

스마트 도로교통체계의 현재와 미래



강경표 | 한국교통연구원

1. 서론

지금 우리는 4차 산업혁명시대를 맞고 있다. 빅데이터, 로봇, 인공지능 등 차세대 기술들이 미래 산업 구조를 혁신적으로 바꾼다는 것이다. 그렇다면 미래의 도로교통은 어떤 모습일지? 예측 가능한 것인지? 여러 가지 기대와 염려가 뒤섞여 있는 게 현실이며, 현재로선 진행 중인 기술개발과 관련 서비스를 가지고 예상할 수 밖에 없을 것이다.

즉, 자율주행차, 커넥티드카, 공유교통서비스 등이 바로 그것이다. 여기서는 이러한 키워드를 바탕으로 도로교통체계의 미래상을 제시해보고자 한다. 우선 차세대 도로교통관련 해외 추진동향과 국내현황을 살펴보고, 이를 바탕으로 미래의 스마트 도로교통체계가 어떤 모습일지를 논의해 볼 수 있을 것이다.

2. 해외 추진 동향

2.1 미국

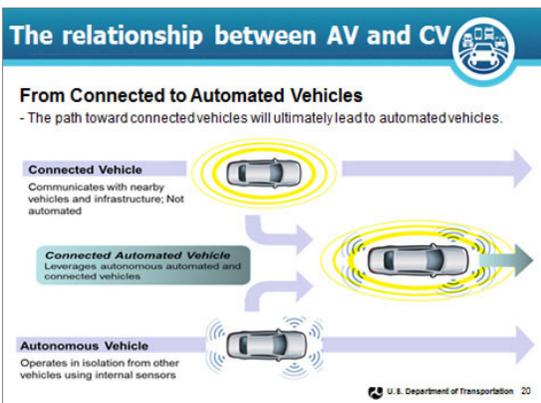
연방교통부(이하 USDOT)는 'ITS Strategic Plan 2015-2019'를 수립하였다. 여기에는 6가지 프로그램¹⁾ 중 2개 우선순위를 정했는데, 그게 바로 Connected Vehicles(이하 CV)과 Automation이다. CV는 차세대 ITS(이하 C-ITS)라고도 하며, 미국에서 별도로 불리는 사업명칭이며, Automation은 자동화로서 특히, 자율주행차(Self-driving car, Automated Vehicles, 이하 AV)가 대표적이다.

1) Connected Vehicle, Automation, Emerging Capabilities, Enterprise Data, Interoperability, Accelerating Deployment

2) Urban Automation, Connected Vehicles, Intelligent Sensor-based Infrastructure(이상 3가지 기술부문), Urban Analytics, User-Focused Mobility Services and Choices, Urban Delivery and Logistics, Strategic Business Models and Partnering Opportunities, Smart Grid/Roadway Electrification/Electric Vehicles, Connected/Involved Citizens(이상 6가지 도시교통 혁신방안 부문), Architecture and Standards, Low-Cost/Efficient/Secure/Resilient Information and Communications Technology, Smart Land Use(이상 3가지 스마트시티 부문)

2개 프로그램관련 현재 시범사업 및 본 사업이 다양한 사업의 형태로 진행되고 있다. 먼저, CV Pilot Deployment('15~)는 미국 3개 지역, 즉 뉴욕시(NYC), 플로리다 템파(FL-Tampa), 와이오밍(Wyoming) 등을 선정하여 진행 중이며, 현재 인프라 구축 단계이고, 내년 상반기에 서비스를 제공할 예정이다. 또한, Smart City Challenge('15~)는 USDOT가 제안요청서에 12개 Vision Elements²⁾을 제시하여 1차 78개 후보도시→2차 7개 후보도시³⁾→Columbus시(Ohio 주)가 최종 선정되어 구축 중이다. 이 중 4개 핵심기술로서 Urban Automation, Connected Vehicles, Intelligent Sensor-based Infrastructure 등이 명시되어 있다. 마지막으로 ATCMTD(Advanced Transportation and Congestion Management Technology Deployment)는 커넥티드/자율주행 등 관련 기술을 도입하여 도로교통시스템의 성능을 개선시키고, 안전성 및 효율성을 강화하여 인프라 투자대비 시스템 효용성을 증진시키고자 함이다.

그렇다면, CV와 AV의 관계와 추진정책은 어떠한가? USDOT는 CV관련 인프라 구축사업은 연방도



※ 출처: USDOT, 2016

그림 1. 미국 연방교통부의 CV와 AV 관계

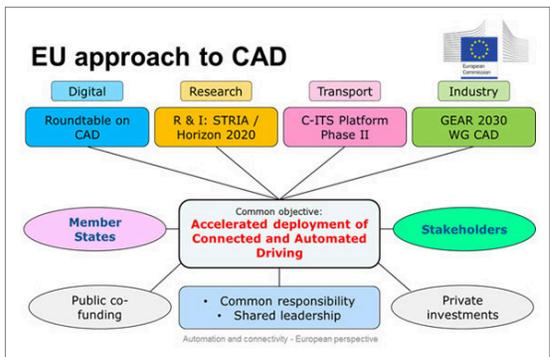
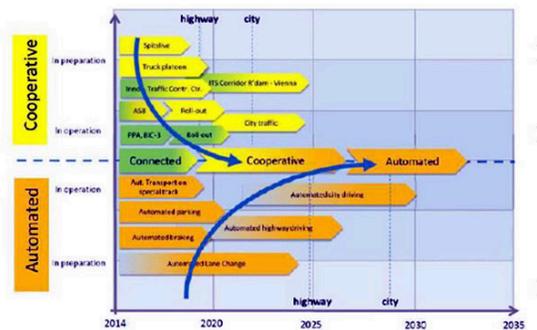
3) Austin Texas, Columbus Ohio, Denver Colorado, Kansas City Missouri, Pittsburgh Pennsylvania, Portland Oregon, San Francisco California

로청(이하 FHWA)이, AV관련 법제도는 연방교통안전청(이하 NHTSA)가 담당하고 있다. 하지만, 그림 1에서 알 수 있듯이 AV는 CV를 바탕으로 추진하고 있다는 것이다.

2.2 유럽

유럽연합(EC)은 도로교통부문 연구개발관련 기본계획(Framework Program)을 단계별로 수립·추진 중인데, 현재 HORIZON2020(FP6→FP7→HORIZON2020→FP9)이 진행 중이며, 특이한 사항은 단계별 연계기반 자동화(connected→cooperated→Automated)를 추진하고 있다는 사실이다. 즉, 그림 2에서 보는 바와 같이 차내 연계(connected)→차외 연계(cooperated)를 거쳐 자동화(예: AV)를 구현하겠다는 것이다.

현재 CV, 즉 C-ITS 관련 사업은 Compass4D 등



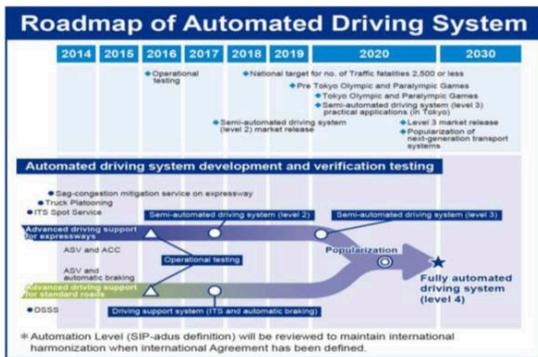
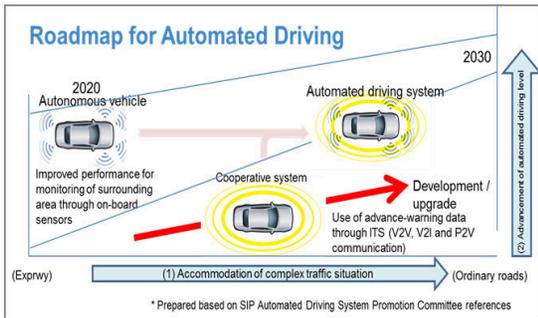
※ 출처: ITFVHA, ITS WC, 2016

그림 2. 유럽연합의 CV와 AV 관계

시범사업을 거쳐 C-ITS Corridor, SCOOP@F, NordicWay 등 본 사업을 추진 중에 있다. 특히 C-ITS Corridor는 네덜란드(암스텔담) - 독일(프랑크푸르트) - 오스트리아(비엔나) 등 3개 국가를 가로지르는 교통축을 대상으로 오스트리아에서는 ECoAT(European Corridor Austrian Testbed) 사업을 통해 자율자동차의 Level 2와 연계한 서비스와 C-ITS 서비스(도로공사정보비, 차량/인프라정보기반 교통관리서비스)를 제공하고 있다.

마찬가지로 CV와 AV의 관계는 그림 2에서 알 수 있다. CAD(Connected and Automated Driving), 즉 자율협력주행을 위한 정책 및 산업 촉진을 위해 연구개발(HORIZON2020), 교통인프라(C-ITS Platform), 산업계(GEAR2030) 등이 협력하여 추진하고 있음은 분명하다.

2.3 일본



※ 출처: ITFVHA, ITS WC, 2016

그림 3. 일본의 CV와 AV 관계

일본은 이미 ITS Spot사업을 통해 차량-인프라 간 통신기반의 서비스를 제공 중이며, 최근 ITS Spot→ETC2.0사업으로 확대하여 네트워크 기반의 다양한 서비스를 계획 중에 있다. 나아가, 공공부문의 스마트 하이웨이, 즉 지능형도로사업(Infrastructure & Vehicle Cooperative Systems)을 추진 중에 있다.

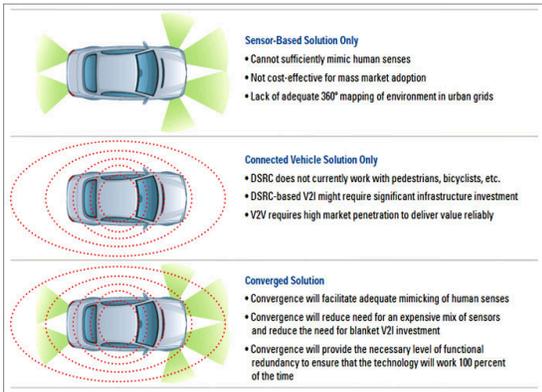
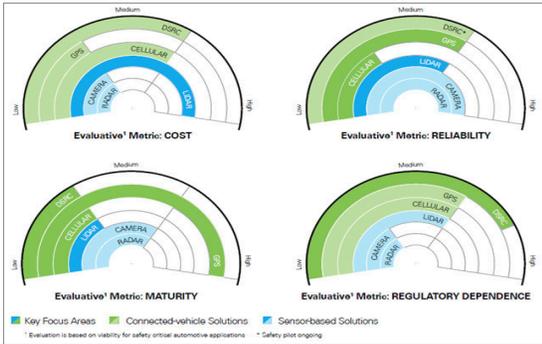
CV와 AV의 관계는 SIP-adus로서 대표할 수 있는데, SIP는 범부처(Cross-ministrial) 전략혁신촉진프로그램(Strategic Innovation Promotion Program)으로서 이 중 자율주행관련 프로그램은 adus, 즉 Automated Driving for Universal Services를 의미한다. 그림 3은 CV와 AV가 연계·통합하여 추진하려는 의지가 분명하다.

3. 스마트 도로교통체계

3.1 3가지 미래 전망

지금까지 살펴본 교통선진국의 도로교통관련 연구개발과 추진사업을 보면 몇 가지 공통점이 있다. 첫째는 CAV 또는 CAD에서 알 수 있는 바와 같이 자율주행차와 스마트 인프라를 동시에 추진하고 있다는 것이다. 이것은 우리에게 시사하는 바가 크다고 할 수 있는데, 기존 AV 기술은 대부분이 자동차 제조사 및 부품업체, IT 기업(구글 등), Transportation Network Company(Uber 등) 등 민간부문에서 진행해 온 게 사실이다.

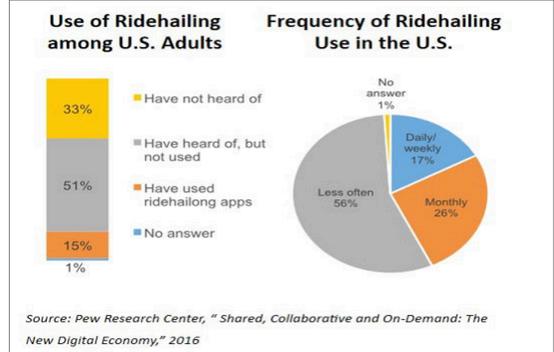
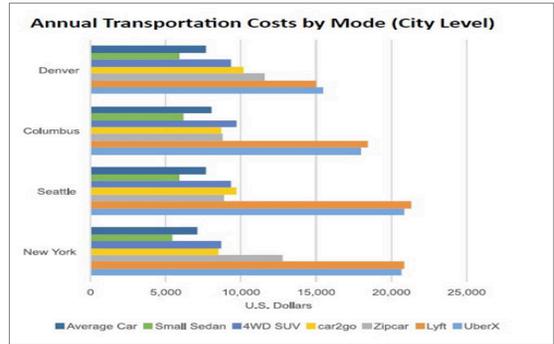
반면, CV, 즉 C-ITS로 대표되는 스마트 인프라는 공공부문에서 도로주행안전지원을 위해 별도로 추진해 온 것이다. 하지만, 최근에는 이러한 민간 협력이 자연스럽게 구성, 추진하고 있다는 것은 그만큼 상호 윈(win)-윈(win) 전략이 맞아 떨어지고 있다는 반증이다. 그림 4에서 보는 바와 같이 AV의 자체 센싱과 인지기능의 한계를 CV로 지원 및 대체할 수 있다면 AV가 아닌 CAV의 상용화를 앞당길 수 있을 것이다.



※ 출처: Self-driving cars - The next generation, CAR

그림 4. AV와 CV 관계

둘째는 공유서비스의 확대로서 도로교통분야에서 대표적인 것이 공유차량서비스(Car-sharing/Ride-sharing/Ride-hailing)이다. 시장조사(출처: ABI 리서치/Boston Consulting Group)에 의하면 5년 이내 차량공유인구는 5.8백만 명에서 35백만 명으로 폭발적인 증가를 보일 것으로 예상하고 있다. 이에 대한 반증으로서 이미 뉴욕, 런던, 파리 등 인구 1,000명당 자동차보유대수는 10년 이상 지속적으로 감소하고 있다. 그림 5는 미국 주요도시의 수단별 교통비용(상)과 전국 공유차량서비스(Ride-hailing) 이용 현황(하)이다. 그림에서 알 수 있듯이, Uber, Lyft, Zipcar 등 Transportation Network company가 제공하는 공유차량서비스가 상당부분 차지하고 있음을 알 수 있다.



※ 출처: Pew Research Center, "Shared, Collaborative and On-Demand: The New Digital Economy," 2016

그림 5. 미국 공유차량서비스 이용 현황

셋째는 도로교통인프라의 연계기능(connection) 강화이다. 일반적으로 도로교통체계를 3개 부분으로 나눌 수 있는데, 수단(차량), 이용자(운전자/승객/이용자), 인프라(도로 및 시설) 등이다. 그림 6에서 알 수 있듯이, 각각의 지능화는 현재진행형이다. 하지만, 자세히 살펴보면, 이러한 지능화는 수단

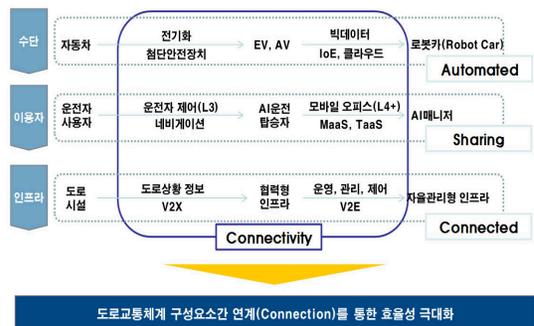


그림 6. 도로교통체계 구성요소 간 연계(connection) 기능

↔ 이용자 ↔ 인프라 등의 상호 연계를 통한 디지털 정보기반의 끊임없는 서비스가 이루어지고 있다는 사실이다.

3.2 연계성 중심의 스마트 도로교통체계

앞에서 살펴본 도로교통관련 3가지 미래 전망을 간단히 정리하면 자율협력주행(CAD)기반 자동화(Automation) 서비스, 공유(Sharing) 기반 모빌리티 서비스, 그리고 연계(Connection)기반 도로교통 서비스 등으로 요약할 수 있을 것이다. 그렇다면 3가지 서비스의 핵심은 무엇일까? 대답은 그림 7에서 알 수 있듯이 연계성(Connectivity)이다. 즉, 자동화와 공유서비스는 시간이 지날수록 각각 기능과 수준이 고도화되고 있으나, 도시 모빌리티의 궁극적인 목표인 통합 모빌리티(Integrated Mobility)를 위해서는 상호 연계가 필수 조건이다.

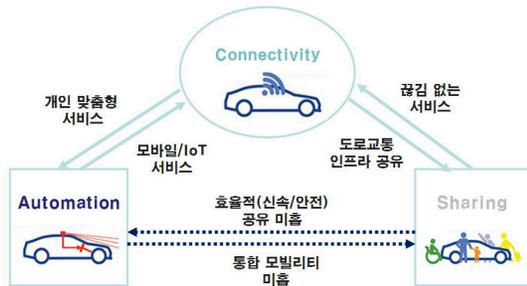


그림 7. Connectivity기반 자동화와 공유서비스 관계

이를 바탕으로 미래의 도로교통, 즉 스마트 도로교통체계의 정의를 내릴 수 있다. 즉, 일반차량과 자율주행차량이 도로교통인프라와 연계(Connectivity)됨으로써 도로교통서비스의 공유(Sharing)와 자동화(Automation)가 고도화되는 체계를 의미한다.

3.3 Connected Roads 기반 패러다임 전환

스마트 도로교통체계의 핵심이 연계성(Connectivity)이라고 한다면, 과연 도로교통체계에서

연계성을 담당해야 하고, 담당할 수 있는 분야는 무엇일까? 그림 8을 보면 그 대답은 바로 도로인프라(Connected Road) 중심 연계성임을 알 수 있다. 그림은 USDOT가 추진하는 스마트시티(Smart City)에서 다양한 서비스(예: smart lighting, smart charging, smart payment 등)를 위한 연계통합의 핵심은 Connected Streets임을 보여주고 있다.



※ 출처: USDOT

그림 8. 미국 스마트시티(Smart City) 개념도

표 1은 도로에 대한 미래 패러다임을 정리한 것이다. 간단히 말하면, 도로는 기존 도로망(Road Network)에서 디지털망(Digital Connectivity)으로 전환되어야 한다. 예를 들어, 도로의 기능은 더

표 1. 도로의 패러다임 전환

도로(정책) 패러다임의 전환		도로망 (Road Network)	디지털망 (Digital Connectivity)
도로	도로 기능	차량 이동 공간	모빌리티 서비스 (MaaS) 공간
	도로 역할	Door-to-Door 연결	도시 객체 IoT 연결
	건설 대상	도로의 양적 증대(H/W)	정보의 질적 고도화(S/W)
연계	연계 단위	노드·링크	객체(차량·시설)·차로
	연계 대상	도로·시설 간(물리적) 연계	정보 간(디지털) 연계
	연계 방법	오프라인/유선	온라인(OTA)/무선
주체	도로환경 모니터링	운전자	지능형 차량(AV)·도로(CV)
	교통 운영·관리	운영·관리자	AI 센터
도로 위계	유	무	
서비스 단위	per Vehicle(차량당)	per Mile(거리당)	

이상 차량의 이동공간뿐만 아니라 다양한 모빌리티 서비스가 제공되는 공간으로 변할 것이다. 앞으로의 도로의 건설 및 정비대상도 양적확대보다는 정보의 질적 고도화가 우선시될 것이다. 특히, 도로의 서비스는 더 이상 차량중심(통행속도, 교통량 등)이 아니라 단위 거리당 차량뿐만 아니라 얼마만큼의 서비스가 제공되는지가 중요한 평가요소가 될 것이다.

4. RoDAS 기반 스마트 도로교통체계 기술 수준

4.1 ADAS와 RoDAS

일반적으로 AV의 기술수준은 ADAS(Advanced Driver Assistant Systems)로서 ADAS 기능의 고도화 수준에 따라 구분된다고 할 수 있다. 도로교통체계도 도로의 연계성, 즉 Connectivity 수준에 따라 도로 안전주행을 지원하는 시스템, RoDAS(Road Driving Assistant Systems)을 도입할 필요가 있다.

표 2는 차량중심 ADAS기반 AV 기술수준과 도로중심 RoDAS기반 스마트 도로교통체계 기술수준을 상호 비교한 것이다. AV 기술수준의 전환기(Level 2→3)에 ADAS가 AV로 전환하는 것처럼, 스마트

도로교통체계의 기술수준도 RoDAS가 디지털(Level 3) → 협력형(Level 4) → 통합(Level 5) 모빌리티로 고도화가 진행되는 것으로 볼 수 있다.

4.2 스마트 도로교통체계 기술수준

RoDAS기반 연계성 수준에 따라 스마트 도로교통체계의 기술수준을 구분, 정의하면 표 3과 같다. 예를 들어, Level 1은 기존 ITS와 같이 일방향 체계의 연계성을 바탕으로 센터중심 사후관리가 핵심이며, Level 2는 현재 진행 중인 차세대ITS(C-ITS) 시범사업과 같이 양방향 체계의 RoDAS 초기단계이지만 AV의 도로환경모니터링 기능을 일부 지원, 대체할 수 있는 단계이다.

반면, Level 3부터는 차로기반 디지털 인프라가 지원되어 도로환경모니터링 수준이 미시적이며, 차량상태정보와 연계한 사전 대응이 가능해지고, AV의 돌발상황 시 최소위험상황을 유도하고 일반차와 상충위험 최소화를 위한 핵심 능동적 제어가 필요하다. Level 4는 도로교통시스템뿐만 아니라 도시 객체까지 연계되어, AV와 일반차의 혼재비율에 따라 협력형 모빌리티가 가능하다. 궁극적으로 Level 5에서는 자동화와 공유서비스가 연계된 통합모빌리티가 완벽하게 이루어지는 체계로 정의할 수 있다.

표 2. ADAS와 RoDAS 비교

Level	자율주행차 (ADAS)	스마트 도로교통시스템 (RoDAS)
0	수동운전(경고는 제시)	포장도로(교통안전표지)
1	횡방향 or 종방향 제어지원	일방향 연계 기능, 센터 중심의 사후관리
2	횡방향 & 종방향 제어지원	양방향 연계 기능, 현장 중심의 사후관리
지원시스템 중심 (개념적/기술적 전환점)	ADAS는 차량운전지원 기능으로서 AV(L3) 전(前) 단계로서의 센싱 시스템	RoDAS는 도로(안전)주행지원 기능으로서 Connectivity 기반 도로교통의 부분시스템
3	ADAS(L0-L2) 기능 포함, 조건부 자율주행 시스템 (Traffic Jam Chauffeur)	디지털 모빌리티 가능, 핵심 능동적 운영 제어
4	시스템이 주행환경 감시, 종적 및 횡적 운행 역할 수행, 고도의 자율주행 시스템	협력적 모빌리티 가능, 혼합류 운영 제어
5	모든 도로와 환경적 조건에서 완전한 자동화가 가능한 시스템	전체 도로망 차원의 통합 운영 제어
능동형 운영/제어 중심	ADAS의 단계별 진화/발전(고도화) → 자동차(시스템)가 모든 안전 기능을 제어하고 상태를 모니터링	RoDAS의 단계별 진화/발전(고도화) → CV, AV, CAV외 LV도 지원이 가능한 Connectivity 기반 통합 모빌리티

표 3. 스마트 도로교통체계의 기술수준

수 준	설 명
Level 0 No Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> • 도로설계기준, 도로의 구조시설기준에 관한 규칙에 따라 설계된 (포장)도로로서, • 정적 표지(static signs) 외 동적 도로교통정보와 실시간 연계가 안된 도로
Level 1 Assistant Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> • ITS 사업시행지침, 설계편람에 따라 설계된 도로로서, • 교통소통을 위한 핵심정보(속도, 교통량 등) 중심으로 실시간 부분연계(one-way)가 가능하며, • 주요 돌발상황(교통사고 등)은 센터 기반의 사후 교통운영관리 중심의 도로교통시스템
Level 2 Partial Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> • 도로교통시스템의 구성요소(이용자, 차량, 도로 등) 간 실시간 완전연계(two-way)를 통한 커넥티드 도로로서 • 커넥티드카(CV)는 동적 도로교통환경(도로상태, 도로공사, 교통운영제어 등) 모니터링을 통한 교통안전서비스가 시작되는 도로주행지원시스템(RoDAS)으로서 스마트 도로교통시스템의 초기 상태임 • 또한, RoDAS는 자율주행차(AV)의 주행환경(driving environment) 모니터링 기능을 지원 또는 일부 대체할 수 있음
Level 3 Conditional Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> • RoDAS는 디지털 인프라(LDM, 정밀측위 등)를 바탕으로 연계수준이 높아지는 도로로서, • CV는 차로기반 동적 도로교통환경 모니터링을 바탕으로, 차량상태(제어)정보와 연계한 사전 대응을 통하여 디지털 모빌리티 서비스가 가능한 스마트 도로교통체계에서 주행이 가능함 • 따라서, AV의 비상(돌발상황) 시 최소위험상황(minimum risk condition)을 유도하고, 주변 CV/일반차와 상충위험을 최소화할 수 있는 핵심 능동적 운영제어를 할 수 있음
Level 4 High Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> • RoDAS는 AV를 도로교통인프라 및 지원시설(예: 충전소 등)뿐만 아니라 차량 주변 도시(기반) 인프라까지 연계할 수 있는 도로로서, • CV는 차량의 유지관리서비스(예 : OTA, 승객의 도시활동서비스(예: IoT) 등을 통하여 협력형 모빌리티 서비스가 가능한 스마트 도로교통시스템에서 주행이 가능함 • 그리고, 일반차-자율차 혼재 시에도 시스템(OS)과 사용자(UE)간 능동적 운영제어를 할 수 있음
Level 5 Full Connectivity	<ul style="list-style-type: none"> • CV/AV를 위한 스마트 도로교통인프라 및 교통운영관리시스템에서 AI 기반 통합 모빌리티가 가능한 스마트 도로교통시스템

5. 맺음말

지금까지 미래의 도로교통에 대해 현재 개발, 제공되는 다양한 기술 및 서비스를 바탕으로 스마트 도로교통체계의 핵심요소, 정의, 기술수준 등을 제시해 보았다. 즉, 스마트 도로교통체계의 핵심은 디지털 인프라기반 연계성(Digital Connectivity)에 있으며, 연계성 수준(Levels of Connectivity)이 바로 자동화와 공유서비스의 고도화 수준이라 말할 수 있다. 이러한 개념은 향후, 도로교통체계의 인프라 정비 및 지능화 계획에도 고려할 필요가 있다.

더불어, 이러한 스마트 도로교통체계와 타 교통분야(예: 항공, 항만, 철도 등) 관계도 중요하다. 이미 항공, 해상, 철도 등은 배타적인 공간에서 자동화가 이루어진 반면, 도로교통분야는 지금이 걸음마 단계이다.

그만큼 초기 스마트 도로교통체계는 중요하다는 의미인데 그림 9에서 알 수 있듯이 기존에는 도로교통과 타 교통분야는 수단간 환승연계시스템이 중요했지만 향후에는 스마트 도로교통체계 중심의 타 분야간 자율협력시스템이 통합 모빌리티의 핵심이 될 것이다.

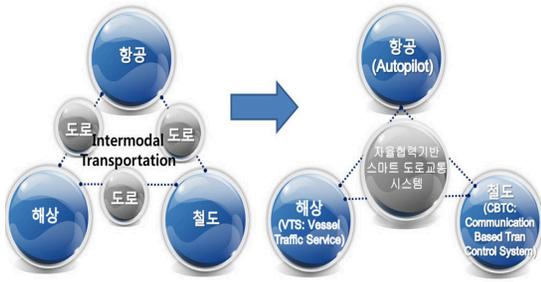


그림 9. 타 분야에 대한 도로교통분야의 역할 전환 (Intermodal → Connected & Automated)

앞으로 교통 20년은 과거 50년, 100년의 변화와 맞먹는 엄청난 전환기를 맞이할 것이라고 얘기한다. 그만큼 4차 산업혁명이 기존 교통체계에 파괴와 혁신을 가져올 것으로 기대한다는 의미일 것이다.

중요한 것은 미래 변화를 바르게 예측하고 대응하기 위한 준비가 필요하다. 국가기간교통망계획은 교통분야 최상위 계획으로서 제1차('01~'20)부터 시작되어 제2차 수정계획('11~'20)이 종료되고 있다. 앞으로 4차 산업혁명에 즈음하여 향후 20년 동안의 교통체계 전환기에 차기 계획('21~'40)에 대한 체계적인 준비가 필요한 시점이다.

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