

특집 03

자율주행시대에 대비한
디지털 도로의 추진현황 및 방향성

윤서연 | 국토연구원 스마트인프라연구센터장

1. 서론

자율주행은 모빌리티의 전동화와 함께 미래 도로교통에 발생할 가장 큰 변화로 여겨지고 있다. 완전 자율주행에 도달하기까지는 앞으로 시간이 소요되겠지만, 연속류 환경의 주행보조나 주행 전반에 있어 차간거리 유지, 충돌방지, 차로유지 등의 낮은 수준의 자율주행은 이미 폭넓게 적용되어 있다. 따라서 자동차의 주행에 있어 도로 인프라에 대한 정보가 매우 중요해지고 있으며, 도로 인프라 분야도 이러한 기술 발전에 부합하는 방향으로 변화를 모색해 나가고 있다.

본 기고에서는 국내 및 해외의 도로 인프라의 정보화를 위한 데이터 구축, 연구개발, 민간-공공 협력 등의 현황을 살펴보고, 안전한 자율주행환경을 제공하기 위해서 도로인프라 분야에서 추진하여야 할 사항을 진단해보고자 한다. 해외의 사례로는, 유럽의 자율주행 지원 수준을 활용한 도로분류, 일본의 정밀한 도로인프라 정보 구축 및 갱신, 미국의 자

율주행 분야 민간-공공 교류를 위한 심포지엄 개최를 살펴보고, 국내에서는 국토지리정보원의 정밀도로지도 구축, 연구개발 추진현황, 민간-공공 협의체 운영 현황 등을 살펴보아, 향후 체계적인 추진방향에 대해 논의할 기회로 삼고자 한다.

2. 해외 사례

2.1 유럽 - 자율주행 지원수준 기준 도로분류 마련

유럽은 EU가 추진하는 INFRAMIX 프로젝트를 통해 유럽 공통 자율주행 지원 도로 기준인 ISAD(Infrastructure Support Levels for Automated Driving)에 대한 연구를 추진하고, 구체화를 진행 중이다. 이 프로젝트는 자율주행 전환기에 기존 자동차와 자율주행차의 공존을 지원할 수 있는 도로 인프라를 준비하는 것을 목표로 하고 있으며, 자율주행을 지원하는 인프라의 수준을 기존(현재) 인프라와 디지털화된 인프라로 나누어 세부 5단계로 제시하고 있다.

표 1. ISAD 단계별 구분

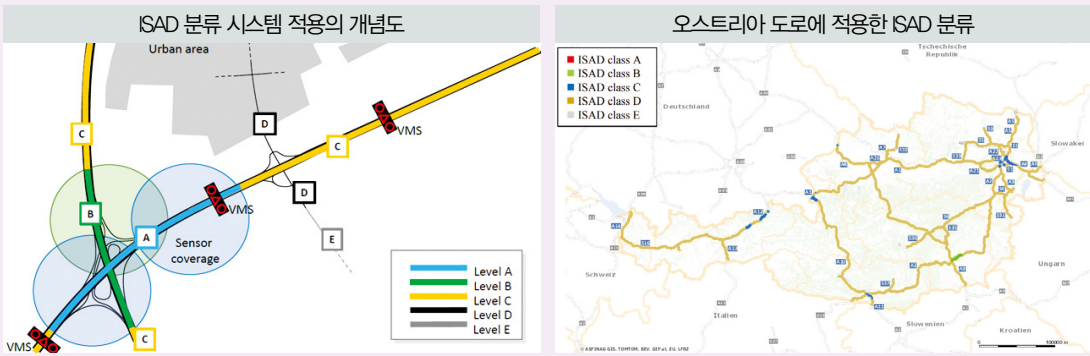
구분	단계	명칭	정의	인프라가 제공하는 정보			
				디지털 지도	VMS, 사고, 날씨 등	미시 교통상황	속도, 차간 거리, 차선 등
디지털 인프라	A	Cooperative driving	전체 교통류를 최적화하기 위하여, 차량 흐름의 실시간 정보를 기반으로 인프라가 자율주행차를 안내	○	○	○	○
	B	Cooperative perception	인프라가 자세한 교통상황을 인지하고 이를 실시간으로 자율주행차에게 제공 가능	○	○	○	
	C	Dynamic digital information	모든 동적/정적 인프라 정보가 디지털 형태로 자율주행차에게 제공 가능	○	○		
기존 인프라	D	Static digital information / Map support	교통표지를 포함한 디지털 지도 정보를 이용가능. 신호등, 도로공사, VMS는 자율주행차가 스스로 인지해야 함	○			
	E	Conventional infrastructure / no AV support	디지털 정보가 없는 기존 인프라. 자율주행차는 도로기하구조, 도로표지 등 모든 정보를 스스로 인지해야 함				

자료: ERTRAC, 2019, Connected Automated Driving Roadmap, p.7 표를 저자가 정리

ISAD 분류 시스템은 <그림1> 왼쪽과 같이 연속된 네트워크 안에서도 도로 구간별로 물리적인 도로 시설과 디지털 인프라 수준을 평가하여 서로 다른 ISAD 수준을 부여할 수 있도록 하고 있으며, 이러한 분류를 현재의 오스트리아 도로에 적용하면 <그림1> 오른쪽과 같다. ISAD는 국가 단위가 아

니라 유럽 전체의 도로 인프라에 자율주행 지원을 기준으로 한 분류체계를 마련하고자 하는 프로젝트이므로 향후 다수 이해관계자의 논의에 의해 분류기준의 변화가 발생할 가능성이 있다. 하지만, 자율주행 지원 수준을 기준으로 한 분류기준을 마련하려는 노력은 충분히 참고할 만한 사항이다.

그림 1. ISAD 개념 도식화



자료: ERTRAC, 2019, Connected Automated Driving Roadmap, p. 8
Erhart et al. 2020, Infrastructure support for automated driving: Further enhancements on the ISAD classes in Austria, Proceedings of 8th Transport Research Arena 2020, April 27-30, 2020, Helsinki, Finland, p. 5.

현재 우리나라의 도로가 건설주체와 관리주체를 기준으로 분류되어 있어 동일한 분류 안에서도 도로의 물리적 시설 수준과 디지털화 수준이 균일하지 않음을 고려하면, 향후 “자율주행 지원 등급”과 같은 새로운 개념을 도입하여 현재의 도로 분류를 보완할 필요가 있다.

2. 2 미국 – 민간과 공공이 참여하는
자율주행 심포지움 개최

전 세계 공통으로 자율주행 기술은 민간사를 중심으로 개발되고 있기 때문에, 기술발전이 가속화됨에 따라 공공이 대부분을 담당하는 도로 인프라의 기존 체계가 변화할 필요성이 있는지에 대한 탐색이 지속적으로 이루어지고 있다. 현재까지는 사람 운전자의 인지 체계를 대상으로 도로시설의 설계 및 유지관리가 이루어져 왔으나, 앞으로는 데이터 및 센서 기반의 자율주행에 있어 공공이 지원이 필요한 부분을 파악하고자 하는 것이다.

미국 연방교통국은 기존의 교통학회와는 별도로 자율주행에 대한 심포지움(Automated Road Transportation Symposium)을 매년 운영하면서 민간과 공공의 자율주행에 대한 이해의 간극

을 좁히고 있다. 토론에는 Waymo, Cruise, Uber, Ford, Here 등 다양한 분야의 자율주행 관련 민간사와 중앙 및 주정부의 의사결정자들이 모여 공개토론 및 사례발표를 진행하여, 심포지움 참석자를 대상으로 중요 이슈에 대한 논의를 확산할 수 있는 기회를 마련하고 있다.

2. 3 일본 – 정밀도로와 동일한 방법으로
도로인프라 정보 구축

일본은 도로인프라의 디지털화와 관련하여 도로대장과 정밀도로지도를 동일한 방법으로 구축하도록 하고 있다는 점이 가장 참고할 만한 사항이다. 현재 대부분의 자율주행용 도로공간정보가 MMS(Mobile Mapping System)로 취득한 3차원 점군과 영상을 기반으로 구축되고 있는데, 일본의 도로법은 도로관리청의 도로관리 업무의 기본이 되는 도로대장을 이러한 MMS 데이터를 기반으로 구축할 수 있도록 하고 있다.

우리나라는 국토지리정보원에서 정밀도로지도를 고속국도, 국도, 지방도를 중심으로 구축·갱신할 계획에 있으며, 도로대장은 아직 데이터의 정밀화 및 표준화가 더딘 것을 고려하면, 두 데이터 간 데

- 「도로법」 및 「도로법시행규칙」: 도로관리청이 도로대장을 작성·신속수정·공개할 것을 의무화
- 「도로법시행규칙」: 도로대장의 도면은 1:1000 이상의 고해상도 데이터를 사용하도록 규정
- 「지방교부세법」: 도로, 교량의 유지보수와 관련한 토목비용의 산정을 각 지자체가 관리하는 도로대장(도로연장, 도로면적)에 근거하도록 규정
- 「공공측량작업규정준칙」: MMS 데이터를 사용하여 1:1000, 1:500 수치지형도를 작성할 수 있는 기준 제공
- 「이동식 도면화 시스템(MMS)을 이용한 3차원 점군(Point cloud) 측량 매뉴얼(안)」: 발주처의 요구사항에 부합하는 MMS 측량을 실시할 수 있는 구체적인 방안 제공
- 각 도로관리청은 행정망 상에서 민간이 제공하는 도로관리시스템을 활용

〈일본사례 : 도로대장-정밀도로지도 간 원천데이터 공유 및 신속한 갱신을 위한 법제도적 사항〉

이터 순환체계를 구축하여 상호 데이터 구축·갱신비용 효율화를 도모하고 데이터 효용을 높이는 방안을 고려할 필요가 있다.

3. 국내 추진현황

3. 1 국토지리정보원 정밀도로지도 구축

국토지리정보원은 2015년부터 자율주행 상용화 지원을 위해 정밀도로지도 구축하여 무료로 배포하고 있다. 미래차산업발전전략(2019)에서는 2030년 전국 도로 11만km에 대한 정밀도로지도

를 구축하는 것을 목표로 민간과 공공의 협력체계를 마련하였으며, 한국판 뉴딜 종합계획(2020)에서는 공공이 먼저 국도와 4차로 이상 지방도에 대해 정밀도로지도를 구축 배포하는 것으로 결정하였다. 이러한 계획에 따라 2022년까지 고속국도와 일반국도에 대한 정밀도로지도 구축을 완료하였으며, 향후 구축지역을 확대해나갈 예정이다. 이처럼 구축 물량이 늘어남에 따라 늘어나는 갱신비용을 절감할 수 있는 방안을 마련할 필요가 있으며, 민간과의 협력을 통해 해결 방안을 찾으려는 노력이 이루어지고 있다.

그림 2. 2022년 Automated Road Transportation Symposium



자료: 저자 촬영



표 2. 국토지리정보원 정밀도로지도 구축 계획

구분	고속국도	일반국도	지방도 등	구축 대상(노선/구간)
’15~’20년	5,664	278	825	시험운행 구간, C-ITS 구간, 고속국도
2021년	131	13,093	662	일반국도(수도, 강원, 전라, 경상), C-ITS 구간, 시범지구 등
2022년	862	2,864	2,385	일반국도(충청), 시범지구, 고속국도 연결도로
2023년			3,421	특별광역시도(서울, 경기, 인천), 지방도(4차로 이상)
2024년			5,551	특별광역시도(대전, 대구, 세종, 충청, 경상), 지방도(4차로 이상)
2025년			5,868	특별광역시도(부산, 울산, 광주, 경상, 전라), 지방도(4차로 이상)
2026년			13,799	지방도(완료)
2027년			13,799	기타 지방도
계	6,657	16,235	46,310	

자료: 국토지리정보원

3. 2 자율주행 R&D 추진현황

국내 자율주행 R&D는 ‘자율주행기술개발혁신사업’이라는 이름으로 2021년부터 2027년까지 총 11조 원을 투입하여 추진되고 있다. Lv.4+ 자율주행차 상용화의 기반을 완성하는 것을 목표로 하고 있으며, 산업부, 과기부, 국토부, 경찰청 4개 기관을 중심으로 연구기관, 협회, 학교, 민간사 등이 참여하여 기술개발을 추진하고 있다. 사업 추진분야는 ①차량융합 신기술 ②ICT융합 신기술 ③도로교통 융

합 신기술 ④자율주행 서비스 ⑤자율주행 생태계이며, ‘디지털 도로’의 세분화된 분야는 국토교통부와 경찰청 주관으로 ‘도로교통 융합 신기술’ 아래 세부 기술개발과제를 통해 개발되고 있다. 2023년은 각 과제가 3년차 혹은 1년차 개발 단계로, 향후에는 각 기술이 실제 도로 환경에서 어떻게 통합되어 적용될 것이며, 어떠한 우선순위로 해당 기술을 확산해나갈 것인지에 대한 계획이 필요하다.

표 3. 도로교통 융합 신기술 세부분야별 과제

중점분야	세부 기술개발과제	수행여부
자율주행 Lv.4 대응 도로 인프라 기술	클라우드 소싱 기반의 디지털 도로·교통 인프라 융합 플랫폼 기술 개발	수행 중
	인프라 센서 기반의 도로 상황 인지 고도화 기술 개발	수행 중
	자율협력주행을 위한 미래도로 설계 및 실증 기술 개발	수행 중
자율주행 Lv.4 대응 교통안전 인프라 기술	Lv.4 대응 교통안전 인프라 표준 및 평가기술 개발	수행 중
	Lv.4 자율협력주행 대응 교통객체 인지고도화 및 악조건 해소기술 개발	수행 중
	실시간 교통안전시설 운용을 위한 인프라 정보 융합 및 관리 기술 개발	수행 중
자율주행 Lv.4 대응 주행 가이드선스 기술	인프라 가이드선스를 통한 자율차 실도로 주행지원 기술 개발	‘23년 예정
	자율차-일반차 혼재 상황 대비 시가반 자가친화형 교통운영 최적화 기술 개발	‘23년 예정
자율주행 Lv.4 대응 융합 교통운영관리 기술	돌발상황 및 재난 발생 시 도로교통 네트워크 통제를 위한 현장제어 기술 개발	수행 중
	자율주행시스템 수집 빅데이터를 활용한 교통관리 및 운영용 Digital Twin 시스템 개발	수행 중
Lv.4 기반 도로교통 정보 융합 기술	자율주행 혼재 시 도로교통 통합관제시스템 및 운영기술 개발	수행 중
	협력적 교통제어전략 도입을 위한 교통정보 음영구간 정보생성 및 운영관리 기술개발	수행 중
	네트워크 제어를 위한 교통정체 및 혼잡 운영관리 기술 개발	수행 중
자율주행 Lv.4 융합 실증 기술	도로교통 융합 기술 평가를 위한 시뮬레이터 기반 범용적 가상시험환경 플랫폼 기술 개발 및 구축	‘23년 예정
	Lv.4 자율주행 차량 테스트베드 환경 구축	수행 중
	자율주행 리빙랩 실증환경 운영 및 서비스를 통한 사업모델 개발	‘23년 예정

자료: <http://kadif.kr/>

3. 3. 민간-공공 협의체 운영 현황

도로인프라의 디지털화 정책의 추진에는 자율주행을 개발 중인 민간의 요구사항이 반영되어야 하고, 공공에서 해결하기 어려운 기술적인 부분은 민간의 협조를 얻을 필요가 있어 민간-공공 협의체가 운영 중이다. 앞서 언급한 대로 정밀도로지도의 구축·갱신을 효율화하기 위해 민간-공공의 협력이 지속되어 왔으며, 해당 협력관계는 국토교통부 모빌리티자동차국과 국토지리정보원을 주축으로 다양한 민간사가 참여한 ‘자율주행 맵 포럼’이라는 이름으로 2022년 9월부터 새롭게 추진되고 있다. 국토교통부 도로국은 인프라 계획과 관리 업무를 자율주행 시대에 걸맞게 재구성하고자 민간과의 간담회를 개최하고, ‘도로인프라 디지털화 TF’를 운영하는 등의 활동을 지속하고 있다. 이러한 논의를 통해, 자율주행 시대의 도로인프라라는 물리적 인프라뿐 아니라 디지털 인프라도 중요하므로 도로인프라의 관리가 디지털 영역까지 확장되어야 한다는 점과, 민간의 안정적인 자율주행기술 개발 및 운영을 위해서는 도로의 변화정보를 빠르고 효율적으로 파악할 수 있는 방법이 필요하다. 이를 위해서는 도로인프라 관리자의 역할이 필요하다는 점에 대한 공통적인 이해가 형성

되고 있다. 민간은 그간 도로정보 구축, 변화탐지 등을 효율화할 수 있는 기술을 축적해왔으며, 공공은 이를 활용하여 인프라 관리데이터를 개선하고 도로변경정보의 신뢰성을 향상할 필요가 있다는 논의가 이루어졌다.

4. 자율주행시대에 대비한 디지털 도로 추진 방향

자율주행 시대를 대비하여 도로 인프라 분야에서 추진되고 있는 사항을 해외 자동차 분야 기술 선도국과 우리나라 간 비교해보았을 때, 그 방식과 구체화 단계는 차이가 있지만 방향성 및 이해도에 있어서는 큰 차이가 없음을 확인할 수 있다. 다만, 분야별 혹은 부처별로 분산되어 추진되고 있는 사항을 종합하고 세부 기술로 개발되고 있는 사항을 하나의 틀로 정리하여 도로체계에 안착시킬 방안이 필요하다. 이에 대해 ‘데이터 공유 및 민-관 협력을 통한 도로인프라 디지털화’, ‘자율주행 지원 도로등급 및 등급별 업무기준 마련’, ‘자율주행 지원 도로등급에 기반한 자율주행 인프라 구축계획 수립’을 큰 방향으로 제시하고 본고를 마무리하고자 한다.



국토교통부 도로국-민간사 간담회 개최(2022. 7. 8)



자율주행 맵 포럼(2022. 9. 20)

4. 1 데이터 공유 및 민-관 협력을 통한 도로인프라 디지털화

앞서 제시한 바와 같이 자율주행을 위해 필요한 정밀도로지도는 향후 갱신 비용 절감이 큰 과제로 남아 있으며, 이 부분은 민간과의 협력에 의해 해결하려는 노력이 지속되고 있다. 민간과 공공이 빠르게 공유하여 활용할 수 있는 원천 데이터는 최신 점군 데이터와 도로 변경정보이며, 이를 중심으로 정밀도로지도, 디지털 도로(도로대장)를 연계하고, 변화정보를 공유하면 상호 효율성을 추구할 수 있을 것이다. 이 중 도로관리자가 생산할 수 있는 도로 변경정보와 변경 예정정보는 민간과 공공의 갱신비용 절감 및 정보의 실시간성 제고에 크게 기여할 수 있을 것으로 판단된다. 향후, 관련 민간사가 다수 포함된 공공-민간 협의체인 「자율주행 맵포럼」과 국토교통부 도로국에서 운영 중인 「도로인프라

라 디지털화 TF」의 논의를 통해 데이터 거버넌스 체계가 구체화되어야 할 것이다.

4. 2 자율주행 지원 도로등급 및 등급별 업무기준 마련

최근 상용화가 허용된 3단계 자율주행에서부터 높은 수준의 자율주행까지 지원할 수 있는 인프라 마련을 위해서는 물리적 시설, 디지털 인프라(정밀도로지도, 정보제공 수준, 통신 등)의 수준을 반영한 자율주행 지원 도로등급을 마련하고, 적합한 도로 관리기준을 준수하도록 규정할 필요가 있다. 이러한 기준은 현재 추진되고 있는 R&D의 결과를 종합하여 그 기반을 마련할 수 있을 것이며, 실 도로망에 적용하는 과정을 거쳐 정교화할 필요가 있다. 이후 전국의 도로관리청에서 동일한 기준이 적용할 수 있도록 제도화하는 노력이 필요하며, 이 중 도

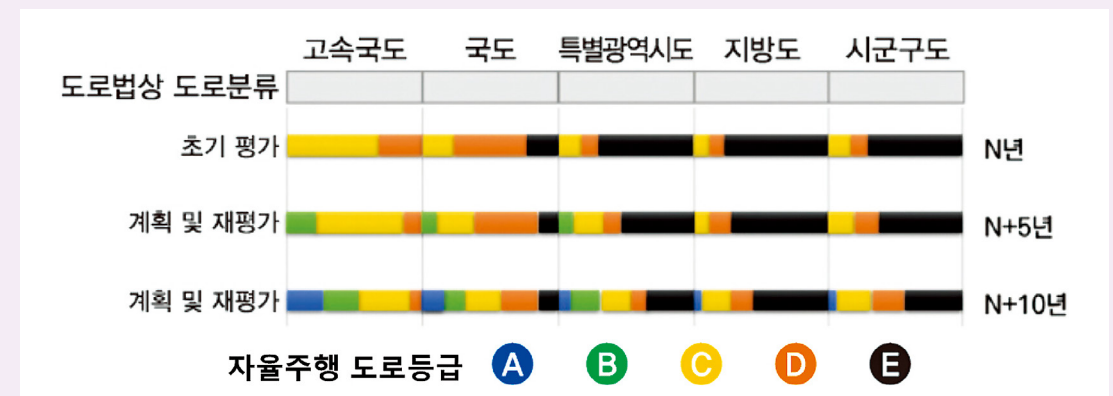
로대장 구축에 대해서는 일본의 사례를 참고할 수 있을 것이다.

4. 3 자율주행 지원 도로등급에 기반한 자율주행 인프라 구축계획 수립

자율주행 인프라를 점진적으로 확대 구축하기 위해서는 현 도로체계를 자율주행 지원 도로등급으로 재분류하여 자율주행 지원 도로인프라 계획을

수립하여야 한다. 도로 구간별로 자율주행 지원 등급을 평가하고, 자율주행 지원 도로 목표등급 및 지원 시점을 설정하면, 도로인프라의 수준을 계획적으로 높여나갈 수 있다. 또한 구간별 자율주행 지원 도로등급을 집계하여 자율주행 지원 도로인프라 구축의 총량적 계획을 수립하고, 자율주행 인프라 구축의 물량 산정 및 예산 마련의 근거로써 활용할 수 있을 것이다. 

그림 3. 자율주행 지원수준 평가 및 구축계획 수립



출처: 윤서연 외, 2019. 자율주행시대에 대응한 도로관리체계 연구, p. 84 재편집

