국토정책Brief는 주요 국토정책 현안을 적시하고
정책방안을 제안하는 주간지입니다.

2017/11. 6

국토정책 Brief
KRIHS ISSUE PAPER

KRIHS POLICY BRIEF • No. 637

발행처 | 국토연구원 • 발행인 | 김동주 • www.krihs.re.kr

자율주행시대에 대비한 첨단도로인프라 정책방안

오성호 국토연구원 연구위원 외

이슈 요약

1 2020년경부터 자율주행차량의 상용화가 예측됨에 따라, 예기치 못한 돌발상황으로 인한 교통사고 증가 등 당초 기대했던 도로의 효율성 향상에 어려움이 예상됨

- 자율주행차량의 기존 도로인프라에 대한 인식 한계, 도로·교통 및 환경조건 등의 갑작스러운 변화에 대한 대응력 부족으로 인해 교통사고가 증가할 수 있음
- 자율주행차량은 도로이용자(일반 운전자, 보행자, 자전거 이용자 등)의 예측 불가능한 행태를 이해하는 데 한계가 있어 안전상의 문제가 예상됨
- 자율주행과 일반차량 혼재 시 짧은 차간거리의 군집주행이 불가능하므로 도로 효율의 향상 측면에서 어려움이 많을 것으로 예상됨

2 자율주행과 일반차량 혼재 시 발생 가능한 이슈에 선제적으로 대응하기 위하여, 자율주행차량의 도입비율에 따라 단계를 구분하고, 각 단계별 최적 첨단도로인프라 정책방안 마련 필요

정책방안

자율주행차량 도입단계에 따라 도입초기–활성화–안정화, 3단계로 구분하고 선제적 대응방안 추진 필요

① 〈도입초기 단계〉 기존 도로인프라의 첨단화를 통해 자율주행차량의 안전하고 효율적인 주행을 지원함

② 〈활성화 단계〉 자율주행차량의 비율이 일정 수준(전체 통행량의 1/3 수준)을 넘어선 단계로, 자율주행차량을 일반차량과 분리(예: 전용차로 운영)하여 도로 용량 극대화 및 도로이용 효율 향상을 통해 교통정체 감소와 온실가스 배출량 감소 기대

③ 〈안정화 단계〉 자율주행차량의 도입이 안정화되고 초고속도로에 대한 사회적 요구가 있을 경우, 향상된 설계속도(예: 제한속도 160km/h)의 신규 도로 인프라(자율주행 전용도로)를 구축하는 방안에 대한 정책 검토 및 제도 보완이 요구됨

1. 자율주행차량과 첨단도로인프라의 개념

자율주행차량

자율주행차량은 '스스로 도로의 환경인식, 위험판단, 주행경로 계획, 차량 제어 등을 통해 안전한 주행이 가능한 자동차'로 정의하며, 자율주행차 상용화는 국민의 이동성과 편의성을 향상시켜 지역 간 통행이 증가하고, 궁극적으로 지역발전에 긍정적 영향을 미칠 것으로 기대됨

또한, 자율주행차량은 교통측면에서 운전자와 도로운영자에게 편의성, 안전성, 효율성 등의 도입에 따른 효과가 기대됨(〈표 1〉 참조)

표 1 자율주행차량 도입에 따른 효과

구 분	효 과	상 세 내 용
운전자	주행 편의성	운전 업무에서 해방됨에 따라 편의성이 증가되고 차 내 시간의 효율적 활용이 가능
	주행 안전성	돌발상황에 대한 자동대응으로 운전자 인지반응 한계를 극복해 사고 발생건수 감소
	주행 효율성	다양한 정보를 바탕으로 최단 거리 탐색 및 주변 사고 상황 파악 등을 통한 통행시간 단축
	초고속성	첨단기술과 안전성을 기반으로 초고속 주행이 가능해져 통행시간 단축
도로 운영자	도로 효율성	짧은 차두거리 유지로 도로 용량 극대화를 통한 정체 감소
	도로 안전성	도로 낙하물 또는 사면붕괴 등에 즉각적 대응이 가능해져 도로 안전성 향상
	친환경성	정체 감소로 불필요한 가·감속이 줄어들고, 이로 인해 온실가스 배출량 감소

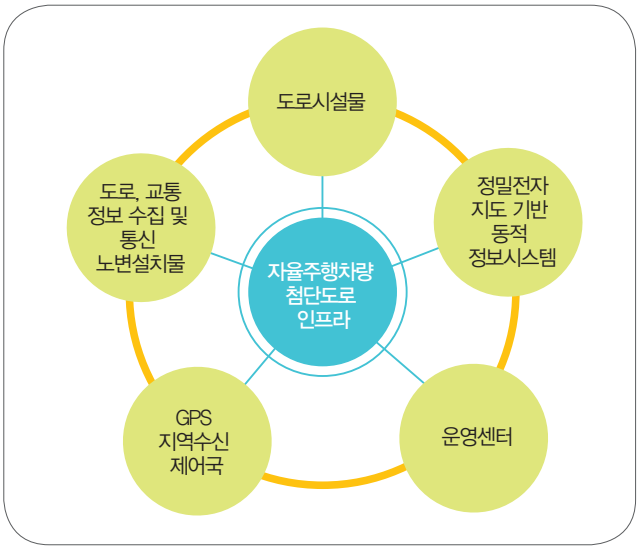
출처: 오성호 외 2017.

그러나 자율주행차량 센서만으로는 정보 인지에 한계가 있으므로 교통안전과 도로이용 효율 향상을 위해 첨단도로인프라와 차량의 연계가 중요함

첨단도로인프라

첨단도로인프라는 '자율주행과 일반 차량의 안전하고 효율적 주행을 지원하는 모든 인프라'로, 도로시설물, 도로·교통정보 수집 및 통신 노변설치물(RSE[1]), 정밀전자 지도기반 동적 정보시스템(LDM[2]), GPS 지역수신·제어국, 운영센터 등으로 구성됨

그림 1 자율주행차량을 위한 첨단도로인프라의 구성



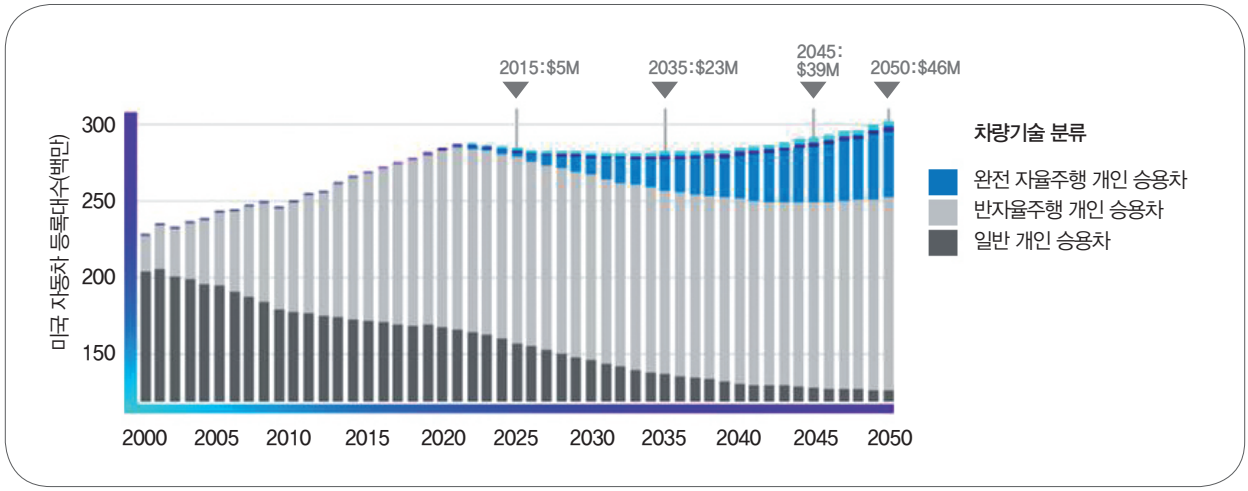
출처: 오성호 외 2017.

1) RSE: Road Side Equipment
2) LDM: Local Dynamic Map

2. 자율주행차량과 일반차량 혼재 시 문제점

Accenture(2017)는 〈그림 2〉에서와 같이 자율주행차량이 본격 도입되는 2020년 전후부터 자율주행차량의 비율이 크게 증가하는 2050년까지 자율주행차량과 일반차량의 도로상 혼재는 불가피할 것으로 예측했으며 혼재 상황에서 다음과 같은 문제점이 대두됨

그림 2 연도별 미국 자율주행차량 등록대수 예측



자료: Accenture 2017, 저자 재구성.

기존 도로인프라 인식 한계 및 돌발상황 대응력 부족으로 인한 안전 문제

일반차량 중심으로 설계된 기존 도로인프라에 대한 자율주행차량의 인식 한계, 도로·교통 및 환경조건 등의 갑작스러운 변화에 대한 대응력 부족 등으로 인해 교통사고가 증가할 수 있음

도로이용자의 행태에 대한 이해 부족으로 인한 안전 문제

IEEE Spectrum(2017)과 Clamann, et al.(2017) 등은 자율주행차량은 도로이용자(일반 운전자, 보행자, 자전거 이용자 등)의 예측 불가능한 행태를 이해하는 데 한계가 있고 이로 인한 안전상의 이슈가 발생할 수 있음을 지적함

자율주행차량 도입에 따른 도로용량 극대화 제약 문제

자율주행과 일반차량이 혼재되어 주행할 경우 짧은 차간거리의 군집주행이 불가능하므로 도로 용량 극대화를 통한 도로이용 효율 향상에 어려움이 예상됨

3. 자율주행차량 도입을 위한 대응 단계 구분

자율주행차량의 도입에 따른 교통안전 개선과 도로이용 효율 향상, 선진국에 비해 뒤쳐진 상용화 시기를 앞당기기 위해 대응 단계별 첨단도로인프라 정책방안을 마련할 필요가 있음

○ 전체 차량 중 자율주행차량 도입비율에 따라 전략적 대응단계를 〈그림 3〉과 같이 도입초기, 활성화, 안정화 단계로 구분하고 단계별 기대효과의 달성 여부를 제시함

그림 3 자율주행차량 도입에 따른 전략적 대응 3단계



		제1단계 '도입초기'	제2단계 '활성화'	제3단계 '안정화'
운전자	주행 편의성	확보	확보	확보
	주행 안전성	확보	확보	확보
	주행 효율성	확보	확보	확보
	초고속성	일반차량과 혼재로 자율주행차량 성능 발휘 어려움	기본 설계/제한속도 준수 기존 도로기하구조 한계	일반차량과 완전 분리 및 도로 선형개량으로 확보
도로운영자	도로 효율성	일반차량과 혼재로 짧은 차두거리 유지 불가	일반차량과 분리를 통해 확보	확보
	도로 안전성	확보	확보	확보
	친환경성	일반차량과 혼재로 불필요한 가/감속 및 차로변경	일반 차량과 분리를 통해 확보	확보

출처: 오성호 외 2017.

※ 제1단계에서 2단계 진입을 위한 자율주행차량의 최소 통행량은 첨두시 시간당 일반차량의 통행량을 (편도차로수−1)로 나눈 값보다 같거나 커야 한다고 정의함[자세한 사항은 오성호 외(2017) 보고서 제3장 2절 참조]. 즉, 편도 3차로의 경우, 첨두시 자율주행차량의 비율이 전체 통행량의 33% 이상이면, 2단계로 진입할 수 있음을 의미함

4. 단계별 첨단도로인프라의 전략적 대응방안

1단계(도입초기): 기존 도로인프라의 첨단화

자율주행차량의 안전하고 효율적인 주행을 지원하기 위해 기존 도로인프라의 첨단화가 필요한 시기를 의미하며 첨단도로인프라의 요소별 구축방안은 〈표 2〉와 같음

표 2 1단계 자율주행차량을 위한 첨단도로인프라 구축방안

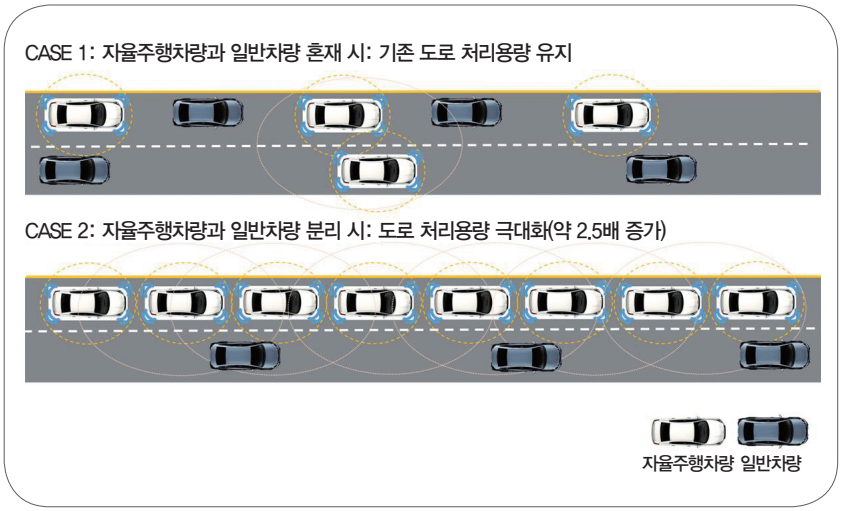
첨단도로인프라	구 축 방 안
도로시설물	• 자율주행차량의 인지성능 향상을 위한 차선 표시 방안 • 자율주행차량 카메라의 시인성을 향상할 수 있는 도로표지 • 교통상충점의 기하구조 개선
교통상황정보 수집 노변설치물(RSE)	• 기 설치된 RSE를 통해 다양한 정보를 송신하고, 선택적 정보를 수신할 수 있는 서비스 개발이 필요
정밀전자지도기반 동적정보시스템(LDM)	• 정적·동적데이터의 가공 및 처리가 가능한 전자지도 개발을 통해 차량센서의 한계를 극복
GPS 지역수신·제어국	• 차량 및 특정 상황의 정밀한 위치정보를 수집 및 가공할 수 있는 능력
운영센터	• 다양한 데이터를 저장·가공할 수 있는 용량·처리능력

출처: 오성호 외 2017.

2단계(활성화): 교통류 분리(전용차로)

자율주행차량이 일정 비율 이상 도달한 시기로, 일반차량과 혼재 시 발생할 수 있는 안전 문제 개선 및 군집주행을 통한 효율 극대화를 위해 두 차종의 분리 운영이 필요함

그림 4 자율주행과 일반 차량 혼재 및 분리상황 비교



출처: 오성호 외 2017.

◦ 자율주행차량을 일반차량과 분리 운영 시, 〈그림 4〉의 Case 2와 같이 자율주행차량 군집주행은 차로의 용량을 약 2.5배 더 효율적으로 사용할 수 있으며, 이는 정체감소와 온실가스 배출량 감소로 인한 대기 질 개선 효과도 기대할 수 있음(오성호 외 2017; Tientrakool, et al. 2011)

3단계(안정화): 초고속화(전용도로)

자율주행차량의 비율이 크게 증가하고 자율주행차 상용화가 안정된 상태로서, 초고속도로 (예: 제한속도 160km/h)에 대한 사회적 요구가 증가할 수 있음

◦ 따라서 장래 '안정화' 단계에 대응하여, 초고속주행에 적합한 기하구조의 신규 자율주행 전용도로를 구축할 필요가 있으며, 이를 통해 지역 간 통행시간 단축으로 국민의 이동성 향상을 도모할 필요가 있음

전략적 대응 단계별 첨단도로인프라 정책을 요약하면 〈표 3〉과 같음

표 3 자율주행과 일반 차량 공존 시대의 첨단도로인프라 정책방안

단계	기대상황	자율주행차량에 대응한 첨단도로인프라 정책		
		정책(안)	고려사항	장점 및 기대효과
제1단계 (도입초기)	• 일반차량의 비율이 여전히 높은 상태 • 자율주행 기술로 인해 운전자는 운전 업무로부터 일정 부분 해방 • 운전자 과실사고 급격히 감소	기존 도로인프라	• 자율주행 관련 첨단도로인프라 정의 • 첨단도로인프라의 상세 구축방안 및 기술 개발 연구 • 첨단도로인프라의 효율적 설치 및 운영방안 검토	• 자율주행차량의 정보인지 한계성 극복을 통해 안전성 향상 • 기존 도로인프라와의 연계를 통해 불필요한 신규 인프라 구축 방지
제2단계 (활성화)	• 일정 비율 이상의 자율주행차량 도입 • 자율주행과 일반차량의 서로 다른 특성으로 인해 발생하는 이슈를 해결하고자 교통류 분리에 대한 사회적 요구 증대	기존 도로인프라 첨단화 + 교통류 분리 (전용차로)	• 자율주행과 일반차량의 형평성 문제를 고려 • 연속류 편도 3차로의 경우, 전체교통량의 33% 이상이 자율주행차량이면 전용차로 운영을 통한 교통류 분리가 적절 $V_{AV} \geq \frac{V_{NAV}}{N-1} \times W$ 여기서, VAV = 첨두시 시간당 자율주행차량 통행량 VNAV = 첨두시 시간당 일반차량 통행량 N = 편도 차로수 W = 가중치 (W≤1, 정책적 가중치, 작을수록 자율주행차량에 가중)	• 인프라 구축 비용이 낮음 • 군집주행이 가능해 도로 운영 효율성 증가 • 일반차량 이용차로의 서비스 수준 향상 • 교통류 분리로 안전성 확보 • 불필요한 가/감속 및 경제운전으로 친환경성 향상
제3단계 (안정화)	• 자율주행차량의 비율 증가와 성능 및 운영 모두 안정화된 상태 • 첨단기술을 통한 안전성 보장으로 초고속주행에 대한 수요 증가가 예상됨	기존 도로인프라 첨단화 + 교통류 분리(전용차로) + 초고속화 (전용도로)	• 초고속성에 대한 사회적 합의 도출 • 자율주행차량의 기술 신뢰성 보장 • 초고속 주행 시 자율주행차량의 안전성 보장	• 초고속성 확보로 통행시간 단축 및 정시성 향상 • 향상된 교통서비스로 사회·경제적 부가가치 창조 • 물류비 감소 기대 • 자율주행차량 구입의사 증가 효과 발생 기대

출처: 오성호 외 2017.

참고문헌

오성호, 김광호, 이백진, 박종일. 2016. 자율주행시대를 대비한 첨단도로인프라의 전략적 관리 방안 연구. 세종시: 국토연구원.

이백진, 김광호, 박종일. 2016. 첨단인프라 기술발전과 국토교통분야의 과제–자율주행 자동차를 중심으로–. 세종시: 국토연구원.

Accenture. 2017. Insuring Autonomous Vehicles Report. https://www.accenture.com/us-en/insight-autonomous-vehicles-opportunity-insurers (accessed November 1, 2017).

Clamann, M., Aubert, M., and Cummings, M. L. 2017. Evaluation of Vehicle-to-Pedestrian Communication Displays for Autonomous Vehicles no.17-02119. Washington, D.C: Transportation Research Board.

IEEE Spectrum. 2017. The Big Problem with Self-driving Cars is People. https://spectrum.ieee.org/transportation/self-driving/the-big-problem-with-selfdriving-cars-is-people (accessed November 1, 2017).

Patcharinee Tientrakool, Ya-Chi Ho and Nicholas F. Maxemchuk. 2011. Highway Capacity Benefits from Using Vehicle-to-Vehicle Communication and Sensors for Collision Avoidance. Proceeding from Vehicular Technology Conference (VTC Fall), 2011 IEEE: 1-5.

※ 본 자료는 "오성호 외. 2017. 자율주행차량에 대응한 첨단교통인프라 정책방안 연구. 국토연구원"의 내용을 발췌·정리한 것임.

오성호 국토연구원 국토인프라연구본부 연구위원(shoh@krihs.re.kr, 044-960-0343)
윤태관 국토연구원 국토인프라연구본부 책임연구원(tyoon@krihs.re.kr, 044-960-0394)

KRIHS 국토연구원
세종특별자치시 국책연구원로 5
전화 044-960-0114
홈페이지 www.krihs.re.kr
팩스 044-211-4760

OPEN 출처표시 상업용금지 변경금지
공공누리 공공저작물 자유이용허락