량주행 속도 : 5 km/h - 150 km/h
- 빔폭, 대역폭, 해상도 : 각각 광각, 5 GHz, 0.1 m

안테나는 레이더의 전자파 방사  
와 수집의 최전방 장치로 앞서 언급한 사양과 요구사항에 맞춰 설계된다. 그런데 레이더는 터미널만이 아닌 하나의 통신 시스템이므로 다루기 까다로운 높은 주파수 에너지를 최소의 왜곡으로 기저대역까지 안전하게

**높은 주파수 에너지를 최소의 왜곡으로 기저대역까지 안전하게 보내고 신호처리하고 계산하는 모든 부분이 성능을 결정**



〈그림 3〉 원거리용 레이더의 예



〈그림 4〉 근거리용 레이더의 예

보내고 신호처리하고 계산하는 모든 부분이 성능을 결정한다. 따라서 레이더의 시스템 블락과 기본 원리를 알아보도록 한다.

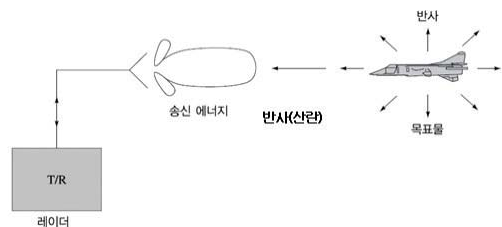
### Ⅲ. 레이더 기술의 기본

레이더는 항공 위성과 지상을 잇는 원거리 무선통신용 안테나의 발전과 함께, 지상의 관측소가 공중의 물체까지의 거리정보를 획득하기 위해 개발되었다. 오랜 기간 동안 활용분야의 확장에 따라 기술은 발전해 왔으며, 움직이는 물체의 속도와 크기와 형상정보를 얻는 수준까지 이르렀다<sup>[6]</sup>.

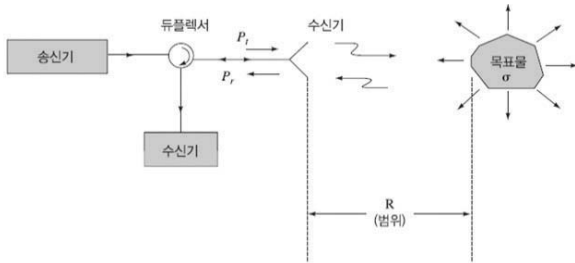
〈그림 5〉와 같이 안테나를 장착한 레이더는 전자파 신호의 송수신이 가능한 시스템이며, 정적이거나 동적인 표적의 거리 정보를 얻기 위해 방사된 전자파의 반사

파를 수신해야한다. 송수신용 안테나를 하나를 쓰는 모노스태틱과, 송신기와 수신기를 분리한 바이스태틱형이 있는데, 〈그림 5〉는 전자에 해당된다. 모노스태틱은 전체 시스템이 하나이지만 내부는 송수신을 분리하는 능력이 우수해야하므로 모듈과 시스템 설계법이 바이스태틱보다 까다로운 편이다. 바이스태틱은 구조가 크지만, 내부 구조의 설계 난이도는 낮다고 할 수 있다. 시스템 내부 구성도를 다루기 전에, 레이더가 어떻게 표적까지의 거리정보를 알아내는데 쓰이는지 살펴보자.

〈그림 7〉의 왼쪽 부분은 〈그림 6〉의 레이더와 안테나 구간을 좀 더 세부적으로 표현하였고, 반사와 전력(수신전력)의 공식과 주요 변수(파라미터)를 담고 있다.



〈그림 5〉 레이더의 기본 기능



〈그림 6〉 레이더 동작 기본 개념도

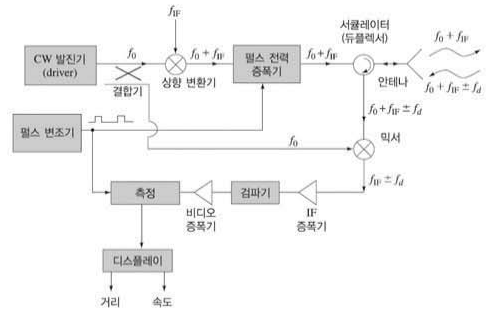
$$P_r = \frac{P_t G_t}{4\pi R^2} \frac{\sigma}{4\pi R^2} \frac{G_r \lambda_0^2}{4\pi}$$

〈그림 7〉 표적까지의 거리정보

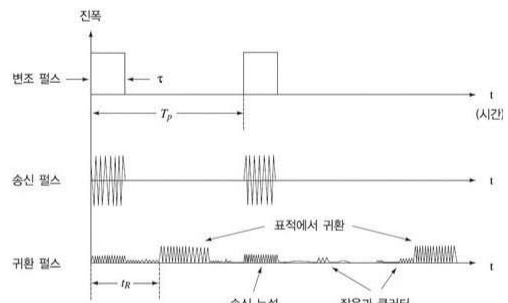
\$G\_t\$, \$P\_t\$, \$G\_r\$, \$P\_r\$, \$R\$, \$\sigma\$, \$\lambda\_0\$는 각각 송신안테나 이득과 전력, 수신안테나 이득과 전력, 거리, 레이더 단면적의 의미이다. 공식에 따르면 수신전력은 송수신 안테나로부터 방사전력과 표적의 크기/형상의 함수인 레이더 단면적과 파장에 비선형 또는 선형적으로 비례하고 거리의 멱에 반비례한다. 이 공식을 통해 거리를 알 수 있다. 물론 \$\sigma\$도 정확히 알 수는 없으나, 예상되는 물체의 종류에 따른 참조용 데이터베이스에 수록되어 있다. 레이더의 신호의 종류와 송수신간의 격리도를 가진 분리 방식 그리고 복조절차에 따라 다음과 같은 대표적인 레이더 시스템 구성도들 볼 수 있다.

〈그림 8〉의 (a)와 (b)는 펄스 레이더의 시스템 구성도와 펄스의 시간적 분포도이다. 뒤에 나올 FMCW와 달리 변조의 기본법에 따라 기본 펄스를 발생시켜 반송파에 실은 뒤 송신경로로 물체가 예상되는 방향으로 전자파를 방사시킨다. 다음 구간까지의 인터벌에 반사펄스가 들어오도록 하여, 시간과 전력으로서 거리계산을 한다. 클러터와 잡음에 의한 펄스를 구별하기 위해 RF 블락의 여파기와 신호처리기법은 중용한 역할을 한다. 물론 혼합기(Mixer)의 잡음지수와 듀플렉서나 써큘레이터와 같은 송수신 격리기의 성능이 레이더 품질을 좌우하므로 각별한 주의를 기울인다. 그런데 〈그림 8(b)〉와 같은 경우는 표적의 속도정보를 얻기가 매우 힘들다. 펄스 레이더는 펄스의 폭과 송수신 구별용 게이팅에 의존하다보니 속도정보를 아는데 제한적이다. 따라

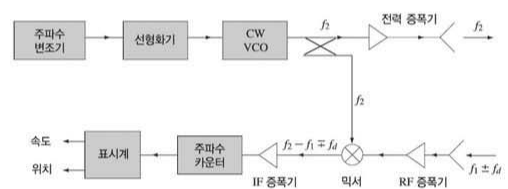
서 거리는 물론 속도까지 계산하기 위해 〈그림 8〉의 (c), (d), (e)와 같이 FMCW 레이더 기술이 제안되었다. 펄스 레이더의 송수신 게이팅의 단점을 피하며, 송수신 주파수를 달리하여 두 경로간 격리도도 높이고,



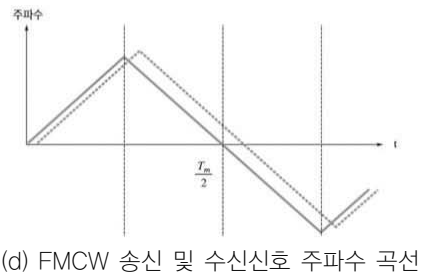
(a) 펄스 레이더 시스템 구성도



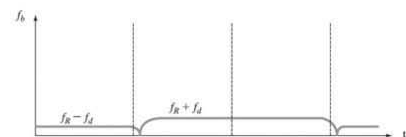
(b) 송신 및 수신 펄스 스킴



(c) FMCW 레이더 시스템 구성도



(d) FMCW 송신 및 수신신호 주파수 곡선



(e) FMCW 송신 및 수신신호 주파수 차이인 비트 주파수

〈그림 8〉 펄스 레이더와 FMCW 레이더의 특성 스케치



도플러 효과를 이용하여 움직이는 물체의 속도까지 알 수 있는 것이 FMCW의 특징이다. 송신 주파수를 시간에 따라 변화시키면 되돌아 온 신호는 시간지연이 있는 상태에서 송신 주파수 곡선을 따라가게 된다. <그림 8(d)>에서 확인이 되며, <그림 8(c)>에서는 주파수 변조기와 선형화기가 시간에 따른 주파수 변화를 발생시킨다. 송신과 수신에 같은 혼합기를 연결하여 돌아온 신호를 중간주파수로 낮추면 도플러 주파수의 정보가 얻어진다. 따라서 <그림 8(e)>와 같은 송수신 차이 주파수 즉 비트 주파수의 증감을 통해 이동하는 물체의 속도와 접근 방향 정보를 획득하게 된다. 이보다 더 다양한 레이더 시스템 구성도가 존재한다. 그러나, 위의 두 가지들로 크게 묶을 수 있으며, 변복조 방식과 아날로그/디지털 간의 변환법과 비용에 따라 세분화된다.

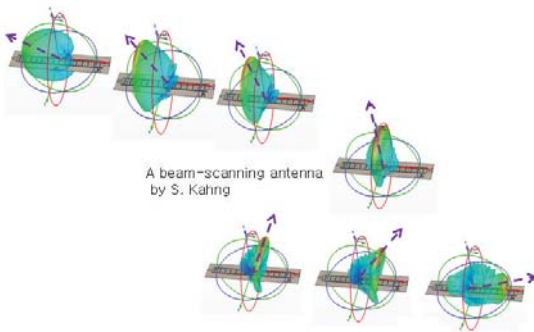
또한 이런 레이더 기술은 차량에 적용이 가능하며 운행과 안전화 목표에 따른 전기적 성능을 만족하기 위해 각기 다른 모습으로 태어나는 것이다. 제품마다 차이를 만드는 요소설계들이 다양한데, 핵심부품들인 안테나와 송수신 경로분리를 위한 듀플렉서, 여파기 묶음(Filter bank) 기술은 본 연구진이 설계하여 얻은 구조나 데이터로 특징을 가늠할 수 있다<sup>[7-11]</sup>.

이외의 능동소자와 신호처리부, ADC는 다음 기회에 다룰 계획이다. 마지막으로 현재 시제품 또는 상용 품으로 나와 있는 차량용 레이더를 살펴보자.

#### IV. 최신 차량용 레이더 기술의 동향

최근의 자동차용 레이더는 군용이 추구하는 기술발전의 방향과 거의 같다.

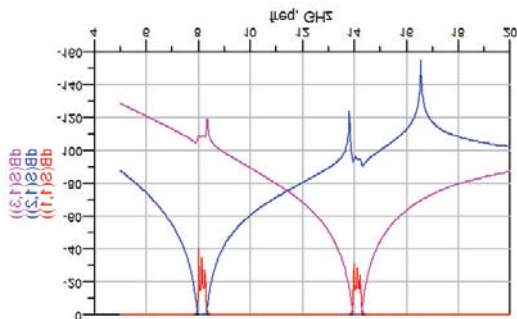
Infineon과 함께 Robert Bosch는 몇 세대의 레이더 제품을 선보여 왔으며 <그림 10(a)>에서처럼 독일산 차량에 사용되고 있다. 안테나 기술을 보면 장착과 대량 생산에 용이하도록 <그림 10(b)>의 마이크로스트립 구조가 사용되고 있다. 그러나 초고주파 대역에서 복잡한 전력 분배기 상의 유전체 및 금속선로 손실문제가 심각하여 <그림 10(c)>와 같은 혼 안테나로 대체되는 경우도 간혹 있으나 부피가 커서 <그림 10(d)>와 같이 소규모의 배열 안테나를 공간전달을 통해 렌즈로 연결되는 구조를 사용하기도 한다. 단, 렌즈가공비가 높아 세 가지 방안 사이에서 시스템 성능과 제품개발비용에 맞게 선택하는 경우가 많다. 그 대안으로 <그림 9(a)>의 본 연구진 추구하는 전력 분배기가 없는 평면 적층형 고이득 안테나가 개발되고 있기도 하다. 지금까지는 레이더의 최전방인 안테나 측면의 얘기였다면, 시스템 운용의 최신 접근법에 대해 살펴보자. 레이더의 안테나 방사지점에 대해, 고정 스폿 빔도 여전히 강세다. 그러나 물체추적의 범위를 넓혀 전방/측방의 안테나들을 통합할 수 있으며, 적응성을 높이기 위해 <그림 9(a)>빔스캐닝 안테나가 선호된다. 그러나 개발비가 높고 전력 소모량이 적지 않은 것이 단점일 수 있다. 그러나, 기저부 및 위상 천이부 블록의 칩 화에 성공한 사례들이



(a) 고이득, 빔 조향 소형 안테나



(b) 초고주파 송수신 분리용 듀플렉서

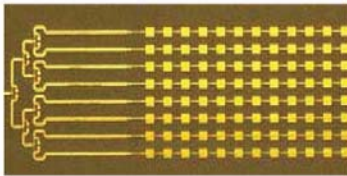


(c) 다중채널용 여파기 묶음 특성

<그림 9> 레이더의 핵심인 안테나, 듀플렉서, 여파기 묶음



(a) Robert Bosch의 레이더의 차량 장착



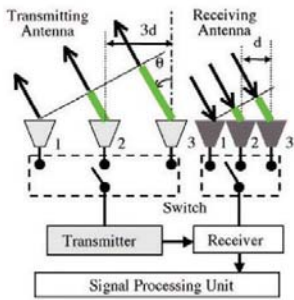
(b) 마이크로스트립 배열 안테나



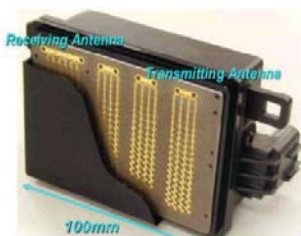
(c) 혼 안테나



(d) 렌즈 안테나(아래에 소규모 배열 안테나 배치)



(e) 디지털 빔 포밍 레이더 시스템 블록도



(f) Toyota CRDL DBF sensor(77GHz)  
 <그림 10> 최신 레이더 기술의 예

발표되면서 <그림 10(e)>와 <그림 10(f)>와 같은 디지털 빔 포밍(DBF) 레이더들이 주목을 받고 있다. 독일, 프랑스, 일본, 미국의 차량 회사들이 DBF 레이더 제품을 개발하여 시장을 공략하기 시작하여, 국내에서도 적극적인 대응이 절실하다.

## V. 결 언

지금까지 자동차의 자율주행을 위한 요소인 레이더 기술의 현주소와 기본기술에 대해 살펴보았다. 군용탐지기술이 안전을 추구하는 차량산업에 적용되고 있으며, 전파공학, 전자공학, 재료 및 가공 기술, 기계 공학, 소프트웨어 기술이 모두 만나는 지점에 차량용 레이더가 있다고 해도 과언이 아니다. 국외 그룹은 발빠르게 기술을 이끌고 있고 산업적 파급력도 커 보이는 이때, 국내업체는 즉각 능동적으로 기술개발을 수행하고 제품화해야 하는 것을 강조하며 글을 맺고자 한다.

## 참 고 문 헌

- [1] G. Kuhnle, H. Mayer, H. Olbrich et al, "Low-Cost Long-Range Radar for Future Driver Assistance Systems," Auto Technology, vol. 4/2003, pp. 2-5, 2003.
- [2] M. Schneider, V. Groß et al, "Automotive 24 GHz Short Range Radar Sensors with Smart Antennas," German Radar Symposium 2002, Bonn, September 2002.
- [3] R. O. Schmidt, "Multiple emitter location and signal parameter estimation", Proc. RADC Spectrum Estimation Workshop, RADC-TR-79-63, Rome Air Development Center, Rome, NY, Oct. 1979, p. 243 (reprinted in IEEE Trans. Antennas Propag., vol. AP-34, pp. 276-280, 1986).

- [4] Rolland Minihold, "Introduction to Radar System and Component Tests," <http://www.rohde-schwarz.cz>, Rohde-Schwarz, 2012, Germany.
- [5] Antenna Theory: Analysis and Design, 3rd Edition, Constantine A. Balanis, 2005, Wiley, New Jersey, USA.
- [6] Radar Handbook, Third Edition, Merrill Skolnik, McGraw-Hill, 2008, USA.
- [7] Sungtek Kahng, Kyungseok Kahng, Seongryong Yoo, Jeongho Ju, "Circular polarization metamaterial superstrates excited by a CRLH antenna," The Institute of Electronics, Information and Communication Engineers (IEICE), Technical Committee on Antennas and Propagation (AP) 2012, 9 Jan. 2012, Okinawa.
- [8] Dajeong Eom(Supervised by Sungtek Kahng), "Miniaturization of Dual-band Beamforming Antenna Feeds using the Metamaterial Resonators and Phase-Shift Lines," Master Thesis, University of Incheon, 2013. 2.
- [9] S. Kahng, "Low-profile metamaterial antennas with high directive electromagnetic radiation," (invited) 3rd Korea-Japan Metamaterials Forum, June, 2013.
- [10] S. Kahng, K. Kahng, D. Eom, B. Lee, S.-G. Mok, and J. Ju, "Design of a 2D Leaky-Wave Inspired Low-Profile Antenna with High Directivity," Asia-Pacific Engineering Research Forum on Microwaves and Electromagnetic Theory 2012 Proceedings, October, 2012.
- [11] Sungtek Kahng, Kyungseok Kahng, Inkyu Yang, Jinil Lee, Hosub Lee "Metamaterial-Based Planar Waveguide Filters and Components for Light-Weight Multi-Channel Vehicular Transceivers," 2013 Asia-Pacific Microwave Conference, November 7, 2013.



**강 승택**

2000년 2월 한양대 전자통신공학(박사)  
 2000년 3월~2004년 2월  
 ETRI, 통신방송위성개발센터, 선임연구원  
 (무궁화 5호, 천리안 1호)  
 2004년 3월~현재  
 인천대학교 정보통신공학과 교수(위성/국방  
 /항공/차량 무선통신 시스템)  
 2007년 3월~현재  
 송도 국방 벤처 자문교수, 한국전자파 학회  
 이사  
 2007년 3월~현재  
 한국통신학회 마이크로파 및 전파전파 연구  
 회 위원-간사-위원장  
 2009년 3월~2011년 2월  
 (주)에이스테크놀로지 자문교수  
 2012년 3월~현재  
 대한전자공학회 자동차 전자 연구회 위원.  
 2012년 3월~현재 (주)이너트론 자문교수  
 2013년 8월~현재 국립전파연구원 미래전파기술  
 그린/에코 분과 위원장

〈관심분야〉

레이더 및 무선통신 시스템/부품 초소형/고효율화 설  
 계, 메타물질구조, 위성/군용/차량/항공용 안테나 시  
 스템 개발