자율주행차 전파 기술

김 창 주

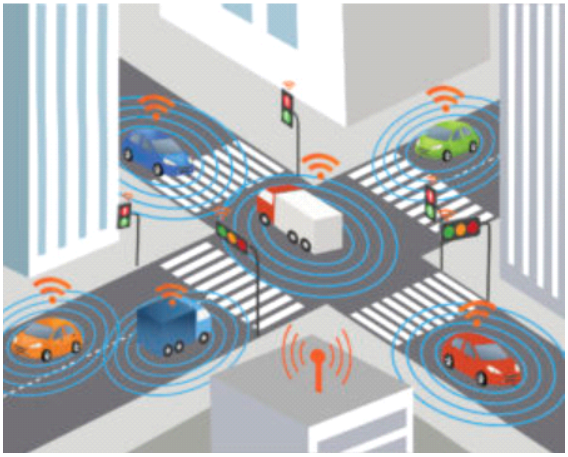
한국전자통신연구원

Ⅰ. 자율주행차 개요

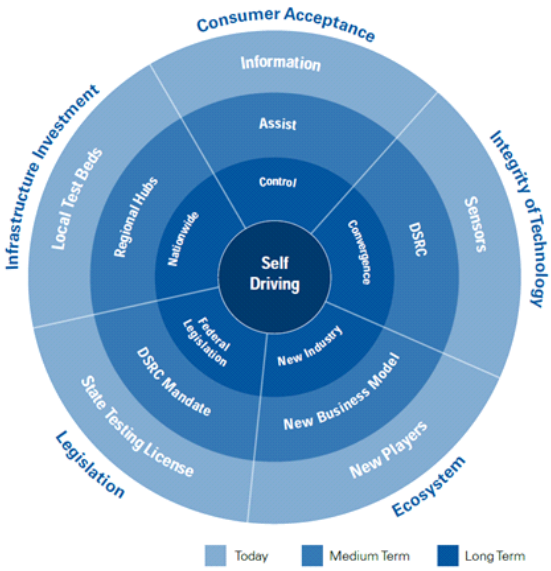
자율주행차란 센싱장치나 ITS(Intelligent Transportation System) 통신을 이용하여 차량의 주행 환경에 대한 정보를 수집하고, 이를 토대로 상황을 스스로 판단하고, 운전하는 자동차를 말한다. ICT와 전통 자동차 산업의 융합기술인 자율주행차는 물리 공간과 사이버 공간을 유기적으로 결합하여 지능정보처리를 수행한 결과를 토대로 물리공간을 제어하는 CPS(Cyber-Physical System) 개념에 가장 잘 어울리는 산업이기 때문에 4차 산업혁명의 대표적인 사례로 꼽힌다.

[그림 1]에 나타낸 바와 같이 자율주행차는 레이다나 LiDAR(Light Detection and Ranging) 등의 다양한 센서를 이용하여 주행하고 있는 도로의 주변 환경에 대한 정보를 수집하고, ITS 통신을 통하여 차량 간 정보공유는 물론 실시간 교통정보와 정밀지도 등의 정보를 받아서 지능정보처리를 수행하여 주변 상황을 인지하고, 이를 토대로 주행에 대한 판단과 자동차를 지속적으로 제어함으로써 운전자 없이 스스로 자동차를 운행한다. 교차로를 통과하는 경우에는 신호등(traffic light) 정보와 주변 도로의 트래픽 정보를 ITS 시스템을 통하여 수신하여 차량을 정지할 것인지? 아니면 통과할 것인지를 판단한다. 차선을 변경하는 경우에는 옆 차선에 다른 차량이 있는지? 후방에서 달려오는 차량의 속도에 따라 차선을 변경해도 되는지? 등을 모두 판단해서 제어해야 하고, 도로 주행 중에도 도로의 여건과 차량의 속도에 따라 앞 차와의 간격을 얼마로 유지할 것인가를 결정하고 운행한다.

이러한 자율주행의 요건이 충족되려면 먼저 [그림 2]에 도시한 바와 같이 ITS 스펙트럼을 이용하여 ITS 인프라를 전국적으로 구축하고, 차량에도 단말기(OBU: On Board Unit)가 설치되어야 한다. 둘째로 구글 등 대부분의 자율주행차가 LiDAR와 RADAR(RAdio Detection and Ranging) 등의 센서와 정밀지도에 의존하고 있는데, ITS 시스템과 융합해야 한다. 이와 같이 자율주행차는 ITS와 다양한 센서에 의한 정보수집, 지능정보처리, 그리고 차량의 제어가 하나로 융합된 시스템으로 탄생해야 한다.



[그림 1] 자율주행차의 주행 환경[1]



[그림 2] 자율주행차의 실용화 조건[2]

셋째, 자율주행과 관련된 법적인 책임소재, 즉 제조사, 인프라, 차량 소유자 등의 책임 범위가 명확히 규정되어야 하고, 자율주행차 산업의 생태계가 조성되어야 한다. 끝으로 소비자가 안심하고 이용할 수 있도록 안전시험을 철저히 거쳐서 사고 없는 안전한 자율주행차가 출시되어야 비로소 자율주행 시대가 열릴 것이다[2].

본고에서는 서론에 이어 제2장에서 ITS 통신 및 이를 위한 인프라를 소개하고, 제3장에서는 자율주행차를 위한 다양한 센서를 소개한다. 제4장에서는 자율주행을 위한 주파수 정책을 기술하고 제5장에서 결론을 맺는다.

Ⅱ. ITS 통신 및 Infrastructure

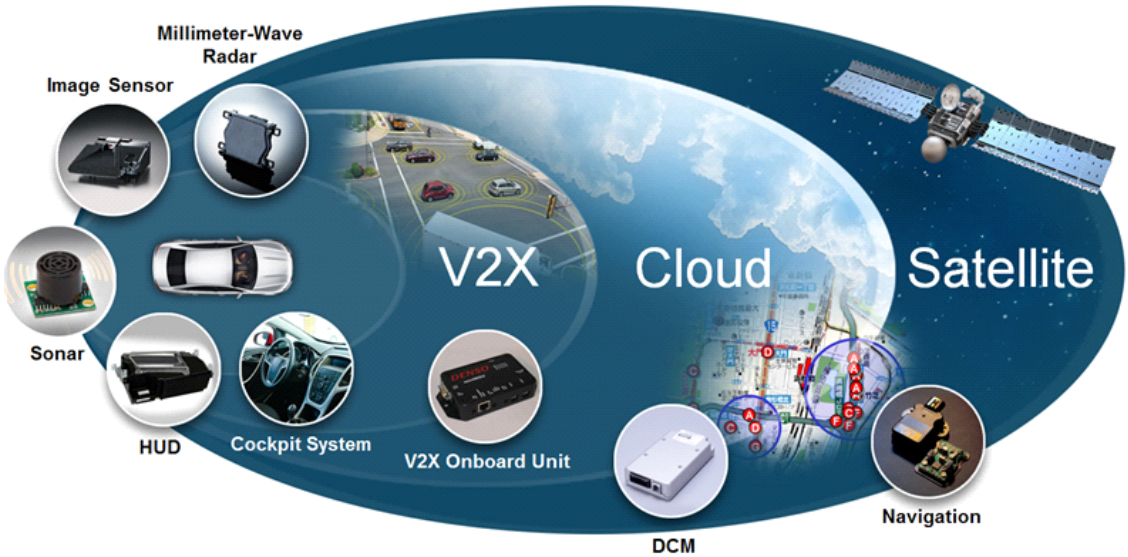
자율주행차가 실용화되기 위해서는 [그림 3]에 도시한 바와 같이 수백 미터 이내의 주변 환경을 센싱하는 차량 센서, 1 km 이내에서 동작하는 V2X통신(Vehicle-to-Vehicle 및 Vehicle-to-Infrastructure), 전국적인 ITS infrastructure, 위치정보, 그리고 수 km 이내의 정밀지도 및 상황 정보가 필요하다[3]. 자율주행차는 이러한 정보를 활용하여 상황을 판단하고, 경로를 설정하여 자동으로 차량을 제어하면서 운행을 하여야 한다. 〈표 1〉은 이러한 내용을 토대로 자율주행차의 핵심기술을 ITS 기반시설(인프라), V2X 통신, 레이다 등의 다양한 센서, 정밀지도 구축 및 위치 측정, 지능정보 처리를 통한 상황인지 및 판단, 그리고 차량의 제어로 정리한 표이다[4].

〈표 1〉 자율주행차 핵심기술[4]

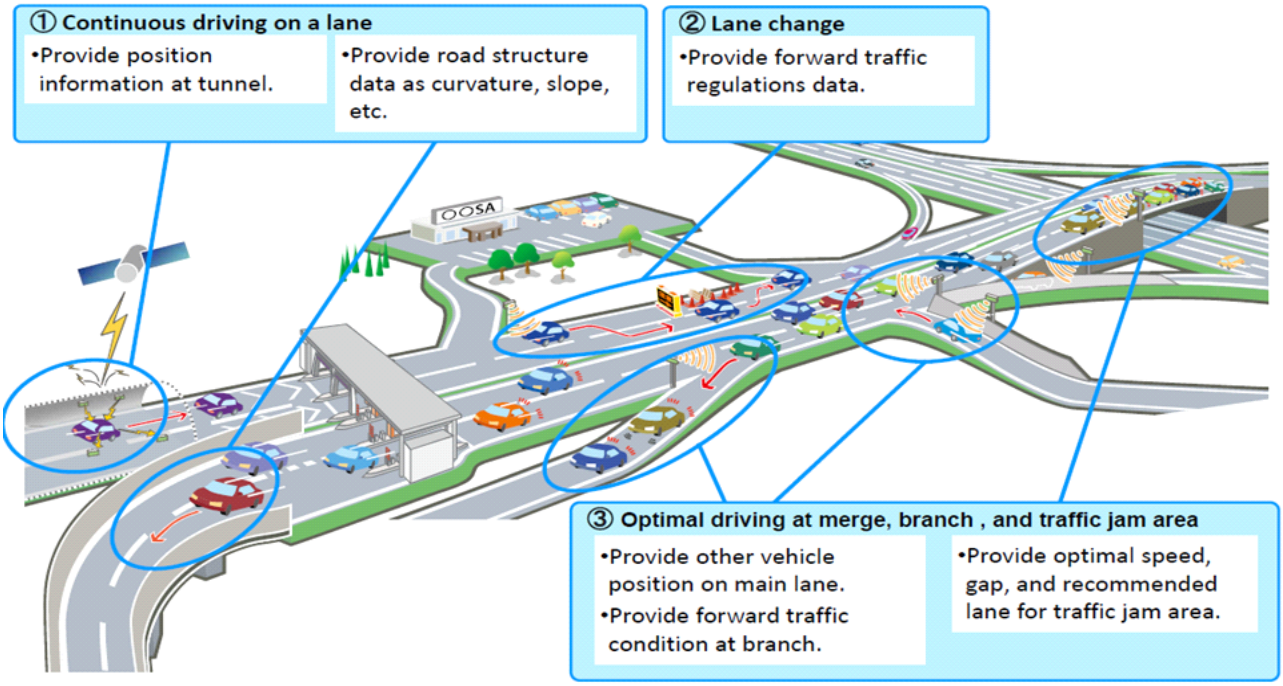
핵심기술	내용
ITS 통신 Infrastructure	· 수집된 정보를 전달하는 기반 망
V2X통신	· 차량과 차량, 차량과 인프라 & 사람과의 통신
센서 및 센서 통신	· 차량 주변상황 : 레이다, 라이다, 카메라 등 · 각종 센서 정보의 통신 및 지능 S/W와 연계
지능 S/W & 응용 서비스	· 주변 상황인식, 자율주행 판단 및 대응 경로 생성
차량 제어	· 차량에 장착된 각종 전자제어장치
정밀지도 구축 및 위치 측정	· GPS 기반으로 오차범위 30 cm~1 m 이내 위치정보 신뢰도 확보 및 실시간 정밀지도 등 각종 인프라 설비 및 데이터베이스 구축

2-1 ITS Infrastructure

ITS 기반시설 구축 및 V2X 통신기술 개발은 [그림 4]에 도시한 바와 같이 전국적인 기반시설을 구축하고, 교통신호체계와 연동하여 교차로에서 안전하고 원활한 교통이 이루



[그림 3] 자율주행을 위한 시스템 구성 요소[3]



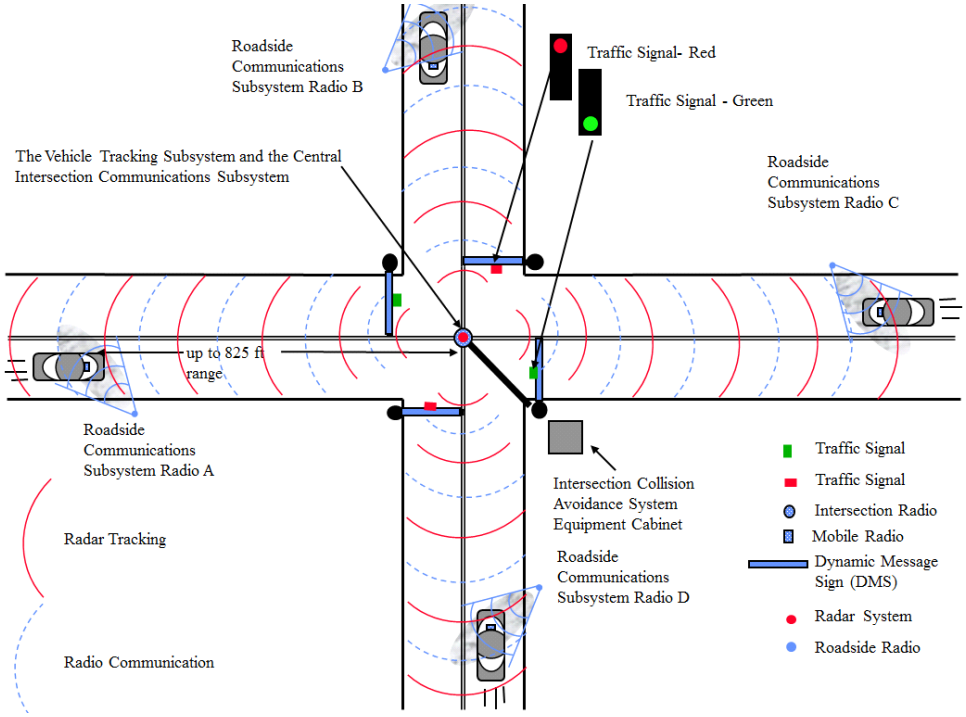
[그림 4] ITS infrastructure 사례[5]

어지도록 하는 한편, V2X 통신을 이용하여 다양한 주행정보를 제공하여 차량이 스스로 상황을 인지 및 판단하고, 차량을 자동으로 제어할 수 있도록 하여야 한다[5]. [그림 5]에 나타낸 바와 같이 차량이 교차로에 접근하면 ITS 인프라가 교차로의 정보, 즉 신호의 상태를 미리 알려주어 차량이 통과할 것인지 아니면 정차해야 하는지를 결정할 수 있어야 한다. ITS 기반시설에서는 [그림 4]에 보인 바와 같이 GPS 신호를 수신하기 어려운 환경에서는 차량이 IMU(Inertial Measurement Unit) 등을 활용하여 추측항법(dead reckoning)을 하는 방법도 좋으나, 보다 안전한 운행을 위하여 GPS 신호를 대체하는 시설, 즉 ITS infrastructure를 터널 등에서도 잘 구축하여 위치정보를 산출할 수 있는 기술을 추가하는 것이 더욱 안전할 것이다. 또한 차선이 합류하는 경우, 진행방향의 차에 방해를 주지 않고 안전하게 진입할 수 있도록 인프라가 구축되어야 한다. 차선을 변경하는 경우, 옆 차선의 차량속도에 따라 안전하게 차선을 변경하는 기술이 개발되어야 하고, 도로에 차량이 정체되는 등의 다양한 교통정보를 제공할 수 있도록 기반시설을 구축하여야 한다.

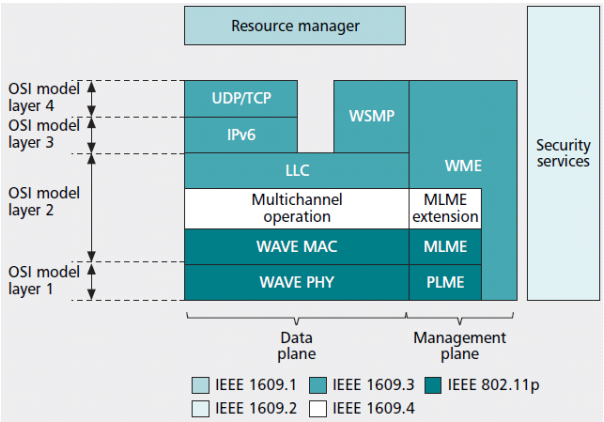
2-2 IEEE 802.11p V2X 통신기술

IEEE WAVE(Wireless Access in Vehicular Environments) 표준은 OSI(Open System Interconnection) 모델의 계층 구조를 따르되, OSI 계층 1(물리계층)에서부터 계층 4인 TCP (Transmission Control Protocol)과 UDP(User Datagram Protocol) 모델까지 규정하고 계층 5 이상은 규정하지 않는다. [그림 6]에 보인 바와 같이 PHY(Physical) 및 MAC(Medium Access Control) 프로토콜은 IEEE 802.11p 규격을 따르고, 다채널 운용에 관한 규격은 IEEE 1609.4 규정을, 그리고 network 및 transport 규격은 IEEE 1609.3의 규격을 따른다. 한편 자원관리와 보안 규격은 OSI 모델에는 없지만, WAVE 서비스를 위하여 IEEE 1609.1과 IEEE 1609.2의 규격을 별도로 규정하여 사용한다[7].

자율주행차의 WAVE와 Wi-Fi의 큰 차이점은 서비스 커버리지(coverage)와 이동속도이다. Wi-Fi가 약 100 mm 이내에서 서비스를 제공하는 반면에 자율주행차는 1 km 정도의 서비스 커버리지를 가져야 한다. 이동속도는 Wi-Fi가 portable 수준인 반면에 자율주행차는 최대 200 km/h의 속



[그림 5] 교차로 교통체계와 V2X 통신[6]



[그림 6] IEEE WAVE 프로코콜 및 관련 규격[7]

도를 가정해야 한다. 따라서 이러한 차이점을 해결할 수 있도록 규격이 제정되어야 한다. 먼저 서비스 커버리지 문제를 다루어 보자. Wi-Fi 계열의 OFDM(Orthogonal Frequency Division Multiplexing) 전송방식은 서비스 커버리지에 따른 다중반사파 페이딩을 OFDM 구조의 guard time으로 해결한다. 따라서 100 mm의 서비스 영역에서 동작하도록 설계된 guard time을 1 km까지 확장해야 한다. 통상 1 km의 서비스를 제공하는 경우에 average multi-path delay spread가 400 ns라는 자료가 발표되었다[8],[9]. 따라서 802.11p에서는 guard time을 average multi-path delay spread 평균값의 4배로 산출하여 〈표 2〉에 나타낸 바와 같이 1.6 μs를 guard time으로 설정한다. 이에 따라 OFDM의 FFT symbol time은 이 값의 4배인 6.4 μs가 되기 때문에, OFDM symbol의 주기는 8.0 μs(6.4+1.6 μs)가 된다. 따라서 OFDM의 sub-carrier spacing은 156.25 kHz(1/6.4 μs)가 되고, sub-carrier의 수가 64이므로, 전체적인 대역폭은 10 MHz(156.25 kHz×64)가 된다. 이동속도 관련된 이슈는 Doppler spectrum을 해결하는 이슈로 5.8 GHz 대역에서 200 km/h를 가정하면 약 1 kHz 정도의 도플러 주파수가 발생한다. 이 문제는 프리앰블과 64개의 sub-carrier 중에서 4개를 sub-carrier를 pilot symbol을 전송하여 이들 sub-carrier로부터 산출한 정보를 토대로 보상이 가능하다. 한편 자율주행차와 RSU(Road Side Unit)의 통신 링크는 데이터 교환을 위한 별도의 절차 없이 정보 프레임의 헤더에 wildcard BSSID(Basic Service Set IDentifier)를 설정하여

〈표 2〉 IEEE 802.11p 물리계층 주요 규격[10],[11]

파라미터	IEEE 802.11a	IEEE 802.11p
전송속도(Mbps)	6, 8, 12, 18, 24, 36, 48, 54	3, 4.5, 6, 9, 12, 18, 24, 27
변조방식	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM	BPSK, QPSK, 16 QAM, 64 QAM
부호화율	1/2, 2/3, 3/4	1/2, 2/3, 3/4
No. of sub-carriers	52	52
Symbol duration	4 μs	8 μs
FFT period	3.2 μs	6.4 μs
Guard time	0.8 μs	1.6 μs
Sub-carrier spacing	312.5 kHz	156.25 kHz
Preamble duration	16 μs	32 μs

전송한다.

Ⅲ. 자율주행차의 Sensor 기술

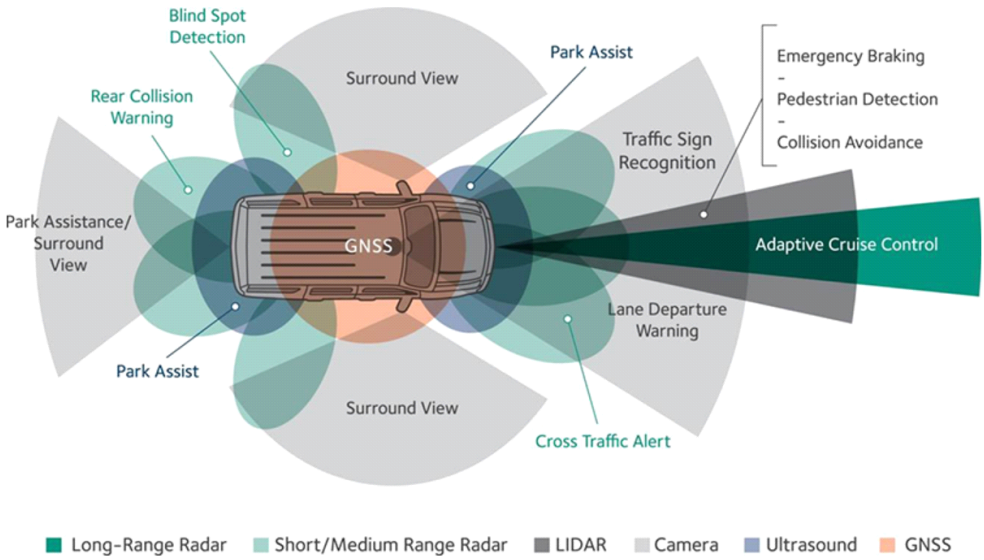
자율주행차를 위한 센서는 차량의 주변에 있는 다른 차량이나 사람, 그리고 장애물 등의 위치 및 속도 정보를 얻는데 사용된다. 종류로는 [그림 7]과 같이 레이다, LiDAR, 카메라, 그리고 초음파 센서가 사용된다. 본 장에서는 센서의 특성을 정리하고, 이에 따른 활용에 대하여 기술한다.

3-1 RADAR

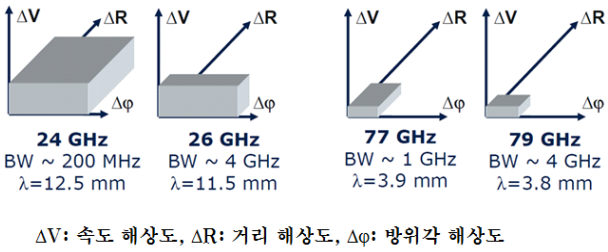
자율주행을 위해서는 상황에 따라 자동차와 대상 물체 간의 거리, 방위각, 그리고 속도의 해상도가 중요하다. ACC (Adaptive Cruise Control)를 위한 장거리 레이다는 거리해상도 보다는 앞차와의 상대적인 속도나 전방의 트래픽 정보가 중요하고, 단거리 레이다는 거리해상도 및 방향이 더 중요해진다. 자율주행을 위한 레이다는 200 mm까지 동작하는 장거리 레이다, 30 mm 이내에서 10 cm 이내의 거리해상도를 갖는 근거리 레이다, 그리고 차량의 측면에 다른 차량의 존재 및 속도 측정을 위한 도플러 레이다가 모두 필요하다. [그림 8]은 레이다의 주파수 대역 및 대역폭에 따른 속도 해상도, 거리해상도, 그리고 방위각 해상도를 24 GHz 대역/200 MHz 대역폭을 기준으로 상대적으로 표시한 그림이다.

〈표 3〉은 상기의 원리에 의거 중심 주파수(center frequency), 대역폭 및 출력에 따른 탐지 거리, 거리 해상도, 방위각 해상도 및 속도 해상도를 정리한 표이다.

한편 효율적인 처리를 위하여 송신 빔은 방위각 방향으



[그림 7] 자율주행차의 센서[자료출처: https://www.novatel.com/industries/autonomous-vehicles/#technology]



[그림 8] 레이다의 해상도[12]

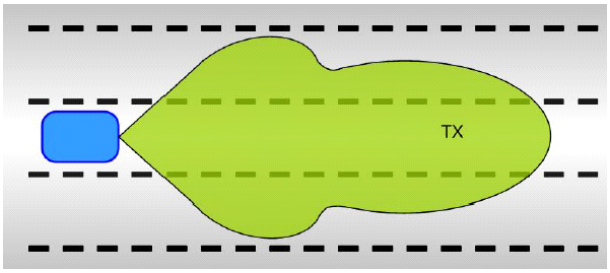
〈표 3〉 77/79 GHz 차량용 레이다의 주요 제원[3]

	Long range radar	Mid range radar	Short range radar
Frequency band	77 GHz	79 GHz	79 GHz
Max. output power EIRP	+55 dBm	−9 dBm/MHz	−9 dBm/MHz
Bandwidth	600 MHz	600 MHz	4 GHz
Distance range	10~250 m	1~100 m	0.15~30 m
Distance resolution	0.5 m	0.5 m	0.1 m
Speed resolution	0.1 m/s	0.1 m/s	0.1 m/s
Angular accuracy	0.1 degree	0.5 degree	0.1 degree
3 dB beamwidth azimuth	+/− 15 degree	+/− 40 degree	+/− 80 degree
3 dB beamwidth elevation	+/− 5 degree	+/− 5 degree	+/− 10 degree

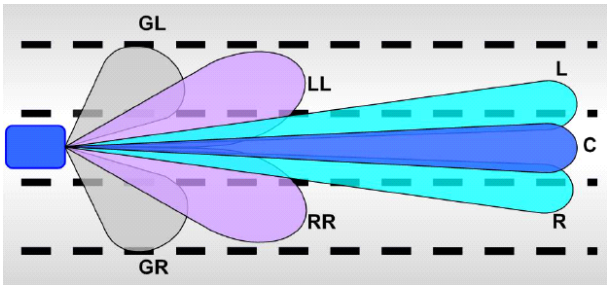
로 fan beam을 사용하고, 수신은 [그림 9]에 나타낸 바와 같이 pencil beam을 형성하면 빠른 시간에 넓은 범위를 커버할 수 있다[13].

3-2 LiDAR

라이다는 차량의 지붕에 설치되어 360도 방향을 회전하면서 정보를 수집한다. 서비스 커버리지가 100 미터 이상인데다가 해상도가 5 센티미터 정도로 매우 좋아서 차량 주변



(a) Transmitting beam pattern

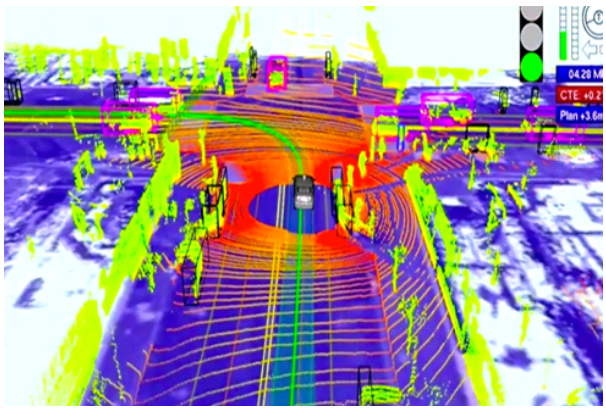


(b) Receiving beam pattern

[그림 9] 차량용 빔의 응용 사례[13]

에 대한 3차원 정보수집이 가능하다[14]. 다만 가격이 매우 고가이고, 처리해야 할 정보가 많아서 강력한 컴퓨팅 파워가 요구된다. [그림 10]은 구글에서 LiDAR를 이용하여 주변 환경을 센싱한 사례이다. 구글을 비롯하여 애플, 테슬러 모터스, 우버 등 대부분의 회사에서 자율주행을 위한 핵심 센서로 사용하고 있다.

3-3 카메라 및 초음파 센서



[그림 10] LiDAR를 이용한 환경 센싱 사례[14]

카메라는 색을 구분할 수 있기 때문에 신호등이나 차선을 잘 구분하는 장점이 있다. 반면에 거리나 속도 등의 정보를 추출할 수 없다. 초음파 센서는 초음파를 사용하기 때문에 보행하는 것보다 빨리 움직이는 물체를 탐지하기 어렵고, 주로 주차나 낮은 속도로 움직이는 물체를 탐지하는데 사용된다. 초음파센서 기술은 기술이 이미 성숙되어 있고, 가격도 저렴하나 점차 레이다로 대체되는 경향이다.

<표 4>에 정리한 바와 같이 LiDAR의 경우, 물체의 탐지 및 해상도는 좋으나, 교통신호등의 신호판별이 어렵고, 안개 상황에서 성능이 떨어진다. 카메라는 거리측정이나 밤에 작동이 어렵다. 따라서 날씨나 밤낮에 상관없이 동작할 수 있도록 다양한 센서를 구비하여 종합적으로 판단하여야 한다. 현재 시험 중인 대부분의 차량이 제한된 센서와 특수한 환경에서 시험하고 있는데, 실용화를 위해서는 도심환경을 포함하여 다양한 환경에서의 실험이 필요하다. 이 중에서 전파와 관련된 레이다 센싱 기술은 [그림 8]에 나타낸 바와 같이 거리 해상도, 방위각 해상도, 그리고 속도 해상도가 매우 중요하여 세계적으로 24 GHz 대역의 200 MHz 대역폭, 26 GHz 대역의 UWB(Ultra Wide Band) 레이다(대역폭 4 GHz), 77 GHz 대역의 1 GHz 대역폭, 79 GHz의 4 GHz 대역폭이 분배되어 있다. 따라서 거리해상도 0.1 m, 속도 해상도 0.1 m/s, 그리고 방위각 해상도 0.1 도까지 구현이 가능하다.

Ⅳ. 자율주행차 주파수 정책

자율주행차를 위한 ITS 주파수는 북미(North America)와 유럽, 그리고 우리나라는 <표 5>에 정리한 바와 같이 5.855~5.925 GHz로 분배되어 있다. 일본은 755~765 MHz 대역을 ITS 주파수로 분배하였다.

북미에서는 [그림 11]에 도시한 바와 같이 FCC는 채널 172번, 즉 5.855~5.865 MHz 대역을 V2V 통신을 통하여 충돌을 방지하기 위한 용도로 지정하였고, 채널 178은 다른 서비스 채널을 제어하기 위한 제어채널로 사용하도록 규정하였다. 한편 채널 184는 교차로는 물론 보다 먼 거리에서의 안전을 위한 용도로 출력을 40 dBm까지 허용하고 있다. 추가적으로 FCC는 채널 174와 채널 176, 그리고 채널 180과 채널 182은 하나의 채널로 결합해서 20 MHz 대역폭을 갖는 채널로 사용할 수 있다.

유럽의 ITS 채널은 [그림 12]에 나타낸 바와 같이 ITS G5A 밴드, 즉 ITS road safety channel(채널 176 & 178 & 180)과 ITS G5B 밴드인 road traffic efficiency channel(채널 172 & 174), 그리고 미래의 ITS 서비스를 위한 채널(채널 182 &

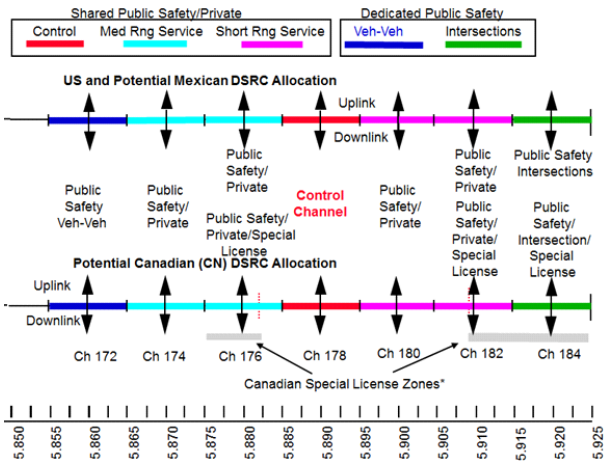
<표 4> 자율주행을 위한 제원 비교[15]

On Board Sensor Capability			LIDAR	Camera	RADAR	V2X & Cellular*	Map & Location
Detection Performance	traffic objects	Car / Trucks	☆☆	☆	☆☆☆	☆	
		Motorcycle	☆☆	☆	☆☆	☆	
		Bicycle	☆☆	☆	☆	☆	
		Pedestrian	☆☆☆	☆	☆	☆	
		Animal	☆☆	☆			
		Debris	☆☆	☆			
	infrastructure traffic constraints	Road marking	☆	☆☆			☆☆
		Traffic signs		☆☆			☆☆☆
		Traffic lights		☆☆		☆☆☆	☆
	path / road structure	Curve	☆	☆			
		Guard rails	☆☆		☆☆		
		Wall/obstacle	☆☆	Dynamic	☆☆		Static
Robustness		Rain / Snow	☆☆	☆	☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
		Fog			☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆
		Night	☆☆☆		☆☆☆	☆☆☆	☆☆☆

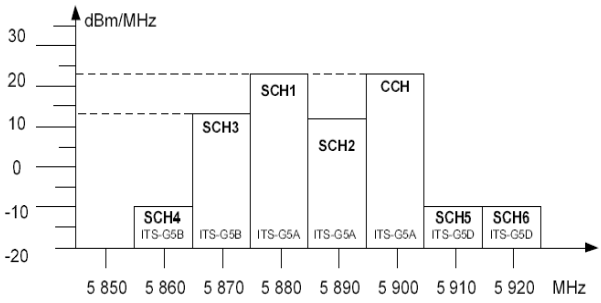
detection & ranging / monitoring & classification / detection & ranging / information / information

<표 5> WAVE 주파수 분배

국가	주파수 대역	표준
North America	5,850~5,925 MHz	IEEE 802.11p
유럽	5,855~5,925 MHz	ETSI EN302 663
일본	755.5~764.5 MHz	ARIB STD-T109
한국	5,855~5,925 MHz	TTA



[그림 11] 북미의 밴드 플랜[6]



[그림 12] 유럽의 밴드 플랜[16]

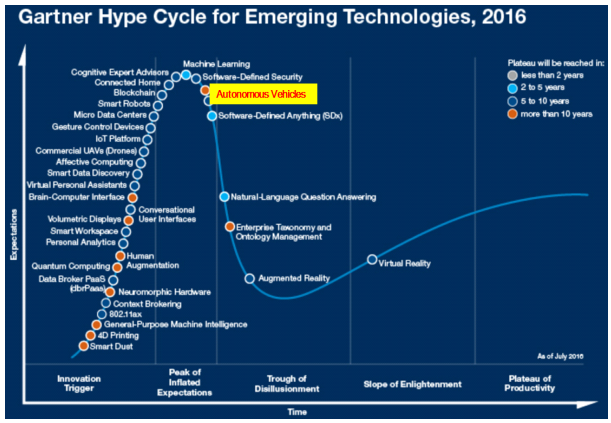
184)로 구분하고 있다. G5A 밴드는 G5-CCH(Control Channel), G5-SCH1(Service Channel) 그리고 G5-SCH2로 구분되고, G5B 밴드는 non-safety applications으로 G5-SCH3 및 G5-SCH4로 구별된다. G5B 밴드는 지역에 따라 다른 용도로 사용될 수 있다. 한편 일본은 700 MHz 대역의 한 채널(10 MHz 대역폭)을 사용하고 있다.

주파수 정책에서 고려해야 할 특징적인 점은 SEM(Spectrum Emission Mask)이다. IEEE 802.11p가 802.11 계열의 WLAN과 동일한 기술을 사용하고 있으나, SEM 기준은 안전에 관련된 규격이기 때문에 출력의 세기에 따라 Class C (출력 20 dBm) 또는 Class D(출력 28.8 dBm) 를 적용한다. 이는 <표 6>에서 알 수 있는 바와 같이 WLAN 등에 적용되는 Class A보다 매우 엄격하다.

자율주행차에 사용되는 레에다 24 GHz, 77 GHz, 79 GHz 등이 사용되고 있으나, 주파수는 3-1절에서 기술한 바와 같이 거리해상도, 방위각 해상도 그리고 속도 분해능 등의 측면에서 77 및 79 GHz 대역을 이용하는 것이 바람직하다.

Ⅴ. 결론 및 향후 연구방향

[그림 13]의 hype cycle에서 나타낸 바와 같이 자율주행 시대를 맞이하기 위해서는 아직도 해결해야 하는 문제가 많다. 먼저 전국적인 인프라를 구축하고, 정밀지도를 이용할 수 있어야 하며, 교통신호체계와 실시간으로 연동되어야 한다. 만일 제한된 지역에서만 자율주행을 하게 되면 결국은 운전자가 필요하게 되고, 이로 인하여 자율주행산업의 생태계를 조성하기 어렵게 된다. 둘째, 레이다를 많은 차량이 이용하는 경우 다른 차량으로부터 오는 신호와 나의 신호를 구분하여야 한다. 레이다 신호에 CDMA(Code Division Multiple Access) 이동통신과 같이 orthogonal code를 싫어서 사용할 필요가 있다. 또한 GPS 신호가 수신되지 않는 지역에서는 IMU를 이용하여 짧은 시간동안 보완할 수 있지만, 터널의 길이가 수 km에 이르는 경우에도 안전을 보장하기 위하여 ITS RSU를 터널 내에 적절히 배치하고, RSU의 신호를 이용하는 방안이 필요하다. 끝으로 소비자가 안심하고, 자율주행차를 이용할 수 있는 안전 시험 및 책임소재에 대한 명확한 규정을 수립하여야 한다.



[그림 13] Gartner의 2016년도 hype cycle[17]

〈표 6〉 10 MHz 대역폭을 이용하는 802.11p의 SEM[11]

STA transmit power class	Permitted power spectral density(dBr)				
	+/−4.5 MHz offset	+/−5.0 MHz offset	+/−5.5 MHz offset	+/−10 MHz offset	+/−15 MHz offset
Class A	0	−10	−20	−28	−40
Class B	0	−16	−20	−28	−40
Class C	0	−26	−32	−40	−50
Class D	0	−35	−45	−55	−65

참 고 문 헌

[1] J. Huetter, "DOT proposes V2V mandate on new cars; tech has potential to severely reduce crash frequency", *RDN*, Dec. 2016.

[2] KPMG, "Self-driving cars: The next revolution", 2012.

[3] Doug Patton, "Automated drive: A reality check", Jun. 2015.

[4] 강영흥 등, "무인 이동체를 위한 전파기술 및 정책연구", *KCA 연구 2016-16*, 2017년.

[5] H. Kanemitsu, "Autonomous driving technologies for advanced driver assist system", Oct. 2013.

[6] IEEE, 5.9 GHz Dedicated Short Range Communication (DSRC) Standards Development Upate, 2002.

[7] R. Uzcátegui, G. Acosta-Marum, "WAVE: A tutorial", *IEEE Communications Magazine*, May 2009.

[8] J. Yin, T. ElBatt, S. Habermas, H. Krishnan, and T. Talty, "Performance evaluation of safety applications over DSRC Vehicular Ad Hoc networks", *Proceedings of the First ACM Workshop on Vehicular Ad Hoc Networks*, VANET, 2004.

[9] Y. Zang, H. Reumerman, "An error model for intervehicle communications in highway scenarios at 5.9 GHz", *PE-WASUN*, Montreal, Oct. 2005.

[10] IEEE 802.11 WG, *IEEE Standard for Information technology -Telecommunications and information exchange between systems- Local and metropolitan area networks-Specific requirements Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications Amendment 6: Wireless Access in Vehicular Environments*, 2010.

[11] IEEE 802.11 WG, *Part 11: Wireless LAN Medium Access Control(MAC) and Physical Layer(PHY) Specifications, IEEE*, Aug. 1999.

[12] R. Lachner, "Development Status of Next Generation Automotive Radar in EU", *ITS-Forum*, Tokyo, Feb. 2009.

[13] C. Hartzstein, Future developments of ADAS systems, 2013.

[14] Erico Guizzo, How Google's Self-Driving Car Works, Oct 2011. http://spectrum.ieee.org/automaton/robotics/artificial-intelligence/how-google-self-driving-car-works

[15] Denso, Adoption of connected automated vehicles for traffic safety.

[16] ETSI, Intelligent Transport Systems(ITS); Access layer specification for Intelligent Transport Systems operating in the 5 GHz frequency band, EN 302 663 V1.2.0, Nov. 2012.

[17] Gartner, *Gartner Hype Cycle for Emerging Technologies*, 2016.

≡ 필자소개 ≡

김 창 주

1976년~1980년: 한국항공대학교 (공학사)
1986년~1988년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학석사)
1989년~1993년: 한국과학기술원 전기 및 전자공학과 (공학박사)
1980년~1983년: 국방과학연구소 연구원
1983년~현재: 한국전자통신연구원 책임연구원
1994년~1998년: 한국전자통신연구원 전파신호처리연구실장
1999년~2001년: 한국전자통신연구원 이동통신모뎀연구부장
2003년~2010년: 한국전자통신연구원 전파기술연구부장
2004년~현재: 한국전자파학회 스펙트럼연구회 위원장
[주 관심분야] 전파기술