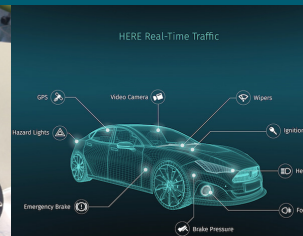
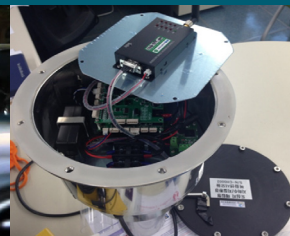
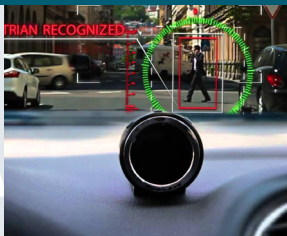


융합연구리뷰

Convergence Research Review

자율주행자동차,
딥러닝 기술을 탑재하다
—
도심 싱크홀 공포,
IoT로 예방한다



C o n v e r g e n c e R e s e a r c h R e v i e w

Contents

융합연구리뷰 | Convergence Research Review
2017 October vol.3 no.10

- 01 편집자 주
- 04 자율주행자동차, 딥러닝 기술을 탑재하다
- 54 도심 싱크홀 공포, IoT로 예방한다



발행일 2017년 10월 16일

발행인 하성도

편집인 서덕록 김보림

발행처 한국과학기술연구원 융합연구정책센터

02792 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5

Tel. 02-958-4984 | <http://crpc.kist.re.kr>

펴낸곳 승일미디어그룹주식회사 Tel. 1800-3673



[편집자주]

| 자율주행자동차, 딥러닝 기술을 탑재하다

4차 산업혁명의 주요 키워드는 다른 분야 간의 '융합'으로, 현재 가장 주목받고 있는 산업의 융합 분야는 단연 자동차와 AI(인공지능)이 만난 자율주행자동차라 할 수 있다.

현재 전 세계 자동차 시장은 내로라하는 기업들이 모두 인공지능 자율주행자동차 개발에 뛰어들고 있을 뿐만 아니라, ICT 기업과 자동차 부품업체들까지 적극적으로 경쟁에 가세하고 있다. 산업계에서 예상하고 있는 본격적인 자율주행자동차 상용화 진행 시기는 2020년경으로, 배경에는 인공지능과 빅데이터, 그리고 딥러닝(deep learning: 심화학습) 기술의 발전이 있다.

특히 인공지능 분야에서 주목받는 딥러닝 기술을 적용한 자율주행자동차는 기존의 자율주행자동차보다 상황 판단이 정확해 사용자가 더 안전하게 주행할 수 있어 국내외에서 주목하고 있는 기술이다. 최근 우리나라에서는 사람 뇌의 신경망을 모사한 딥러닝 기술을 이용하여 자율주행자동차에 탑재할 수 있는 기술이 개발되어 해외 연구진으로부터 많은 관심을 받고 있다.

이에, 본 호 1부에서는 전 세계 자율주행자동차의 개발 동향과 자율주행을 위한 핵심 기술 트렌드를 살펴보고, 자율주행을 위한 심화기술로서 국내에서 개발한 카메라 기반 딥러닝 기술에 대해 다루고자 한다. 향후 이 기술이 4차 산업혁명의 핵심 기술로 지능형 교통 시스템의 근간이 될 것으로 생각되며, 우리나라가 딥러닝 기반 자율주행자동차 시장을 선도할 수 있는 발판이 되길 기대해본다.

| 도심 싱크홀 공포, IoT로 예방한다

최근 우리나라는 서울을 중심으로 도심 곳곳에서 싱크홀이 발생하며, 시민들의 불안감이 커지고 있다. 싱크홀은 언제 발생할지 예측이 어렵고, 침하되는 깊이 등에 따라 인명사고가 발생할 수 있기 때문이다.

국도교통부에 따르면 우리나라는 해마다 싱크홀이 증가하는 추세를 보이고 있다. 싱크홀은 자연적으로 발생하는 경우도 있지만 도심지에서 발생하는 주요 원인으로는 하수도 손상이 50% 이상을 차지하고 있다. 현재는 서울에서 주로 발생하고 있으나, 전국적으로 노후화 된 하수관이 많은 지역들 역시 안전지대는 아니라고 전문가들은 지적하고 있다.

도심지 공포로 일상을 위협하고 있는 이러한 싱크홀 문제는 최근 융합기술을 통해 해결하는 방안이 연구되고 있다. 한국전자통신연구원(ETRI)을 주축으로 한국건설기술연구원, 한국철도기술연구원, 한국지질자원연구원 등이 참여한 'UGS(UnderGround Safety) 융합연구단'이 IoT(사물인터넷)를 기반으로 지하공간을 실시간으로 모니터링해 재난재해를 분석·예측·대응하는 시스템을 개발하였다.

이에, 본 호 2부에서는 현재 상용화 단계에 접어든 UGS 융합연구단의 싱크홀 예방을 위한 '지하공간 안전관리시스템'에 대해 살펴보고자 한다. 이 기술을 통해 도심의 싱크홀 문제를 해결하고, 향후 다양한 지하매설물의 상태를 탐지하는 분야로 활용되기를 기대해본다.

Self-Driving
Mode

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2017 October vol.3 no.10

<http://crpc.kist.re.kr>

01

자율주행자동차,
딥러닝 기술을 탑재하다

아주대학교 기계공학과 **송봉섭**교수 (bsong@ajou.ac.kr)
대구경북과학기술원 **정우영**박사 (wyjung@dgist.ac.kr)





01 서론

자율주행의 개념은 1960년대에 벤츠(Benz) 자동차 회사를 중심으로 제안되었고, 70년대 중후반부터 초보적인 수준의 연구가 시작되었다. 초기에는 장애물에 대한 인식과 대처 기능을 고려하지 않은 상태로 주행 시험장에서 중앙선이나 차선을 넘지 않는 수준의 기능을 개발하였고, 90년대부터는 비전 기술과 기계학습 기술이 접목되면서 장애물 인식을 적용한 자율주행 기술이 본격적으로 연구되기 시작하였다. 자율주행자동차의 기본 개념은 “운전자가 차량을 조작하지 않아도 스스로 주행하는 자동차”로 차세대 자동차산업으로 주목받고 있는 기술이며 현재 대부분의 자동차 완성차 업체는 2020년에 완전한 자율주행자동차 출시를 목표로 연구개발을 진행하고 있다.¹⁾

세계보건기구(WHO) 발표에 따르면 전 세계에서 매일 수백만 명이 교통사고로 다치고 3,500명 이상이 사망한다. 연간 교통사고 사망자 수는 130만 명에 달하고, 증가폭도 커 이 추세라면 2020년 교통사고 사망자는 연간 190만 명에 이를 것으로 전망된다. 또한 우리나라 도로교통공단 2015년 통계를 보면, 교통사고 전체 원인의 95% 이상이 운전자의 부주의로 인한 과실이다. 이에 따라 운전자의 과실을 최소화해, 교통사고로 인한 인명 손실을 줄이기 위해 자동차 선진국에서는 90년도 초반부터 많은 예산을 투입해 자율주행자동차 기술의 개발을 지원하고 있다. 자율주행기술은 사회적 비용을 대대적으로 줄일 수 있을 뿐만 아니라 취약계층에게도 희망을 준다. 미국 노트르담 대학의 돈 하워드 철학과 교수는 월스트리트 저널의 기고문을 통해 “인류에게 있어 교통사고가 질병이라면, 치료약은 자율주행자동차다.”라며, “치료할 수 있으면서도 병을 방지하는 것은 잘못이다.”라고 자율주행자동차 개발의 중요성을 언급했다. 기업들이 기술개발에 나서는 주요 동기 중에는 분명 그 시장성도 있겠지만, 자율주행자동차의 도입은 시대적 흐름에 따른 요구에 맞물려 있다.

자율주행자동차의 기능은 크게 인지, 판단 및 제어로 구성된다고 할 수 있으며 보다 상세하게 그 기능을 나열하면 <그림 1.1>과 같다. 각각의 기술들에 대한 자세한 설명은 제2장에서 제시하도록 한다. 자율주행을 위해 최소한으로 갖추어야 할 기본기능은 주행환경을 인식하는 각종 센서들이며, 보다 확장된 고도의 자율주행기능을 위해서는 정밀지도와 통신기능을 보유하고 있어야 하며 특히 통신기능을 통한 주행 및 서비스

스를 강조할 경우 커넥티드카(Connected Car)라고 부른다. 자율주행자동차라는 것이 본질적으로 많은 IT (Information Technology) 기술에 의해서 가능한 것이므로 글로벌 IT기업과 완성차 기업 간의 주도권 경쟁이 치열해지고 있다. 또한 차 내부에서의 디지털 콘텐츠 소비가 늘어나면서 인포테인먼트(Infotainment) 시스템, 애플리케이션, 프로세서, 그래픽 가속기, 디스플레이, 사람과 기계 간 인터페이스 기술 등이 중요하게 될 것이며 이에 따라 자동차 기업과 IT 기업 간의 제휴 또한 확대될 것으로 예상된다.

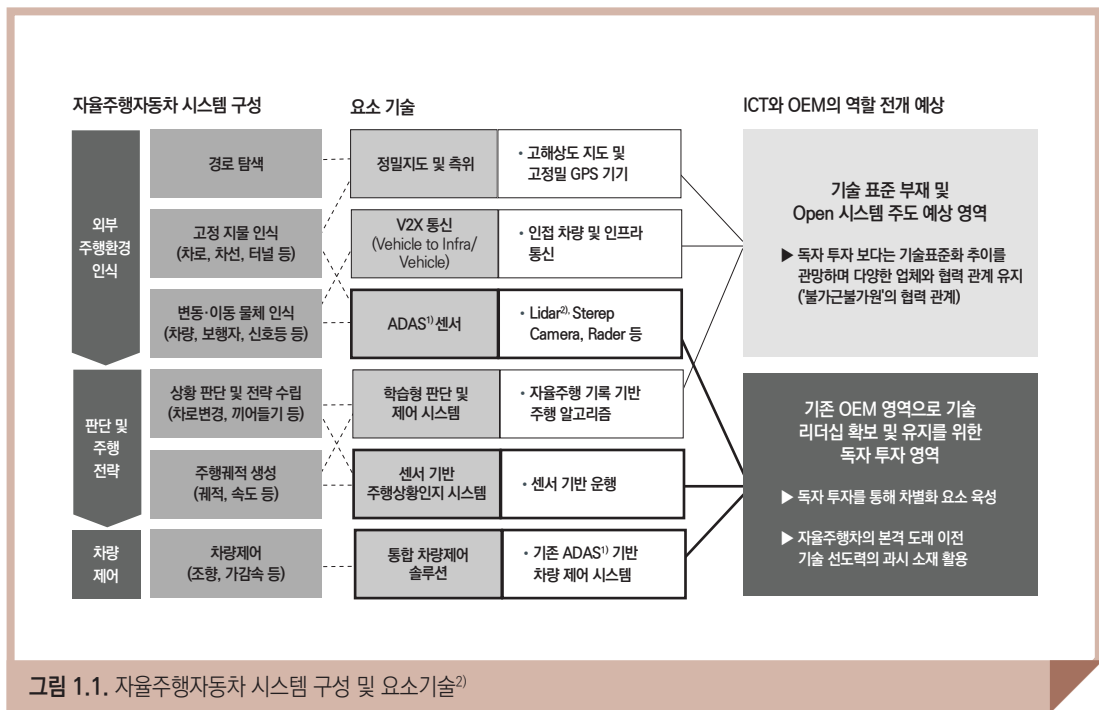


그림 1.1. 자율주행자동차 시스템 구성 및 요소기술²⁾

미국의 도로교통안전국과 자동차공학회(SAE)는 현재 자율주행 기술 수준을 단계별로 제시하였다. 이중 통상적으로 많이 쓰는 것은 SAE 기준이다. 2014년 항공우주, 자동차 및 상용차 업계에서 종사하는 128,000명 이상의 엔지니어와 관련 기술 전문가로 구성된 글로벌 협회인 SAE International의 자율주행자동차 표준 위원회(On-Road Automated Vehicle Standards Committee)는 아래 표와 같은 5단계(L5) 자동화 레벨을 제안하였다.³⁾ Google을 포함한 대부분의 해외 기업들은 현재 3단계 수준이며, 2018~2020년까지 4단계 수준을 목표로 하고 있다. 현대를 포함한 국내 회사들은 3단계를 건너뛰고 바로 4단계로 진입하

는 것을 목표로 잡고 있다. 이는 자율주행기술 분야의 후발로 로드맵을 단축하고자 하는 사업전략적 의미가 내포되어 있는 것과 더불어 기술적으로는 실제 3단계의 경우 수 초 내에 운전 제어권을 운전자에게 넘겨야 하는데, 운전자가 자율주행에 운전을 전적으로 맡기고 집중하지 않을 경우 수 초 내에 운전 제어권을 받는 것은 더욱 큰 어려움이 있다는 측면에서 기인한 것이라고 한다.

표 1.1. 자율주행 발전 단계(SAE 기준)³⁾

자동화단계	특징	내용
사람이 주행환경을 모니터링 함		
Level 0	비자동 (No Automation)	운전자가 전적으로 모든 조작을 제어하고, 모든 동적 주행을 조장하는 단계
Level 1	운전자 지원 (Driver Assistance)	자동차가 조향 지원시스템 또는 가속/감속 지원시스템에 의해 실행되지만 사람이 자동차의 동적 주행에 대한 모든 기능을 수행하는 단계
Level 2	부분 자동화 (Partial Automation)	자동차가 조향 지원시스템 또는 가속/감속 지원시스템에 의해 실행되지만 주행환경의 모니터링은 사람이 하며 안전운전 책임도 운전자가 부담
자율주행 시스템이 주행환경을 모니터링 함		
Level 3	조건부자동화 (Conditional Automation)	시스템이 운전 조작의 모든 측면을 제어하지만, 시스템이 운전자의 개입을 요청하면 운전자가 적절하게 자동차를 제어해야 하며, 그에 따른 책임도 운전자에게 있음
Level 4	고도 자동화 (High Automation)	주행에 대한 핵심제어, 주행환경 모니터링 및 비상시 대처 등을 모두 시스템이 수행되지만 시스템이 전적으로 항상 제어하는 것은 아님
Level 5	완전 자동화 (Full Automation)	모든 도로조건과 환경에서 시스템이 항상 주행 담당

본고에서는 제1장 서론에 이어, 제2장에서는 국내를 포함한 전 세계의 자율주행자동차 개발 동향을 설명하고, 자율주행을 위한 핵심 기술 트렌드를 기술한 후, 자율주행을 위한 심화기술로서 카메라 기반 딥러닝을 소개하고, 제3장에서 마무리를 하도록 한다.

02 본론

2.1 자율주행자동차 개발 동향

2.1.1 국외 자율주행자동차 개발 동향

2.1.1.1 미국

미국은 실제 자율주행자동차 관련 연구를 오래전부터 추진해온 가장 선도적인 국가라고 할 수 있다. 미국 방부가 추진했던 정부의 로봇 중심 연구들이 최근 ICT(Information & Communication Technology) 융합기술과 연계한 자율주행 연구로도 발전해 오고 있으며, 자율주행자동차 관련 핵심 요소기술인 센서, 인공지능, 빅데이터 등에 대한 연구 예산을 지속적으로 확대하고 있다. 특히, 2015년 10월 “Strategy for American Innovation”을 발표하면서 9개 중점 육성분야에는 첨단자동차의 상용화를 위한 지원 내용이 포함되어 있을 만큼 자율주행 기술 개발에 관심을 보이고 있다.⁴⁾

1 기업 동향²⁾

기업들의 기술개발은 크게 완성차 업체들의 기술개발과 Google 등의 IT기업들의 연구개발로 구분할 수 있다. 기업에서의 자율주행 기술개발은 GM에서 1939년 뉴욕박람회에서 자율주행자동차의 효시가 되는 Futurama를 발표하였고, Futurama는 전용차선에서 교통관제 센터에서 무선조정 신호에 유도되어 주행한 것을 보면 1939년 이전부터 자율주행자동차에 대한 개념을 잡고 기술개발이 추진된 것을 알 수 있다.

완성차 업체의 자율주행자동차 관련 기술개발은 기존의 첨단 운전자 지원 시스템(ADAS: Advanced Driver Assistance System)의 업그레이드를 통한 운전자 안전도 향상을 위한 기술개발을 추진 중이다. 특히 미국의 유력지 US Today의 2013년 보도에 의하면 GM은 미국 의회의 공청회에서 2020년까지 어느 정도 자동화된 자동차를 시장에 출시할 수 있다고 증언했으며, GM의 “디자인과 기술”이란 웹사이트를 통해 GM의 자동차와 트럭에는 전방 자동차의 속도에 맞추어서 크루즈 컨트롤을 조정하는 Adaptive Cruise Control이나 자동차 옆의 사각지역에 들어오는 경우 경고장치, 자동주차 지원 등 완전 자율주행을 위한 구

성요소는 이미 보유하고 있다고 언급하였다.

② Google⁵⁾

미국의 자율주행 대표기업으로는 Google, GM, Ford, Delphi, Apple, UBER, NVIDIA 등이 있다. 그 중 자율주행 기술 확보에 가장 많이 투자하는 기업 중 하나가 Google이다. 현재까지 150만 마일 이상의 자율운전 데이터를 축적해 오고 있다. 최근에는 미국 NHTSA로부터 무인운전 시스템이 법적인 운전자로 인정된다는 해석을 얻어내기도 해 미국의 자율주행 산업을 주도해 가고 있다. 자율주행 산업에 대한 Google의 접근은 어떤 하드웨어도 직접 제작하지 않는다는 점에서 다른 기업들과의 차별화를 두고 있다.⁶⁾ 하드웨어를 직접 제작할 의도가 없기 때문에 완성차 업체들뿐 아니라 Bosch와 같은 자동차부품 업체들과도 협력관계를 맺고 있다.

표 2.1. Google의 자율주행 연구

연도(년)	연구 내용
2009	자율주행 프로젝트 시작
2012	30만 마일 고속도로 주행에 성공
2012	테스트 환경을 복잡한 도심지로 변경
2014	새로운 prototype의 차량 개발
2015	일반 도로에서 세계 최초 완전 자율주행 성공
2016	Google 자회사 Waymo 설립



그림 2.1. Google의 자율주행 플랫폼

⑥ GM⁷⁾

GM은 슈퍼크루즈 시스템을 2017년 양산을 목표로 개발하고 있다. 슈퍼크루즈는 레이더와 카메라를 이용하여 핸들을 조작해서 차선 안을 올바르게 달릴 수 있도록 하고 레이더가 앞을 주행하는 자동차와의 안전한 차간거리를 유지하고 필요한 경우에는 안전하게 정지하도록 브레이크를 자동으로 밟을 수 있는 기술로 자율주행 3단계를 구현할 수 있는 수준이다.

표 2.2. GM의 자율주행 연구

연도	연구 내용
2008	• 차량에 장착된 15개 센서를 통해 주변상황을 인식하고 지정된 목적지로 주행할 수 있는 BOSS를 공개
2011	• 통신 네트워크를 장착한 전기차(EN-V)를 선보임(CES 2011) • 스스로 주차하고 자동으로 목적지까지 주행하는 등의 서비스가 가능. • 차체 외부에 장착된 15개 센서로 주변상황을 인지, GPS와 거리 감지센서, 차량 사이의 거리 통신 기술 등 적용
2012	• 슈퍼 크루즈 개발 시작
2013	• 고속도로 주행을 위한 반자동 무인운전기술인 슈퍼 크루즈를 공개. • 카메라, GPS 등의 센서를 통해 도로 외부환경을 인지해 차량간 거리를 유지하거나 장애물을 피해 주행하는 기능이 포함 • Cadillac CTS에도 전방위 지능형 크루즈 컨트롤, 차선이탈 경보시스템, 지능형 브레이크 보조시스템 등이 적용된 기술을 적용하고 2016년 상용화한다고 발표
2015	• 2015년 2월 자율주행자동차 기술 연구를 위한 새 연구소를 설립함
2016	• 미시간에서 자율주행 자동차의 생산 및 시험을 시작함 • Lyft사와 공동으로 미국 맞춤형 차량 통합 네트워크 개발 시작
2017	• 슈퍼크루즈(Level 3) 개발 중

① 자율주행자동차 넘어 4차 산업 기술을 탑재하다

② 도심 상크루즈공포 | 오토 레벨 3



그림 2.2. GM의 자율주행 플랫폼

© Tesla[®]

Tesla는 신형 전기차 '모델 3'에 완전 자율주행을 위한 하드웨어를 탑재한다고 발표했다. 이미 Tesla는 '모델 S'에 부분 자율 주행 기능을 위한 하드웨어를 탑재하고 있으며, 그간 소프트웨어 업데이트를 통해 기능을 향상시켜 왔다. Tesla는 앞으로도 온라인 소프트웨어 업데이트를 통해 사람들이 운전하는 것보다 안전하게 주행할 수 있는 자율주행자동차 개발을 목표로 하고 있다. Tesla는 모델 3 생산을 위해 생산 라인 증대 및 충전 네트워크 확대, 서비스 체제 개선, 세계 각국에서의 전시장 개선 등 다양한 준비를 진행 중이다. Tesla의 자동차가 다른 자동차와 다른 것은 자동차의 카메라와 초음파 센서 등을 장착하여 사람들의 눈처럼 빠른 속도로 물체를 감지하여 차간의 속도를 조절하거나 자동으로 차선 바꾸기, 그리고 집의 차고에 자동적으로 주차하는 '오토 파크 서먼(Autopark Summon)' 기능까지 현재 구현되어 판매되고 있다는 점이다. 호우, 안개, 미세먼지 등의 기상 악화 상황 속에서도 차량 통행 유무를 쉽게 감지시킬 수 있다는 게 Tesla 측이 밝힌 완전 자율주행 오토파일럿의 특징이다.

@ NVIDIA[®]

NVIDIA의 대표적인 자율주행 시스템은 CES 2016에서 발표한 Drive PX2이다. 이 시스템은 12개의 카메라와 라이다, 레이더, 초음파 센서 등으로 구성되고 사물인지를 위한 딥러닝(Deep Learning) 기술이 적용된다. DNN (Deep Neural Network)의 데이터 처리를 위한 핵심 하드웨어는 GPU(Graphic Processing Unit)이다. NVIDIA는 DIGITS 이라는 Deep Learning GPU Training System을 활용해 DNN을 학습시키

고 있다. 이를 위해서는 가능한 많은 양의 데이터를 처리해야 하기 때문에 병렬처리 기술이 적용되는 GPU를 활용한다. 그리고 이렇게 훈련된 DNN 모델은 Drive PX2 시스템에 구축돼 각종 센서로부터 입력되는 데이터에 대한 판단을 내리고 운전자를 도와주거나 혹은 자율적으로 운전을 하게 된다.

NVIDIA의 Drive PX2 시스템은 주행하는 자동차에 부착된 각종 센서를 통해 도로에 대한 많은 양의 데이터를 모으게 된다. 이렇게 모은 데이터는 매우 자세한 지도를 구축하고 실시간으로 업데이트 된다. 실시간으로 업데이트된 지도는 통신과 클라우드 시스템을 통해 지도 공급업체에게 서비스 되기도 하지만 즉시 자율 운전에 활용되기 때문에 자율주행 시스템이 실시간으로 업데이트 된다고 볼 수 있다.

표 2.3. NVIDIA의 자율주행 연구

연도(년)	내용
2016	딥러닝 기반 End-to-End Learning을 이용한 자율주행 기술 발표
2017	CES 2016에서 자율주행 데모
2018	인공지능 자율주행 컴퓨터를 양산할 예정

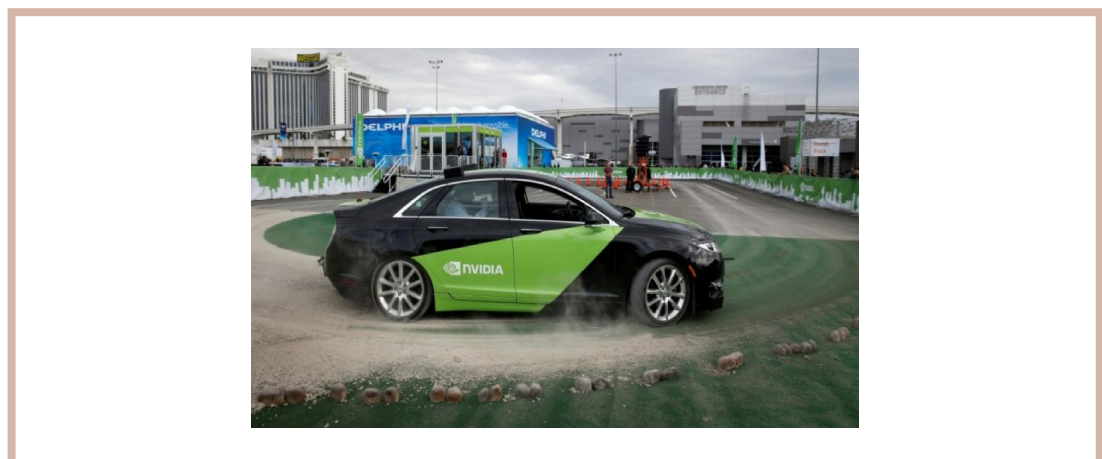


그림 2.3. CES 2017 NVIDIA 자율주행기술 공개 데모

2 법·제도 및 규제²⁾

미국 오바마 정부의 신규 투자 발표에 따라 미국 NHTSA는 이를 지원할 수 있도록 2016년 상반기 내에 자율주행자동차와 관련한 가이드라인 및 국가규제모델을 만들 것을 계획하였다. NHTSA가 주도하여 완전 자율주행자동차 차량의 배치 및 운영을 위한 지침을 마련할 예정이고 또한 미국 정부는 자율주행자동차가 실제 도로에서 주행될 수 있도록 2,500대 가량의 자율주행자동차에 대한 규정 예외사항을 허가할 예정이다.

미국의 경우 자율주행자동차 협의체가 민간중심으로 만들어졌으며 정부도 협의체와 함께 법·제도 및 규제 개선 등을 적극 논의 중이다. NHTSA는 민간기업인 Google의 요청에 법규상 운전자의 개념을 사람이 아닌 자율주행자동차 소프트웨어까지 확대할 수 있다는 결정을 회신하였고, 미국 민간기업 협의체는 연방정부에 자율주행자동차 관련 표준과 이를 준수할 경우에 모든 주에서 자율주행자동차를 판매 및 운행할 수 있도록 요청한 상태이다. 현재 미국은 2016년 3월을 기준으로 캘리포니아, 미시간, 네바다, 애리조나 등 7개 주에 자율주행자동차와 관련한 법이 제정된 상태이다.

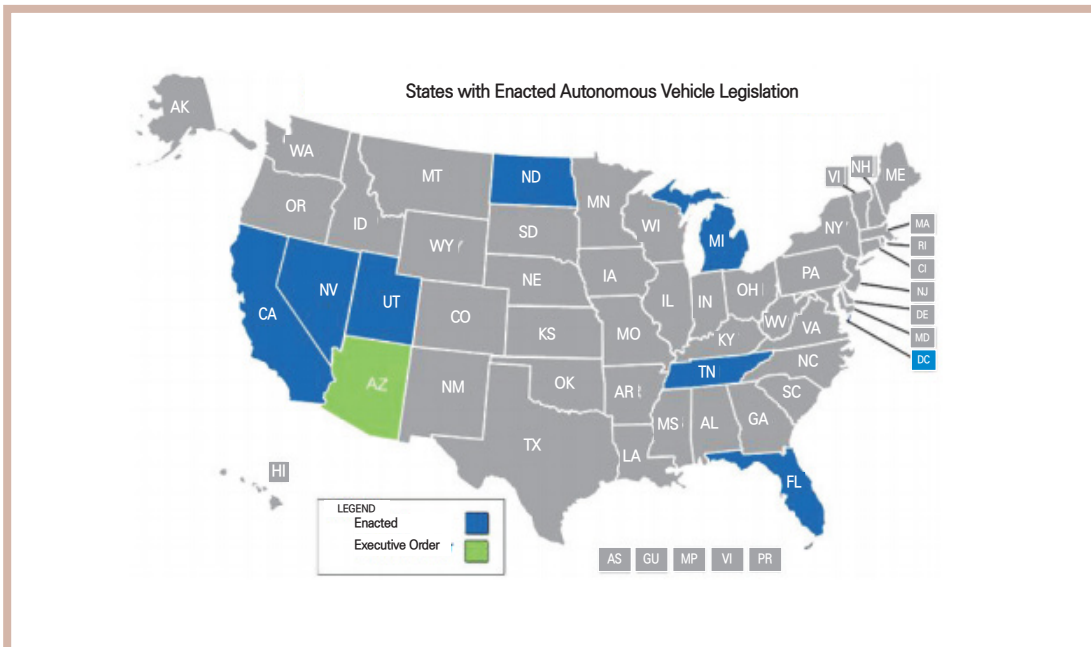
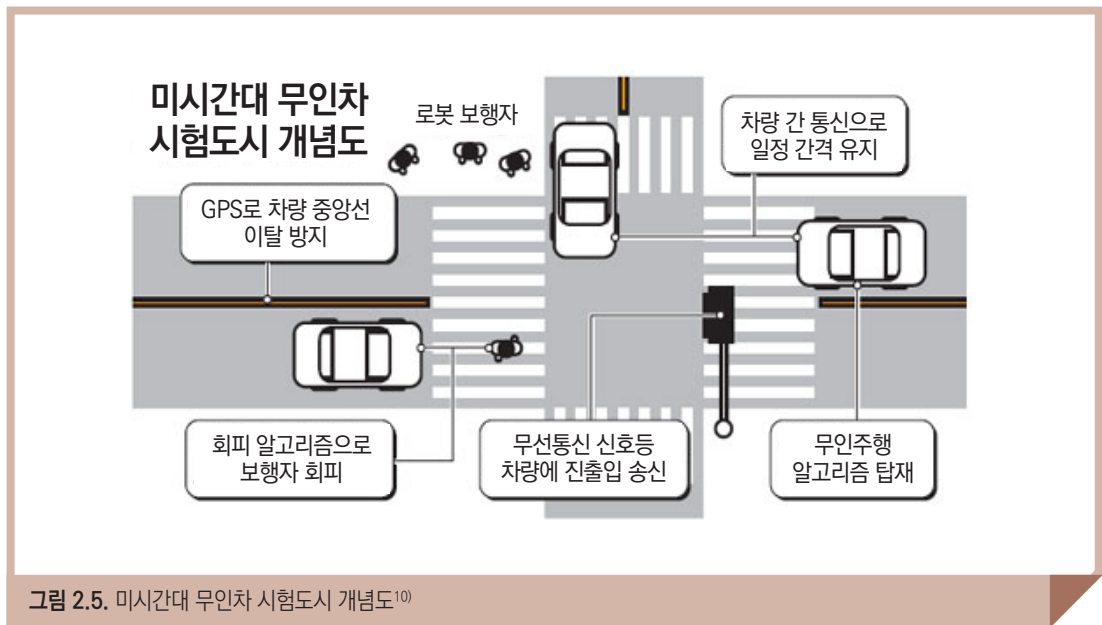


그림 2.4. 자율주행테스트를 허가한 미국의 주²⁾

3 테스트 인프라¹⁰⁾

미국 미시간대학은 대학 내에 116억 원을 투자하여 자율주행자동차를 테스트 할 수 있는 테스트 베드를 구축하였다. 미시간대학, 미시간 주정부, 미국 연방정부, 관련 기업 등이 합작으로 2015년에 설립한 본 테스트베드는 실제 주행환경에서 자율주행자동차 시범 운행 및 기술 완성이 목적이다. 미시간 테스트베드에 공동으로 투자한 자동차 업체들은 이를 활용한 기술개발 성과를 적용하여 향후 미시간 남동부의 광범위한 지역에서 실제 운행하는 것이 주요 목표이다.

테스트베드 구성 및 실험 용이성, 효과성 측면에서도 기존 스웨덴과 일본의 자율주행자동차 시험장보다 더욱 진보된 형태라는 것이 미시간 테스트베드 측 입장이다. 단순 연구공간이 아닌 5개차로, 교차로, 원형교차로, 보행신호, 보행도로, 버스 등 다른 대중교통수단, 가상 건물 그리고 로봇 보행자까지 완비된 주행 테스트 베드이고, 인위적으로 악조건을 다양하게 설정하고 반복 실험이 용이한 것이 미시간 테스트베드의 특징이다.



2.1.1.2 유럽

1 기업 동향⁹⁾

유럽의 자율주행자동차 산업의 정책은 공공기관이 주도하고 있다. 유럽연합(EU)의 트럭 군집주행은 4~5차 Frame-work(1995~2004)에서 진행되었으며, 2008년 HAVIT(High Automated Vehicles for Intelligent Transport) 프로젝트를 통해 부분 자율주행 기술과 운전자와 차량 간 상호작용 관련 연구를 수행하였다. 이를 바탕으로 2013년 메르세데스 벤츠는 100km 자율주행에 성공하였다. 한편, EU는 2014년 ‘국제연합(UN) 도로교통에 관한 비엔나 협약서’ 개정을 통해 운전자의 제어가 가능한 상황에서 자율주행을 허용해 운전자 탑승을 조건으로 손과 발을 떼고도 차량 운행이 가능하도록 하였다. 이 협약 개정으로 독일과 프랑스, 이탈리아 등 유럽연합 대다수 국가와 러시아 등 7개국에서 자율주행차 시험주행과 상용화가 가능하게 되었다. 대표적인 기업으로는 Benz, BMW, Audi, Continental 등이 있다.

@ Benz

Benz는 세계 최초의 장거리 주행이 진행됐던 같은 장소에서 세계 첫 자율주행을 성공했다. 2013년 8월 Benz는 양산 직전의 ‘S 500 인텔리전트 드라이브’ 차량으로 만하임에서 포르츠하임까지 약 100km에 이르는 역사적인 루트에서의 자율주행을 성공리에 마쳤다. 이를 통해 Benz는 복잡한 도심과 시외의 교통조건에서도 자율주행이 가능함을 세계 최초로 증명해냈다.¹¹⁾

2014년 9월 Benz는 미국 캘리포니아 주의 공공 도로에서 자율주행 차량 시험에 대한 공식 허가를 받은 첫 번째 자동차 제조회사에 이름을 올렸다. 2016년 12월에는 독일 슈투트가르트 지역 협의회를 통해 공공 도로에서 차세대 자율 차량을 테스트할 수 있는 권한을 부여받기도 했다. 드라이빙 어시스턴스 패키지 플러스에는 양산차 가운데 가장 진보한 반자율 주행 장치인 ‘드라이브 파일럿’이 포함됐다. 이는 앞차와의 차간 거리를 자동으로 유지시켜 주고, 교통 상황과 설정한 속도를 고려해 속도를 조절해준다. 또 최대 210km/h 속도 내에서 스티어링 휠을 자동으로 조향해 차선을 따라 안정적으로 주행하도록 보조한다. 운전자는 별도의 조작 없이 최대 60초까지 자율주행이 가능하다. 벤츠는 차량 컨트롤 부문의 특허개발에 주력하여 관련 특허를 50여건 보유하고 있다. 또한, 외부환경 인식에 필요한 스테레오 카메라를 최초로 적용, 차선, 물체, 요철 인식 및 거리 측정 등 다양한 기능에 활발하게 적용하고 있다. 최근 개발된 F015 Luxury in Motion에서는 자율주행 모드 선택이 가능해져 GPS(Global Positioning System) 오차 범위를 10cm까지 좁혔다고 발표했다.

표2.4. Benz의 자율주행 연구

연도	내용
2012	자사 차량 S-Class로 독일에서 62마일을 무인주행으로 성공. ADAS를 위한 3종류의 카메라, 3종류의 레이더, 12개의 초음파 센서를 장착하였고, 이를 통해 능동적 주차 보조장치, 교통 표지판 보조장치, 적응형 브레이크 조 명, 능동적 사각지대 어시스트, 능동적 차선유지 어시스트, 오픈 주행시 차량 실내 보온성을 높인 최첨단 보온시 스템 등의 기능이 가능해짐.
2016	16년 초 디트로이트 모터쇼에서는 신형 E-Class 모델에 지능형 차선 변경기능을 탑재하기도 함.

⑥ BMW

올해 하반기부터 Intel과 Mobileye(2017년 Intel이 인수하기로 발표함)의 최첨단 기술을 채택한 완전 자율주행 BMW 7시리즈 차량이 미국과 유럽에서 먼저 시범 운영될 예정이다. 2016년 자율주행차 개발을 위한 기술제휴를 발표한 이후 3사는 확장 가능한 아키텍처를 개발했다. 이 아키텍처는 다른 자동차 개발자 및 자동차 제조사에서도 최신 디자인과 차별화된 브랜드 창출을 도모할 수 있고 개별 핵심 통합 모듈에서부터 광범위하고 차별화된 소비자 경험을 제공하는 해결책을 제시할 수 있다고 BMW는 밝혔다. Intel은 차량에서 데이터 센터까지 고성능 컴퓨팅 요소를 제공하고 Mobileye는 360도 서라운드 뷰 비전 센서들의 입력정보를 처리 및 해석하고 위치표시도 담당하는 고성능 컴퓨터 비전 프로세서를 제공한다. BMW와 Intel/Mobileye는 자율주행 플랫폼의 개발을 촉진하기 위해 하드웨어 샘플 및 소프트웨어 업데이트를 출시할 계획이다. BMW는 올 하반기부터 전 세계 곳곳에서 자율주행차 시범 운행에 돌입한다. BMW는 Intel/Mobileye 등 글로벌 기업과 손잡고 약 40대의 자율주행차를 생산할 방침이다. 3사 기술 제휴를 통해 선보이는 완전 자율주행차 'BMW i넥스트(iNEXT)'는 오는 2021년 공개된다.¹²⁾

표 2.5. BMW의 자율주행 연구

연도(년)	내용
2007	최첨단 GPS를 개발, 한번 주행한 길을 기억하여 자율 주행할 수 있는 무인운전시스템을 선보임
2011	무인운전시스템 CDC에서는 운전자의 조작 없이도 차량 운행이 가능
	독일 아우토반에서 5,000km의 주행테스트를 통과 New 7 시리즈에서는 3D 센서를 통해 운전자의 동작을 인식하는 BMW 제스처 컨트롤 개발
2015	하반기에는 스마트카 버튼으로 차가 스스로 주차하는 자율주차 기능을 탑재
2017	CES 2017에서 Intel/Mobileye와 함께 약 40대의 자율주행차 하반기 시범 운행 계획을 발표함



그림 2.6. BMW 자율주행 플랫폼

© Audi¹³⁾

최근 Audi는 A7으로 운전자의 수동조작 없이 560마일을 자율주행하는 기록을 세웠고, 신형 A8에 자율주행기능을 대폭 강화하였다. 신형 A8에서 가장 관심을 모은 '3단계 자율주행'부터 살펴보면, A8의 자율주행 기술은 교통 정체 상황에서 차량 시동과 가속, 스티어링과 브레이크까지 완벽한 제어를 담당한다. 운전자의 조작 없이 최대 60km/h의 속도까지 스스로 주행할 수 있는 A8의 3단계 자율주행 기술은 Tesla나 Volvo XC90, BMW 5시리즈의 '2단계'보다 운전자에게 많은 자유를 부여하기 때문에 실생활에서 보다 용이하게 사용될 것으로 기대된다. 물론 해당 국가의 도로교통법상 차량 자율 주행이 법적으로 통과되어야 하며, 60km/h의 속도제한과 함께 운전자의 법적 책임이 수반됨은 물론이다.

A8의 자율주행 기술은 차량을 둘러싼 12개의 초음파 센서와 360도 카메라를 비롯해 장거리 레이더, 레이저 스캐너, 그리고 전방과 측후방의 카메라를 통해 복합적으로 구성된다. 여기에 옵션 기능인 Audi AI 원격 주차/출차 시스템을 사용하면 마블의 신작 영화 ‘스파이더맨 홈커밍’ 티저에서 볼 수 있었던 원격 주차/출차 기능을 이용할 수 있다.

표 2.6. Audi의 자율주행 연구

연도	내용
2009	Audi TTS(자율주행 콘셉카)로 시속 210km의 자율주행에 성공
2014	HMI 기술을 적용하고 LTE 모듈이 탑재된 Audi Connect를 공개. 이 기술로 차내에서 비디오 시청과 게임이 가능해지고 실시간 정보에 따라 차량의 속도 제어가 가능. 자율주행기술인 Piloted Driving 기술이 탑재된 James 2015를 공개하고 그 해 10월 2014 독일 투어링카 마스터즈 대회에서는 17개 커브로 구성된 4.574km 코스를 시속 240km 정도의 속도로 완주
2015	CES 2015에서는 A7 컨셉카 ‘Jack’을 선보이며 미국 실리콘 벨리에서 라스베이거스까지 900km를 무인으로 자율주행
2017	CES 2017에서 자율주행 모델인 ‘Q7 딥러닝 콘셉트’를 선보임

2 법·제도 및 규제²⁾

UN 자동차기준 국제협약체는 자율주행자동차 규제 완화 방안을 적극 검토하고 있으며, UN유럽경제위원회 회의 자동차 규제를 담당하는 WP.29에서는 Informal Working Group인 ITS/Automated Driving을 통하여 자율주행자동차에 대한 논의를 진행 중이다.

유럽연합의 정책담당자, 산업계, 학계 등을 중심으로 도로안전과 손해배상책임과 관련된 EU차원의 통일된 법률체계 마련 필요성이 꾸준히 제기되고 있는 상황으로 국가별 안전관련 인증, 사고 발생의 손해배상 책임 주체 및 범위 등에 대한 세부검토가 필요하므로 EU차원의 법·제도 및 규제 통일까지는 상당한 시간이 소요될 것으로 전망된다.



2015년 9월부터 영국은 자율주행자동차와 관련한 법제화를 추진 중이며 정부 주도로 개발 프로젝트 입찰을 개시하였고, 영국 교통부와 기업혁신기술부는 민관합작 정책 연구팀 “C-CAV”를 구성하였다. 또한, 자율주행자동차와 관련한 파생 기술이 현행 교통관련 규제와 호환될 수 있도록 정부 정책의 수립 및 추진을 요구하고 있다.

네덜란드 사회기반 시설 및 환경부 장관은 자율주행자동차의 법·제도 규제의 개선방안 마련을 위하여 Tesla, Benz, Nissan 그리고 Google 등 자율주행자동차와 관련한 업체 대표들과 관련회의를 추진하고 있고, 민간기업의 자율주행자동차 개발 진행 상황 정보를 수집하고, 새로운 법안 마련 및 규제 완화를 통해 유럽 전체의 자율주행자동차 협력 촉진 등에 주력할 예정이다.

3 테스트 인프라²⁾

2014년 비엔나 도로교통협약 수정으로 유럽연합 국가들과 러시아 등 72개 국가에서 자율주행 자동차 테스트주행이 가능하다. 영국 재무장관은 자율주행자동차 시험운전계획과 규제완화계획을 통해 2017년부터 자율주행자동차 상용화를 위한 고속도로 시험운행 예정을 발표하였다. 고속도로 시험운행에는 총 200억 원의 예산이 투입될 예정이며 고속도로 테스트를 위한 한 개 차로를 전면 통제할 계획을 수립하였고, 테스트차량이 주행되는 고속도로 구간 옆으로는 WiFi를 통해 각종 정보를 수신할 수 있도록 테스트베드 환경을 마련하여 진행할 예정이다. 그리고 2025년까지 자율주행 자동차가 도로에서 상용화되는 것을 목표로 2016년 지방도로를 시작으로 2017년에는 고속도로까지 확대 예정이다. 영국 정부의 적극적인 자율주행자동차 정책 추진으로 미국만을 중심으로 테스트를 진행 중이던 Google이 영국 내 자율주행자동차 도로주행 테스트 착수를 발표하였는데 Google의 에릭슈미트 회장은 영국 정부로부터 원하는 도시를 선정해 자율주행자동차를 테스트하라는 제안을 받았다고 인터뷰에서도 언급하였다.

독일 교통부는 자율주행자동차 시험 운영을 위한 첫 번째 케이스로 뮌헨과 베를린 사이를 연결하는 아우토반 일부 구간에서 자율주행자동차 운영을 승인하였다. 독일 정부는 해당 구간에 실증 테스트를 위한 V2I(Vehicle to Infrastructure) 시스템 설치를 계획하고 있다.

2.1.1.3 국내

국내 대표주자격인 현대·기아자동차의 경우, 자율주행자동차를 선보이고는 있으나, 관련 기술은 해외연구소를 통해 글로벌 기업들의 부분품 기술을 적용해 구성하는 수준으로 실제 국내기술의 적용률이 매우 낮다. 향후, 자율주행자동차 관련기술은 그 부가가치가 매우 높은 분야로 산업적 경쟁력 확보가 매우 중요하다고 판단되며, 이러한 기조에 따라 국내에서도 산업통상자원부 주관으로 자율주행자동차 관련 핵심부품 상용화 관련 기술개발 사업에 대한 예비타당성 조사를 실시하고 예산을 확보하여 2017년부터 본격적으로 추진 중에 있다.

국내 자율주행 적용 및 지원 사례로는 판교지역에서 판교창조경제밸리까지 편도 2.5km구간 도로에서 12인승 자율주행셔틀버스가 다가오는 2017년 12월부터 운행할 예정이고, 판교제로시티 내에 자율주행차 실증단지를 구축하여 정밀지도, C-ITS 등 도로 인프라 및 5G(5세대) 통신기술을 구축하였다. 또한, 대구광역시 대구수목원에서 현풍 테크노폴리스를 연결하는 자동차전용도로에서 자율주행자동차를 시험할 수 있는 환경을 구축할 예정이며, 현풍 테크노폴리스와 구지 지역을 자율주행자동차 실증 단지로 추진 중이다. 세종특별시에서는 자율주행자동차 특화도시를 계획하고 행정중심복합도시건설청은 올해 정부세종청사와 인근 아파트 지역 10km구간을 자율주행 자동차가 다닐 수 있도록 정밀 지도를 구축할 계획이며, 2020년까지 행복도시 전체도로(360km)로 자율주행이 가능하도록 확대할 계획이다.

1 기업 동향

① 현대·기아자동차¹⁴⁾

현대차는 2000년도 초반부터 자율주행차 1~2단계에 해당하는 ADAS 시스템 개발에 착수했을 정도로 국내에서 관련 기술이 가장 앞서 있다. 관련 부서들은 경기도 의왕 및 화성에 각각 위치하고 있으며, 의왕 연구소에 소재한 선행부서에서는 자율주행 3단계 이상의 장기적인 개발에, 화성 연구소에서는 자율주행 1~2단계이자 ADAS가 해당되는 단기적인 개발에 각각 초점을 맞추고 있다. 현대차 또한 여타의 업체들과 마찬가지로 최근 최고 경영진들의 자율주행차에 대한 관심이 증가, 관련 부서들에 대한 지원이 증가하고 있다.

또한, 개발 효율성 증가를 위해 관련 부서 모두 화성으로 통합될 것으로 예상된다. 불과 몇 년 전만 하더라도 자율주행기술이 현실화되기 어려운 기술로 치부되던 것에 비하면 많이 달라진 상황이며, CES 2017에서 아이오닉 기반의 자율주행차의 도로 주행을 시연하였다.

표 2.7.현대자동차의 자율주행 연구

연도(년)	내용
2015	신형 쏘나타에서 운전자 음성으로 시동걸기, 주차장에서 자동차 찾기, 전조등 켜기, 경적울림, 긴급 출동 서비스 호출 등의 기술을 CES에서 선보임
	제네시스 EQ900에는 고속도로 및 도심 자율주행, 혼잡주간주행 지원, 선행차량 추종 자율주행 기술 등이 장착되었으며 2020년부터 통합 자율주행기능이 상용화될 예정
2017	CES에서 자율주행 기술 시연



그림 2.7. CES 2017 현대 자율주행차 공개

연도(년)	내용
2014	부산국제모터쇼에서 운전자의 조작없이 차량이 다양한 자율제어로 주행이 가능한 자율주행시스템 탑재 기술을 K9을 통해 보여줌
2014	CES 2014에서는 전기차 전용 텔레매틱스 시스템과 운전자의 편의성을 향상시킨 인포테인먼트 및 안전 분야 차세대 신기술을 선보임



그림 2.8. CES 2016 기아 자율주행차 공개

2 법·제도 및 규제²⁾

자율주행자동차 관련법은 기본적으로 자동차 관련 안전규제와 제도의 국제적 조화가 요구된다. “도로 교통법” 제48조는 “모든 차의 운전자는 차의 조향장치와 제동장치, 그 밖의 장치를 정확하게 조작하여야 하며, 도로의 교통상황과 차의 구조 및 성능에 따라 다른 사람에게 위험과 장애를 주는 속도와 방법으로 운전하여서는 아니 된다”고 규정하고 있어, 핸들과 브레이크의 조작 없이 스스로 움직이는 자율주행자동차는 불법으로 규정되어 있다. 이에 따라 자율주행차가 도로에서 실주행하기 위해서는 관련 규제의 정비가 필수적이다.

한국교통연구원과 한국법제연구원이 공동으로 수행한 “스마트자동차 시험운행을 위한 도로관련 제도개선 연구”의 연구결과가 활용된 예를 보면 다음과 같다.

자율주행자동차 안전운행조건 관련 자동차관리법 시행규칙이 2016년 2월 11일자로 개정되었다. 자동차관리법 제 27조 단서에서 규정하고 있는 시험·연구목적으로 자율주행자동차를 운행하고자 하는 경우의 안전운행요건을 제시하는 자동차 관리법 시행규칙 규정을 신설한 것이다. 신설된 제 26조의 2는 <표 2.9>와 같다.

표 2.9. 개정된 자율주행자동차 안전운행조건 관련 자동차관리법 시행 규칙¹⁵⁾

조항	규정
제27조 (임시운행의 허가)	자동차를 등록하지 아니하고 일시 운행을 하려는 자는 대통령령으로 정하는 바에 따라 국토교통부장관 또는 시·도지사의 임시운행허가(이하 “임시운행허가”라 한다)를 받아야 한다. 다만, 자율주행자동차를 시험·연구 목적으로 운행하려는 자는 허가대상, 고장감지 및 경고장치, 기능해제장치, 운행구역, 운전자 준수 사항 등과 관련하여 국토교통부령으로 정하는 안전운행요건을 갖추어 국토교통부장관의 임시운행 허가를 받아야 한다.
제26조의 2 (자율주행자동차의 안전운행조건)	<ol style="list-style-type: none"> ① 법 제27조 제1항 단서에서 “국토교통부령으로 정하는 안전운행조건”이란 다음 각 호의 요건을 말한다. <ol style="list-style-type: none"> 1. 자율주행기능(운전자 또는 승객의 조작 없이 자동차 스스로 운행하는 기능을 말한다. 이하 이 조에서 같다)을 수행하는 장치에 고장이 발생한 경우 이를 감지하여 운전자에게 경고하는 장치를 갖추는 것 2. 운행 중 언제든지 운전자가 자율주행기능을 해제 할 수 있는 장치를 갖추는 것 3. 국토교통부장관이 정한 운행구역에서만 운행할 것(자율주행기능을 사용하는 경우만 해당한다) 4. 운행정보를 저장하고 저장된 정보를 확인할 수 있는 장치를 갖추는 것 5. 자율주행자동차임을 확인할 수 있는 표지를 자동차 외부에 부착할 것 6. 자율주행기능을 수행하는 장치에 원격으로 접근·침입하는 행위를 방지하거나 대응하기 위한 기술이 적용되어 있을 것 7. 그 밖에 자율주행자동차의 안전운행을 위하여 필요한 사항으로서 국토교통부장관이 정하여 고시하는 사항 ② 제26조 제1항에 따라 자율주행자동차의 임시운행허가 신청을 받은 국토교통부장관은 법제32조 제3항에 따라 성능시험을 대행하는 자(이하 “성능시험대행자”라 한다)로 하여금 제1항에 따른 안전운행요건에 적합한지 여부를 확인하게 한 후 안전운행 요건에 적합하다고 인정하는 경우 임시 운행허가를 하여야 한다. ③ 제1항 및 제2항에 따른 안전운행요건의 확인에 필요한 세부사항은 국토교통부장관이 정하여 고시한다.

3 테스트 인프라

현재 우리나라에서는 2015년 10월에 시험구간으로 지정한 6개 구간(고속도로 1개 구간 41km 및 국도 5개 구간 총 319km)에서 자율주행자동차 시험운행이 가능하다. 또한 지난해 3월 '자동차 및 자동차부품의 성능과 기준에 관한 규칙'을 일부 개정해 자율주행자동차 임시운행에 대해서는 자동명령기능이 작동하는 차에 적용되는 시속 10km의 최고속도 제한을 받지 않게 하였다. 향후 자율주행자동차 허가구역을 네거티브 방식으로 전환하고 시험운행요건도 완화할 예정이다.

국내 주요 인프라를 보유하고 있는 기업 및 기관으로는 현대자동차, 현대모비스, 현대엠엔소프트, LG전자, 자동차안전연구원, 지능형자동차부품진흥원, 자동차부품연구원, 서울대, 국민대, 한양대 등이 있다.

2.2 자율주행을 위한 핵심기술 트렌드

2.2.1 개요

자율주행 기술을 여러 형태로 분류할 수 있지만 <그림 2.9>에서 보는 바와 같이 관련 기업 관점에서 8개의 그룹으로 정리할 수 있다. 최근 들어 많은 기업들이 더욱 활발하게 혁신적인 기술을 개발하고 상용화 계획을 발표하고 있으며, 더 나아가 기업 간의 협업을 통하여 자율주행자동차 개발 생태계를 조성하고 있다. 언론을 통하여 매일 새로운 소식을 접하고 있지만 이러한 핵심기술 개발 트렌드는 크게 네 가지로 요약될 수 있다. 우선 센서와 프로세서와 같은 하드웨어의 눈부신 발전이며, 다음으로 커넥티비티(connectivity), 고정밀 맵, 그리고 환경 센서와의 융합을 통한 기술적 혁신이다. 세 번째로는 차량 공유나 물류 서비스의 자율주행과 같이 자동화 솔루션을 통한 새로운 서비스의 등장, 마지막으로 보안(security)를 포함하는 기능안전 및 자율주행 기능의 평가방법에 대한 중요성 증대로 요약할 수 있다. 특히, 이러한 기술적 혁신을 주도하는 원천기술로 딥러닝과 같은 AI, 클라우드 및 빅데이터 기반 자율주행을 위한 5G와 같은 초고속 통신기술, 차량탐재가 가능하고 가격경쟁력을 확보하고 있는 고성능 반도체 기술 등이 자동차 기업과 글로벌 IT기업 간의 협업을 활발하게 만드는 원동력이 되고 있다.

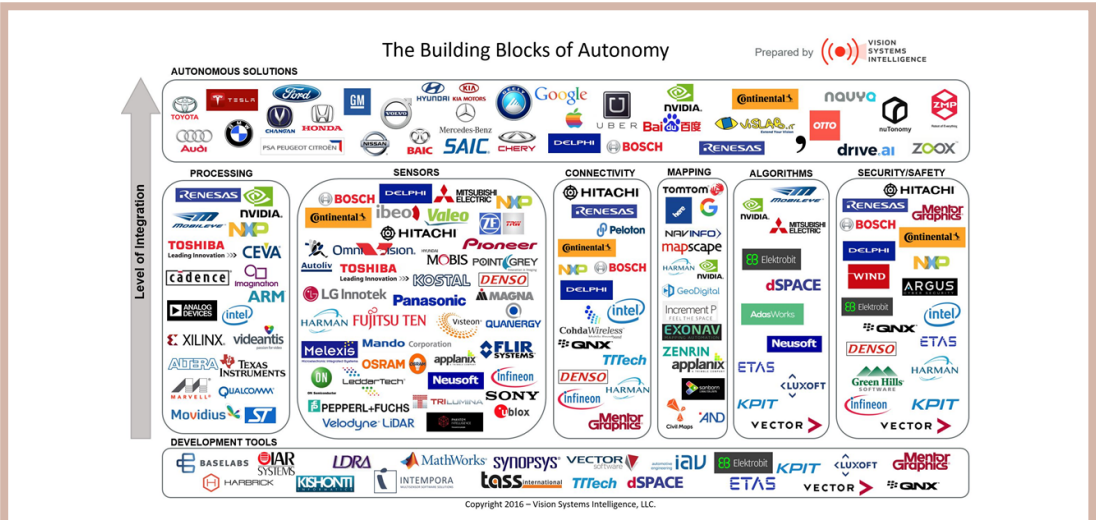


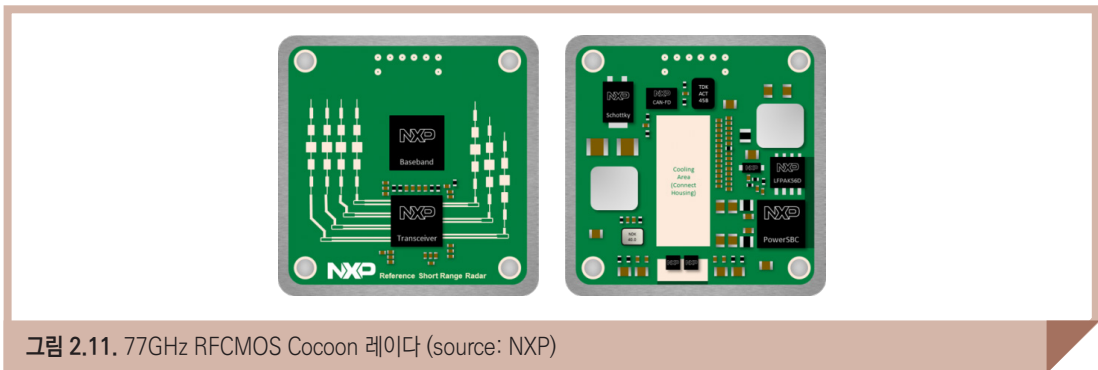
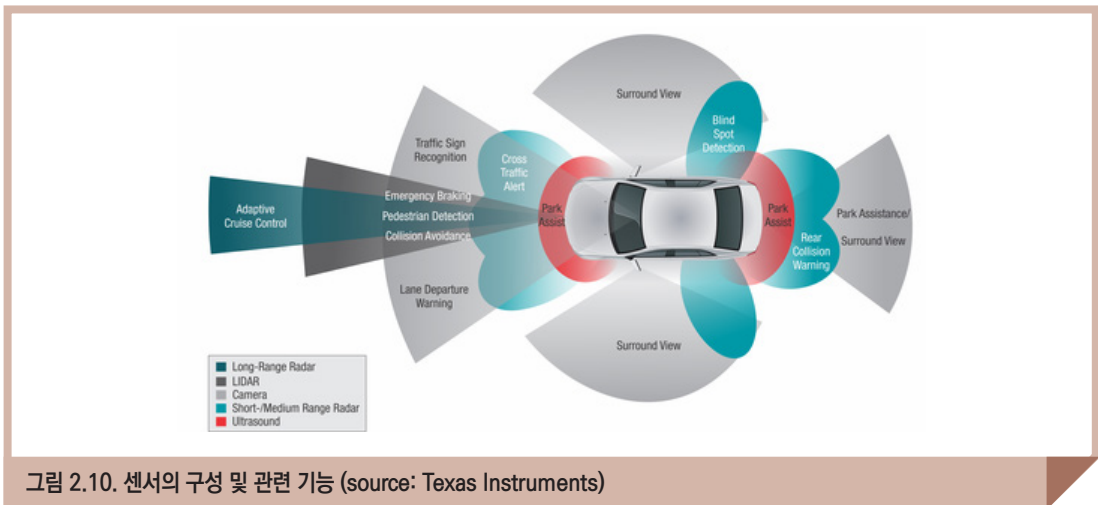
그림 2.9. 자율주행을 위한 기술 및 관련 기업 (source: vision systems intelligence)

2.2.2 센서 및 프로세서의 급성장

주변 환경을 인지하는 센서로 일반적으로 레이더, 카메라, 라이다, 초음파 센서가 널리 사용되고 있다. 자율주행을 위해서는 <그림 2.10>에서 보는 바와 같이 360°의 전방위를 인지할 수 있는 센서의 구성이 필수적이다. 현재는 ACC(Adaptive Cruise Control), AEB(Automatic Emergency Braking), PAS(Parking Assist System) 등 운전자지원시스템(Driver Assistance System), 즉 자율주행 1 또는 2 단계 수준의 상용화를 위하여 순차적으로 적용되고 있다. 물론 3단계 이상의 자율주행 기술을 선보이는 데모가 전 세계적으로 이루어지고 있지만 주로 3차원 라이다와 같은 고가의 센서가 사용되고 있으며 상용화 관점에서는 저가의 환경 센서 조합으로 자율주행자동차가 구성될 것으로 예상된다.

레이더는 자율주행을 위해서 사용되는 가장 신뢰도 높은 센서로서 차량의 전방, 측방, 후측방 등 다양한 위치에 장착되고 있다. 일반적으로 24GHz, 77GHz, 79GHz의 레이더가 개발되거나 상용화되고 있으며 안테나 기술 고도화를 통한 횡방향 분해능 개선, Multi-beam forming을 통한 검지 영역 확대, 주파수 통합 및 소형화를 통한 가격 경쟁력 확보를 목표로 기술 개발이 이루어지고 있다. 특히 최근에는 <그림 2.11>과 같이 CMOS 공정 기술을 활용하여 Radar-on-Chip 모듈로 저가로 개발하려는 전략이 시도되고 있다. 이러한 기술이 확대될 경우 초음파센서를 대체할 수 있을 정도의 가격경쟁력 확보가 가능하다.

레이다의 횡방향 분해능 한계를 극복하기 위해서 라이다가 현재 많이 사용되고 있다. <그림 2.12>에서 보는 바와 같이 현재 프로토타입이나 시범운행을 위해서 제작되었던 많은 자율주행자동차의 경우 기계적 회전에 의해서 3차원을 인지하는 고가의 라이다가 주로 사용되었다. 최근 들어서 반도체 기술의 진보를 통하여 저가의 라이다 센서가 상용화 되고 있으며 이를 적용하여 자율주행자동차를 개발하는 자동차 기업이 증가하고 있다. 국내에서도 삼성전자가 네이버 등 자율주행 기술을 확보하기 위한 기업들이 미국 Quanergy나 이스라엘 Innoviz Technologies에 공동 투자를 하고 있다. 하지만 비와 눈 같이 날씨변화에 민감하고 센서 표면이 레이저가 투과할 수 있도록 관리가 되어 있어야 한다는 단점을 내재하고 있기에 향후에 고정밀 레이다가 상용화 되는 시점에는 서로 시장 경쟁을 할 것으로 예상된다.



1 자율주행자동차 딥러닝 기술을 탑재하다

2 도심상기름공포 IoT로 예방하다

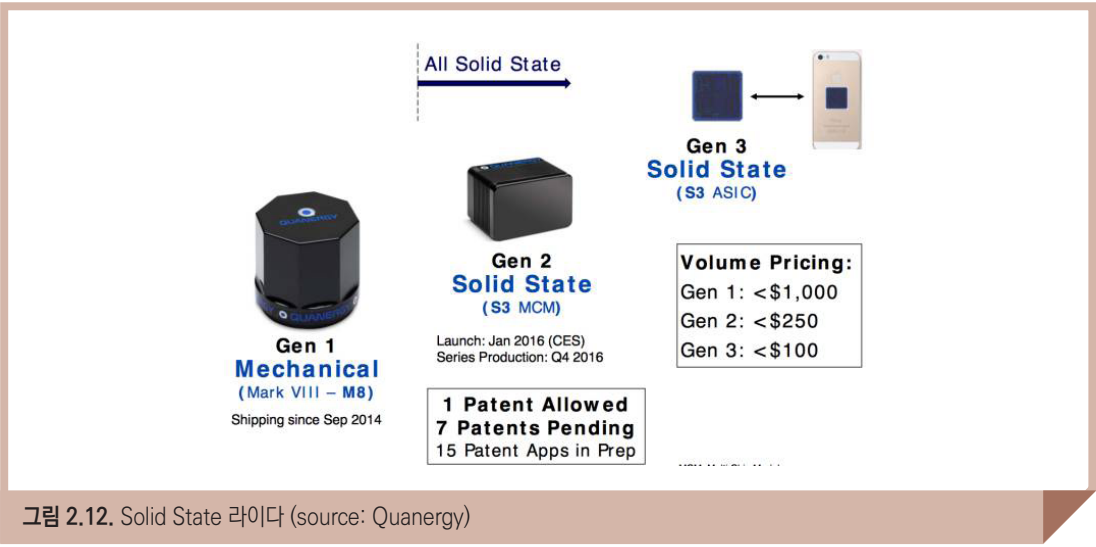


그림 2.12. Solid State 라이다 (source: Quanergy)

다음으로 자율주행을 위한 핵심센서로 가장 주목을 받고 있는 카메라가 있다. 특히 올해 3월에 미국 Intel 이 단안 카메라를 기반으로 차량 주변을 인지하는 비전 모듈을 생산하는 이스라엘 기업 Mobileye를 153억 달러(약 17조 원)이라는 금액으로 인수하겠다는 발표를 했다. 25개 이상의 글로벌 자동차 기업에서 사용하고 있으며 13개 이상의 회사와 자율주행 기술 구현을 위해서 같이 협력을 하고 있을 만큼 객관적으로 기술의 우수성을 인정하더라도 과연 해당 인수 금액의 가치를 가지고 있는가에 대해서 의견이 분분한 것도 사실이다. 결국 미래가치가 반영이 되었다고 해석하는 것이 적절해 보이며 어떠한 미래가치인가를 추론해 볼 필요가 있다. 크게 세 가지 관점에서 카메라의 미래 가치를 전망해보고자 한다.

첫 번째는 비전 센서라는 하드웨어 시장이 급속도로 확대될 것이라는 전망이다. 위 2.1에서 세계 각국의 현황을 정리했지만 각국의 신차평가프로그램(NCAP: New Car Assessment Program)이 차량 간의 충돌뿐만 아니라 보행자, 오토바이, 자전거 등 적용대상이 확대되고 있으며 교차로와 같은 시내 주행에 대한 안전도가 강화되고 있다. 따라서 이를 대응하기 위해서는 비전센서가 필수적으로 필요하며 점점 모든 신차의 장착률이 높아질 것으로 예상된다. 또한 비전 센서는 안전시스템뿐만 아니라 차량의 주행 쾌적도를 향상시키는 기술로도 진화되고 있다. <그림 2.14>에서 보는 바와 같이 비전센서를 사용하여 전방 노면의 굴곡을 모니터링하고 방지턱과 같은 변화에 능동적으로 현가장치를 조정하여 운전자의 탑승 만족도를 제고시키는 기술도 상용화되고 있다. 이와 같이 안전시스템뿐만 아니라 다양한 응용이 가능한 센서로 진화할 것으로 예상된다.

두 번째로는 비전 센서의 활용도를 극대화하기 위한 딥러닝과 같은 AI기술의 등장으로 그 가치가 급상승하고 있다. 이에 대해서는 4장에서 좀 더 구체적으로 설명이 되겠지만 기존에 비전센서를 이용해서 차량 주변을 인지하는 기술의 경우 성능 한계에 의해서 정체되고 있었지만 딥러닝이라는 혁신적인 기술의 적용으로 인해서 발전 속도를 예측하기 어려울 정도의 기술발전이 이루어지고 있는 전환의 시기에 놓여 있다.

마지막으로는 위에서 언급한 딥러닝과 직접적인 연관이 있지만 데이터의 축적을 위한 플랫폼으로서의 가치이다. 자율주행자동차가 상용화되기 시작한다면 모든 자율주행차는 비전센서를 장착하고 있을 것으로 예상되며 주행과 동시에 데이터를 창출하는 엔진으로 역할을 할 것이다. 현재 스마트폰이 데이터를 창출하는 엔진으로 주로 사용되고 있지만 자율주행 시대에는 자율주행기능을 탑재한 스마트카가 새로운 도구가 될 것으로 전망된다.

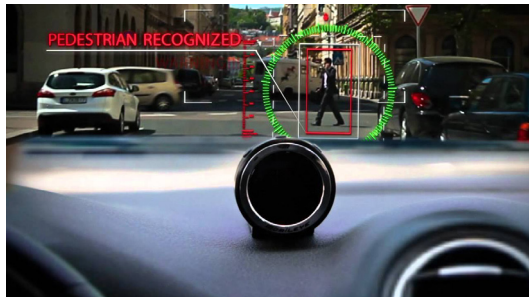


그림 2.13. 단안 카메라를 이용한 보행자 인지 (source: mobileye)

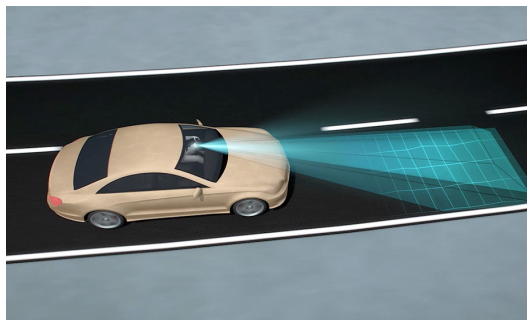


그림 2.14. 스테레오 비전을 이용한 Magic Body Control (source: Mercedes Benz)

전방위 인지를 위해서 많은 센서가 장착됨에 따라 딥러닝 알고리즘까지도 구현이 가능한 임베디드 프로세서의 필요성이 더욱 부각되고 있다. NVIDIA는 2016년 미국 CES에서 기존의 자율주행 구현 기술의 패러다임을 바꾸어 놓았는데, 영상 입력으로부터 차량의 제어 신호를 추정할 수 있는 end-to-end 딥러닝 플랫폼을 발표하였다 <그림 2.15 참조>. NVIDIA가 개발한 Drive PX를 활용하여 기존에는 계산량이 많아 처리하기 힘든 계산을 차량 환경에서도 계산이 가능해졌다. 이러한 요구가 더욱 증가할 것으로 예상되며 최근에 합병이 성사된 Intel과 Mobileye, Qualcomm과 NXP에서도 프로세서 플랫폼을 개발하고 있으며 자동차 기업과의 협력 개발이 활발하게 진행되고 있다.

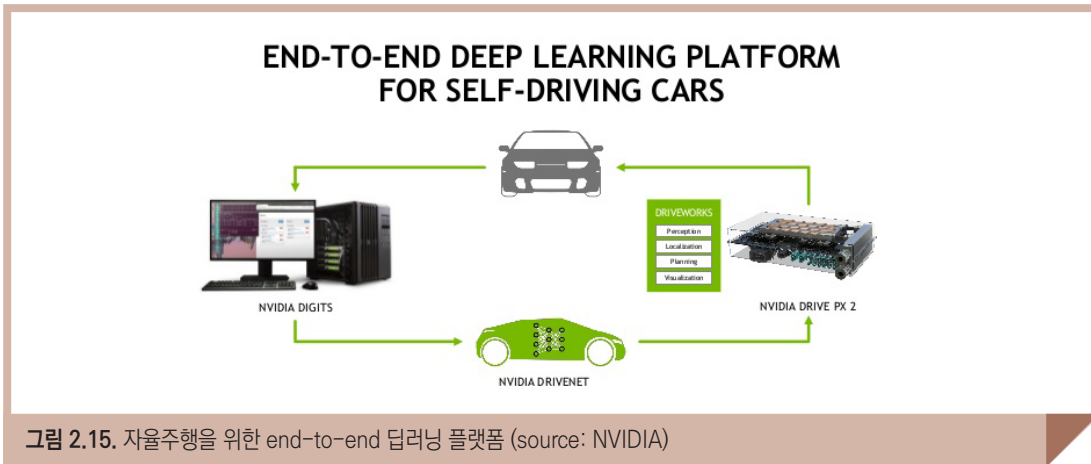


그림 2.15. 자율주행을 위한 end-to-end 딥러닝 플랫폼 (source: NVIDIA)

2.2.3 ICT기반 융합기술의 도입

자율주행 기술이 3, 4, 5단계로 점진적으로 진화하는 과정에서 시스템 안전성을 제고하기 위해서는 정보통신기술을 기반으로 하는 융합기술의 도입이 필요하다. 예를 들어서, 교차로, 진출입 구간, 급커브 구간, 속도 방지턱, 도로공사 구간 등에서 차량 내 환경 센서의 인지 범위를 벗어나거나 성능이 저하될 수 있는 경우, 전방 연쇄 추돌이나 2차 충돌 사고가 발생한 긴급한 상황인 경우, 부분결빙, 포트홀(pot hole), 무단 투기물 등 도로 상태 불량인 경우 등 일상에서 우리가 흔히 겪을 수 있는 수많은 상황이 존재한다. 자율주행 기술의 안전성을 보장하기 위해서는 물론 이러한 상황을 모두 인지할 수 있는 환경센서가 있다면 해결이 되지만 5년 내 가까운 미래에는 이러한 센서가 상용화 될 것이라고 기대하기 어려울 것이다.

현재 시점에서 우선적으로 많은 문제를 해결할 수 있다고 생각하는 방법이 고정밀(high resolution) 맵을 기반으로 자율주행 기술을 융합하는 방법이다. <그림 2.16>에서는 독일 Bosch에서 제안하는 고정밀 맵의 계층을 보여주고 있다. 가장 하위 계층인 디지털 맵(digital static map)은 현재 상용화되어 이용하고 있는 네비게이션용 맵에 추가적인 도로 환경 정보를 포함하는 것을 뜻한다. 일반적인 목적은 환경 센서의 인지 성능 저하 여부를 판단하거나 성능 저하를 보완하는(fail-operational) 역할을 하게 된다. 예를 들어서, 차선 인지 시 비전의 오점지를 보완하기 위한 차선 폭 정보, 터널이나 가드레일에 의한 레이더의 오점지를 보완하기 위한 도로 설치물의 횡방향 위치 및 갓길 정보, 직선로와 곡선로가 접해 있는 구간에서 차량 위치 판단 오류를 보완하기 위한 곡률정보 상세화 등이 될 수 있다. 이러한 추가 정보는 일반적으로 상용화된 환경 센서의 오점지 및 미검지 상황을 분석하여 결정이 되며 안전성 제고를 위해서 환경 센서의 추가 대신 디지털 맵이 사용되어서 가격경쟁력 제고를 위하여 필요한 맵의 계층이 된다. Google이나 Here, TomTom과 같이 글로벌 네비게이션 솔루션을 개발하는 업체에서 관련 기술의 경쟁력을 지속적으로 유지할 것으로 예상된다.

다음으로 위치추정 계층은 위에서 언급한 비정상적인 상황을 차로별로 파악하기 위해 필요한 계층이다. 즉 차량이 몇 차선을 주행하고 있는지를 알아내기 위한 정보를 제공하는 계층이다. DGPS(Differential GPS)와 같은 고가 장비를 사용하여 주행 차선을 알아낼 수 있지만 가격경쟁력을 위해서 GPS, 레이더, 카메라 등 현재 상용화 되고 있는 센서의 융합을 통하여 구현하려고 개발 중이다. 예를 들어서, <그림 2.17>에서 보는 바와 같이 레이더의 측정값의 패턴, 비전을 통한 상황인지(터널, 가드레일, 좌회전/우회전 표시선 등)와 주어진 맵의 정보를 매칭시켜서 주행 차로를 알아내는 lane-level localization이 기업 간 협업으로 활발하게 진행되고 있다.

동적(dynamic) 계층에는 사고 정보, 도로 공사 구간, 도로 불량 상태 등 비정상적인 정보를 클라우드 기반으로 수집 및 통합하여 제공하는 역할을 하게 된다. 이러한 비정상적인 정보를 제공하는 주체는 자율주행자동차에 내장되어 있는 센서와 통신을 통하여 이루어진다. 이처럼 다계층으로 이루어진 고정밀 맵은 자율주행을 위해 꼭 필요한 정보를 담을 수 있는 그릇과 같은 역할을 할 수 있게 된다. 더 나아가 이러한 역할의 중요성 때문에 자율주행자동차의 핵심 플랫폼 기술이라고 예측할 수도 있다. 현재 자동차 기업이 자율주행차 시대를 준비하는데 있어서 글로벌 IT기업의 시장 접근 전략에 신경을 쓰는 이유도 이러한 차세대 플랫폼 기술에 대한 주도권 경쟁으로 이해할 수 있다.

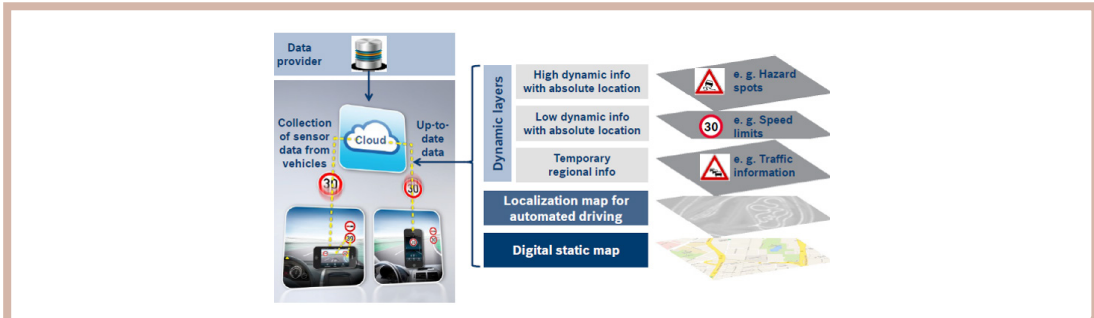


그림 2.16. 고정밀 맵의 개념도 (source: Bosch)

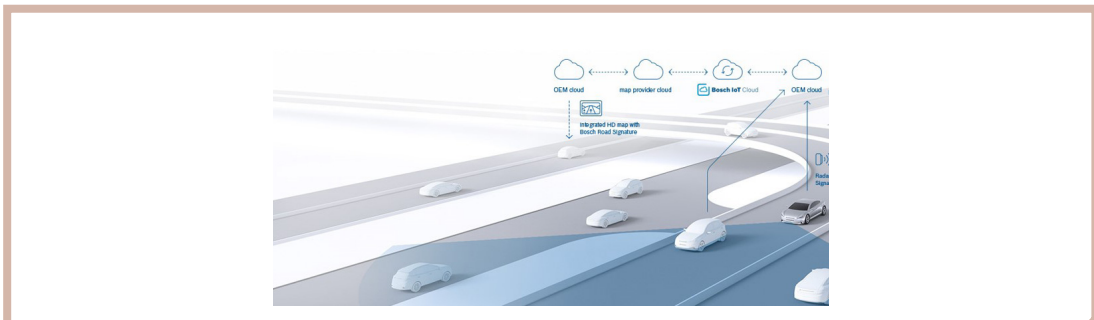
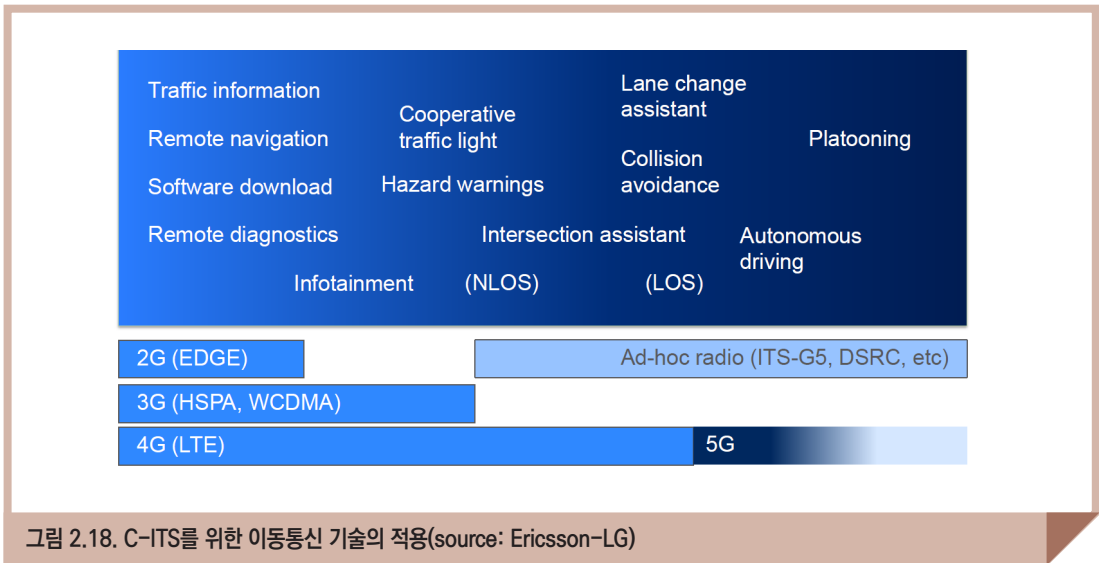


그림 2.17. 맵을 활용한 측위 기술 (source: Bosch)

클라우드와 고정밀 맵이 실질적인 의미를 갖기 위해서는 실시간 정보가 쌍방향으로 전달이 되어야 한다. 이를 위하여 차량 간 무선 통신의 경우 미국 IEEE 802.11 위원회는 IEEE 802.11a/g 기술을 기반으로 민간 표준화 단체인 ASTM(American Society for Testing and Materials)을 통해 WAVE(Wireless Access in Vehicular Environment)로 지칭되는 차량용 무선통신 규격에 대한 표준화 작업을 2004년부터 시작하여 현재 IEEE 802.11p 표준으로 정하였다. 최대 200km/h로 주행하는 차량에서 최대 54Mbps급의 전송 속도를 지원하는 통신 기술이다. 또 다른 하나는 이동통신사를 중심으로 표준화가 검토되고 있는 5세대 이동통신(5G)이 있다. 지난 미국 라스베이거스 CES 2017에서 Intel은 5G 모뎀을 세계 최초로 발표하여 기가비트급 속도를 바탕으로 자율주행차량, 사물인터넷, 무선 광대역 등 다양한 분야에서 혁신이 일어날 것이라고 예고했다. 국제전기통신연합(ITU)에 의하면 5G는 최대 다운로드 속도가 20Gbps, 최저 100Mbps인 이동통신 기술이며 시속 500Km의 고속열차에서도 자유로운 통신이 가능해야 한다. <그림 2.18>에서 보는 바와 같이 통신기반 운전자지원 서비스뿐만 아니라 자율주행을 사용될 수 있으며 향후 개발된 차량 내 통신단

말기는 기존의 통신 기술과 호환이 되는 형태로 개발이 될 예정이다. 즉, DSRC(Dedicated Short Range Communication), WAVE, LTE, 5G에 이르기까지 다양한 통신 기술이 혼재되어 사용될 것으로 예상된다.



2.2.4 새로운 서비스의 등장

자동차 기업이 개발하고 있는 자율주행자동차에 대해서는 위 2.1에서 각국의 현황을 소개하였다. 이외에도 어떠한 활발한 움직임이 있는지 크게 세 가지 방향으로 정리 해보고자 한다. 첫 번째로는 커넥티드카를 위한 차량 데이터 플랫폼의 본격적인 경쟁이 시작되고 있다. 자율주행자동차를 위해서 카메라를 비롯해서 많은 센서가 장착되고 있고, 센서의 측정값을 통신기술을 기반으로 고정밀 맵이라고 명명되어 있는 클라우드 플랫폼에 축적하여 자율주행을 위한 핵심기술이 구현될 수 있다. 다음 질문은 커넥티드카 또는 자율주행차의 데이터를 수집할 수 있는 데이터 파이프라인을 어떻게 구축할 것이느냐가 될 것이다. 국내에서도 검색 엔진은 네이버, 텍스트 메시지 시장은 카카오가 선점하고 있듯이 데이터 파이프라인은 선점이 가장 중요한 전략이라고 할 수 있다. 물론 이미 네비게이션 앱을 통하여 차량의 위치 및 속도 정보 데이터를 수집할 수 있지만 더 나아가 차량 내 장착되어 있는 센서의 데이터 수집은 향후에 굉장한 가치를 가질 것으로 예상된다.

위 2.2.2에서 Google, Intel, Qualcomm 등 글로벌 IT 기업들이 이미 관련 기업의 인수합병을 통하여 데이터 파이프라인의 선점을 준비하고 있다는 설명을 하였고 <그림 2.19>과 <그림 2.20>에서 보는 바와 같이 자동차 기업이나 1차 부품공급업체에서 통신회사나 지도관련 회사와의 협업을 통하여 차량 데이터 플랫폼을 출시하고 있다. 특징으로는 차량 관리, 차량 수리, 사고 후 처리 등 자동차에 특화된 서비스를 발굴하여 차량 데이터 플랫폼을 확대하고자 하는 전략을 취하고 있다.

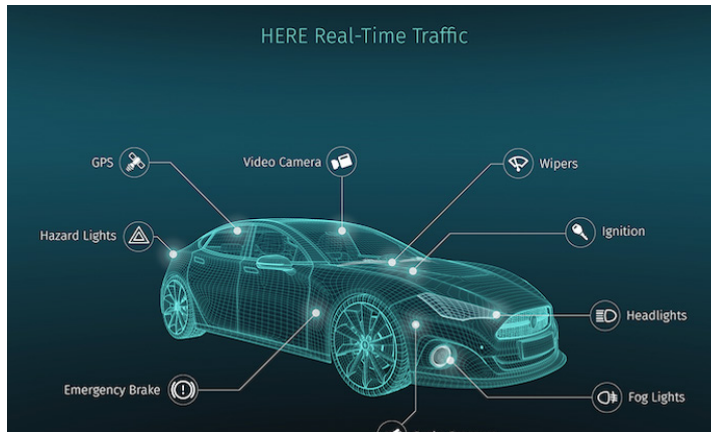


그림 2.19. 차량 데이터 플랫폼 (source: HERE real-time traffic)

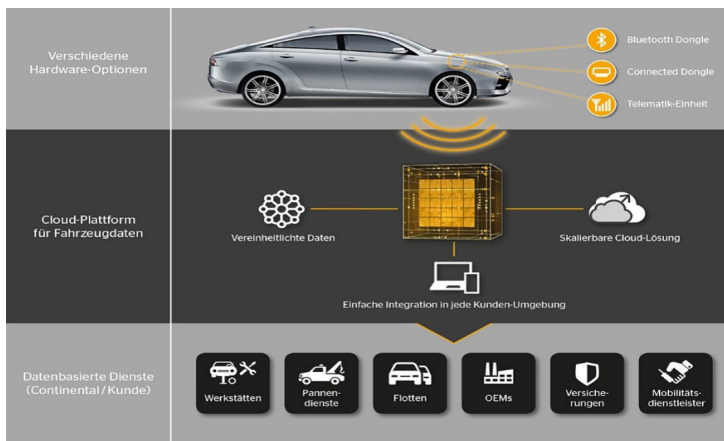


그림 2.20. 차량 데이터 플랫폼 (source: Continental Remote Vehicle Data Platform)

두 번째로는 V2X(vehicle-to-everything) 통신을 기반으로 한 차량 안전 및 편의 서비스가 지속적으로 테스트되고 있다. 특히 미국 NHTSA에서는 2012-13년에 Safety Pilot Model Deployment 프로그램을 통하여 2,800대의 차량을 대상으로 V2V 및 V2I 통신을 기반으로 <그림 2.21>에서 소개되어 있는 대표 안전 서비스에 대한 대규모 실증 데모를 수행하였다.¹⁶⁾ 하지만, 결론적으로 많은 오경고(false alert)가 전방추돌 경고(FCW), 사각지대경고(BSW), 교차로 거동경고(IMA)와 같은 서비스에서 발생하였음이 보고되고 있다. 그 중 많은 부분이 차선수준 측위기법(lane-level localization)의 실패에 기인하고 있다. 통신 기반 안전 서비스의 성능 분석 결과는 위에서 언급한 고정밀 맵의 위치추정 계층의 중요성을 다시 이해할 수 있으며 차선수준 측위기법에 대한 혁신적인 기술의 등장을 통하여 상용화 관점에서 다시 주목받을 수 있다는 시사점을 주고 있다.

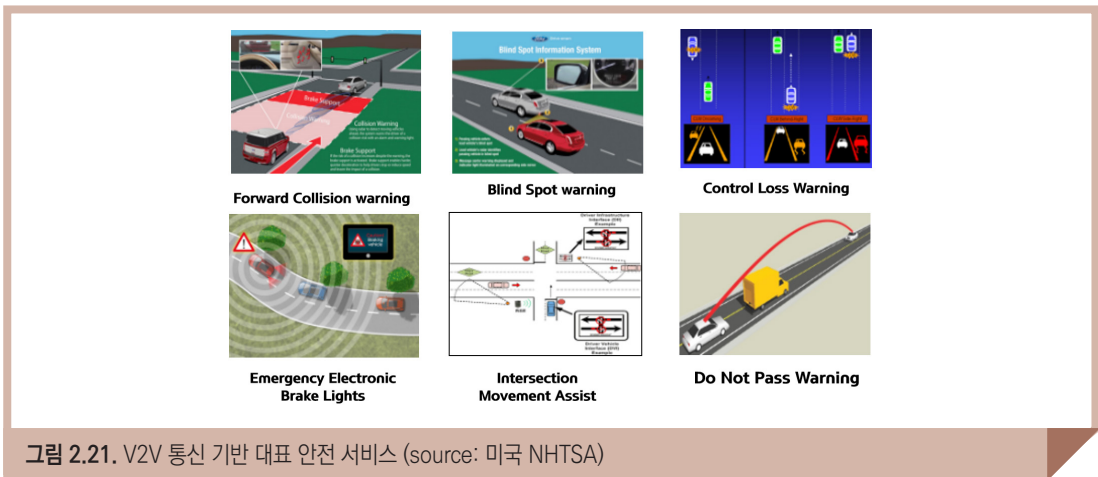


그림 2.21. V2V 통신 기반 대표 안전 서비스 (source: 미국 NHTSA)

세 번째로는 스타트업 기업이 자율주행자동차를 기반으로 다양한 서비스를 활발하게 발굴하고 있다. 자동차 공유 서비스 회사로 알려진 UBER에서는 2016년부터 미국 펜실베이니아주 피츠버그에서 14대의 포드 퓨전 차량을 기반으로 한 자율주행 시스템의 테스트 주행이 지속되고 있다 <그림 2.22 참조>. 또한, 자율주행 스타트업인 OTTO의 경우 지난 2016년 10월에 맥주화물 배송을 위하여 콜로라도 주 고속도로에서 자율주행 모드를 활용하여 120마일을 주행함으로써 자율주행 서비스의 가능성을 확대하고 있다<그림 2.23 참조>. 유럽의 경우 전기차량을 기반으로 자율주행 기술을 응용하는 시도가 활발하며 <그림 2.24>과 <그림 2.25>에서 보는 바와 같이 소형 전기 버스를 기반으로 자율주행 기능을 탑재하여 주어진 경로만을 운행하는 셔틀 기능을 프랑스, 두바이, 싱가포르, 미국 등에서 시범운행을 하고 있거나 추진하고 있다.



① 자율주행자동차, 딥러닝 기술을 탑재하다



그림 2.22 자율주행 차량 공유 서비스(source: UBER)



그림 2.23 자율주행 트럭의 운송 서비스 (source: OTTO)



그림 2.24. 전기 셔틀버스 기반 자율주행 서비스 (source: Easy Mile)



그림 2.25. 전기 셔틀버스 기반 자율주행 서비스 (source: Navya)

2.2.5 기능 안전 및 검증 방법의 중요성 제고

2017년 미국 UMTRI(University of Michigan Transportation Research Institute)에서 발표한 논문
에 의하면 자율주행차를 평가하고 검증하는 가장 보편적인 방법인 실도로 주행 테스트(Naturalistic-Field
Operational Test)에 대한 비효율성과 한계성을 지적하고 있다. 미국의 경우 경찰에 보고된 사고를 기준으
로 평균 53만 마일 주행 당 한 건의 사고가 발생하고 사망사고를 기준으로는 1억 마일 당 사고가 발생할 정
도로 일반적인 주행 환경에서 사고가 발생하는 긴박한 상황을 마주치기가 쉽지 않음을 지적하고 있다.^{17),18)}
다시 말해서, 통계적으로 한 해 사망하거나 교통사고가 발생하는 건이 많다는 것은 사실이지만 실제 차량의
주행거리를 반영한다면 한 대의 차량이 도로 주행을 하면서 위험한 상황을 마주 치기가 쉽지 않다고 해석할
수 있으며 위의 통계 수치를 인용한다면 50만 마일 이상을 실도로 주행을 통한 검증을 했다고 해도 안전도
를 검증하는 관점에서 충분하지 않다고 해석할 수도 있다. 실제 2016년 5월에 Tesla 모델 S 전기자동차가
자율주행 모드(오토파일럿)로 주행하던 중 트레일러의 하얀색 면을 차량으로 인지하지 못하고 트럭에 1차
충돌 후 연쇄 충돌을 하고 운전자가 사망하는 사건이 발생하였다. 이 사건의 경우 자율주행 1단계에 해당하
는 수준이어서 운전자가 항시 핸들에 손을 대고 있어야 하지만 37분 운전 중 25초 정도만 핸들에 손을 대고
있었으며 오토파일럿의 7번 시각적 경고를 무시하며 부주의하게 운전을 한 운전자 과실로 발표를 하였다.

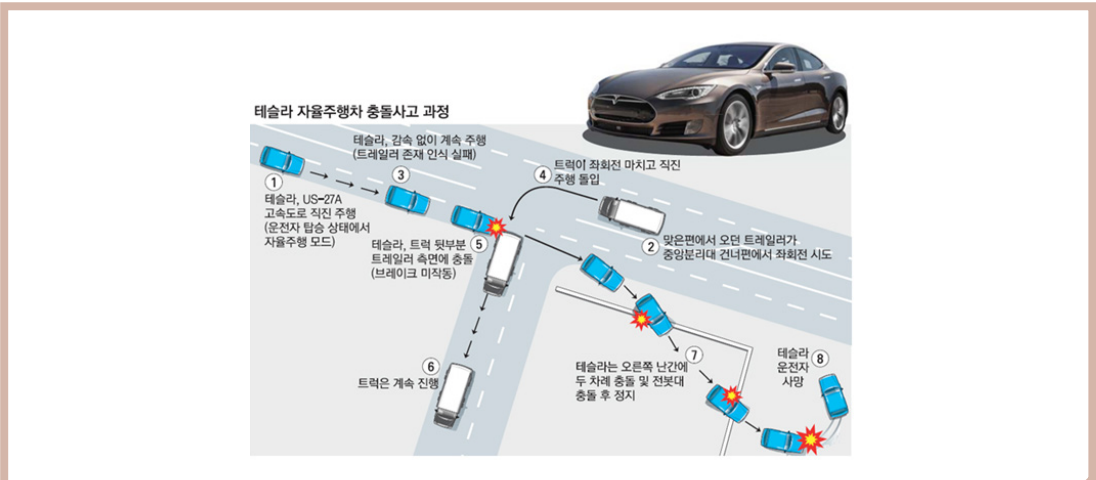


그림 2.26. 미국 Tesla의 자율주행차 충돌사고 과정 (source: 매일경제)

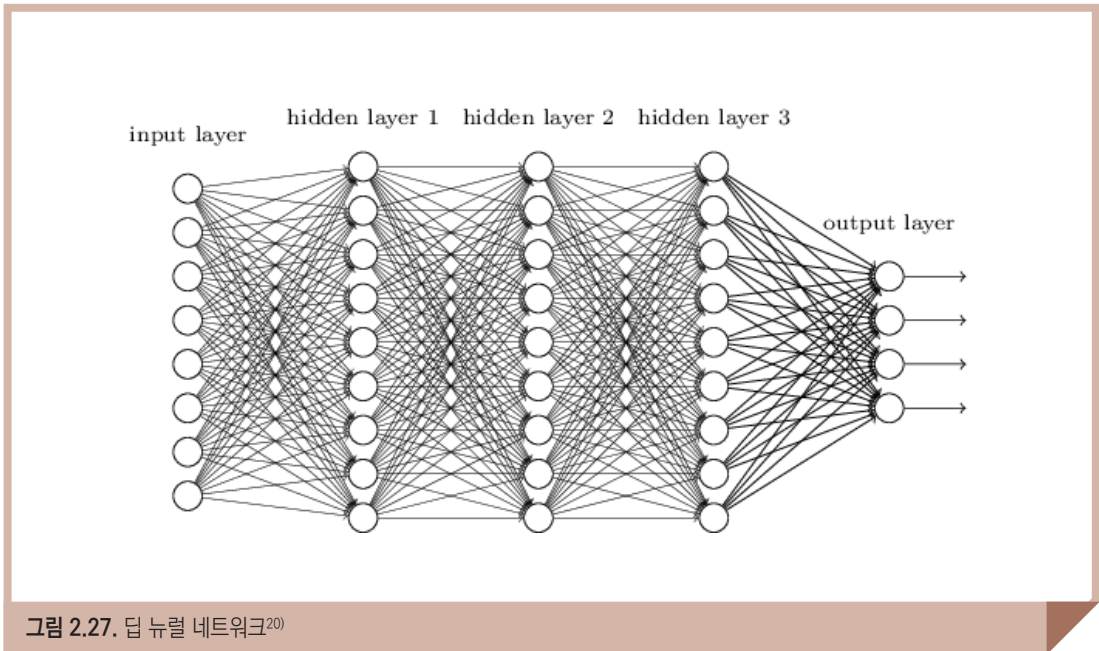
미국 NHTSA에서는 기능 안전, 보안, 개인정보보호, Fall-back(고장 상황에서도 안전을 보장할 수 있는 방법)을 포함한 15개의 성능 가이드라인을 2016년에 발표하였다. 기능 안전의 경우 2018년에 정식 발효되는 ISO 26262 제2판이 발표되었고 차량 반도체 안전 설계 및 보안(cybersecurity)에 대한 가이드라인이 추가되면서 업계의 발 빠른 대응의 필요성이 제기되고 있다. 그 외 이슈에 대해서는 자율주행 정책 결정을 위한 거버넌스를 구성하여 구체적인 논의가 활발히 진행되고 있다. 특히 딥러닝과 같은 AI기술이 적극적으로 도입되기 위해서는 주변 환경 정보에 대한 데이터 수집과 사용에 대한 사회적 수용성과 법률적 책임성이 명확해져야 할 것이다. 자율주행자동차가 빠른 시일 내에 상용화되기 위해서 이러한 정책적 기반 위에 혁신적인 평가 및 검증 기술이 개발될 것으로 예상된다.

2.3 자율주행을 위한 카메라 기반 딥러닝 기술

자율주행 기술은 라이다, 레이더, 카메라 등의 센서로부터 얻은 데이터를 가공하여 차량을 제어하는 기술이 핵심이다. 특히, 카메라 센서는 전방 사물 인식 및 검출, 차선 인식 및 유지 기능, 신호등, 표지판, 도로 검출 등의 복합 환경 인식 등 사람의 눈과 같은 역할을 수행한다. 이러한 영상 인식기는 예전에는 사람이 직접 특징을 정의하여 영상으로부터 해당 특징을 추출하여 인식을 수행하는 방식이었으나, 최근에는 사람의 뇌의 신경망을 모사한 딥러닝 기술을 이용하여 스스로 의미있는 특징을 추출하고 이를 이용하여 인식을 수행하는 방식이 널리 사용되고 있다.

2.3.1 딥 러닝 (deep learning) 기술

딥 뉴럴 네트워크(DNN, Deep Neural Network)은 인간의 신경망을 모방한 네트워크로서 이전의 출력 값이 다음 층의 입력으로 작동되는 계층 구조를 갖는다.¹⁹⁾ 매 계층의 출력단에는 비선형 함수가 존재하며, 모든 연결에는 가중치가 있다. 이 가중치는 학습에 의해 구해지게 되는데, 이 과정은 최상위 계층의 출력 값으로부터 오류를 계산하고 하위 계층으로 오류를 전파하는 방식이다. 이러한 DNN을 학습시키고 이용하는 기술을 딥러닝 기술이라고 한다.



DNN이 구해야 하는 가중치의 수는 무수히 많기 때문에, 같은 계층에서는 가중치를 공유하는 방식도 개발되었다. 이를 컨볼루션 뉴럴 네트워크 (CNN: convolutional neural network) 라고 부르는데, 이 방식은 영상 인식에 가장 많이 쓰이는 기법이다. 이러한 CNN²¹⁾ 기법은 더 복잡한 문제를 해결하기 위해서는 100층 이상 쌓기도 하며, 계산량이 상당히 많기 때문에 수 천개의 계산을 동시에 할 수 있는 GPU를 이용하곤 한다. 차량에서는 NVIDIA가 개발한 drive PX를 활용하여 기존에는 계산량이 많아 처리하기 힘든 계산을 차량 환경에서도 계산이 가능해졌다. 따라서, 최근 딥러닝 기반 인식 기술을 차량에 적용하는 사례가 많아지게 되었다.

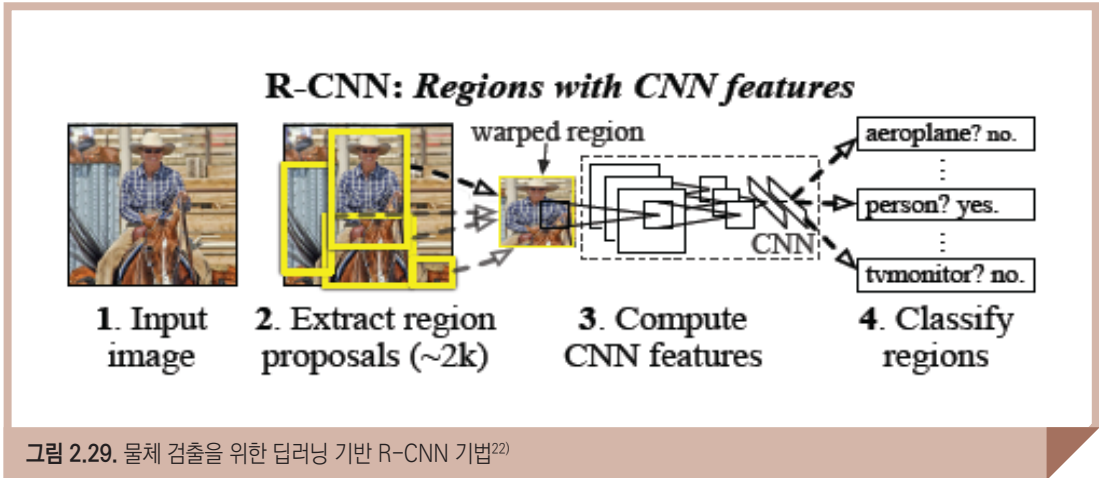
2.3.2 물체 검출 기술

자율주행을 위한 가장 기본적인 기능 중의 하나는 주변 상황의 물체를 탐지하는 기술이다. 전방에 있는 차량 혹은 보행자를 검출하고 자동으로 차량의 제동 시스템을 제어하여 사고를 미연에 방지할 수 있는 긴급 제동 시스템(AEB: autonomous emergency braking system) 등에 활용할 수 있는 기술이다. 기존에는 개발자들이 직접 만든 특징을 이용하여 분류기를 학습하고, 학습된 분류기를 이용하여 주변 환경에 있는 물체를 검출하고 인식하였으나, 성능이 만족스럽지 않아 한동안 주춤하였다. 하지만, 최근에는 CNN을 이용하여 물체 검출하고 인식을 수행하는 방식이 사람만큼이나 높은 인식률을 보이고 있어 이를 자율 차량에도 적용하고 있는 추세이다.

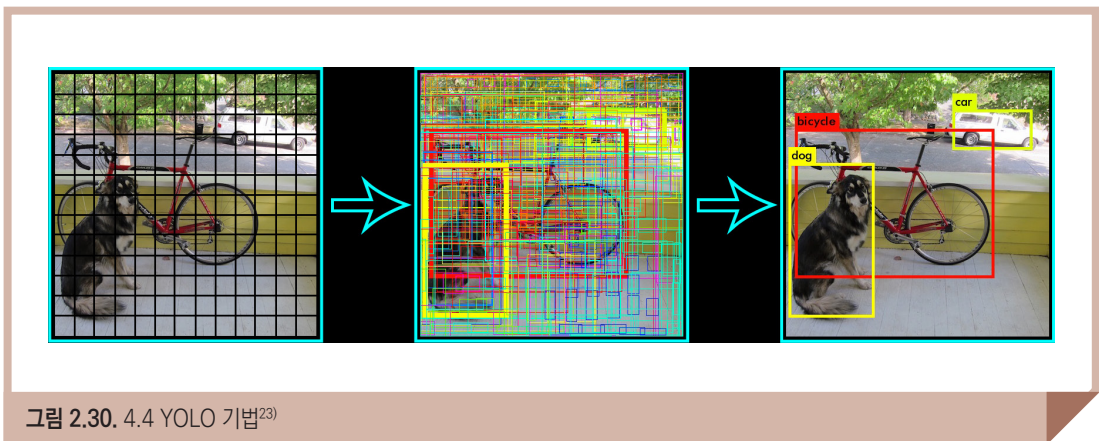


그림 2.28. 전방 보행자 검출 기술

딥러닝을 이용한 물체 검출 기법은 최근에도 연구가 진행 중에 있으며, 그 중 가장 혁신적인 기술로 손꼽히는 기법은 R-CNN(Regions with CNN features)²²⁾이라는 기법이다. 일반적으로 물체 검출에 CNN을 적용하려면 영상의 모든 영역 및 모든 크기에 대해 탐색을 수행하여야 한다. 하지만 이 기법을 이용하면 처리속도를 개선시킬 수 있는데, 기본적으로 영역제안(region proposal)을 2,000개 정도 추출하여 추출된 2000개에 대해서만 CNN을 적용하는 방식이다. 이러한 과정을 통해 기존의 방식에 비해 계산량을 줄였고, 오히려 검출률도 더 개선을 시키는 것이 가능해졌다.



하지만 이러한 기술도 저전력을 사용하는 차량 환경과 같은 임베디드 환경에 적용하기에는 적합하지 않았다. 따라서 최근 YOLO²³⁾라는 기법이 개발되었는데, 차량 환경에서는 이 기법이 많이 이용되고 있다. 이 기법은 입력영상을 겹쳐지지 않은 그리드 형태로 쪼개어 각 그리드에 대해서만 CNN을 적용하여 R-CNN보다 훨씬 빠른 속도로 물체 검출을 수행할 수 있다. 이 방식을 통해 차량 환경에서도 실시간처리가 가능하게 되었으며, 차량이나 보행자뿐만 아니라 각종 동물이나 자전거 등 주행 상황에서 발생할 수 있는 다양한 물체에 대해 검출 및 인식이 가능하게 되었다.



2.3.3 복합 환경 인식 (시멘틱 세그멘테이션)

앞에서 설명한 물체 검출 기능은 일반적으로 물체 단위로 한정되어있다. 예를 들어 차량 및 보행자와 같은 것에 대한 검출은 가능하지만, 도로나 건물, 인도와 같은 영역에 대한 검출은 고려하지 않고 있다. 이러한 환경을 인식하기 위한 기술로서 시멘틱 세그멘테이션(semantic segmentation) 기법이 많이 이용되고 있는데, 이 기술은 같은 속성을 갖는 것들끼리 같은 그룹으로 클러스터링(clustering) 하는 기술이다. 아래 그림은 물체 검출 기법과 시멘틱 세그멘테이션 기법의 차이를 보여준다.

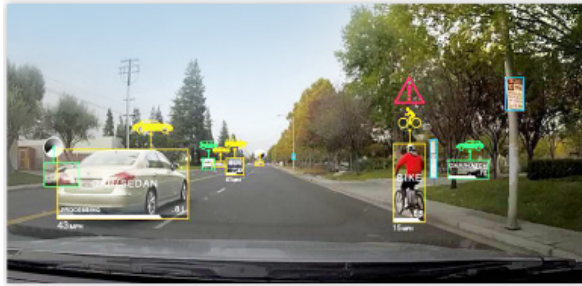


그림 2.31. 물체 검출 기법²⁴⁾

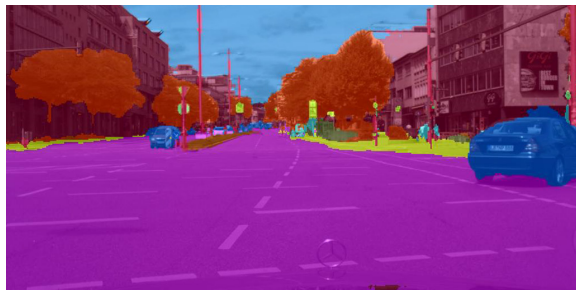
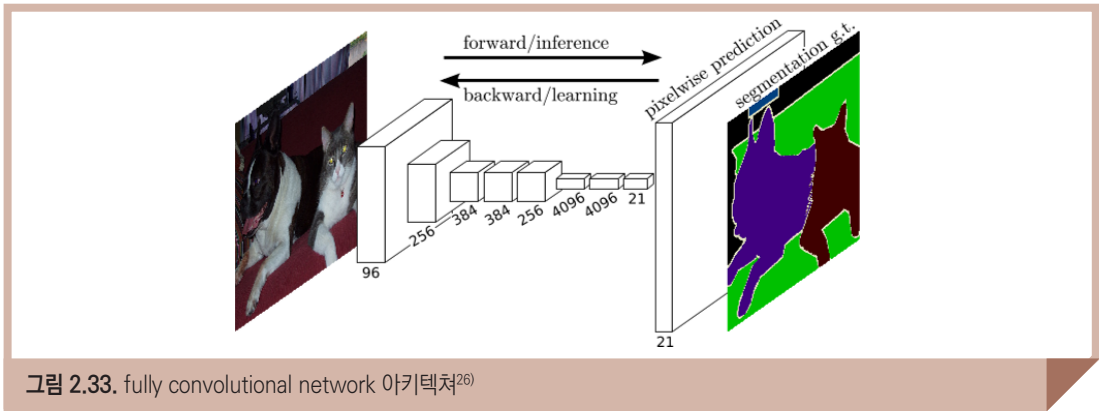


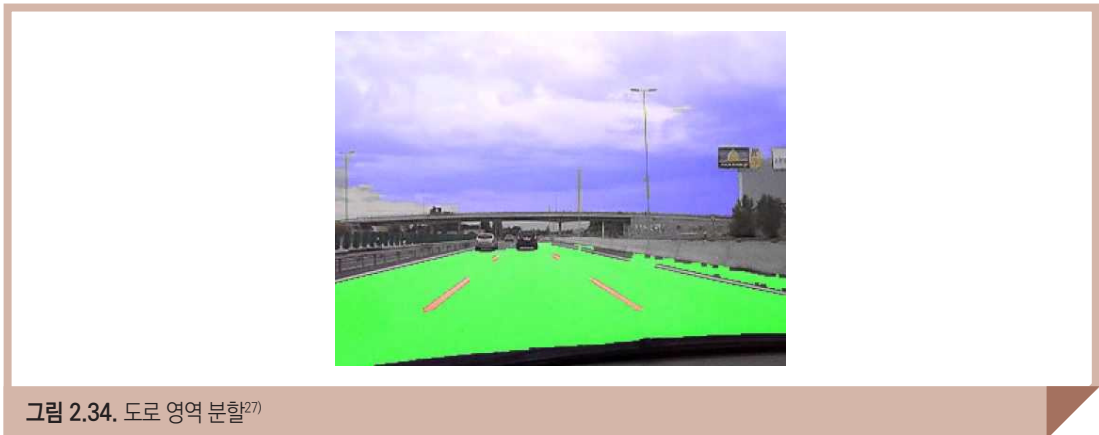
그림 2.32. 시멘틱 세그멘테이션 기법²⁵⁾

이러한 시멘틱 세그멘테이션 기법은 차량, 보행자, 도로, 건물, 인도뿐만 아니라 교통 표지판, 신호등과 같은 객체도 포함하여, 물체 검출 기법보다 더욱 광범위한 인식이 가능하다. 시멘틱 세그멘테이션은 영상 픽셀 전부에 레이블링 작업을 해야하기 때문에 사람이 직접 그라운드 트루스(ground truth)를 제작하는 것이 어려워 대용량의 데이터셋을 확보하는 것이 어렵다. 최근 독일에 본사를 둔 세계적인 자동차 제조업체인 다임

러(Daimler)에서 Citiscapes라는 차량용 시멘틱 세그멘테이션 데이터셋을 공개하였고, 이로 인해 시멘틱 세그멘테이션 연구가 활발하게 이루어지고 있다. 시멘틱 세그멘테이션 기능의 구현을 위해 최근에 널리 사용되고 있는 기법은 FCN(fully convolutional network)²⁶⁾인데, 이 네트워크의 아키텍처는 다음 그림과 같다.

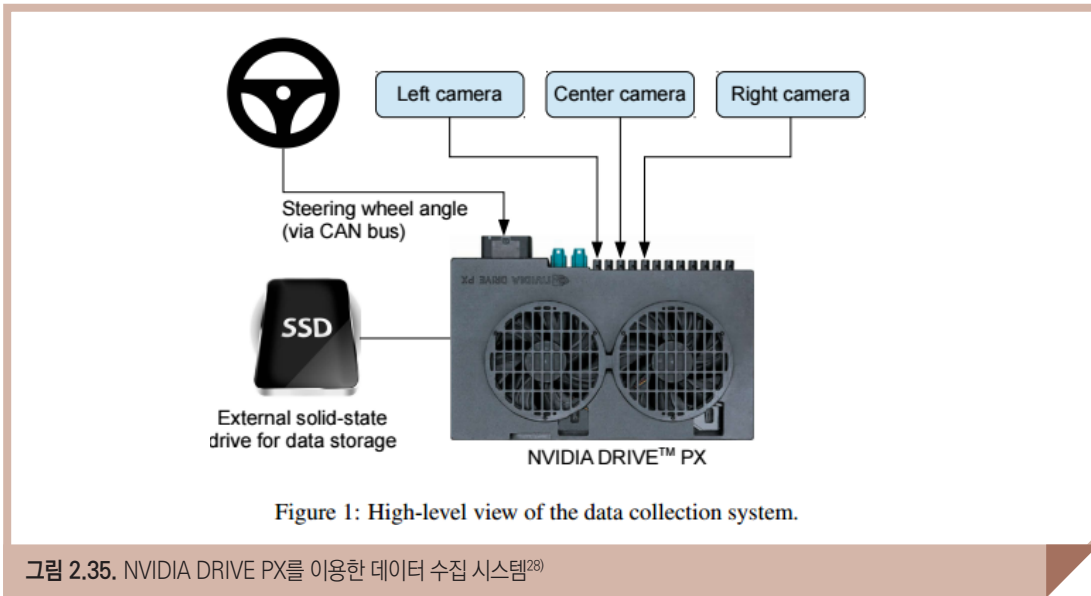


시멘틱 세그멘테이션의 특징은 입력영상과 출력영상의 사이즈가 동일하여야 하며, FCN은 이를 구현하기 위해 모든 계층을 컨볼루션 계층(convolutional layer)으로 구성하였다. 입력된 영상은 최종 계층에서 픽셀 단위로 해당 픽셀이 어떤 클래스에 속하는지에 대한 예측을 수행하게 되며, 이 결과가 시멘틱 세그멘테이션의 결과가 된다. 이러한 시멘틱 세그멘테이션 기술은 전방의 주행가능한 도로 영역 추출과 같은 기술에 많이 적용되어 진다.



2.3.4 End-to-end 딥러닝 기반 자율주행 기술

위에서 설명했던 물체 검출 기술이나 시멘틱 세그멘테이션 기술은 자율주행을 위한 하나의 요소기술이며, 이를 활용하여 차량의 제어 시스템과 연동하여 자율 주행 차량의 구현이 가능해진다. NVIDIA는 2016년 기존의 자율주행 구현 기술의 패러다임을 바꾸어 놓았는데, 위의 검출 기술이나 시멘틱 세그멘테이션 기술과 같은 단계를 거치지 않고 바로 영상 입력으로부터 차량의 제어 신호를 추정할 수 있는 기법을 발표하였다. 이 기술은 딥러닝 기술의 end-to-end learning²⁴⁾ 기법을 활용한 대표적인 예라고 할 수 있다.



NVIDIA는 기본적으로 자체 개발한 Drive PX라는 플랫폼에 카메라를 3대 연동하여 전방으로부터 훈련 데이터(training data)를 수집한다. 카메라 3대는 전방을 촬영하고 있으며, 나란히 놓여있다. 또한 Drive PX에는 차량 핸들의 각도 정보도 수집할 수 있어, 각 영상마다 핸들 각도 값을 하나씩 레이블로 설정해 놓았다. 이러한 훈련데이터를 이용하여 CNN을 학습하게 되는데, 이 과정에서 데이터의 부족함을 보완하기 위해 가상의 데이터를 생성한다. 가상의 데이터는 차량이 도로를 벗어난 상황을 가정하여 기존의 훈련 영상을 변형하고, 이 상황에서의 최적의 핸들 각도를 예측하여 레이블을 부여해준다. 이것은 차량이 도로에서 벗어나려고 할 경우 이탈을 방지할 수 있는 기술이다. 예를 들어 차량이 오른쪽으로 벗어나려고 하는 영상을 생성해 냈을 경우, 핸들은 왼쪽으로 꺾이도록 레이블 값을 수정하여 CNN을 학습한다. 그렇게 되면 실제 환경에서

비슷한 상황을 접하였을 때 CNN이 핸들을 차선 안쪽으로 꺾도록 하여 차선으로부터 이탈이 방지되게 된다. 최종적으로 전체 학습 과정은 다음 그림과 같은데 CNN은 현재 변형된 영상으로부터 핸들 각도를 예측해내고, 이 예측된 값이 그 영상의 레이블과 오차가 없도록 하는 방향으로 학습이 되게 된다.

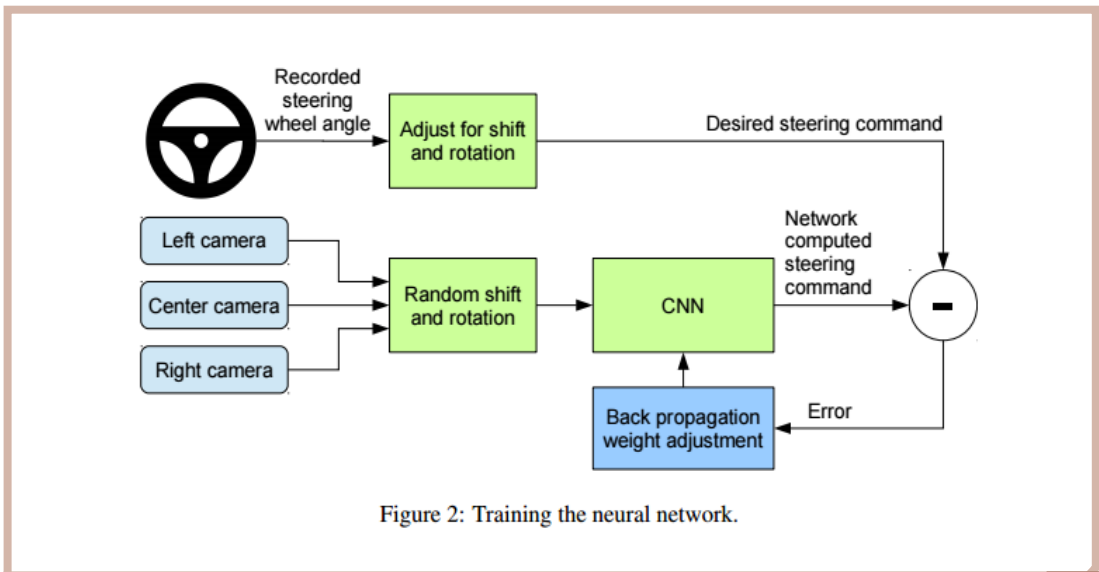


Figure 2: Training the neural network.

그림 2.36. NVIDIA가 개발한 End-to-end CNN 학습 기법²⁸⁾

NVIDIA에서 사용한 CNN의 아키텍처(architecture)는 다음과 같다. 입력 영상은 66x200의 그레이 스케일 영상이며, 네트워크의 출력은 하나의 스칼라 값이다. 이 출력값은 차량의 핸들 각도의 값을 의미한다. 네트워크는 총 5개의 컨볼루션 계층과 3개의 fully connected layer로 구성되어 있으며, 5x5 커널의 컨볼루션 계층 3개와 3x3 컨볼루션 계층 두 개로 구성되어 있다.

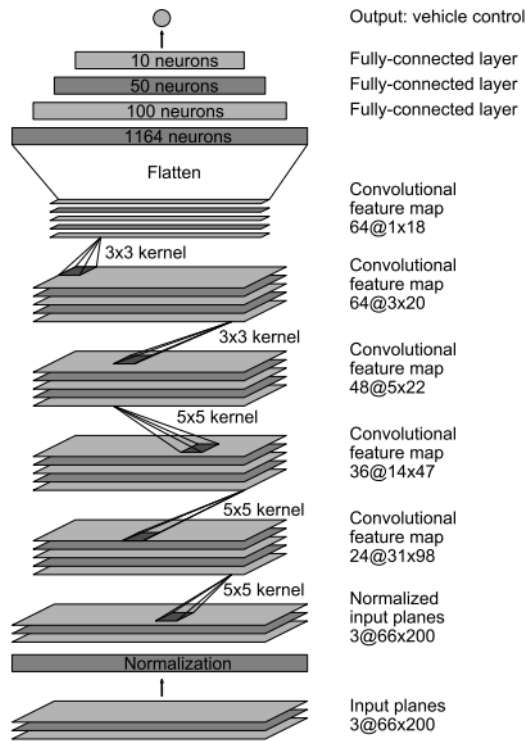


그림 2.37. NVIDIA CNN 아키텍처²⁸⁾

위와 같은 방식으로 네트워크가 제대로 학습되었는지 확인하기 위해 학습된 네트워크의 첫 번째 계층과 두 번째 계층의 출력 영상을 시각화(visualization)해보면 고속도로나 시내도로와 같은 포장도로가 아닌 상황에서도 학습된 필터가 도로에 잘 반응하는 것을 확인할 수 있다. 즉, 수많은 데이터 속에서 다양한 종류의 도로에 대한 공통적인 특징을 추출할 수 있는 필터가 학습이 되었고, 그 결과 다양한 도로에서도 잘 동작을 하게 된 것이다. 이러한 기술을 통해 NVIDIA는 10마일을 사람의 어떠한 조작 없이 주행에 성공하였다.



그림 2.38. 입력영상 (좌측 하단) 첫 번째 계층 출력 영상, (우측 하단) 두 번째 계층의 출력 영상.²⁸⁾

2.3.5 DGIST의 자율주행을 위한 딥러닝 기반 인식 기술

대구경북과학기술원(DGIST)는 자율주행 자동차를 위한 딥러닝 기반 인식 기술을 연구 및 개발하고 있다. 특히 DGIST가 개발한 물체 인식 모듈은 총 1,000개의 물체를 분류해야하는 이미지넷(ImageNet) 데이터셋에서 96.7%의 인식률을 기록하였다. 본 기술은 Deep residual network 및 Inception v3, Inception-Resnet v2 등의 서로 다른 모델을 융합하였고, 성능을 극대화시킬 수 있는 기법이다. 아래 그림은 해당 기술의 개념도이다.

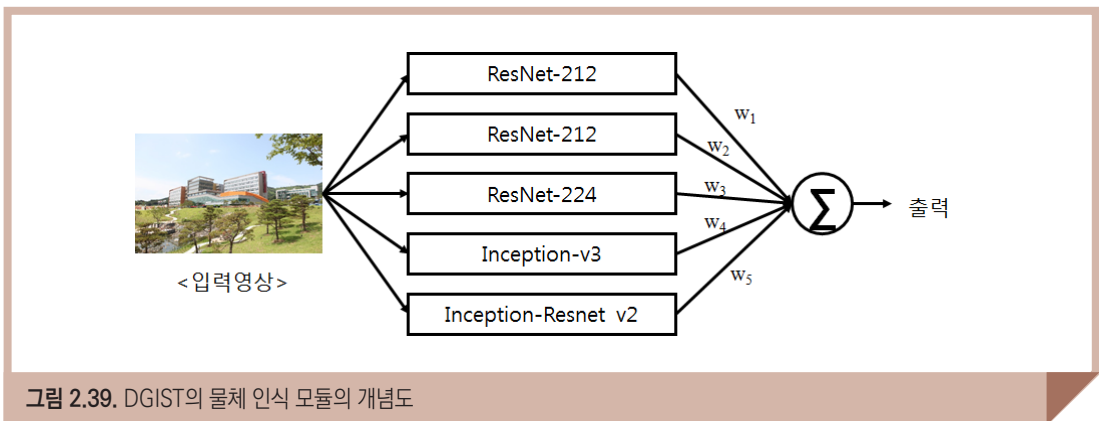


그림 2.39. DGIST의 물체 인식 모듈의 개념도

DGIST에서 집중하고 있는 지능형 교통 감시 시스템도 자율주행에 필요한 핵심 요소 기술 중에 하나로 손꼽힌다. 지능형 교통 감시 시스템은 교통량이나 도로 상황을 전반적으로 감시하는 시스템으로서 전방의 상황을 미리 인지하여 자율 주행차량이나 운전자에게 정보를 전달하는 역할을 수행한다. DGIST는 이러한 지능형 교통 감시 시스템에 바로 활용할 수 있는 기술인 차량 검출 및 식별 기술을 연구 개발하였다. 해당 기술은 입력 영상으로부터 자전거, 버스, 승용차, 트럭, 보행자 등을 검출하고 총 11개의 카테고리로 분류한다. 본 알고리즘은 영상분야 인공지능 학술대회 중 최고 권위인 Computer Vision & Pattern Recognition (CVPR) 2017에서 실시한 경연대회 중 하나인 Traffic Surveillance Workshop & Challenge (TSWC)에서 검출 및 식별 분야에서 모두 1위를 차지하였다. 아래 그림은 DGIST의 차량 검출 및 식별 기술의 결과이다.

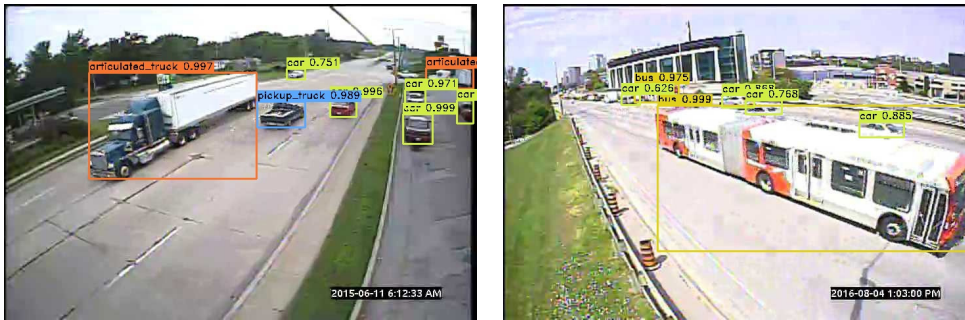


그림 2.40. DGIST의 지능형 교통 감시 시스템을 위한 차량 검출 및 식별 결과

2.3.6 자율주행을 위한 카메라 기반 딥러닝 기술의 향후 전망

앞서 설명한 바와 같이 자율주행의 실현을 위해서는 인공지능 기술이 필수적이다. 자율주행의 강자라고 불리는 Google의 경우 인공지능 기술에 전폭적인 투자를 하고 있으며, UBER에서도 인공지능 관련 연구자를 대거 영입하는 등의 활발한 활동을 보이고 있다. 최근 인공지능 기술이 각광을 받는 이유는 사람의 뇌를 모사하고 기계가 사람과 비슷한 인식 능력을 갖도록 한 딥러닝 기술의 발전 덕분이며, 앞으로는 이러한 인공지능 기술을 보유하고 있는 곳이 자율주행의 선두 그룹이 될 것으로 전망된다. 그러나 아직 해결해야 할 과제는 남아있다. 자율 주행 기술은 기본적으로 운전자의 안전을 우선으로 생각하여야 하기 때문에 0.1%의 오차도 용납하지 못한다. 하지만 자율주행의 핵심 기술인 딥러닝 기술의 성능은 학습 데이터에 의존하고 있는데,

따라서 대량의 운행 데이터 확보가 필수적이지만, 현실적으로 모든 상황을 고려한 데이터를 확보하는 것이 어렵다. 또한 딥러닝 기술은 기존에 수집된 데이터와 다른 환경에서 주행할 경우 오작동을 일으킬 수 있어 근본적인 해결이 필요한 실정이다.

03 결론

현재 전 세계적으로 글로벌 IT기업, 자동차 기업, 전기차 제조기업, 스타트업에 이르기까지 산업의 경계가 없이 경쟁적으로 자율주행자동차 개발에 전력투구를 하고 있다. 내연기관 자동차에서 하이브리드, 전기차, 수소연료차 등과 같이 다양한 친환경 구동시스템의 등장을 통하여 혁신이 이루어지고 있지만 파급효과를 고려하면 이는 자동차 산업 내의 진화라고 볼 수 있다. 하지만 자율주행자동차의 등장은 超융합적/超연결적 산업생태계의 형성을 기대하고 있기에 많은 기업들이 개발에 참여하고 있다고 생각한다. 더 나아가 빅데이터, 클라우드, AI, 5G, IoT 등 이를 뒷받침할 수 있는 혁신적인 기술들이 소개되고 있어 자율주행차 시대가 빠르게 다가오고 있다는 기대감이 점차 높아지고 있는 상황이다.

이러한 장밋빛 전망에도 불구하고 자동차가 가지고 있는 본질적 특성을 고려하지 않는 성급한 사업화 전략은 실패를 가져올 수 있음을 숙지하여야 한다. 특히 PC나 스마트폰과 같은 IT기기와 달리 인간의 생명과 밀접한 자동차가 요구하는 안전성과 신뢰성 수준이 자율주행차에서는 더욱 높아질 수 있음을 명심해야 한다. 이와 동시에 자율주행차가 만들어 낼 수 있는 스마트 모빌리티, 스마트 시티 등과 같은 혁신적인 파생 산업과 이를 통해 형성이 될 미래의 산업생태계 모습을 상상한다면 자율주행차가 가지고 있는 이중적 가치에 대해서 고민할 필요가 있다는 점을 강조하고 싶다. 다시 말해서 자율주행차의 산업생태계가 지속가능하기 위해서는 <그림 3.1>에서 보는 바와 같이 수많은 스타트업이 새로운 아이디어나 기술을 창출하고 자동차 본연의 역할을 잘 이해하는 기존 기업과 서로 협력하고 상생하는 문화가 글로벌 경쟁력 제고를 위한 핵심이라 생각한다.

마지막으로 우리는 어떻게 계획하고 준비해야 하는가에 대한 담대한 질문에 부족한 답변으로 마무리를 짓고자 한다. 우선 자율주행차의 기술 트렌드는 스마트폰과 같은 IT기술 트렌드와 유사점이 많다고 생각된다. 즉, 업계 3위가 생존하기 힘들며 시장의 초기 선점이 중요하다고 생각된다. 따라서 지금까지 국내 자동차 산업에서 경제적 효율성 극대화를 위해서 선택해왔던 fast follower 전략이 자율주행 시대에서는 실패할 수 있다고 생각된다. 자율주행차 개발을 위해서 필요한 기술의 범위가 굉장히 넓기 때문에 first mover 전략으로 접근할 기술에 대한 선택과 집중이 필요하다고 생각한다. 특히, 카메라를 사용하여 주변 환경을 인지하는 딥러닝과 같은 AI의 경우 응용측면에서 초기단계라고 판단이 된다. 카메라뿐만 아니라 레이더나 라이다와 같은 환경 센서와의 융합을 위한 AI 플랫폼, 클라우드 및 통신 기술 기반 디지털 맵을 자동으로 생성하고 업데이트하는 AI 플랫폼, 자율주행차를 평가하고 검증하는 AI 플랫폼 등으로 확대 적용할 수 있는 적기이다. 하지만 이러한 접근 방법이 성공하기 위한 선행조건은 지속가능한 데이터 확보를 위한 파이프라인 구축이다. 법이나 제도적인 접근방법도 가능하겠지만 새로운 서비스를 통하여 데이터 제공자가 저절로 늘어나 초기 시장을 선점하는 전략을 선제적으로 수립해야 한다.

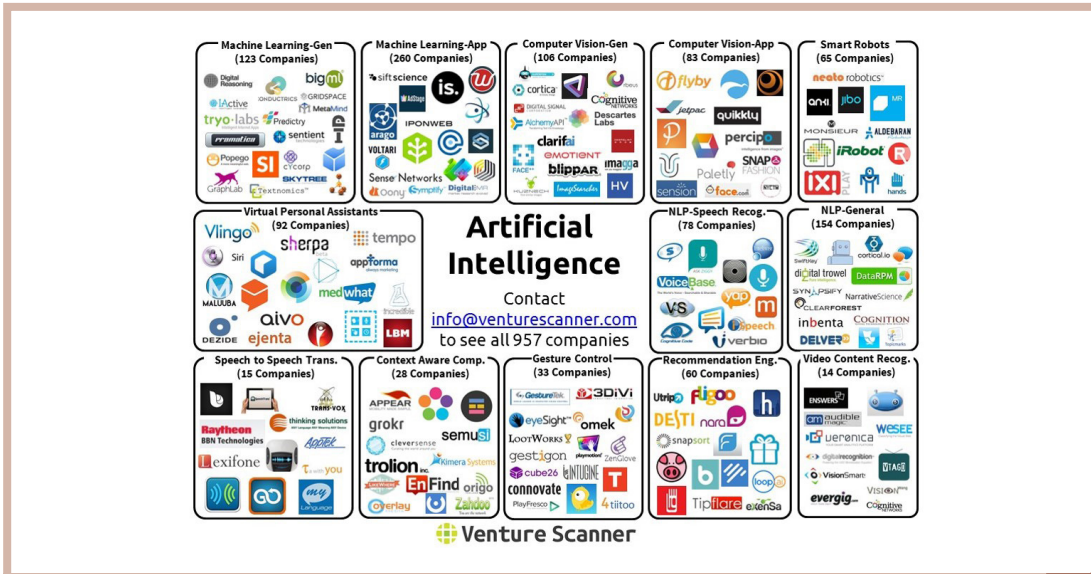


그림3.1. AI 관련 스타트업 산업 생태계²⁹⁾

참고문헌

1. 김용훈, 김현구, 자율주행자동차 개발 동향, 한국통신학회지 34.5 : 10-18 (2017)
2. IPRResearch센터, 무인 자율주행차 주요국 핵심 기술 · 정책 동향 및 제도적 현황과 미래 첨단 차량 산업 · 시장 · 기술 환경 분석 동향, 산업정책Research (2017)
3. SAE, Taxonomy., Definitions for Terms Related to On-Road Motor Vehicle Automated Driving Systems-J3016., SAE Pub. Inc., Warrendale, PA (2013)
4. KEIT, 자율주행차 개발 기업들의 기술수준 비교 (2017)
5. Google - Waymo (<https://waymo.com/>)
6. 이병윤, 국내외 자율주행자동차 기술개발 동향과 전망, 한국통신학회지 33.4 : 10-16 (2016)
7. GM (<http://media.gm.com/media/us/en/gm/news.html>)
8. Tesla - autopilot (https://www.tesla.com/ko_KR/autopilot)
9. NVIDIA - Drive PX2 (<http://kr.nvidia.com/object/drive-px-kr.html>)
10. University of Michigan-Mcity Test Facility(<http://www.mtc.umich.edu/test-facility>)
11. 김용석, 자율주행자동차 상용화를 위한 지원과 이슈, 월간교통, 2-4 (2015)
12. 정치연, BMW '자율주행' 개발센터 세운다...2021년 자율주행차 상용화 목표, IT조선, 2016 (<http://www.newstomato.com/ReadNews.aspx?no=718811>)
13. Audi (<http://www.audi.co.kr/kr/web/ko.html>)
14. 현대 자율주행 시스템 (<http://brand.hyundai.com/ko/brand/technology/adas.do>)
15. 국토교통부 - 자동차 관리법 시행규칙 26조, 자동차 관리법 27조
16. Nodine, E., Stevens, S., Lam, A., Jackson, C., & Najm, W. G., Independent evaluation of light-vehicle safety applications based on vehicle-to-vehicle communications used in the 2012-2013 Safety Pilot Model Deployment, Report No. DOT HS 812 222, NHTSA, 2015.



17. Vehicle Performance Guidance Fact Sheet, <https://www.nhtsa.gov/technology-innovation/automated-vehicles>, NHTSA, 2016.
18. Zhao, D., Huang, X., Peng, H., Lam, H., & LeBlanc, D., “Accelerated evaluation of automated vehicles in car-following maneuvers”, IEEE Transactions on Intelligent Transportation Systems, 2017.
19. Bengio, Yoshua., Learning deep architectures for AI, Foundations and trends in Machine Learning 2.1 : 1–127. (2009)
20. Neural networks and deep learning (<http://neuralnetworksanddeeplearning.com/chap5.html>)
21. LeCun, Yann, et al., Gradient-based learning applied to document recognition, Proceedings of the IEEE 86.11 : 2278–2324. (1998)
22. Girshick, Ross, et al., Rich feature hierarchies for accurate object detection and semantic segmentation, Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition. (2014)
23. Redmon, Joseph, et al., You only look once: Unified, real-time object detection, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2016)
24. NVIDIA Drive PX (<http://www.nvidia.com/object/drive-px.html>)
25. Cordts, Marius, et al., The cityscapes dataset for semantic urban scene understanding, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2016)
26. Long, Jonathan, Evan Shelhamer, and Trevor Darrell., Fully convolutional networks for semantic segmentation, Proceedings of the IEEE Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (2015)
27. Segmentation of road scenes (https://www.youtube.com/watch?v=Tibi6a_aeeE)
28. Bojarski, Mariusz, et al., End to end learning for self-driving cars, arXiv preprint arXiv:1604.07316 (2016)
29. Venture Scanner (<https://www.venturescanner.com/>)

저자 **송 봉 섭**

Bong-sob Song

학 력 U. C. Berkeley 기계공학 박사
U. C. Berkeley 기계공학 석사
한양대학교 정밀기계공학 학사

경 력 現) 아주대학교 교수
前) U. C. Berkeley California PATH Assistant Engineer

저자 **정 우 영**

Woo-Young Jung

학 력 KAIST 컴퓨터통신 박사
KAIST 컴퓨터통신 석사
서울대학교 전기공학 학사

경 력 現) 대구경북과학기술원 책임연구원
前) 송실대학교 객원교수

융합연구리뷰

Convergence Research Review 2017 October vol.3 no.10

<http://crpc.kist.re.kr>

02

—
도심 싱크홀 공포,
IoT로 예방한다
—

한국전자통신연구원 UGS융합연구단

이인환 박사

(ihlee@etri.re.kr)



01 서론

최근 빈번하게 발생하고 있는 도로 함몰의 영향으로 대다수의 국민들이 불안해하고 있는 실정이다. 심지어 도로 뿐만 아니라 시민들이 보행하는 인도까지도 지반함몰이 발생하여 사고로 이어지고 있다. 이러한 현상은 국내에만 발생하는 문제가 아니라 전 세계적으로 오래된 도시들에 있어서 발생하고 있는 상황이며, 지하매설물의 노후화와 무분별한 지하 난개발이 주요 원인으로 작용하고 있다. 국내의 경우 2015년 한 해 동안 전국에서 1,036건의 지반침하로 안전사고가 끊임없이 발생하고 있는 상황이며, 이를 선제적으로 대응해야 하는 필요성이 대두되고 있다.

〈표 1〉과 같이 2015년 기준으로 5년간 지반침하 발생 현황을 살펴보면, 발생 건수는 매년 증가하고 있는 상황이며, 지역별로 서울시가 734건, 경기도가 122건으로 전체 발생의 82.6%이며, 그 외 지역은 30건 미만으로 발생하고 있다.¹⁾ 〈표 2〉와 같이 원인별로 지반침하 사고 발생 현황을 보면, 사고의 주요 원인으로는 노후 하수관의 손상이 54.4%이며, 다짐 불량 등 부실한 굴착공사가 23.3%를 차지한다.¹⁾ 이러한 문제로 국토교통부에서는 하수관 손상에 대한 근본적 예방책을 마련하고, 지하안전관리 사각지대를 해소하고, 지자체와 업계의 지하안전관리 역량의 제고를 통해 지반침하 예방을 강화하는 방안을 추진 중이다.

표 1. 최근 5년간 지반침하 발생 현황

2011년	2012년	2013년	2014년	2015년	2016년 6월	계(건)
573	723	898	858	1,036	312	4,088

*국토교통부, 지하공간 안전관리 강화 대책 마련 보도자료(2016년 8월 23일)

원인별	2015년	
	발생건수	비율(%)
기타(상수관 손상, 터널 붕괴 등)	231	22.3
하수관 손상	564	54.4
다짐 불량 등 굴착공사 부실	241	23.3
합계	1,036	100

*국도교통부, 지하공간 안전관리 강화 대책 마련 보도자료(2016년 8월 23일)

〈그림 1〉과 같이 서울시내의 경우 지반침하 발생 원인을 보면, 하수관의 손상이 84%로 대부분의 원인으로 분석되며, 하수관 중 48%가 30년 이상된 노후관으로 지반침하는 계속 증가될 전망이다.²⁾

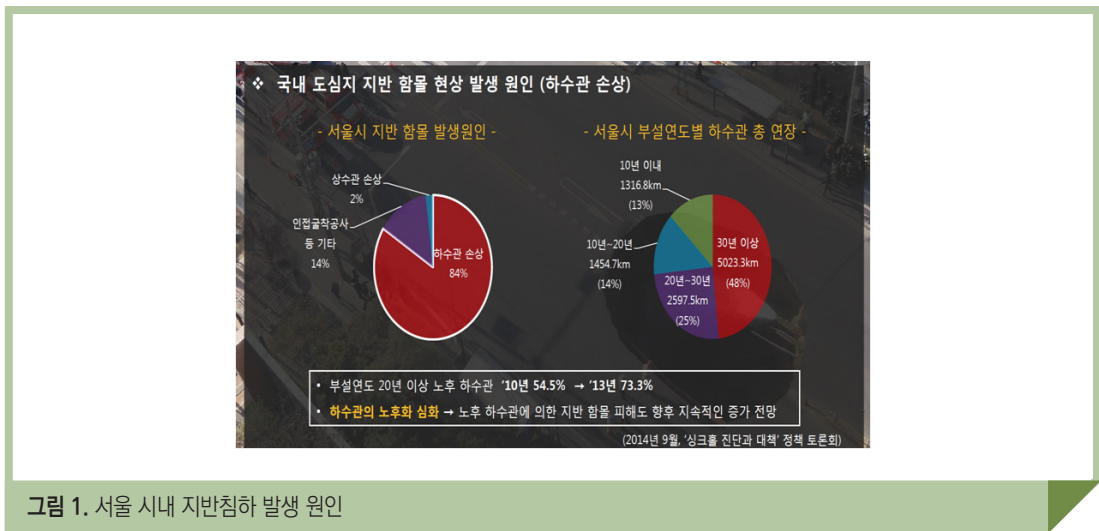


그림 1. 서울 시내 지반침하 발생 원인

〈그림 2〉의 서울 시내 하수관 설치시기와 2010~2014년 사이 서울 시내 지반침하 발생 건수〈그림 3〉를 위치별로 파악해보면 노후화된 하수관로 주변에 지반침하가 많이 발생했음을 알 수 있다. 지반침하의 또 다른 원인으로는 상수관의 누수, 지하수의 유출, 지하 난개발로 인한 하수관로의 손상으로 예상되며, 지하철 노선 주변에 약 60% 정도 발생하는 것을 보면 지하철 노선과도 상관관계가 있음을 알 수 있다.

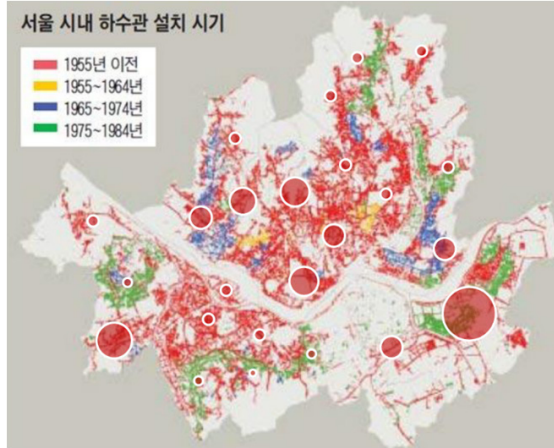


그림 2. 서울 하수관 설치 시기



그림 3. 지반침하 발생건수(출처:2014년 8월 29일 한겨레신문 참조, “서울시, 예고된 ‘싱크홀’ 위험 못봤다”)

따라서 지반침하 방지에 대한 접근 방법으로 UGS융합연구단에서 <그림 4>와 같이 사물인터넷(IoT, Internet of Things) 기반 지하공간 그리드 시스템을 개발하였다. 이 시스템은 지반과 관련된 매설물인 상수도, 하수도, 도시철도, 지하수 등을 상시 감시하고, 지상에서는 위험한 지역을 확인 감시함으로써 지하공간 상황을 조기에 감지하고 예측 및 대응이 가능하다. 상시감시에 있어서 상수관로의 누수는 누수 센서

와 IoT 통신 기술을 통해 상시로 모니터링하여 누수를 확인한다. 하수관로는 CCTV 탐지 로봇을 통해 하수관 내부의 균열과 이음매의 상태 등을 탐사하고, 영상을 정밀 분석하여 손상된 하수관로의 위치와 손상 정도까지 분석한다. 도시철도 주변 지하유입수나 관정을 통해 지하수의 성분과 수위와 유출량 그리고 지하수 내의 토립자 등을 분석하여 지반함몰의 영향 인자를 도출하였다.

확인감시에 있어서 우선 GPR(Ground Penetrating Radar)ⁱ⁾을 사용하여 지하 3미터까지 신호특성을 분석하여 공동의 발생을 확인하며, 공동이 의심되는 지점에는 RDCP(Resistivity Dynamic Cone Penetration)ⁱⁱ⁾를 사용하여 콘 관입기를 관입시켜 해당 심도에 대한 관입량 및 온도, 전기비저항을 측정하며, LWD (Light Weight Deflectometer)ⁱⁱⁱ⁾를 사용하여 하부지반 공동 여부를 분석한다. 또한 하수관로 관내 GPR을 사용하여 하수관로 배면 공동을 확인하고, 세밀하게 탐사하는 기술을 개발하였다.

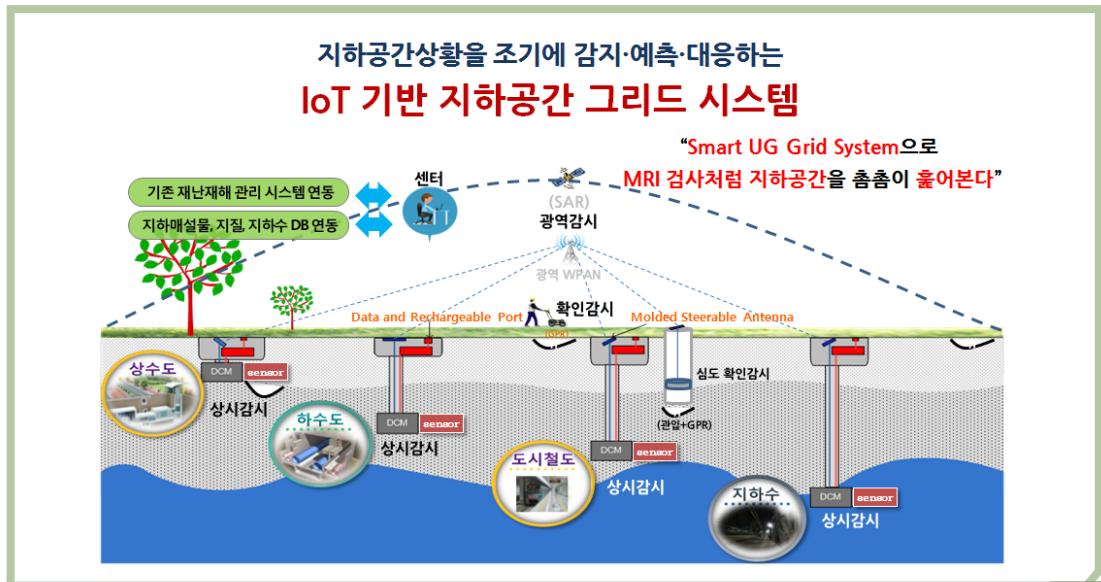


그림 4. IoT 기반 지하공간 그리드 시스템

i) 지표투과레이다 : 10MHz~수 GHz 주파수 대역의 전자기 펄스를 이용하여 천부의 지하구조 파악 및 지하시설물 측량방법
 ii) 전기비저항 동적관입 : 전기비저항 특성 및 지반 강성 평가 방법
 iii) 충격 재하 변위계 : 비파괴 시험으로 지반 궤도 강성 평가 방법

UGS(Under Ground Safety)융합연구단에서 개발한 시스템은 <그림 5>처럼 다양한 지하공간 매설물을 감시하며, 각 매설물의 상태정보를 수집하는 복합 센싱기술, 이를 전송하고 분석하는 사물인터넷 기술, 3차원으로 가시화하여 보여주는 3D 가시화 기술을 통해 지하공간 매설물의 유지관리 서비스를 제공할 뿐만 아니라 지하공간 위험도를 미리 알려주는 예·경보 서비스까지 제공한다. UGS 시스템에서 사용하는 DB는 국토교통부의 지하공간 통합지도도를 활용하며, 추가적으로 각 지자체에서 관리하고 있는 세부 DB들도 연동하여 많은 양의 빅데이터를 기반으로 위험도를 분석하며, 상시감시와 확인감시를 통한 데이터까지 연동한다. 이렇게 복합적으로 연결된 시스템을 통해서 향후 전 국토의 지반침하 관련 안전도를 분석할 수 있다.

지난 2015년 6월, 국회의원 26명이 [지하안전관리에 관한 특별법]을 공동 발의하여, 2016년 1월 7일 [지하안전관리에 관한 특별법]을 법률 제13749호로 신규 제정하였고, 시행령과 시행규칙 그리고 기본계획을 마련하고 있으며, 2018년 1월 1일부터 시행하도록 명시하였다. 특별법 시행에 따라 향후 지자체와 지하안전관리자 등은 특별법, 시행령, 시행규칙, 기본계획에서 제시한 지침대로 지하시설물을 관리해야하는 의무가 있다. 따라서 이러한 지하공간 안전관리 시스템은 국가·사회적으로 큰 현안 문제인 지반침하 발생을 선제적으로 대응하는 시스템이다. 이를 지자체에 제공하여 활용함으로써, 반복되는 재난·재해로부터 국민들이 안전한 삶을 영위할 수 있도록 해결 방안을 제시하였다.

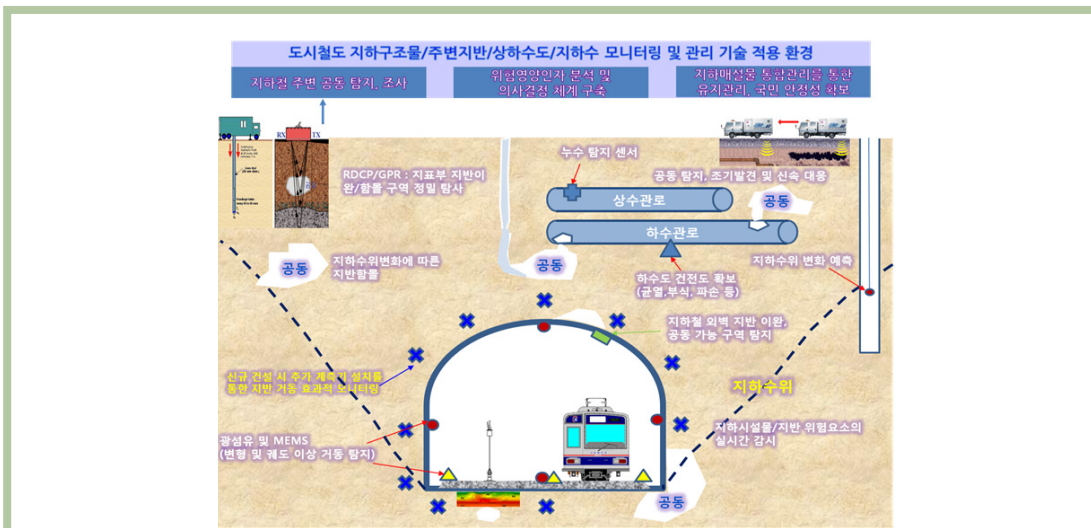


그림 5. 지하공간 감시 매설물

02 본론

2.1 지반함몰

대부분의 도시가 광범위한 사회 기반시설에 의존하고 있으며, 도시 거주자에게 편안한 삶을 제공하기 위해 노후화된 시설의 수리나 교체가 필요한 상황이다. 예를 들어, 약 100년 전 지하에 설치된 뉴욕의 대형 수도관은 1998년 이후 매년 400건 이상의 수도관 파손이 발생하고 있으며, 도심지 도로 함몰 역시 심각한 사회 문제로 대두되고 있다. 서울시에 따르면, 2010년부터 2014년까지 3,328곳에서 도로 함몰이 발생하였다. 도로 함몰은 서울뿐만 아니라 부산, 인천, 광주, 수원, 순천, 안동 등 다른 도시에서도 발생하고 있다. 그러나, 불행하게도 도로 함몰이나 수도관 파열과 같은 문제의 발생 시간과 장소를 사전에 인지하는 것은 매우 어려운 상황이다. 더 나아가, 지하에 설치된 사회 기반시설의 오류는 눈으로 확인하기 어렵고 때로는 지하공간에 설치된 지하매설물의 위치조차 알 수 없는 경우도 있다. <그림 6~7>은 서울시 지반침하 이력과 지하철 노선과의 상관관계를 분석한 결과이다. 지반함몰이 지하철 노선과 역사 주변에 많이 발생하고 있는 현상과 하수관로의 노후화 등 다양한 변수들이 공존하고 있다. 따라서 본 연구에서는 기존에 빈번히 발생했던 지역에서의 재발생 확률을 고려하여 지반함몰 발생지역에 대한 지질이나 하수관 설치시기 등 다양한 데이터를 기반으로 기본적인 위험지수를 도출하였다. 2010년부터 2015년까지 서울시 지반함몰 발생건수는 약 3,651건이며, 지하철 노선 반경을 100m, 200m, 300m, 400m, 500m에서 발생 빈도를 분석하면 23.58%, 38%, 51.52%, 59.41%, 71.13%임을 알 수 있다.

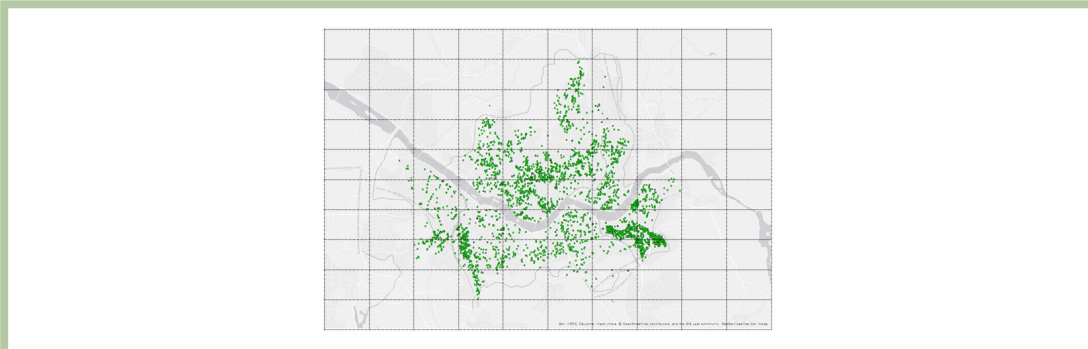


그림 6. 서울시 지반침하 이력

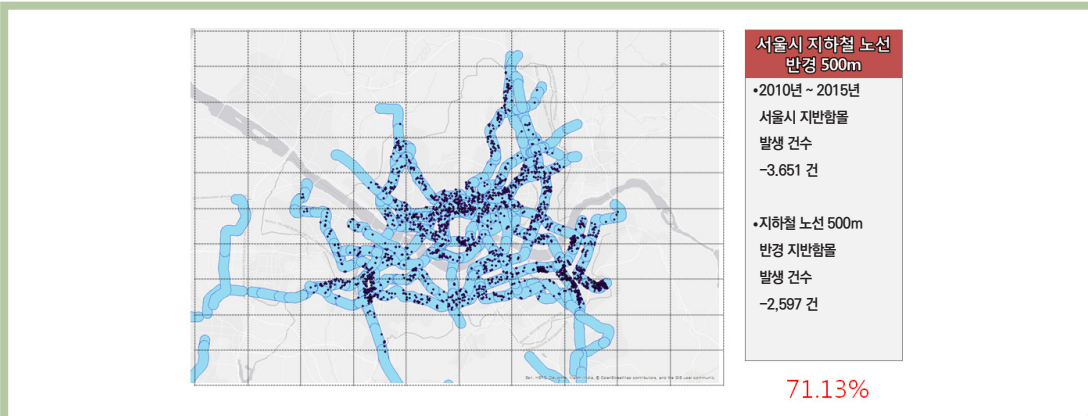


그림 7. 서울시 지하철 노선 반경 500m의 지반침하 이력

2.2 지하안전관리 시스템 구조 및 구성

지하 공간의 다양한 상태 변화를 감지하여 위험 발생을 사전에 방지하는 IoT 기반 지하공간 안전관리 시스템은 상수관, 하수관, 지하철, 지반 및 지하수의 상태를 감지하고, 데이터를 수집 및 분석한다. <그림 8>은 IoT 기반 지하공간 관리 시스템 구성도를 나타낸다. 이 시스템은 상수관로에 대한 누수, 하수관로의 균열, 지하철 주변의 구조물과 유입수에 대한 모니터링 그리고 지하수의 흐름과 수위 등을 수집 분석한다. 또한 위험이 예측되는 부분이 있을 경우, GPR 등 확인 감시를 통해 동공유발 원인부터 확인까지 지반함몰에 대한 종합적 분석 및 위험도에 대한 지수화를 제공하는 것을 목표로 하고 있다.

지하공간 안전관리 시스템은 상수관로와 하수관로 상태를 모니터링하기 위한 복합센서 장치, 철도 구조물의 안정성을 모니터링하기 위한 광섬유 기반 지반이상탐지, MEMS 기반 궤도 동적거동 감시장치, GPR를 이용한 철도 궤부 배면이상 감시 장치, LWD-SASW(SpectralAnalysis of Surface wave)^{iv)}, GPR, 지하철 유입수의 모니터링을 위한 복합센서 장치, 그리고 지하수감시 장치 등으로 구성된다.

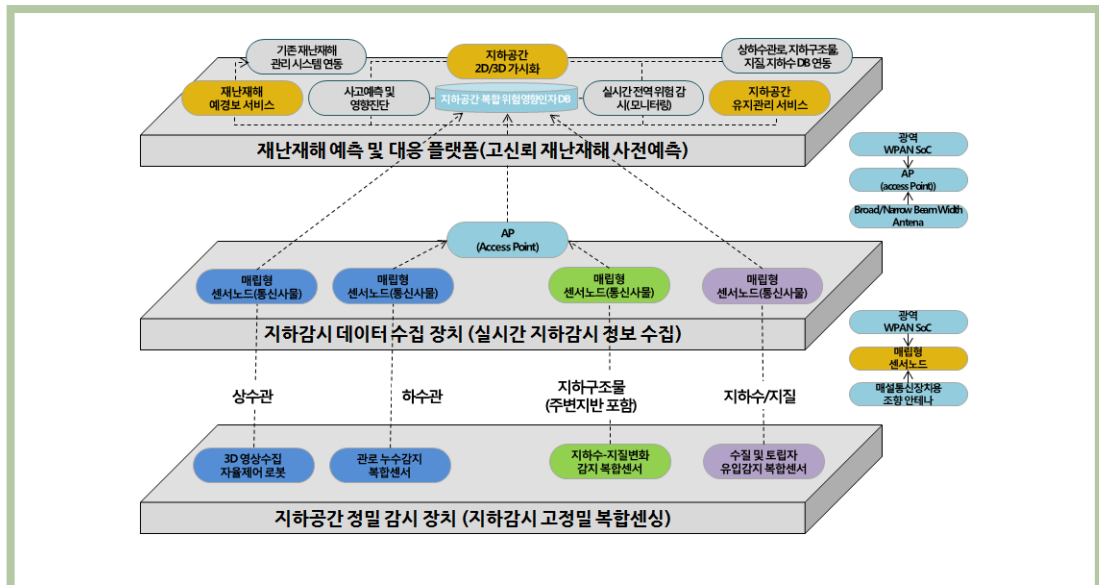


그림 8. IoT 기반 지하공간 관리 시스템 구성도

3.1 IoT 기반 UGS 통신 시스템

LECIM(Low Energy Critical Infra-structure Monitoring)^{v)} 표준 기반의 LPWA(Low Power Wide Area)^{vi)} 네트워크 기술은 기지국 기반으로 대규모 노드 연결이 가능하며, 지능형 상황인지를 통해 다양한 센싱 데이터를 수집하는 무선 네트워크 기술이다. 이러한 LPWA 기술로 도심 지역의 지하매설물에 대한 상태 정보를 상시감시하여 지하안전관리 서비스를 제공하도록 설계하였다.^{3) 4)}

iv) 표면파 탐사기 : 2~3차원 영상 스펙트럼 획득 프로그램
 v) LECIM : 저전력 극한 환경 모니터링 관련 국제 표준 규격
 vi) LPWA : 저전력 장거리 통신 기술

도심지역 지하매설물의 상태 정보에 대한 센싱 및 계측 데이터 수집을 통해 사물인터넷 서비스를 제공하며, 도심지역의 특성상 필요한 높은 전송 신뢰성 및 저전력 특성을 제공하기 위해 중장거리로 전송하는 무선 송수신기를 UGS 노드라고 한다. 이 UGS 노드는 IEEE 802.15.4g/4k MAC/PHY^{vii)} 모듈을 내장하고 있으며, 외부 인터페이스를 통해 센싱 데이터 신호를 전달받아 자체적으로 구축한 LPWA 네트워크 망을 통해 송신이 가능하다. 이 데이터는 UGS 서비스 플랫폼 서버에 저장되거나 관제 서버를 통하여 관리자에게 전달되며, 사용자는 UGS 노드 상태 등을 점검하거나 제어가 가능하다. <그림 9>는 본 연구에서 개발한 UGS 통신시스템의 구조도이다.^{3) 4) 5)}

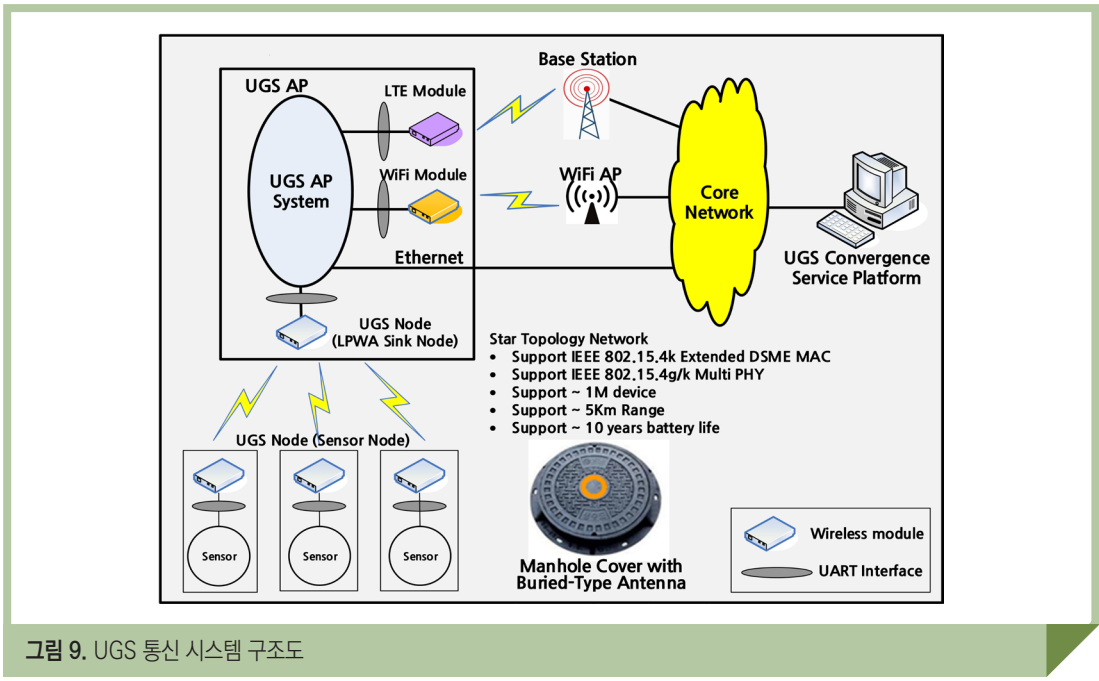


그림 9. UGS 통신 시스템 구조도

vii) 물리 계층(PHY)와 미디어 액세스 콘트롤 계층(MAC)을 정의하는 표준으로서, 저속도 무선 개인 통신망을 위한 표준 가운데 하나

2.3.1 UGS FSK 무선통신

전기, 가스, 수도, 농업, 운송 시스템, 안전 서비스, 스마트 시티 등 매우 넓은 지역에 분포된 주요 시설의 위치와 상태들을 최소의 인프라와 최소의 유지보수로 무선 관리할 목적으로 IEEE^{viii)}에서는 IEEE802.15.4g SUN규격과 IEEE802.15.4k LECIM 규격을 제정하였다.

이러한 표준 규격을 만족하면서, 도시 지하 공간 내 지하매설물의 상태를 실시간으로 모니터링하기 위한 무선통신칩을 개발하였다.

UGS FSK 무선통신칩은 저전력 시스템 구현에 적합한 IEEE802.15.4g SUN FSK규격과 IEEE802.15.4k LECIM FSK 규격을 통합하여 구현하였으며 시스템 구조는 <그림 10>과 같이 크게 FSK RF Transceiver 기술, FSK Modem 기술 및 MAC HW/HAL 기술로 구성된다.

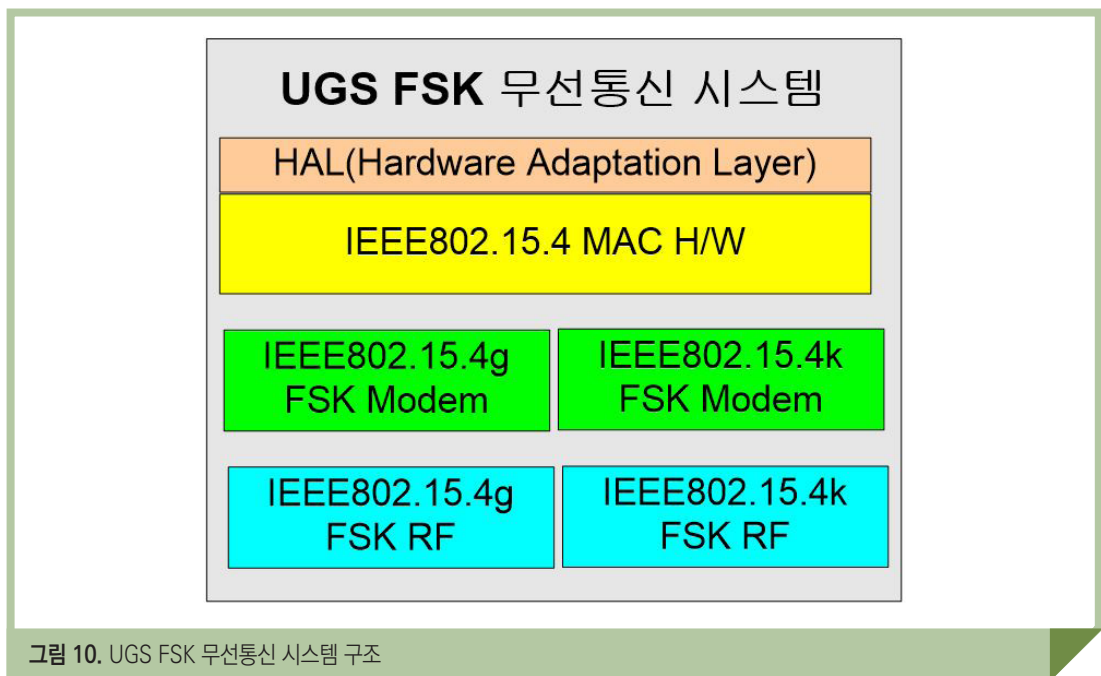


그림 10. UGS FSK 무선통신 시스템 구조

viii) Institute of Electrical and Electronics Engineers: 미국표준협회(ANSI)에 의하여 미국국가표준을 개발하도록 인증받은 전문기구

UGS FSK^{ix)} 무선통신 시스템은 지하매설물에 설치된 센서들로부터 발생한 데이터들을 DCM(Data Communication Module)을 이용하여 지역별로 설치된 AP(Access Point)로 전달하는 무선통신망 구축에 활용된다.

UGS FSK 무선통신 시스템은 국내 920MHz 비면허 대역을 이용하기 때문에 기존 2.4GHz 비면허 대역에 비해 주파수 혼잡도가 낮고 전파전파 특성이 우수하여 배터리로 장시간 운용이 필요한 저전력 환경에서 1Km 이상의 서비스 반경을 제공할 수 있다.

〈그림 11〉과 같이 IEEE802.15.4k LECIM과 IEEE802.15.4g SUN 국제 표준 규격을 모두 만족하여, 최소 12.5kbps에서 최대 200kbps의 전송속도(F symbol rate)를 제공함으로써 다양한 IoT 서비스에 적용될 수 있도록 설계하였다. 〈그림 11〉에서, Ts(usec)는 한 심볼을 전송하는데 필요한 시간으로, 12.5kbps의 경우 $1/12.5k = 0.08ms = 80 \text{ usec}$ 이다. FSK변조는 2FSK로서 중심주파수에서 -1은 -Fdev(KHz)로 변조하고, +1은 +Fdev(KHz)로 변조한다. 예로 12.5Kbps 전송모드에서 +1은 중심주파수 +12.5KHz로 변조하고, -1은 중심주파수-12.5KHz로 변조한다.

Modulation Index $h = 2 * Fdev / Fsymbol_rate$ 로 정의되며, 즉 12.5Kbps 전송모드는 $2 * 12.5 / 12.5 = 2$ 로 정의된다. Fdev(KHz)는 FSK변조를 위한 중심주파수에서 +1, -1을 정의하는 주파수 변위값이다. BPF(KHz)는 수신단에서 FSK신호를 복조하기 위해 사용하는 대역통과필터 대역폭을 나타낸다.

F _{symbol_rate}	12.5kbps	25kbps	50kbps	150kbps	200kbps
Ts[usec]	80	40	20	6.7	5
h	2	1	1	0.5	0.5
Fdev[kHz]	12.5	12.5	25	37.5	50
BPF BW[KHz]	80	80	105	130	155

LECIM

SUN

그림 11. UGS FSK 무선통신시스템 데이터 전송률

ix) frequency shift keying: 주파수 변위 방식

UGS FSK 무선통신 시스템은 0.18- μm CMOS(Complementary Metal-Oxide-Semiconductor)^{x)} 공정을 사용하여 칩으로 개발되었으며 2016년 5월에 UGS FSK 무선통신 칩을 탑재한 무선통신 모듈에 대해 무선통신기기의 국내 판매를 위한 KC 인증을 획득하였다. 또한 IEEE 802.15.4g 표준 활성화와 스마트 유틸리티 네트워크 상호운용(인증 포함)을 위해 설립된 Wi-SUN Alliance에서 2016년 10월에 국제 산업표준을 만족하는 제품임을 인증하는 Wi-SUN PHY 인증을 획득하여 국제 시장 개척도 가능해졌다.



그림 12. KC 인증서(왼쪽) / 그림 13. Wi-SUN PHY 인증서(오른쪽)

2.3.2 IoT 기반 UGS 네트워크

IoT 기반 UGS 네트워크 기술로는 IEEE 802.15.4k 표준 기반의 고신뢰 전송이 가능한 광역/저전력 LPWA 사물인터넷 기술을 적용하였다. 스타 네트워크 토폴로지를 채택하여 대규모 노드 디바이스들의 자원을 할당하도록 함으로써 대규모 노드 디바이스 지원이 가능하며, 주파수 간섭을 회피하기 위해 구현된 IEEE 802.15.4k E-DSME^{xi)} MAC 기술은 다음의 특성을 갖는다.⁴⁾

x) 상보형 금속 산화막 반도체

xi) E-DSME: Extended Deterministic and Synchronous Multi-channel Extension, 고정 지연 동기다중채널 확장 기술로 무선 통신 채널의 간섭 회피 기술임

- 고신뢰 전송 지원 Star Topology Network
- 멀티 PHY 노드 디바이스 지원
- 최대 1M 노드 디바이스 연결 지원
- 최대 1Km ~ 5Km 통신거리 지원
- 배터리 전원 5년 이상 지원

지하매설물 상태 정보는 <그림 14>와 같이 제작된 UGS 노드를 통해서 수집되며, <그림 15>의 맨홀 커버형 안테나와 연결되어 지상으로 데이터를 전송한다.⁴⁾

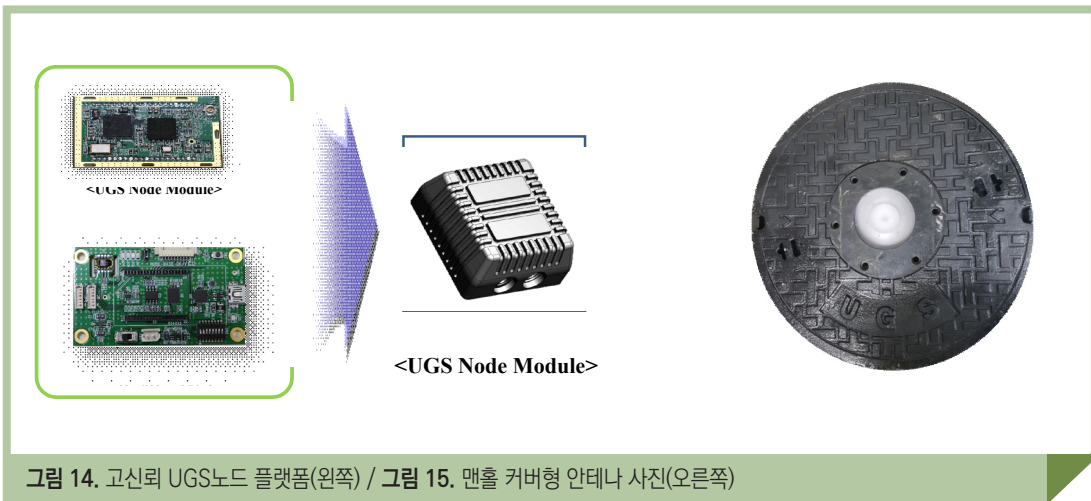


그림 14. 고신뢰 UGS노드 플랫폼(왼쪽) / 그림 15. 맨홀 커버형 안테나 사진(오른쪽)

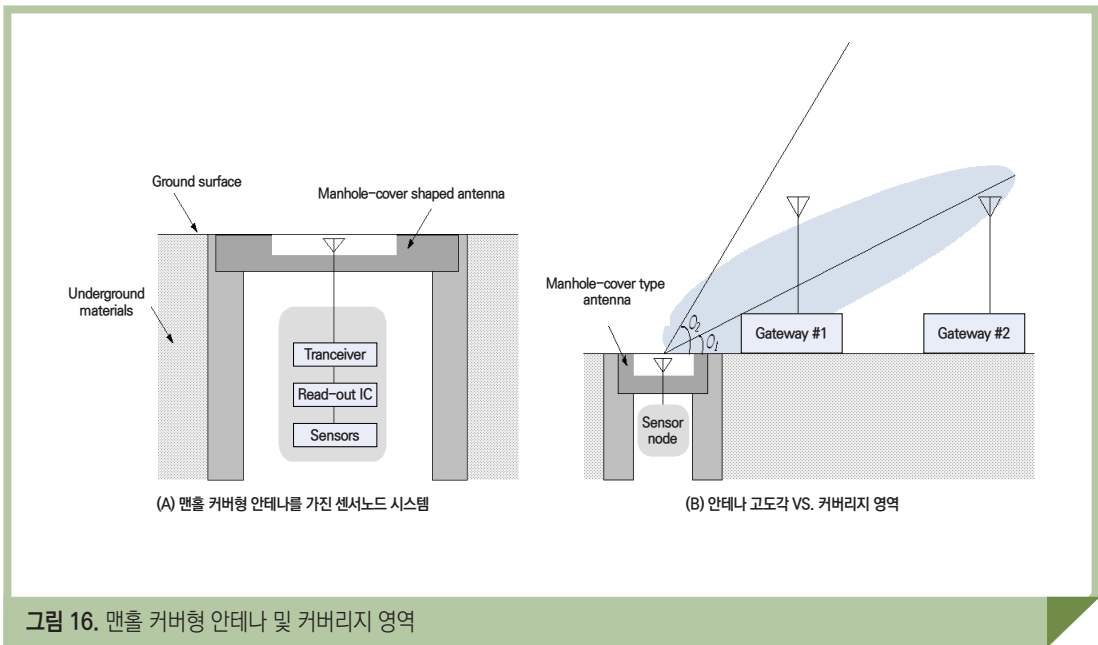
2.3.3 맨홀 커버형 안테나

지하공간의 센싱 정보를 지상의 UGS 시스템으로 연결하기 위하여 지표면에 매립되는 맨홀 커버형 안테나를 개발하였으며, 915MHz와 2.45GHz 주파수 대역을 지원하는 두 종류의 안테나는 지상으로 넓은 커버리지를 제공한다.

<그림 15>는 맨홀 커버형 안테나의 사진이며, 몸체는 흑연 주철로 이루어져있다. 직경과 두께가 각각 648mm와 50mm이다. 맨홀 커버형 안테나는 정적 부하 테스트를 통해 800kN 이상의 부하를 견딜 수 있음

을 인증 받았다. 맨홀 커버형 안테나는 대전 월평역 테스트베드에 설치되어 그 기능을 검증하였으며, 지하시 설물의 실시간 모니터링 시스템 구축에 필수적인 장비가 되었다.

<그림 16 (a)>는 UGS 네트워크를 위한 맨홀 커버형 안테나를 보여준다. 맨홀 커버형 안테나는 지표면과 동일한 높이에 설치되기 때문에 지표면 수준에서는 전파 전달이 어렵다. <그림 16 (b)>는 안테나 양각과 커버리지 면적과의 관계를 보여준다. 지표면 수준으로부터 θ_1 과 θ_2 의 양각을 가진다면, 지표면 안테나에 의하여 각 센서노드는 다른 커버리지 영역을 갖는다. 낮은 양각은 넓은 커버리지 영역과 통신 링크에 대한 높은 신뢰성을 제공한다.⁶⁾



2.3.4 UGS 서비스 플랫폼

지하공간 모니터링의 근간이 되는 UGS 서비스 플랫폼은 모니터링 서비스의 원활한 개발 및 실행, 센싱 장치 접속에 공통적으로 활용되는 소프트웨어의 집합으로서 미들웨어(USP_MWS), 센싱 데이터 관리기(USP_SDM), 응용 인터페이스(USP_API), 가시화 도구(USP_VIS) 등으로 구성된다. UGS 서비스 플랫폼 구조는 <그림 17>과 같다.

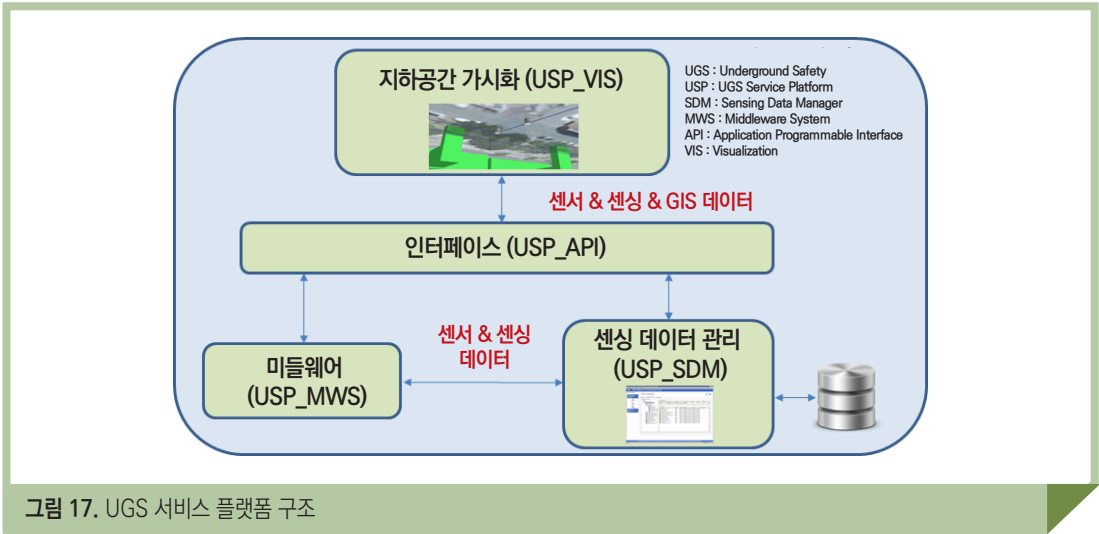


그림 17. UGS 서비스 플랫폼 구조

미들웨어는 지하매설물의 상태 정보를 수집하는 센싱 장치로 구성된 센서 네트워크와의 연결 및 데이터 수집을 담당하며,⁷⁾ 이 기종 다수의 센서 네트워크들이 가지는 서로 다른 동작방식 및 세부 통신 프로토콜 등에 관계없이 공통된 방식으로 다양한 형태의 명령을 네트워크에 전달하고 이와 관련된 처리 결과나 센싱 값을 수신한다. 표준화된 인터페이스로 ISO/IEC 30128을 활용하였다.⁸⁾

센싱 데이터 관리기는 지하공간의 상태를 모니터링하기 위해 필요한 데이터를 저장 및 관리하는 기능을 제공하며, 센싱 데이터 관리기에서 관리하는 데이터의 종류는 공간 지도, 센싱 데이터, 센서 노드 데이터, 센서 노드 펌웨어, SRI (Subsidence Risk Index), 영상 등이다.

응용 인터페이스는 미들웨어 기능, 센싱 데이터 관리기의 기능, 가시화 도구를 포함한 다른 응용 프로그램이 편리하게 이용할 수 있도록 지원하는 기능을 담당하는 것으로, 미들웨어와 센싱 데이터 관리기의 기능을 사용하는 방법을 정의한 다양한 함수들로 구성되어 있다. 이 함수들은 미들웨어와 센싱 데이터 관리기에 정보를 전달하는 것과 미들웨어와 센싱 데이터 관리기로부터 정보를 받아가는 것으로 분류된다.

2.3.5 3D 지도 기반 UGS 안전도 가시화

수도관이나 하수관 파열, 지하수의 급격한 수위 변화, 동공 등과 같은 지하공간에서 발생하는 위험 상황을 사전에 감지하는 것은 다음과 같은 이유로 매우 어렵다. 첫 번째, 지하공간과 지하시설물은 눈에 보이지 않는다. 두 번째, 위험 상황들은 사전 경보 없이 갑자기 발생하는 경우가 많다. 세 번째, 지하시설물의 위치를 모르는 경우도 있다. 네 번째, 위험 상황을 발생시키는 원인에 대한 분석도 쉽지 않다. 따라서, 지하공간에서 발생하는 위험 상황을 감지하기 위해서는 지하공간에 설치된 지하시설물의 상태와 위치를 눈으로 쉽게 확인할 수 있도록 가시화하는 것이 필요하다.

3차원 지도 기반의 UGS 가시화 모듈은 지상시설물과 지하시설물의 특징을 보여줄 수 있는 자세한 모델을 제공한다.⁹⁾ 이 모듈은 지도, 이미지, 지형지물 및 상수관, 상수맨홀, 하수관, 하수맨홀, 지하철 역사, 지하철 선로 등과 같은 지하시설물을 포함한다. 이러한 모듈은 국토교통부에서 제작하는 지하공간 통합지도 사업의 결과와 동일한 것을 사용하고 있다. 사람들이 눈으로 보고 인식하는 세상은 3차원이므로, 지하공간에 대한 사람들의 이해를 높이기 위해 지하시설물을 3차원으로 표시하였다. 3차원 지하시설물 표현의 예를 <그림 18>에 표시하였다. 이 그림에는 도시철도 역사, 도시철도 선로, 상수관로, 하수관로가 표시되어 있다. 지도는 국토교통부에서 제작한 것을 사용하였으며, 지도에 포함된 속성과 센싱 데이터를 기반으로 지하매설물의 위험도를 계산한 결과를 <그림 19>에 표시하였다.

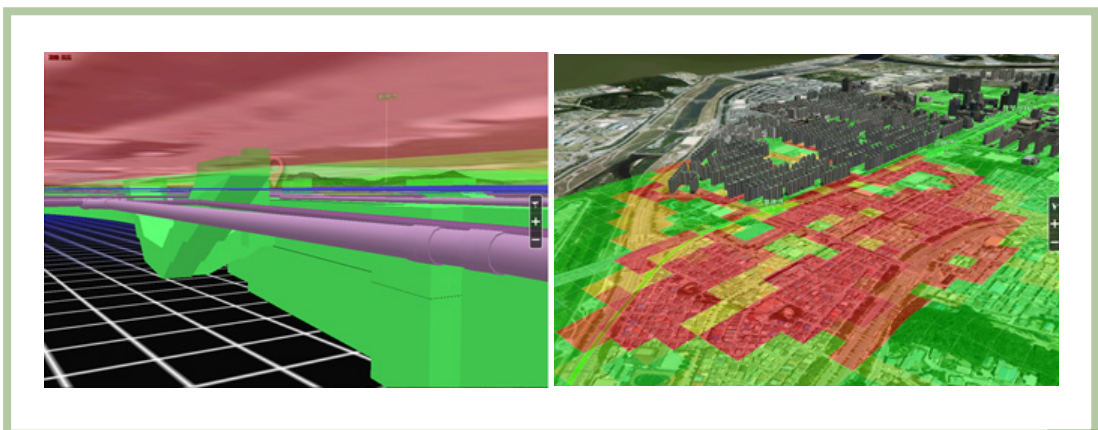


그림 18. 지하매설물 3차원 가시화 표현 예(왼쪽) / 그림 19. 대전시 월평역 부근 위험 지수(오른쪽)

2.4 상하수도관로 탐사 기술

상하수도관과 주변 지하공간을 모니터링하기 위해 상수도관 누수 확인 센서, 하수관 내부의 건전도 확인을 위한 이미지 취득 장치, 관로 배면 공동을 탐지하기 위한 물리탐사 기술 등을 개발하였다. 수집된 데이터를 기반으로 상하수관 주변 위험도를 평가하고, 그 결과는 사물인터넷에 기반한 지하 공간 위험 가시화 플랫폼을 통해 서비스된다.

2.4.1 상수관로 누수 감지 센서 및 분석 기술

상수관로 안전관리 시스템은 상수관로 주변 지하 공간의 안전관리를 위한 기술로 누수 감지 센서와 변위 감지 센서를 이용하여 상수관로의 누수 여부 및 위치 변화를 감지한다. 이를 통해 상수관로의 이상 유무를 감지하여 관로 주변 지반의 공동발생 위험을 최소화 할 수 있다. 시스템은 <그림 20>과 같이 누수와 위치변화를 동시에 감지할 수 있는 측정 장비와 통신 장비 그리고 분석 프로그램으로 구성된다. 가속도계를 통해 상수관로에 누수를 측정할 수 있으며, 관로의 이상거동을 감지하기 위해 MEMS 자이로/가속도 센서도 이용하였다. UGS 노드 통신모듈과 연결을 통해 사물인터넷(IoT)과 연동되어 상수관로 주변 지하공간의 위험을 실시간으로 감지할 수 있다.



그림 20. 상수도 관로 안전감시 시스템의 센싱 유니트

2.4.2 하수관로 이미지 프로세싱을 통한 자동 손상 탐지 기술

하수관로에 의한 지반함몰 사고에 대응하여 환경부에서는 노후 하수관로를 대상으로 CCTV 촬영 영상 분석을 통한 정밀 조사를 실시하고 있다. 하지만 시간과 예산상의 이유로 국토 전 구간의 노후 하수관에 대한 정밀조사는 매우 어려운 실정이다. 이와 같은 한계를 극복하기 위해 하수관 CCTV 영상 분석을 통한 손상 자동 분석 소프트웨어를 개발하였다. 본 기술은 환경부의 하수관로 조사 매뉴얼을 기준으로 하였으며, 이미지 프로세싱과 딥러닝을 활용하여 하수관로 내부 손상을 자동 탐지할 수 있는 알고리즘을 통해 하수관 건전도를 평가하는 소프트웨어를 개발하였다. <그림 21>에 나타난 것처럼 촬영된 CCTV 영상을 개별 이미지로 분리하여 이미지 프로세싱이 가능하도록 전처리하고, 분리된 이미지에서 영상의 자막을 추출하고, 하수관 정보를 자동으로 추출할 수 있도록 개발하였다. 또한 Deep Learning 알고리즘을 활용하여 환경부에서 지정하고 있는 25개 하수관 손상 유형을 분류해 자동으로 하수관로 탐사 보고서를 생성하는 기술을 개발하였다. 이는 기존 하수관 CCTV 탐사 후 인력에 의존해 수동으로 입력하는 것보다 결과의 신뢰성 및 작업 효율성 측면에서 매우 편리하다.

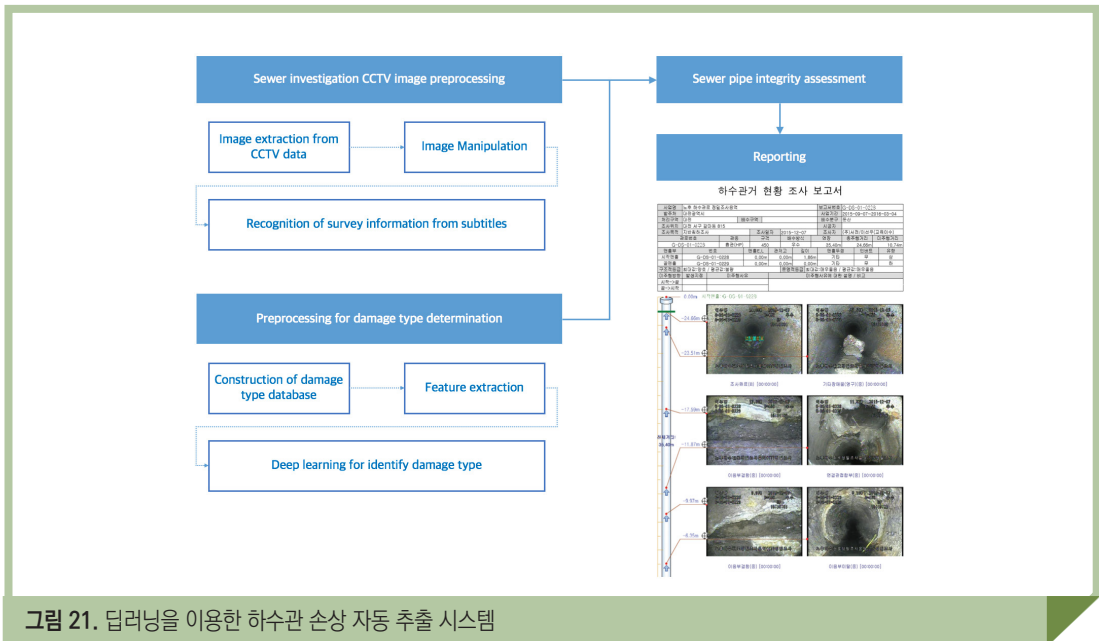


그림 21. 딥러닝을 이용한 하수관 손상 자동 추출 시스템

2.4.3 하수관로 관내 GPR 장치를 통한 공동 탐지 기술

하수관로 주변에서 발생하는 지반 공동은 지반조건, 지하수위 변동, 관로의 열화 등 다양한 요인으로 인해 생성되며, 장시간에 걸쳐 서서히 진행되는 것이 일반적이다. 하수관로 배면 공동 탐사 장치는 지하에 매설된 하수관을 대상으로 GPR을 이용한 내부 조사를 통해 관로 배면 공동의 존재 여부를 확인하기 위한 장치이다. 하수관 내부에서 배면 공동을 탐지하기 위한 GPR 장치는 500mm관과 1,000mm관을 대상으로 탐사하며, 중심 주파수를 600MHz로 설정하였다. GPR 안테나와 데이터 수집 및 디지털화를 위한 로깅 장치를 무인으로 이용해 하수관 내부에서 원하는 지점으로 이동하고, 자동으로 조사를 실시할 수 있는 장치를 개발하였다. GPR 탐사 장치는 <그림 22>에 나타난 것처럼 하수관로 내부 주행을 위한 주행 장치, 하수관 직경에 따라 중심선을 맞추기 위한 하부 리프트 장치, 하수관 상부 180°구간에 효과적으로 GPR 안테나를 접근시키기 위한 Extendable Arm과 두 개의 Extendable Arm을 좌우로 회전시킬 수 있는 회전축으로 구성하였다. 본 기술 개발을 통해 공동 발생의 위치 및 공동 크기를 탐지해 하수관로 주변 지하공간 안정성 평가를 위한 중요한 정보를 제공할 수 있다.

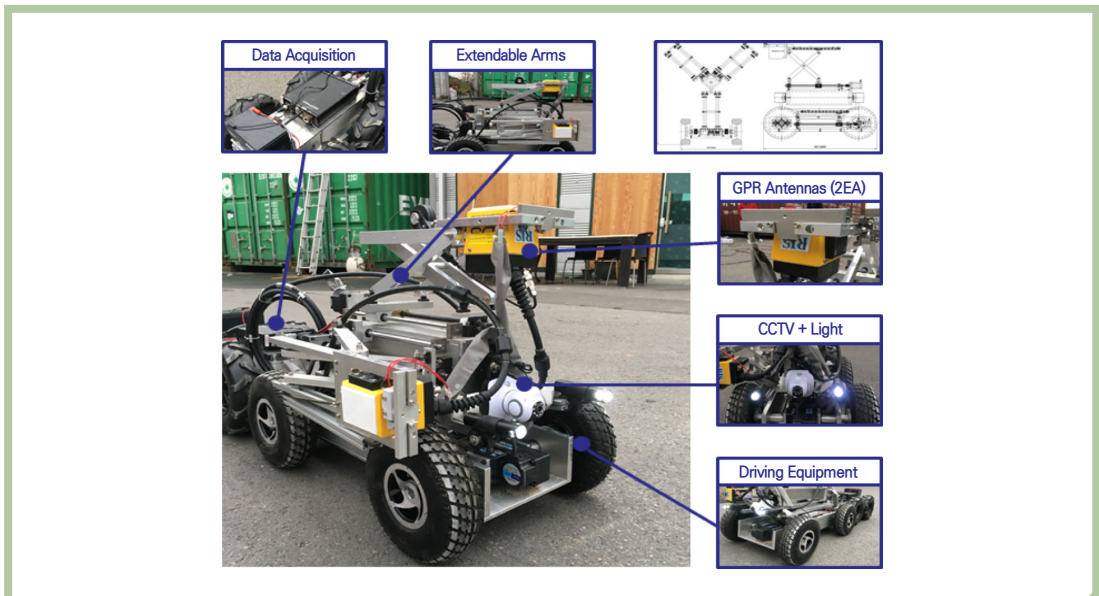


그림 22. 하수관로 GPR 탐사장치

2.5 도시철도 구조물 모니터링 및 철도 주변 지반침하 예방 기술

2.5.1 GPR 탐사 및 신호처리

도심지 지반 이상 매질(공동 등)의 GPR 탐사에 있어서 깊이, 크기를 추정하는 신호 분석 기술을 확보하기 위해 다양한 모형지반 및 관련 현장에서 연구를 수행하였다<그림23, 24>. 최적 신호 처리 기법, 이상매질 신호 패턴 분석 연구, 공동 유무 확인 등 이에 대한 최적 시험절차 매뉴얼과 분석 알고리즘을 개발하였다. 1차로 GPR 탐사를 수행하고 운영하는 SW를 개발하고, 1차 탐사결과에서 이상 매질 지역 탐사 결과에 기반하여 분석하고 확인할 수 있는 알고리즘을 개발하여 시스템 내에 구현하였다. 2차 정밀 탐사를 위해 GPR 데이터, 영상, GPS, DMI 동기화로 이상 매질 탐사 지역을 정확하게 확인할 수 있는 시스템을 구축하였으며, GPR 정밀 탐사 결과, 주변 영상, 지반정보 등을 연계하여, 공동 확인 및 상태에 따른 위험등급을 산정하는 알고리즘을 시스템 내에 구현하였다.



그림 23. 도심지 모형지반 GPR 탐사

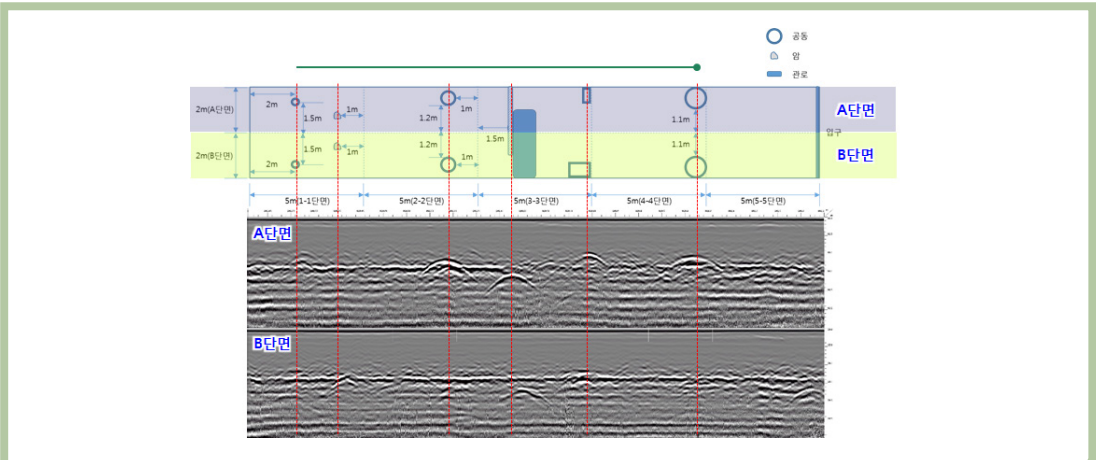


그림 24. 도심지 모형지반 GPR 탐사 결과

2.5.2 전기비저항 동적관입시험 장치 및 자동관입시험 탐사 장치

전기비저항 특성 및 지반 강성의 깊이별 평가를 위한 RDCP 장치를 개발하여 GPR 탐사와 상호 보완적으로 활용되는 기술을 확보하였으며, 지반 확인 감시를 위한 차량탐재시스템, 동적콘 자동관입시험장치, 수동식 GPR 탐사장치, 시추확인장치 등을 제작하여 현장 상태를 확인하고 정밀 탐사 할 수 있는 기술을 개발하였다(그림 25).

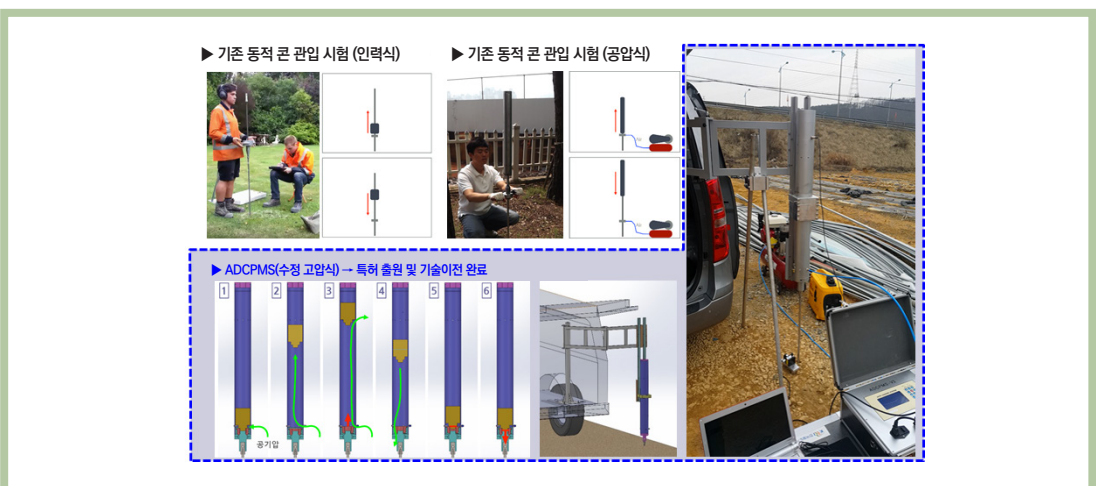


그림 25. 관입시험 장치

2.5.3 도심지 지반 강성 평가 시스템

공동 등 이상 상태가 예상되는 지점에서 지반의 강성평가를 통해 지반의 연약화/공동 존재를 확인하기 위한 방법으로 지반강성평가장치를 개발하였다. 이를 위해 도심지 지반의 평균강성을 평가할 수 있는 LWD를 개발 실용화하였고, SASW기법을 아스팔트/지반 하부 공동에 특화하여 층별 강성을 보다 신속하게 평가할 수 있도록 분석기법을 개발하고 시스템을 구축하였다<그림 26>.



그림 26. LWD 시험 장비 및 SW

2.5.4 고분해능 분포형 광섬유 센서 시스템

기존 분포형 광섬유 센서의 경우, 공간분해능이 1m이며 고가의 국외 제품이기 때문에 이를 현장에 적용하기에는 제약이 있었다. 이러한 분포형 광섬유 센서의 공간분해능을 최대 10cm까지 낮추고, 측정 구간을 선택할 수 있는 기능을 구현하고, 국산화로 실용화할 수 있는 기술을 개발하였다. 이는 터널/교량 등 대형 인프라 구조물에서 특정 지점이 아닌 넓은 구간에서의 변형을 모니터링하고, 변위 발생 구간을 선택, 정밀 센싱하는 분야에 활용도가 높다<그림 27>.

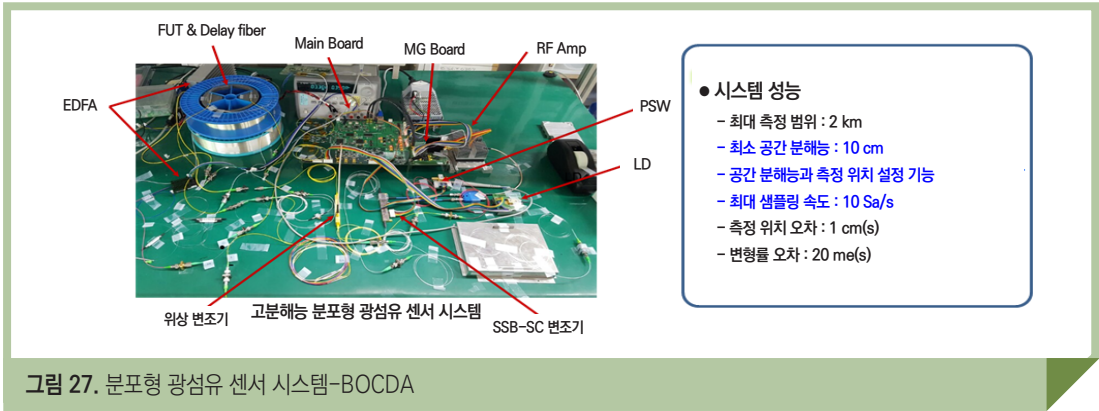


그림 27. 분포형 광섬유 센서 시스템-BOFDA

2.5.5 MEMS 센서^{xii)} 기반 무선통신모듈

구조물 또는 지반의 진동과 경사변화 등을 측정하기 위해 사용되는 센서들의 경우, 전원 및 통신을 위한 케이블의 설치가 복잡하고 비용과 시간이 많이 소요되며, 특히 철도구간과 같이 노이즈의 간섭이 심한 구간에서는 데이터의 적절한 수집도 어려운 상황이다. 따라서 MEMS 센서에 무선으로 통신하는 모듈을 추가하여 도시철도 구간에 설치하여 시험 적용하였다(그림 28).

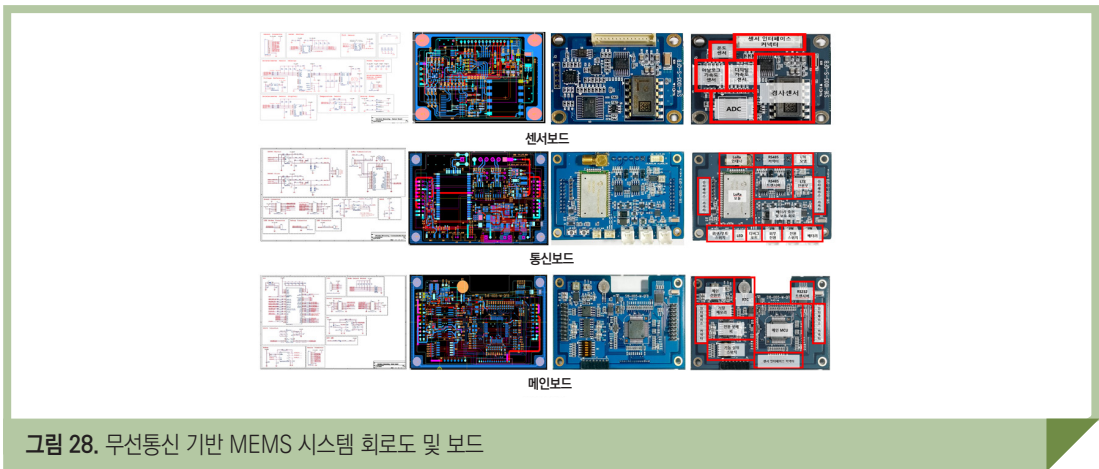


그림 28. 무선통신 기반 MEMS 시스템 회로도 및 보드

xii) MEMS(Micro Electro-Mechanical Systems)는 '미세 전자 기계 시스템'을 뜻하며, MEMS 센서는 초소형의 고감도 센서

2.5.6 레이저-영상 기반 철도 터널 스캔 시스템

터널은 정기적인 점검과 안전진단이 필요한 구조물이나 상태 점검시 인력의 육안 검사에 의존하는 상황이다. 이러한 어려움을 극복하기 위해 철도 터널의 이상상태(변형, 균열, 누수, 틀림 등)를 레이저와 영상을 통해 스캔 및 자동 검출하고 이를 DB화하고 시계열분석을 통해 이상상태를 확인할 수 있는 장비와 SW를 개발하였고, 다양한 현장조건에서 검증 시험 및 분석을 통해 상용화를 위한 장비, SW, 시험 및 분석 기술을 개발하였다(그림 29).



그림 29. 레이저-영상 기반 철도 터널 스캔 시스템 및 결과 예시

2.5.7 터널 라이닝/배면 GPR 탐사, 분석 기술 연구

타설 방식의 터널 라이닝의 경우, 구조적으로 라이닝 내부의 공동, 배면 공동, 들뜸, 라이닝 두께 부족 등이 생길 수 있으며, 이에 대한 탐사방법이 요구되는 상황이다. 따라서 GPR을 이용한 터널 라이닝 탐사 방법의 체계화 및 분석 정확도를 위해 기존 터널 GPR 탐사 자료를 분석하였고, 실험용 터널 모형 라이닝을 제작하여 시험하였다(그림 30). 서울/대전 도시철도 터널 라이닝 탐사를 통해 터널 GPR 탐사방법에 대한 정확한 시험방법과 분석에 대한 매뉴얼을 제시하였다.

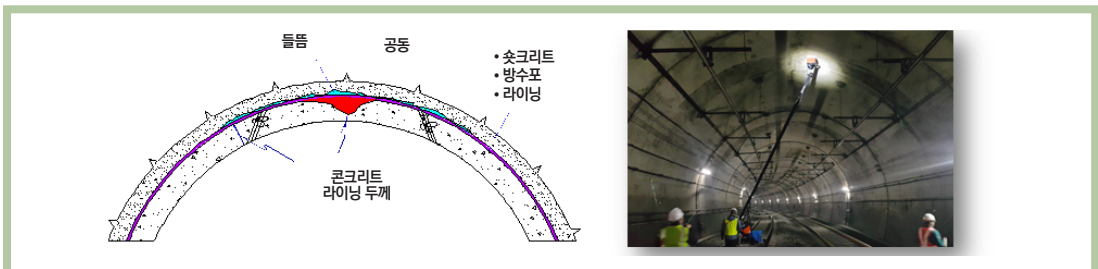


그림 30. 터널 라이닝(왼쪽) / 배면 단면 및 GPR 탐사(오른쪽)

2.5.8 도시철도 유입수 실시간 모니터링 시스템 개발

도시철도로 유입되는 지하수의 양과 수질을 실시간으로 모니터링할 수 있도록 시스템을 설계하여 서울(충무로역)과 대전의 역사(현충원역, 중앙로역)에 구축 및 적용하였고 이에 대한 검증을 수행하였다(그림 31).



그림 31. 도시철도 유입수 실시간 모니터링 장치 및 설치

2.5.9 유입수 모니터링 결과 기반 주변 지반, 구조물, 지하수 상태 평가

유입수 및 주변 환경(강수, 지하수위 변동 등)의 상관성을 분석하였고, 도시철도 지하구조물/지반 이상거동 예측 연구를 수행하였다. 대전(중앙로역, 현충원역), 서울(가락시장역) 등의 테스트베드를 설치 운영하고 지속적인 시계열 데이터 수집과 해석 등을 수행하여 이상 거동 예측 모델을 개발하였다. 대상별 위험도 평가 알고리즘과 구현 시스템을 구축하였고, 실시간 모니터링 시스템의 검증과 최적화 연구를 통해서 유입수 기반 위험 평가 알고리즘과 대응매뉴얼을 제시하였다(그림 32).

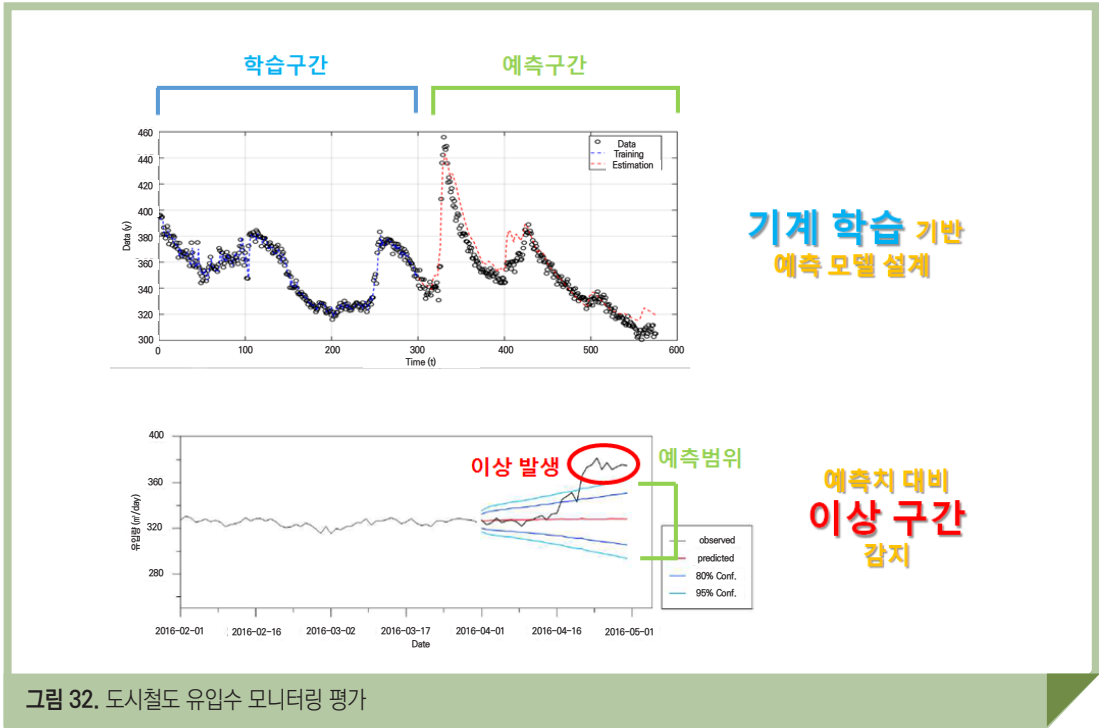


그림 32. 도시철도 유입수 모니터링 평가

2.5.10 철도 Basic SRI^{xiii)}

위험 관리 지역 내에서의 상대적인 지반 함몰 발생 가능성을 평가하기 위한 방법으로, 기본적인 정보를 활용하여 위험도를 1차적으로 평가하기 위해 철도와 관련된 기본 정보를 기반으로 지반함몰 빈도 등과의 상관성을 분석하였다. 철도 관련 영향인자들을 선별하고 서울시를 대상으로 일부 기본 정보를 수집하고 DB화 하는 작업을 통해 위험도를 산정하고 가시화할 수 있는 시스템을 구축하였고, 철도분야 Basic SRI를 평가할 수 있는 시스템을 개발하였다(그림 33).

xiii) 지반침하위험지수 : 다양한 지반 환경 조건을 기반으로 분석된 위험 지수

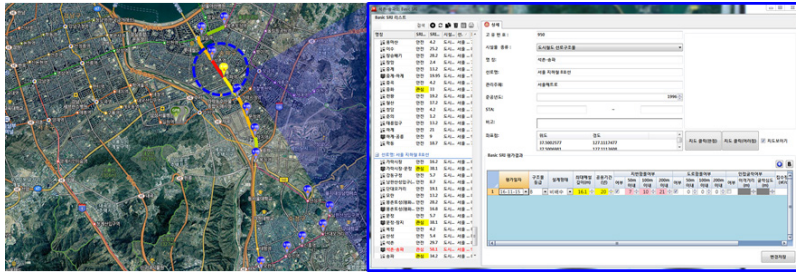


그림 33. 철도 정보 기반 침하 위험(SRI) 분석 시스템

2.5.11 계측 모니터링 관리 및 UGS 시스템 연계

도시철도 지하구조물 및 주변 지반, 유입수 등을 계측, 탐사, 모니터링하여 계측 및 탐사된 결과들을 실시간 또는 주기적으로 전송받아 항목별 필요에 따라 측정 데이터와 상태평가 결과값을 UGS 플랫폼에 연계하는 기능으로 구현하였다(그림 34). 각 계측/탐사 항목들과의 데이터 전송, UGS 플랫폼과의 데이터 연계에 관련한 인터페이스 부분을 최적화하였으며, 테스트베드를 대상으로 시험, 검증하였다.



그림 34. 계측 모니터링 관리 시스템

2.6 지하수 및 지반침하 영향 분석

2.6.1 도심지 지하수-지질환경 실시간 모니터링 시스템

이 시스템은 도심지 지반안전성에 영향을 미칠 수 있는 지하수와 지질환경 인자들을 실시간으로 측정하고 분석함으로써 대상지역의 지반약화나 내부공동 등의 발생 위험을 직간접적으로 유추하는 것을 목적으로 한다. 사물인터넷 기반 복합센서는 동시에 8가지 항목(지하수위, 지하수온도, 지하수EC^{xiv}, 탁도, 토양함수율, 흡입압, 토양온도 및 토양EC)를 측정하여 중앙의 서버에 전송할 수 있다<그림 35>. 서버에서는 측정값과 인자 상호간의 관계에 기반하여 다각도에서 분석한 지반위험도를 도출한 후, 인터넷과 모바일에 제공한다. 지하수 분석 모듈은 실시간으로 지하수위의 변화, 지하수면의 위치, 지하수 탁도, 토양환경변화를 감지하여 지반위험도지수를 계산할 수 있고, 이와 함께 지하수 오염도에 대한 정보도 제공한다. 관계 기관에서는 이렇게 산출된 지수를 GPR과 같은 정밀탐지기법과 병행하여 지하시설물 관리 및 시민안전 강화에 보조적으로 활용할 수 있다.

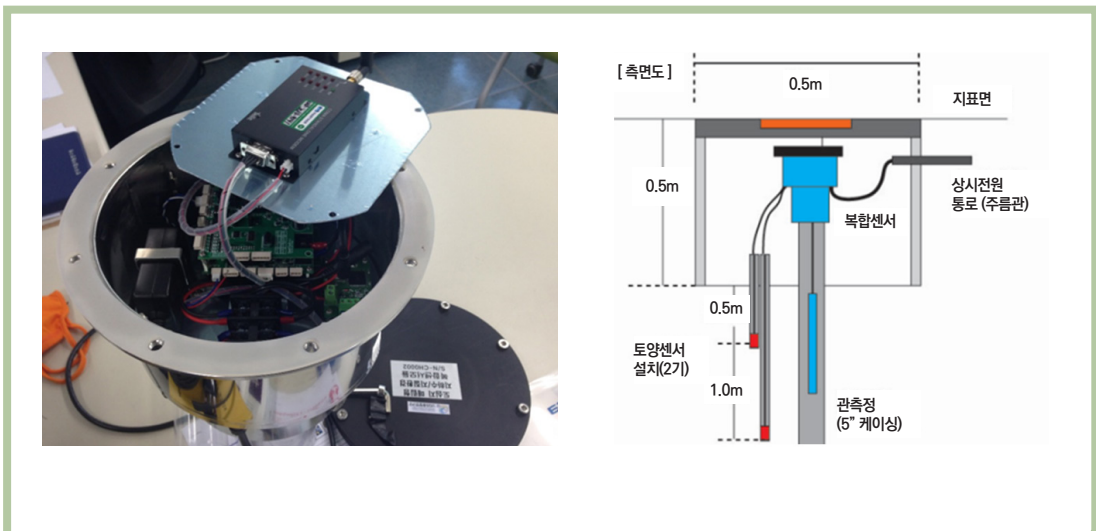


그림 35. 지하수 다항목 측정 센서

xiv)Electrical Conductivity: 전기전도도

2.6.2 지반침하 현상 연구

사회현안 문제로 대두되고 있는 도심지 지반침하(도로 함몰)는 현상학적으로는 석회암지대에서 발생하는 싱크홀과 유사하나, 발생기구(mechanism)는 큰 차이가 있으며, 압밀현상인 지반침하와는 현상학적 발생기구 측면에서 모두 차이가 있다. 지반침하는 지반함몰, 싱크홀(sinkhole), 지반압밀로 구분할 수 있으며, 각 현상의 발생과정 및 주요 발생인자들을 <표 3>과 같이 정리하였다. 다양한 종류의 지반침하는 발생기구도 다르며, 주요 영향인자에서도 큰 차이가 있다. 따라서 도심지 지반함몰을 토립자 유실로 인한 지하공동 발생과 관련성이 있는 지반침하 현상으로 국한하였다.

표 3. 지반침하(지반함몰, 싱크홀, 지반압밀)의 종류 및 정의

현상	발생과정	설명	인자
지반함몰 (road collapse)	① 토립자 유실(suffusion/suffosion) ② 토립자 지속적 이동(grain migration) ③ 공동 생성(cavity creation) ④ 공동 발전(expansion) ⑤ 포장체 파괴(breach)	토립자 유실로 인한 지하공동 발생, 확장, 붕괴	입도분포, 다짐도, 지하수(수두 구배, 유속) 등
싱크홀 (sinkhole)	① 암반과 지하수간의 상호작용 (limestone, carbonate rock, salt bed etc.) ② 장기간 화학적 반응에 의한 화학적 풍화 (chemical eathering) ③ 용해(dissolution) ④ 공동 생성 (cavity creation) ⑤ 점진적 공동 천정 붕락에 의한 상향이동 (upward migration by progressive roof collapse)	용해성 암석의 화학적 용해에 의한 공동발생, 확장, 천반 붕괴	기반암 종류, 지하수, 불연속면 등
지반압밀 (consolidation)	① 응력-변형을 관계 (stress-strain relationship) ② 1차 및 2차 압밀현상(time-dependent)	하중(자중)에 의한 지반변형	지하수, 역학적 성질

한편, 토립자 유실로 인해 야기되는 내부침식(internal erosion) 현상은 댐이나 제방 구조물에 있어서 다양한 공학적 문제를 야기하기 때문에 입도분포에 따른 내부안정성(internal stability) 평가기준에 대한 연구들이 있었다. 내부침식 단계는 토립자 분리 개시, 지속, 발전, 파괴와 같은 일련의 과정으로 발생하며<그림 36>, 이런 현상이 발생하기 위해서는 흙으로 구성된 지반, 토립자를 움직일 수 있는 포텐셜 혹은 유체 운동 에너지, 그리고 침식토가 쌓일 수 있는 공간의 존재 등이 전제되어야 한다. 이와 같은 개념은 토립자 유실로 발생하는 도심지 지반함몰 현상의 기작을 설명하는데 매우 유용한 개념이 될 수 있다.



도심지 지하매설물별 공동발생 현상은 댐이나 제방에서 발생하는 다양한 침식현상과의 유추관계로 설명할 수 있다<표 4>.

표 4. 도심지 지하매설물별 공동발생과 댐의 침식현상과의 유추관계

지하매설물	설명	유추관계
상수관	시공불량으로 인한 관로 배면 공간으로 인한 공동발생	Tunneling/Jugging (불포화대) Concentrated leak Erosion (포화대)
	상수관로 파손에 의한 지반붕괴	Boiling/Heave
하수관로	시공불량으로 인한 관로 배면 공간으로 인한 공동발생	Tunneling/Jugging (불포화대) Concentrated leak erosion (포화대)
	하수관로 균열에 의한 공동 발생 및 이동	
	하수관로 파손에 의한 공동발생 및 이동	Gravity vs. Seepage velocity
도시철도	(터널식) 슛크리트 등의 파손으로 Filtering효과 손실	Concentrated leak erosion
	(개착식) 토목부직포 등의 손상으로 Filtering효과 손실	Suffusion/Suffosion (포화대)
터파기	가시설물 불량으로 인한 인근 지반함몰	Tunneling/Jugging (불포화대) Suffusion/Suffosion (포화대)



03 결론

그 동안의 지반함몰 사고의 발생 건수와 피해 규모의 증가에 비해 사고 징후 감시 및 예측 시스템에 대한 연구 개발은 상대적으로 그 수준이 미흡했었다. 현재까지 도시안전과 관련해서 상대적으로 기술적 관심이 낮고 각 지자체별로 관리주체가 분산되어 체계적인 관리 및 유지 보수가 불가능했던 점 등의 문제점이 있었고, 그 결과 지속적으로 발생하는 지반함몰 사고들이 사회적인 이슈로서 국민들의 불안감을 묵시적으로 초래하게 된 것이다. 본문에서 소개한 사물인터넷 기반 지하매설물 안전관리 시스템의 다양한 연구 결과 내용과 같이 UGS 시스템은 크게 지하매설물별 탐지 센서, 센싱한 데이터를 전송하는 통신 네트워크 장치, 전송된 데이터를 분석하고 서비스하는 UGS플랫폼으로 구성된다. 본 고에서는 지하공간에 있어서 물과 관련되는 지하매설물의 상태를 모니터링하기 위한 다양한 센서들을 소개하였으며, 그 수집된 데이터들의 규격을 표준화하고 DB를 구축하여 지하안전 관리 시스템과 연동하였다. 사물인터넷 기술을 개발하여 다양한 센서로부터 수집한 데이터를 안정적으로 전송하는 통신 기술을 개발하였고, 위험도 분석을 통해서 위험지역에 체계적으로 상세 모니터링을 할 수 있도록 시스템을 구성하였다. 이러한 연구개발 결과물들은 지자체의 테스트베드와 시범사업을 통해 설치 및 운영하였다. 지자체가 보유하고 있는 지하공간 데이터들을 분석하여 지하공간의 안전도와 관련된 위험지수를 산정하였으며, 분석된 결과의 위험지역에 우선적으로 지하공간 안전관리 시스템을 설치하여 정밀 탐사하는 프로세스를 구축하였다. 본문에서 설명했던 UGS 융합시스템의 연구결과물들은 연구개발 초기부터 국토교통부의 지하공간통합지도와 연동하여 개발하였으며, 국토교통부의 지하공간안전관리시스템과도 연동되도록 개발하고 있는 상황이다. 2018년 1월 1일부터 시행되는 “지하안전관리에 관한 특별법”에 따라 이 UGS 시스템을 통해 지반함몰의 위험을 보다 정확히 예측하여 위험한 지하공간의 상황을 선제적으로 대응하는데 활용될 예정이며, 향후 가스관, 전력선, 송유관 등 다양한 지하매설물의 상태를 원격탐지하는 분야에도 활용될 것으로 기대된다.

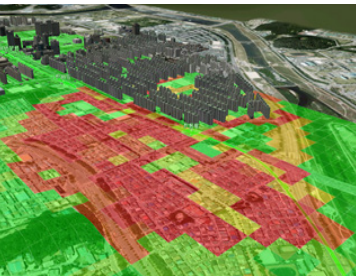
저자 이인환

In Hwan Lee

학력 한양대학교 전자컴퓨터통신공학 박사 **경력** 現) 한국전자통신연구원 UGS융합연구단 단장(책임연구원)
 한양대학교 전력전자 석사
 한양대학교 전기공학 학사

참고문헌

1. 국토교통부 보도참고자료, 2016년 8월 23일, “지하공간 안전관리 강화 대책 마련”
2. 이인환, “사물인터넷(IoT) 기반 도시 지하매설물 모니터링 및 관리시스템 기술 개발” 연구계획서 및 발표자료
3. IEEE Std 802.15.4k-2013 (Amendment of IEEE Std 802.15.4-2011), 2013.
4. 강호용, 김현학, 김건, 이재흠, 이인환, “UGS 서비스를 위한 IEEE 802.15.4k 기반 LPWA 네트워크 구현”, 한국통신학회 하계학술대회, 2017.
5. IEEE Std 802.15.4g-2012 (Amendment of IEEE Std 802.15.4-2011), 2012.
6. Eun-Hee Kim, Hae-Won Son, Hoyong Kang, In-hwanLee, “Manhole-cover Shaped Antenna Design for Underground Facilities Monitoring System”, MobiSPC 2017, 2017.
7. Kwangsoo Kim, Dong-Hwan Park, Jaeheum Lee, Inwhan Lee, Underground Facility Monitoring Services for Public Safety, Proceedings of Service Computation, 2017.
8. ISO/IEC 30128, Information technology -- Sensor networks -- Generic Sensor network Application Interface, 2014.
9. 김광수, 박동환, 김봉완, 이재흠, “UGS 데이터 관리 컴포넌트 설계 및 개발”, 한국통신학회 하계학술대회, 2017.



융합연구정책센터
Convergence Research Policy Center

(02792) 서울특별시 성북구 화랑로 14길 5 (TEL) 02-958-4984