

# 자율주행시스템과 스마트 도로인프라기술의 진화



강 경 표 | 한국교통연구원 교통기술연구소

## 1. 배경

자동차가 도로 위를 달리기 시작하면서 자동차 기술은 무한 경쟁속에서 발전을 지속해왔다. 최근에는 자율주행차의 등장으로 또다시 자동차뿐만 아니라 관련 부품 및 IT기업, 교통서비스기업(Transportation Network Company) 시장에 혁신을 맞고 있다. 이에 반해, 도로교통분야는 어떤가? 사실, 자동차 도입 초기에도 도로교통분야의 역할은 그다지 중요하지 않았다. 아마도 교차로의 신호정보가 전부였을 것이다. 지금은 운전자가 실시간 교통정보 없이 주행이 가능할까? 제아무리 첨단자동차일지라도 실시간 교통정보가 없이 주행은 불가능할 것이다. 그 중심에 ITS 기반 도로인프라가 있으며, 도로인프라 기술도 끊임없이 진화하고 있다는 사실이다.

그렇다면 자율주행차는 이러한 도로인프라의 진화 없이 주행이 가능할까? 결론부터 말하자면 '불가능'하다. 자동차측면에서는 단순 주행을 가능할지 모르나, 자율주행차의 도로교통시스템 차원에서는 '불가능'하다. 지금부터 그 이유에 대해 논하고자 한다.

## 2. 자율주행시스템은 자율주행차(AV)와 커넥티드카(CV)의 융합체

### 2.1 자율주행차(AV)의 진화는 ADAS에서부터

자율주행차(Automated Vehicle, 이하 AV)의 기술수준(Levels)을 살펴보면 공통된 사항이 지금 상용화 되고 있는 ADAS(첨단 운전자 보조시스템, Advanced Driver Assistance System)가 진화되고 있다는 것이다. ADAS는 운전지원시스템으로서 차로이탈경고, 전방추돌경고, 차로변경지원, 자동순항제어 등이 있으며, 관련 센싱장치를 통한 운전자의 안전주행을 지원하는 서비스이다.

물론 서비스기능 간 연계수준에 따라 AV 기술이 진화(Levels 0~2)되는 것이지만, 중요한 것은 AV는 이러한 서비스의 세부기능 선택과 제어주체가 운전자가 아닌 시스템이라는 것이다. Level 3부터 운전자대신 시스템이 선택과 제어를 판단·수행하게 되며, 실제 AV 기능 유무를 판단하는 기준이 된다고 할 수 있다. 그렇다면 AV의 핵심기술은 무엇일까?

ADAS 관련 센싱장치(H/W)일까? 아니면, 이들을 통해서 수집된 자료를 제대로 분석·판단하여, 제때 제어를 명령하는 컴퓨팅기술, 즉 인공지능기술(S/W)일까?

쉬운 예를 들어보자. 여러분이 만약 복잡하고 혼잡한 도로망을 뚫고 목적지를 가기 위해 2가지 방법이 있다. 초보기사가 운전하는 최첨단자동차와 모범기사가 운전하는 일반자동차 중 어느 쪽을 선택하겠는가? 다음에서 더 논의하기로 하자.

## 2.2 도로인프라의 ADAS는 협력형ITS 기반 커넥티드카(CV)에서부터

도로인프라의 기술도 지능형교통시스템(ITS)기반 교통정보 및 서비스수준과 함께 하고 있다. ITS 도입 시 실시간 교통소통정보는 이용자의 최적노선을 선택하도록 도와주고 있으며, 나아가 네트워크 차원의 출·도착스케줄링이 가능한 수준까지 도달하였다. 즉, 도로교통시스템 차원의 이용·운영의 최적화를 지원하는 서비스이다.

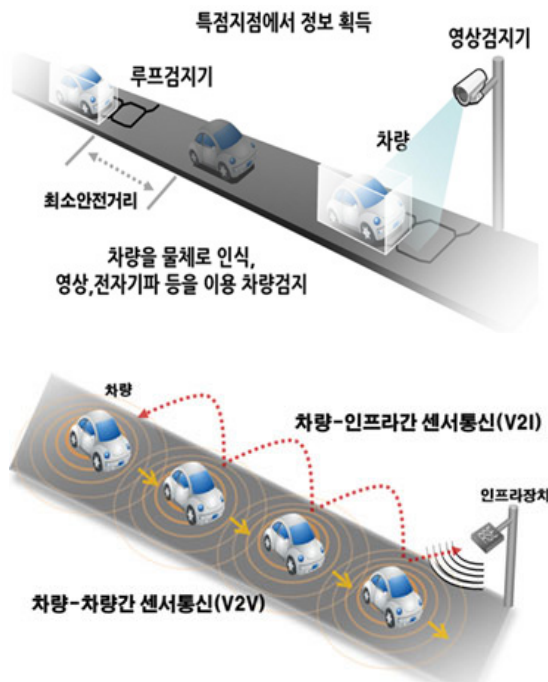


그림 1. 기존 ITS(위) 및 C-ITS(아래) 구분

최근에는 협력형ITS(Cooperative ITS 또는 C-ITS)기반 커넥티드카(Connected Vehicle, 이하 CV) 서비스가 상용화단계에 와 있다. 기존 ITS가 도로와 차량 간에 분리되어 도로-차량, 차량-차량 간 교통정보의 양방향 수집 및 제공이 어려우며, 운전자 인지반응의 한계로 교통사고 시 신속한 대응에 한계가 있으므로, 일반적으로 사후 관리 중심의 교통시스템이다. 반면, 협력형ITS는 차량이 주행하면서 도로·교통시설(V2I) 및 다른 차량(V2V)과 끊임 없이 상호 연계하면서 다양한 협업(Co-Work) 서비스를 통해 돌발상황에 대한 사전 대응 및 예방·회피가 가능하다<sup>1)</sup>.

이렇듯, 도로인프라도 차량의 ADAS처럼 도로교통시스템의 안전성과 효율성을 높이기 위해 ITS에서 협력형ITS로 진화하고 있다는 것이다. AV와 마찬가지로, 협력형ITS의 도입배경 역시 교통사고예방, 즉 교통안전이다. 하지만, 주목할 사항은 협력형ITS 기반 CV 기술개발 및 서비스사업은 AV보다 더 일찍 진행되고 있다는 사실이다. 예를 들면 다음과 같다.

미국은 1단계 시범사업인 Safety Pilot을 거쳐 현재, 2단계 CV Pilot Deployment 사업(15~20)을 3개 지역(NYC, Florida-Tampa, Wyoming)에서 진행 중이며, 유럽은 Compass4D 등 시범사업을 거쳐 C-ITS Corridor, SCOOP@F, NordicWay 등 본 사업을 추진 중에 있다. 일본은 이미 ITS Spot사업을 통해 차량-인프라 간 통신기반의 서비스를 제공 중이며, 최근 ETC2.0사업으로 확대하여 네트워크 기반의 다양한 서비스를 계획 중에 있다. 우리나라도 현재 차세대ITS 시범사업(14~17)을 대전~세종 구간에 진행 중에 있으며 다양한 교통안전서비스를 제공할 예정이다.

이러한 협력형ITS의 핵심은 무엇일까? 분명 단순히 도로교통시스템에서 발생하는 다양한 위험요소에 대한 실시간 교통안전서비스 제공만은 아닐 것이다.

1) C-ITS 기술동향 및 국내도입방안 연구, 2013

핵심은 이를 위한 기반인프라로서, 도로교통시스템의 구성요소(자동차/운전자, 도로 및 교통시설, 이용자 등) 간의 'Connectivity'이다. 최근 국내외에서 활발히 진행되고 있는 Smart City의 핵심인프라이다.

### 2.3 AV와 CV의 융합, 자율주행시스템 (Automated Driving Systems 또는 ADS)

AV와 CV는 어떤 관계일까? 사실 AV는 민간부문, CV는 공공부문에서 별도로 추진해 온 기술이었다. 어느 한 쪽이 다른 쪽을 위한 종속(從屬)관계가 아니라는 말이다. 하지만, 자동차가 복잡한 도로네트워크와 혼잡한 교통상황에 들어올 경우, 상호 연계·융합이 필요할 수 밖에 없다.

그림 2는 센싱장치만으로 구성된 차량(Sensor-Based Solution only, 즉 AV)과 협력형ITS 기반 차량(Connected Vehicle Solution only, 즉 CV)의 장단점, 그리고, 이들을 융합한(Converged Solution) 자율주행시스템의 효율성을 보여주고 있다<sup>2)</sup>. 간단히 설명하면, AV는 센싱장치의 한계를, CV는 인프라 비용의 한계를 보여주면서 이들의 융합은 상호 단점을 보완하고 장점을 극대화시킬 수 있다는 것이다.

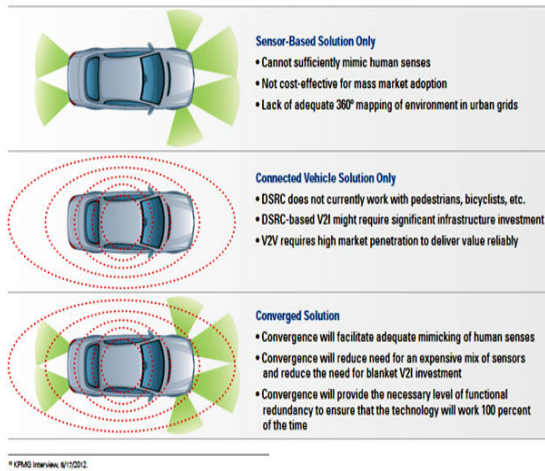


그림 2. AV와 CV의 융합시스템

2) Self-driving cars: The next revolution, CAR

## 3. 스마트 도로인프라기술의 진화

### 3.1 AV 인공지능기술 구현을 위한 스마트 도로 인프라

이제, 앞에서 언급한 선택의 예로 가보자. 어쩌면 자동차라는 기계덩어리를 인간이 데리고 다닌다는 자체가 교통사고, 적어도 위험성은 항상 내포되어 있다고 볼 수 있다. 자동차와 자동차/보행자/시설 간의 상호작용과 그로 인한 상태정보를 운전자가 보고, 판단한다는 자체가 모순이라는 것이다. ADAS는 그런 상태정보를 운전자대신 센싱장치가 해주는 것이다. 하지만 여기에도 한계가 있다. 센싱장치가 수집해주는 정보를 운전자가 판단, 제어를 한다는 것이다.

AV(Level 3+)의 최대 장점은 운전자의 근본적인 인지·판단 및 반응의 한계를 극복, 해결하는데 있다. 즉, ADAS처럼 안전주행을 위한 주의 및 경고가 아닌 자동차의 제어를 운전자 대신 시스템이 해주는 것이다. 쉽게 말해, 기계(자동차)는 기계(시스템)가 다뤄야 빠르고 안전하다는 얘기다. 그렇다면 시스템이 판단할 수 있는 자료는 센싱장치이면 충분할까? 절대 충분치 않다.

앞에서도 얘기했듯이 제아무리 진화되고 완벽한 센싱장치라도 감지의 범위와 내용은 한계가 있으며, 여기에 시·공간적 그리고, 외적요인(예: 기상, 환경, 지형 등)까지 더해지면 기능의 한계와 오작동은 불가피하다. 더욱이, AV 상용화가 시작되면 시장점유율이 높을수록 자율주행시스템에서는 운전자가 할 수 없는 더욱 세밀하고 빠르고 정확한 판단·제어를 요구할 것이다. 이러한 'AV의 센싱장치 한계'와 '운전자의 판단·제어 한계'를 극복하고 그로 인한 영향을 최소화하기 위한 솔루션이 기계학습(machine learning) 및 인공지능(Artificial Intelligence, 이하 AI)기술이다. 최첨단 럭셔리 자동차에 증독되지 않는 한, 당연히 모범기사(AI)가 운전하는 일반자동차(AV)를 선택할 것이다.

그렇다면 AV 인공지능기술과 스마트 도로인프라는 어떤 관계가 있을까? 단순히 비교하기에는 무리가 있을 수도 있다. 우선 AV 기술수준의 정의를 살펴볼 필요가 있다. Level 3+에서부터 가장 두드러진 특징은 운전자가 아닌 '시스템이 도로교통환경을 모니터링해야 한다'는 것이다. 이유는 간단하다. 운전자가 모니터링하기에는 도로교통환경의 변수가 너무나 복잡하기 때문이다. 그렇다고, AV의 센싱장치가 모니터링 업무를 100% 완수하는 것도 불가능한 일이다. 주변 장애물(차량, 보행자, 시설 등)의 인식만으로 AV가 시·종점 간 100% 주행할 수 있는 것은 아니기 때문이다. 더욱이, AV가 단순히 센싱장치의 수집자료만으로 판단·제어를 하는데 굳이 AI를 적용한다면 그것은 과용이고 AI를 무시하는 것이다.

AV가 AI를 필요로 하는 이유는 복잡한 도로교통환경과 동적인 시스템 운영·관리를 실시간으로 모니터링하기 위해서는 방대한 양의 정보수집이 필요하고, 동시에 정확하고 신속한 정보처리프로세스가 필수이기 때문이다. 그러기 위해서는 도로교통시스템의 구성요소 간 상호작용으로 발생하는 상태정보가 끊임없이 모니터링 되어야 하는데 이를 위해서는 'Connectivity'가 반드시 구현되어야 한다. AV 기술수준 정의에서 Levels 3+에서는 운전과 의사결정 프로세스가 복잡하고 더 많은 운전자 반응시간이 필요한 이유이다. 'Connectivity'는 당연히 스마트 도로인프라가 구현해야 할 'Smart City'의 기반환경이다.

### 3.2 스마트 도로인프라기술의 진화

지금까지 자율주행차(AV)가 아닌 자율주행시스템(ADS)을 위한 스마트 도로인프라기술에 대해 알아왔다. 즉, 스마트 도로인프라기술의 핵심은 협력형 ITS 기반 CV이며, AV와 CV가 융합된 자율주행시스템을 위한 'Connectivity' 환경구현이 필수이다.

마지막은 이러한 스마트 도로인프라의 진화단계를 기술수준<sup>3)</sup>별을 살펴보는 것으로 마무리하고자 한다. 초기 도로인프라는 도로의 지점·구간안내정보 중심의 정적(static)인프라 기술(Level 1)부터 시작되었다가 현재 ITS처럼 실시간 교통소통 중심의 교통류정보(traffic flow information)인프라 기술(Level 2)이 적용 중에 있다. 앞으로는 협력형ITS처럼 도로교통시스템 구성요소(자동차, 시설물 등) 간 상호연계가 가능한 협력형(cooperative) 인프라 기술(Level 3)에 이어 도로교통시스템 자체 모니터링 및

|             |          |             |
|-------------|----------|-------------|
| 도로교통 인프라 기술 | Level 1  | 정적인프라 기술    |
|             | Level 2  | 교통류정보인프라 기술 |
|             | Level 3  | 협력형인프라 기술   |
|             | Level 4+ | 자율관리형인프라 기술 |
| 교통정보 기술     | Level 1  | 정적교통정보      |
|             | Level 2  | 실시간 차량통행정보  |
|             | Level 3  | 도로교통상태정보    |
|             | Level 4+ | 도로교통시스템제어정보 |
| 교통운영 전략 기술  | Level 1  | 교통혼잡개선전략    |
|             | Level 2  | 교통정체해소전략    |
|             | Level 3  | 안전운행관리전략    |
|             | Level 4+ | 능동형 운영·제어전략 |

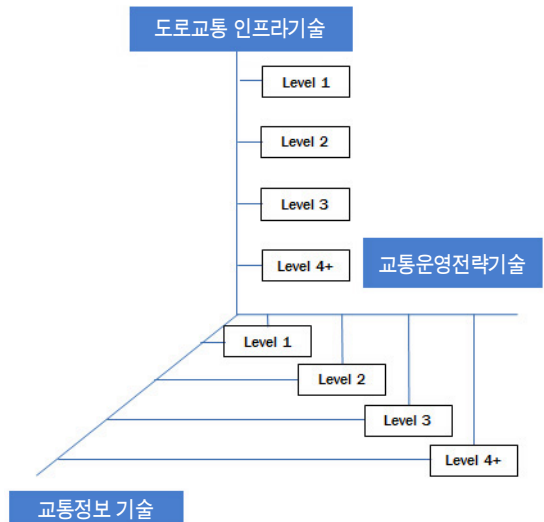


그림 3. 스마트 도로인프라기술 진화에 따른 교통정보 및 교통관리전략의 진화

3) 자동차·도로교통 분야 ITS 계획 2020 수정 연구, 2015

운영·관리가 가능한 자율관리형(self-managing)인 프라 기술(Level 4+) 등으로 진행될 것이다. 이러한 도로교통인프라 기술은 다음의 교통정보기술과 교통운영전략기술로 나누어진다.

이용자 측면에서 교통정보기술의 진화 수준을 살펴보면, 처음에는 단순 지점(예: 교차로, IC, JC 등)과 노선/구간 등 정적교통정보(Level 1)에 지나지 않았으나, 현재 ITS 환경에서는 실시간 차량통행 정보(Level 2)가 제공되기 시작했다. 그리고, 협력형인프라 환경에서는 구체적인 도로교통상태정보(Level 3)가 제공되고, 나아가 도로교통시스템에 대한 동적 운영·제어가 가능한 도로교통시스템

제어정보(Level 4+)가 가능할 것이다.

교통운영전략기술도 진화과정을 밟고 있다. 초기에는 특정 병목 지점/구간(intersection/link) 중심 물리적 정비의 교통혼잡개선편안(Level 1)이라고 한다면, 기존 ITS 도입을 통해서도 교통축(corridors) 또는 네트워크(networks)차원 노선안내/우회정보의 교통정체해소전략(Level 2)을 적용하고 있다. 하지만, 협력형ITS 기술을 통해서도 운전자 사전경고 및 사고예방이 가능한 안전운행관리전략(Level 3)이 가능하고, 이런 환경에서 자율주행차가 상용화되면서 능동형 운영·제어전략(Level 4+)이 시작될 것이라고 볼 수 있다.

### 학회지 원고접수 안내

학회지 편집위원회에서는 다음과 같은 내용으로 여러분을 초대하고자 합니다. 언제든지 참여하시어 알찬 학회지를 만듭시다. 여러분의 원고를 기다리겠습니다. (연락처 : 학회사무국 또는 편집위원)

| 컬 럼            | 내용 및 형식   | 비 고              |
|----------------|---|------------------|
| 권두언/축사/제언/격려사  | 시사성 있는 내용으로 A4 2쪽이내 분량으로 작성   | 편집위원회 주관         |
| 특집             | 회원들에게 도로포장내용과 최신동향소개 : 특집편집위원회 주관하여 연재  | 게재원고료 지급 심의 후 게재 |
| 기술기사           | 도로 및 도로포장과 관련된 기술보고서로서 A4 10쪽 이내 분량으로 작성 : 사례연구, 공사지, 성공 및 실패사례, 지역별 도로특성, 국내 산학연 합동 연구, 국내외 관련연구소 소개 등 | 게재원고료 지급 심의후 게재  |
| 기술위원회 세미나 주요내용 | 기술위원회 세미나 내용을 자세히 요약하여 그 내용을 회원들에게 알리는 컬럼   | 기술위원회 제공         |
| 해외기술동향         | 도로 및 도로포장관련 해외의 최신 연구내용 및 결과로 A4 4쪽 이내  |                  |
| 국내외 학술회의       | 도로 및 도로포장과 관련된 학술 및 기술강좌, 세미나 등의 내용 소개  | E-mail 이용 가능     |
| 문화산책(교양)       | 교양과 관련된 내용으로 A4 4쪽 이내 : 수필, 취미생활(등산, 낚시 등), 독후감 및 의견제시 등 자유내용   | 심의후 게재           |
| 국내외 신간도서 소개    | 최근 발간된 도로 및 도로포장 도서 내용소개 및 총평과 국내 회귀 입수 서적 소개   | E-mail 이용 가능     |
| 학교 및 업체연구소 소개  | 도로 및 도로포장관련 학교 연구실 및 업체 연구소의 A4 2쪽 내외의 소개   | 게재분량 엄수          |
| 학회소식           | 정기총회 및 학술발표회 소식, 이사회 회의록, 기술위원회 활동소식 등  | 학회 사무국 제공        |
| Q/A            | 도로 및 도로포장 관련 문제에 대한 질문과 답변  | E-mail 이용 가능     |
| 회원동정           | 주소변경, 직장변경, 경조사, 회원가입, 박사 및 석사학위 취득자 등  | E-mail 이용 가능     |

\* 집필자는 필히 본인 및 공동집필자 사진을 첨부하십시오.

E-mail : ksre1999@hanmail.net