



수시 | 18-16

자율주행차 상용화를 고려한 도로부문 대응과제 : 도로 설계 및 계획을 중심으로

A Preliminary Study to Make the Road Sector Ready for the Commercialization
of Automated Vehicles : Focusing on Road Design and Planning

김광호 외

자율주행차 상용화를 고려한 도로부문 대응과제 : 도로 설계 및 계획을 중심으로

A Preliminary Study to Make the Road Sector Ready for the Commercialization
of Automated Vehicles : Focusing on Road Design and Planning

김광호 외

■ 연구진

김광호 국토연구원 책임연구원(연구책임)

박종일 국토연구원 책임연구원

윤태관 국토연구원 책임연구원

■ 외부연구진

김진태 한국교통대학교 교수

■ 연구심의위원

이백진 국토연구원 연구위원

김종학 국토연구원 연구위원

오성호 국토연구원 연구위원

이범현 국토연구원 책임연구원

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS



본 연구보고서의 주요 내용

- 1 자율주행 기술동향 등을 검토하여 도로 인프라의 요구사항을 파악하고, 자율주행차 상용화의 단계적 시나리오를 고려하여 도로 설계·계획 부문의 대응과제를 도출
- 2 최근 도로설계·계획의 이론 및 모형 분야에서 자율주행차의 상용화를 반영하고자 하는 연구가 있으나 지침 및 규정 분야는 아직 개선방향이 잡혀있지 않음
- 3 ‘자율주행의 기술단계 및 공간적 범위’, ‘자율주행의 인지·판단 방식’, ‘도로 인프라와 차량 간 통신을 통해 제공되는 정보의 차량제어 개입여부’를 고려하여 자율주행차의 ‘개인 이용’과 ‘공유 서비스’에 대한 단기 실현가능성이 높은 시나리오를 도출
- 4 자율주행기반의 공유 서비스는 ‘고품질 전자정밀지도’, ‘공유 서비스를 위한 편의 및 안전시설’ 등에 관한 차별화된 요구사항이 존재하며, 그 밖에 ‘운행모드 전환경고’를 위한 통신 인프라, ‘안전 정차공간 및 휴게소’ 등에 관해서는 자율주행차의 개인 이용과 거의 유사한 수준의 요구사항이 존재

본 연구보고서의 정책제안

- 1 자율주행 공유 서비스를 위해 ‘고품질 전자정밀지도의 구축 및 관리 방안 정립’, ‘자율주행 공유 서비스의 도입을 고려한 접근성 평가도구 개발’ 등을 대응과제로 제안
- 2 자율주행차의 개인 이용을 지원하기 위해 ‘일반 전자정밀지도의 구축 및 관리 방안 정립’을 대응과제로 제안
- 3 자율주행차의 ‘개인 이용’과 ‘공유 서비스’에 모두 적용되는 대응과제로 ‘자율주행차를 고려한 도로의 구조·시설기준에 대한 규정 개선’, ‘자율주행차 안전 정차 시설의 설계 기준 정립’ 등을 제안

차례

CONTENTS

주요 내용 및 정책제안	i
--------------------	---

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구 범위 및 방법	7
3. 선행연구 검토 및 차별성	10
4. 연구의 기대효과	14

제2장 자율주행차의 개념 및 도입전망

1. 자율주행차의 개념	17
2. 자율주행차의 도입전망	19
3. 자율주행차의 기술동향	23
4. 첨단도로인프라의 기술동향	28

제3장 도로 설계·계획 부문의 현황

1. 도로 설계·계획에 관한 이론 및 모형 현황	37
2. 도로 설계·계획에 관한 규정 및 지침 현황	41
3. 도로 설계·계획 부문의 요구사항	44

제4장 자율주행차의 상용화를 고려한 대응과제 도출

1. 대응과제 도출의 개요	49
2. 자율주행 상용화의 시나리오	51
3. 주요 시나리오별 요구사항	56
4. 도로 설계 및 계획 부문의 대응과제 도출	61

제5장 결론 및 향후 과제

1. 요약 및 시사점	69
2. 연구의 한계 및 향후 과제	72

참고문헌	73
------------	----

SUMMARY	77
---------------	----

부 록	81
-----------	----



CHAPTER 1

서론

- 1. 연구의 배경 및 목적 | 3
- 2. 연구 범위 및 방법 | 7
- 3. 선행연구 검토 및 차별성 | 10
- 4. 연구의 기대효과 | 14

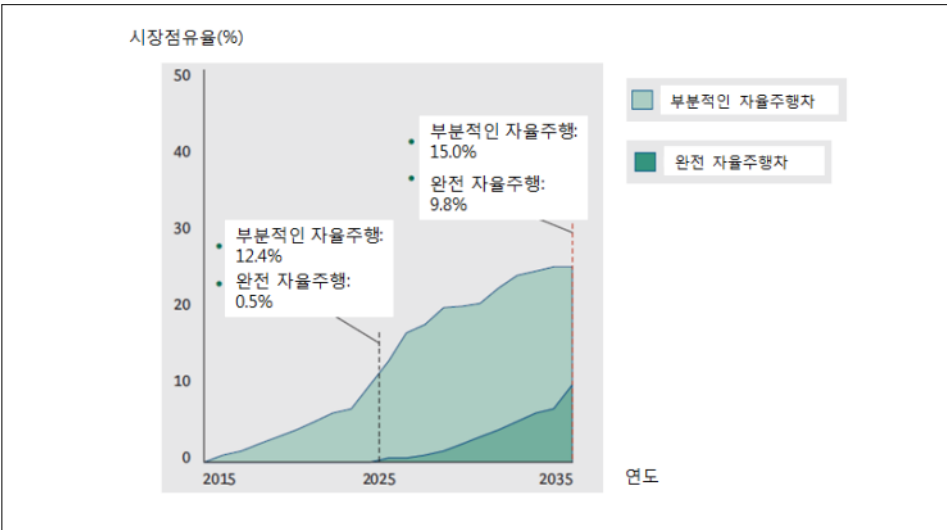
서론

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경

- ☐ 자율주행차는 자신의 운행조건을 인지하고 평가하여 인간 운전자의 개입 없이 그 이동을 제어함 (Anderson 외, 2014)
 - 자율주행차를 위해 센서, 카메라를 통한 인지기술, 전자정밀지도 기반의 측위기술, 주행환경의 인지 및 판단을 위한 인공지능 기술 등이 필요함
- ☐ 자동차 기술자협회 (Society of Automotive Engineers: SAE)는 자율주행차의 기술단계를 0(수동)에서 5(완전 자동)까지로 구분함 (SAE, 2014)
 - 기술단계의 구분은 ‘조향, 가·감속 등의 제어에 대한 주체가 누구인가?’, ‘운전 환경에 대한 모니터링의 주체는 누구인가?’, ‘비상 시 대응 주체는 누구인가?’, ‘시스템의 기능은 어느 수준인가?’에 근거함
- ☐ 부분적인 자율주행이 가능한 차량은 이미 상용화되었으며, 인간 운전자의 개입이 거의 필요 없는 높은 수준의 자율주행차도 향후 10년 이내에 상용화 될 전망이다
 - 국제적인 컨설팅 업체 중에 하나인 BCG는 자율주행차량의 시장점유율이 2025년에 12.9%에 달할 것으로 전망함 (BCG, 2015)
 - 이러한 시장 전망에 따르면 적어도 향후 20년 정도는 상이한 기술수준의 자율주행차와 인간 운전 차량이 혼재하는 운행 환경이 빈번하게 발생할 수 있음

그림 1-1 | 자율주행차 시장전망



출처: BCG. 2015. Revolution in the Driver's Seat. p18.

□ 자율주행 상용화에 대응하여 국토교통부는 도로 인프라의 첨단화에 관한 연구개발 사업을 추진함

- 국토교통부는 <그림 1-2>와 같이 ‘자율차 안전 및 수용성 확보를 위한 기반 연구’, ‘자율주행환경 구축을 위해 도로 인프라와 연계한 핵심기술개발’, ‘교통산업 신서비스 창출을 위한 실증연구 추진’, ‘자율주행기반 교통/물류서비스 시범사업추진’을 전략과제로 선정하여 대규모 연구개발 사업을 수행 및 계획함
- 국토교통부의 관련 연구개발사업은 주로 자율주행차의 상용화를 지원하기 위한 시스템 개발 또는 실증사업 추진에 관한 과제들을 지원하고 있음
- 국토교통부는 자율주행차의 운영을 지원할 수 있는 정밀지도, 통신시스템 등의 첨단도로인프라 구축을 통해 협력형 자율주행시스템을 구현하고자 함

그림 1-2 | 국토교통부의 자율주행차 상용화 관련 연구개발사업 로드맵



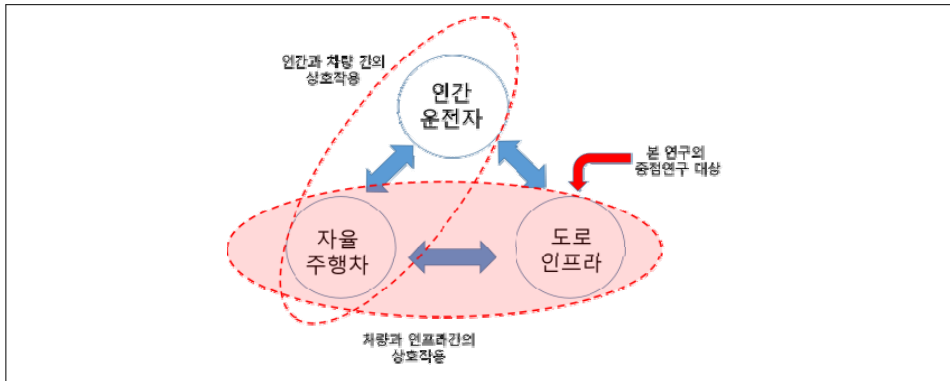
출처: 국토교통부, 2017. 국토교통 신산업 R&D 중장기 로드맵, p.8, 우승국 외, 2017. 자율주행자동차 도입의 교통부문 파급효과와 과제 (1차년도) 재인용.

□ 자율주행차의 성공적인 상용화를 위해 ‘인간 운전자와 차량 간 상호작용’과 ‘차량과 도로인프라 간 상호작용’에 대한 심도 있는 연구가 요구됨 1)

- ‘인간 운전자와 차량 간 상호작용’에 관한 연구는 특히 부분적인 자율주행에서 문제가 될 수 있는 인적요인 (human factor)을 검토하여 차량 운행 모드의 전환 (인간 운전자 모드↔자율주행 모드) 과정에서 안전을 확보하기 위해 필요함
- ‘차량과 도로인프라 간 상호작용’의 방식 및 수준은 차량의 인지·판단 기술, 차량과 도로 인프라 간 통신기술 등에 의해 좌우됨

1) 협력형 자율주행의 경우 ‘차량과 인프라간 상호작용’뿐만 아니라 ‘차량 간 상호작용’도 중요한 연구 대상이나 본 연구에서는 도로 인프라의 요구사항 파악을 위해 전자에 중점을 두어 연구를 수행함

그림 1-3 | 도로교통의 구성주체 간 상호작용



출처: 저자작성

□ ‘차량과 도로인프라 간 상호작용’의 특성은 차량 설계뿐만 아니라 도로 설계에 의해 영향을 받음

- 특히 자율주행차의 인지 및 판단과 직결된 ‘차량과 도로인프라 간 상호작용’이 도로 설계의 중요한 고려사항이 됨

□ 자율주행차의 상용화는 도로의 용량, 공유 모빌리티²⁾의 운영 등에 영향을 미칠 수 있기 때문에 기존의 도로계획³⁾도 수정·보완이 필요함

- 특히 도로 계획의 중요한 분석 도구인 수요예측모형, 운영 효과평가 방법의 개선이 필요함

□ 국내에는 자율주행차의 상용화에 따른 도로설계 및 계획 측면의 요구사항 분석에 대한 선행연구가 미흡함⁴⁾

2) 본 연구에서는 ‘공유 모빌리티’를 정보통신기술의 발달로 인해 가능해진 디지털 플랫폼 기반의 ‘공유경제형 교통서비스’(예: 동적 라이드셰어링, 수요응답형 대중교통)로 규정함

3) ‘계획’이 다루는 범위는 전략계획, 유지관리계획 등 다양할 수 있으나 본 연구에서는 도로 설계에 직접적으로 영향을 미치는 계획요소 (예: 도로 신설여부 판단, 차로 수 증가 등)를 중점적으로 다룸

4) 예외적으로 국토교통부 국토교통과학기술진흥원이 추진 중인 연구개발프로그램인 ‘자율협력주행 도로시스템 개발연구’는 차량과 도로 인프라의 상호작용을 고려하여 협력형 시스템을 구축하는 것을 목적으로 하고 있으나, 이 연구개발프로그램은 통신기술, 전자정밀지도 개발에 중점을 둠

-
- 기존에는 자율주행차의 자체적인 인지·판단·제어를 위한 기술 개발과 ‘인간 운전자와 자율주행차 간의 상호작용’을 고려한 인적요인 연구가 주로 수행됨

2) 연구의 목적

☐ 자율주행차의 도입전망, 차량 및 인프라의 기술현황, 도로 설계·계획 부문의 현황을 종합적으로 검토함

- 자율주행차 도입에 관한 공간적 범위와 소유방식에 따른 전망을 검토함
- 자율주행차의 인지·판단에 관한 내용을 중심으로 차량 및 인프라의 기술현황을 검토함
- 도로 설계·계획 부문의 현황은 이론 및 모형, 지침 및 규정을 중심으로 검토함

☐ 단기적으로 실현 가능성이 높은 자율주행 상용화의 시나리오를 도출하고 이에 따른 도로 인프라의 요구사항과 도로 설계·계획 부문의 대응과제를 도출함

- 자율주행 상용화 시나리오는 자율주행차의 도입전망, 차량 및 인프라 기술현황 검토에 기반을 두어 도출하고, 자율주행 기술발전 전망, 전문가 의견 등을 고려하여 그 실현 가능성을 판단함

2. 연구 범위 및 방법

1) 연구 범위

☐ 공간 범위

- 국내에 속한 연속류 및 단속류 도로

□ 시간 범위

- 본 연구의 시간 범위를 향후 자율주행차의 상용화가 도로 설계 및 계획에 영향을 미치는 시기로 설정하되, 3단계의 자율주행차가 본격적으로 상용화될 것으로 예상되는 시기 (2020년~2025년)를 중점 대상으로 함

※ 자율주행 3단계인 조건부 자율주행 하에서 ‘조향 및 가·감속제어’와 ‘운전환경 모니터링’의 주체는 차량시스템이지만 ‘비상시 대응주체’는 인간 운전자임 (SAE, 2014)

□ 내용 범위

- 자율주행차의 특성 및 기능에 관한 기술동향 분석
- 자율주행차의 운영 방식 및 도입전망 검토
- 자율주행차의 상용화에 대한 주요 시나리오 별 요구사항 파악
- 도로 설계 및 계획 부문의 대응과제 도출

※ 본 연구에서는 소규모의 인원 수송을 위한 개인용 또는 공유서비스 (예: 카셰어링, 라이드셰어링, 셔틀 등)를 위한 자율주행차의 적용을 중점적으로 다룸⁵⁾

2) 연구의 방법

□ 문헌 검토

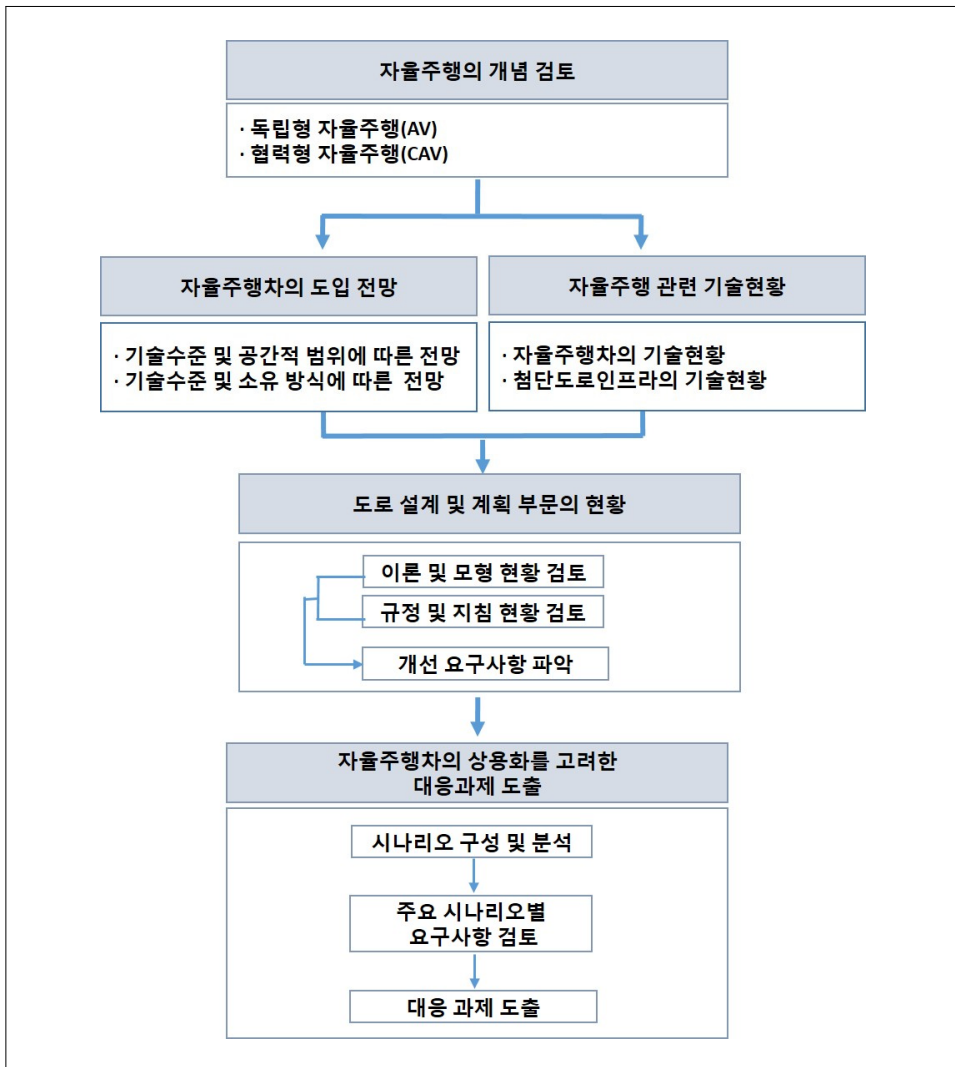
- 자율주행 기술에 관한 동향, 도로 설계 및 계획 관련 지침과 규정 등에 관한 문헌 검토를 수행함

5) 대용량의 대중교통서비스를 제공하기 위한 자율주행의 적용 (예: 전용차로를 운행하는 대형 자율주행버스)도 중요한 검토 대상이기는 하지만 이에 대응한 도로 인프라의 요구사항은 소규모의 인원을 수송하기 위한 개인용 또는 공유 서비스와 차별화되기 때문에 별도의 연구과제를 통해 검토가 요구됨

□ 전문가 자문회의 의견수렴

- 관련 전문가로부터 자율주행 도입의 시나리오, 도로 설계 및 계획 부문의 연구 과제 검토 등을 의뢰함

그림 1-4 | 연구수행의 흐름도



출처: 저자작성

3. 선행연구 검토 및 차별성

1) 선행연구 현황

☐ 자율주행차의 상용화가 교통체계 또는 국토이용에 미치는 영향을 이용자 설문조사, 모의실험 등을 통해 검토

- ITF (2015b)는 공유형 서비스를 위한 자율주행차의 적용으로 인한 운영 측면의 효과를 모의실험을 통해 분석함
- 이백진 외 (2017)는 자율주행차의 이용에 대한 잠재선호 (Stated Preference: SP)를 조사하고, 이를 기반으로 구축한 수단선택 모형을 통해 자율주행으로 인한 통행자의 시간가치 변화를 분석함
- 이 선행 연구들은 자율주행차의 상용화에 대한 실현 가능성이 높은 시나리오에 대해 모의실험이나 설문조사를 수행함

☐ 자율주행차의 상용화를 고려하여 교통부문 전반에 대해 연구과제 도출

- 이백진 외 (2016)는 자율주행차 관련 정책동향 및 전망, 전문가 의견 등을 참고하여 교통계획, 교통안전, 교통운영 및 시설부문에 대한 연구과제를 도출함
- 우승국 외 (2017)는 자율주행차 도입으로 인한 교통부문의 파급효과를 분석하여 정책적 시사점을 도출하였고, 이를 기반으로 향후 교통부문의 추진 과제를 제안함
- 이 선행연구들은 자율주행차의 도입으로 요구되는 교통부문의 대응과제를 개괄적으로 도출함

☐ 차량과 운전자의 상호작용에 중점을 두어 자율주행차 상용화의 요구사항 분석

- NHTSA(2014a)는 자율주행 단계 2나 3에 해당하는 차량과 운전자가 안전하게 상호작용할 수 있도록 인적 요인에 대한 선행연구를 검토하고, ‘고속도로 운행’, ‘ 시내 운행’, ‘대리 주차’ 시나리오를 위한 자율주행의 적용 기술을 분석함

-
- AdaptIVe (2017)는 ‘단거리’, ‘도시부’, ‘고속도로’ 시나리오에 대해서 인적요인을 분석하였으며, 자율주행차의 도입에 따른 효과평가 방법론을 제시함
 - 이 선행연구들은 여러 가지 운영 시나리오 대해 자율주행차와 인간 운전자 간의 상호작용을 분석하여 안전 측면의 개선 요구사항을 파악함

☐ 자율주행차의 상용화를 지원하기 위한 도로 인프라의 요구사항 분석

- CATAPULT (2017)는 자율주행차의 상용화를 고려하여 도로교통 부문의 계획 및 지침을 검토하였으며, 자율주행차의 운영을 위한 도로 인프라의 요구사항을 개괄적으로 분석
- Johnson (2017)은 자율주행차의 상용화가 도로 인프라에 미치는 파급효과를 분석하고, 현재의 인프라 현황을 점검하여 개선 요구사항을 파악함
- 이 선행연구들은 자율주행차의 상용화를 위한 도로 인프라의 요구사항을 개괄적으로 분석함

2) 본 연구의 차별성

☐ 본 연구로부터 도출되는 결과의 구체성을 위해 도로부문 중에도 설계 및 계획부문에 중점을 두어 기술현황을 검토하고, 이에 따라 요구사항이 높은 과제를 도출함

- 특히 도로 설계 및 계획과 관련된 ‘이론과 모형’, ‘지침과 규정’을 중심으로 현황과 요구사항을 파악함

☐ 단기적으로 중요성이 높은 대응과제 도출을 위해 시나리오 구성 및 분석을 수행

- 자율주행 상용화에 대한 단기적인 실현 가능성이 높은 시나리오를 선정하여 이에 따른 요구사항을 파악하고, 대응과제를 도출함

표 1-1 | 선행연구와의 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명: 첨단인프라 기술발전과 국토교통분야의 과제 (자율주행 자동차를 중심으로) • 연구자(년도): 이백진 외 (2016) • 연구목적: 자율주행차 기술발전이 사람의 통행행태, 도시 및 국토공간에 미치는 영향을 파악하여 국토교통분야의 과제 도출	• 사례분석 • 이용자 설문조사 • 전문가 설문조사	• 국내외 자율주행차 기술 개발 및 정책현황 검토 • 자율주행차 기술발전에 따른 국토공간 이용의 변화 검토 • 자율주행차 기술발전을 고려한 국토교통 분야의 과제 도출
	2	• 과제명: 자율주행자동차 도입의 교통부문 파급효과와 과제 (1차년도) • 연구자(년도): 우승국 외 (2017) • 연구목적: 자율주행차의 도입에 따른 교통체계의 변화를 예측하고, 교통부문의 연구과제를 제시	• 문헌연구 • 모의실험 • 수치모형분석 • 설문조사	• 자율주행차 기술개발 및 연구 동향 • 교통체계의 변화 전망을 위한 전문가 조사 • 자율주행차 도입에 따른 교통서비스의 변화 및 교통부문 파급효과
	3	• 과제명 : 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구 • 연구자(년도): 이백진 외 (2017) • 연구목적: 자율주행차의 도입 과정에 따른 영향을 계량적으로 분석	• 문헌연구 • 모의실험 • 설문조사	• 자율주행차 기술 및 보급 전망 • 자율주행차 도입 시나리오 설정 • 자율주행차 도입의 사회적 영향 분석 (비용과 편익) • 계량분석을 기반으로 중장기 국토인프라 정책방안 마련
	4	• 과제명: Human Factors Evaluation of Level 2 and Level 3 Automated Driving Concepts • 연구자(년도): NHTSA (2014a) • 연구목적: 부분적인 자율주행에 관한 기술동향 분석 및 인적요인 관련 선행연구 검토	• 문헌연구 • 설문조사	• 차량 자동화 관련 국제적인 사례 검토 • 차량 자동화 관련 인적요인 선행연구 검토 • 차량 자동화의 기술동향 검토 • 자율주행 관련 법적 문제 검토

(표 계속)

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	5	• 과제명: AdaptIVe Deliverable D1.0 Final project results • 연구자(년도): AdaptIVe (2017) • 연구목적: 자율운전시스템의 성능을 개선하고, 인간 및 기계의 오류에 동적으로 대응할 수 있는 방안 모색	• 문헌연구 • 현장실험 • 설문조사	• 자율주행차 도입에 관한 법적 이슈 검토 • 인간과 자율주행차의 상호작용에 관한 요구사항 검토 및 실험 • 자율주행차 운영시나리오 평가
	6	• 과제명: Urban Mobility System Upgrade : How Shared Self-driving Cars Could Change City Traffic • 연구자(년도): ITF (2015b) • 연구목적: 자율주행차의 공유가 도로 교통에 미치는 영향 분석	• 문헌연구 • 모의실험	• 자율주행차의 공유에 관한 선행연구 검토 • 자율주행차의 공유에 대한 모의실험 분석
	7	• 과제명 : Future Proofing Infrastructure for Connected and Automated Vehicles • 연구자(년도): CATAPULT (2017) • 연구목적: 자율주행차의 도입으로 인한 도로 인프라의 요구사항 도출	• 문헌조사 • 설문조사	• 자율주행차의 도입으로 인한 영향 검토 • 관련 계획 및 지침 검토 • 자율주행차의 도입으로 인한 인프라의 요구사항 검토
	8	• 과제명: Readiness of the Road Network for Connected and Autonomous Vehicles • 연구자(년도): Johnson (2017) • 연구목적: 자율주행차의 상용화를 위한 도로 네트워크의 요구사항을 파악하고 정책방안을 모색	• 문헌연구 • 설문조사	• 자율주행차의 도입으로 인한 도로 인프라의 요구사항 • 자율주행차의 도입에 대한 기존 인프라의 준비상태 검토 • 자율주행차의 도입을 위한 정책방안 검토
본 연구		• 단계적으로 실험가능성이 높은 자율주행차 상용화 시나리오를 고려하여 도로설계 및 계획에 대한 대응과제 도출	• 문헌 검토 • 전문가 자문 및 의견수렴	• 자율주행차의 운영방식 및 기술동향 검토 • 자율주행차의 상용화를 고려한 도로 인프라의 요구사항 검토 • 도로설계 및 계획에 관한 대응과제 도출

4. 연구의 기대효과

1) 정책적 효과

☐ 도로 첨단화를 위한 연구과제 발굴

- 시스템 및 운영 기술개발 또는 현장실증 위주의 기존 연구개발계획에 도로 설계 및 계획 부문의 연구과제 보강
- 연구개발사업으로 추진이 적합한 과제이외에 신규 정책연구과제 발굴

☐ 도로 설계 및 계획 관련 지원 정책 및 제도 개선

- 자율주행차의 상용화가 이동성 및 안전을 증진시키는 방향으로 도로 설계 및 계획 관련 분석도구, 지침 및 제도 등 개선

2) 학술적 효과

☐ 도로 설계 및 계획에 관한 이론 및 모형 개선 요구사항 파악

- ‘차량과 도로인프라 간 상호작용’에 관한 기술동향 검토를 통해 도로 설계의 개선 요구사항 파악
- 공유 모빌리티 확대 전망 등을 고려하여 도로 계획의 개선요구사항 파악



CHAPTER 2

자율주행차의 개념 및 도입전망

- 1. 자율주행차의 개념 | 17
- 2. 자율주행차의 도입전망 | 19
- 3. 자율주행차의 기술동향 | 23
- 4. 첨단도로 인프라의 기술동향 | 28

자율주행차의 개념 및 도입전망

1. 자율주행차의 개념

1) 자율주행차의 원리

□ 자율주행차는 인간운전자의 인지, 판단 및 제어를 차량시스템이 대신 구현함

- 자율주행을 위한 단위기술로, 위성항법 및 측위기술, 주행상황 인지기술, 연산 처리 및 센서정보 퓨전기술 등이 요구됨

그림 2-1 | 자율주행 기능별 단위기술

기 능		단 위 기 술
인 지	- 위치 및 주변 교통상황 감지 - 장애물, 주변차량 등 이동상황 계측	- 위성항법 및 측위기술 .GPS, 고정밀지도, V2X 기술 등 - 주행상황 인지기술 .카메라, 레이더, 레이저스캐너 등
	↓ (위치 및 센서 융합정보 생성)	
판 단	- 주행경로 및 위험상황 판단 - 가감속, 차선변경 등 주행전략 수립	- 연산처리 및 센서정보 퓨전 기술 - 주행제어알고리즘 등 S/W 구현 기술
	↓ (가감속, 경로변경 등 제어신호 송출)	
제 어	- 엔진, 브레이크, 조향핸들 등 전자 제어를 통한 자율주행 구현 → 가감속, 차선변경 등 수행	- 첨단안전 주행제어 기술 .엔진제어(EMS, Engine Management System) .브레이크제어(ESC, Electronic Stability Control) .조향제어(MDPS, Motor Driven Power Steering)

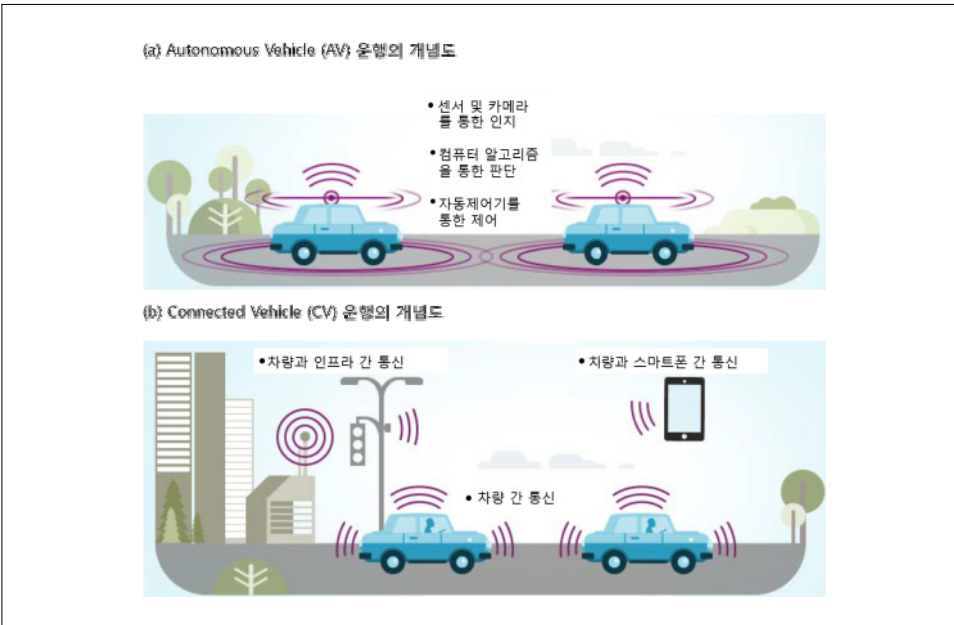
출처: 국토교통부, 2016b. 자율주행차 기술로드맵 및 R&D 정책방향 검토, p2.

2) ‘독립형 자율주행차’와 ‘협력형 자율주행차’의 개념

□ 자율주행차의 운영방식은 해당 차량과 주변 객체 (예: 차량, 인프라 등)의 협력여부에 따라 ‘독립형’과 ‘협력형’으로 구분됨

- 독립형 자율주행차 (Autonomous Vehicle: AV)는 개별적인 자율주행차의 센서 및 카메라로부터 수집되는 정보와 정밀전자지도만을 이용하여 이동함
- 협력형 자율주행차 (Connected Automated Vehicle: CAV¹⁾)는 주변 차량 및 인프라와의 통신을 통해 시·공간적으로 확장된 범위의 정보를 수집하여 이를 차량 제어에까지 활용함

그림 2-2 | ‘독립형 자율주행’ 과 ‘협력형 주행’의 개념



출처: Chong. 2016. Automated and Connected Vehicles: Status of the Technology and Key Policy Issues for Canadian Governments, p2.

1) 협력형 자율주행차(CAV)는 양방향 통신 기반의 협력주행차(Connected Vehicle, CV)와 독립형 자율주행차 (AV)의 운영방식이 접목된 형태로 볼 수 있음

□ 실시간으로 갱신되는 전자정밀지도를 도로 인프라로 간주한다면 순수한 의미의 독립형 자율주행 운행방식은 존재한다고 볼 수 없기 때문에, ‘독립형’과 ‘협력형’이라는 절대적인 구분은 어려울 수 있음

- 주변 차량 및 인프라로부터의 정보가 해당 차량의 인지·판단·제어에 어느 수준까지 개입할 수 있는가에 따라 상대적으로 어느 운영방식이 더 큰 비중을 차지하는 지에 주목하는 것이 더 의미가 있음

2. 자율주행차의 도입 전망

1) 자율주행차 도입의 기술수준과 공간적 범위에 따른 전망²⁾

□ 자율주행차의 도입 방식은 기술수준 및 공간적 범위를 기준으로 높은 단계의 자율주행을 한정된 공간에서 적용하는 Everything Somewhere (ES) 방식과 부분적인 자율주행을 광범위하게 적용하는 Something Everywhere (SE) 방식으로 구분됨

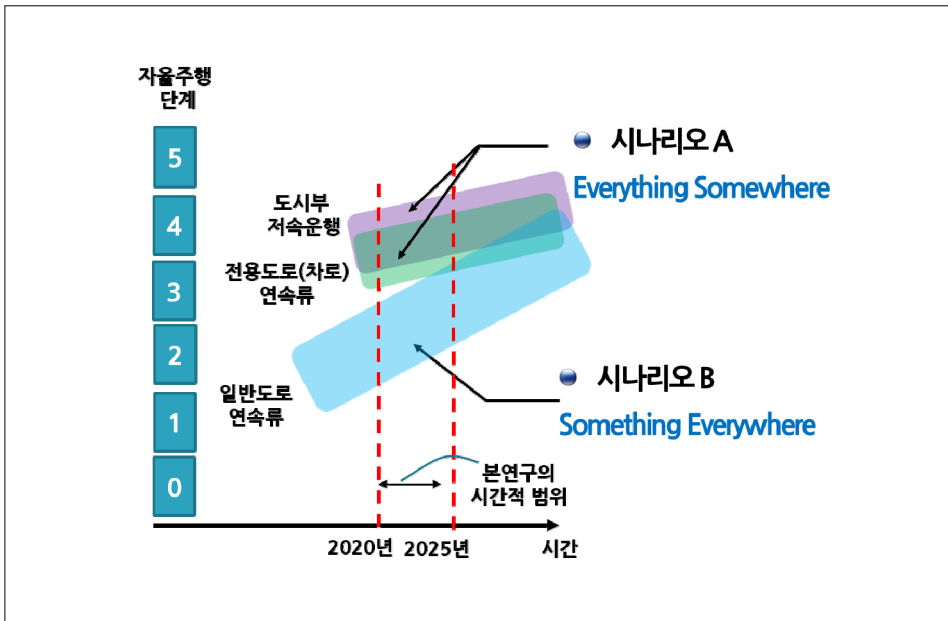
- ES 시나리오의 대표적인 예는 높은 수준의 AV를 도시부에서 특정한 경로에서 저속으로 운행하는 것임 (<그림 2-3>의 시나리오 A)
- ES시나리오는 SE 시나리오와 비교했을 때 AV를 위한 전자정밀지도의 유지 관리가 상대적으로 수월하고, CAV 인프라 구축에 대한 부담이 상대적으로 적음
- SE 시나리오 하에서는 자율주행차와 (인간 운전자가 운행하는) 일반차가 혼재하여 운영되는 방식이 일반적일 수 있음 (<그림 2-3>의 시나리오 B)
- 현재 SE 시나리오 하에서 운행되고 있는 AV 기술의 단계는 비교적 낮은 수준 (SAE 구분 기준으로 1~2단계) 이지만 향후 점진적으로 발전할 전망이다

2) ERTRAC. 2015. Automated Driving Roadmap, p6~7의 내용과 ITF. 2015a. Automated and Autonomous Driving Regulation under Uncertainty, p13~16의 내용을 재해석

□ ES와 SE에 적합한 자율주행차의 시장이 서로 다를 수 있음

- 자율주행차의 점유율이 낮은 초기 도입단계에서 ES 시나리오를 적용할 경우, ‘자율주행차를 위한 별도의 차로나 도로를 대중교통 위주로 제공하는 방식’이 사회적으로 수용성이 높을 것으로 판단됨³⁾
- 한편 SE 시나리오는 이미 첨단운전지원시스템 (Advanced Driving Assistance Systems: ADAS)를 통해 승용차 판매시장에서 현실화되었으며, 향후 대부분의 자동차 제조회사가 이 시나리오를 적용하여 기술을 개발할 가능성이 높음⁴⁾

그림 2-3 | 자율주행 도입의 기술수준 및 공간적 범위에 대한 시나리오



출처: ERTRAC. 2015. Automated Driving Roadmap, p7의 그림을 재구성

3) AV의 시장 점유율이 낮은 조건하에 고가의 AV를 구매할 수 있는 부유층을 위해서 도로 인프라 (예: 개인 승용차 위주의 자율주행 전용차로)를 제공하는 것은 형평성 측면에서 논란의 대상이 될 수 있음

4) 자동차 제조업체들은 AV의 기술발전 속도 및 이용자 수용성을 고려하여 부분적인 자율주행시스템을 패키지 형태로 차량에 장착하여 판매하는 전략을 취할 가능성이 높음

2) 자율주행차의 기술수준과 소유 방식에 따른 도입전망

□ 자율주행차의 도입 초기 단계에서는 차량 구매 비용의 부담으로 인해 자율주행차를 소유할 수 있는 구매자들은 주로 부유층에 속할 것으로 예상됨

- SE의 시나리오 하에서 CAV를 위한 도로 인프라도 미흡하다고 가정한다면 AV는 고성능의 센서 및 카메라를 장착해야 하므로 차량 가격은 높을 수밖에 없음

□ 주요 차량제조업체는 공유형 자율주행 서비스의 수요 증대를 예상하여 모빌리티 서비스 업체로의 전환을 계획함 (Web2carz 웹사이트, 2017)

- 대중교통 이용을 선호하는 통행자 중에 상당수는 고가의 자율주행차를 소유하기 보다는 카셰어링, 수요응답형 대중교통 등을 통해 이용하고자 할 것이기 때문에 자율주행 공유 서비스의 수요층이 형성될 것으로 전망됨

□ 자율주행차의 보급이 어느 정도 확대된 시점부터는 규모의 경제가 발생하여 차량 구매비용이 감소함에 따라 자율주행차를 소유할 수 있는 구매층도 확대될 수 있음

- 차량의 개인 소유를 선호하는 통행자들은 공유 서비스의 장점과는 무관하게 각자의 소득수준에 맞는 사양의 자율주행차를 구매하여 운행할 것으로 예상됨⁵⁾

□ 자율주행차의 기술수준과 차량 소유방식이 향후 모빌리티의 변화에 주요 요인임⁶⁾

- 자율주행차의 기술수준은 ‘인간 운전자’와 ‘차량 시스템’ 중에 누가 차량의 운행에 더 중요한 주체가 될지를 결정하는 핵심 요인 중에 하나임⁷⁾
- 공유 모빌리티의 확대를 위해서는 공유형 교통서비스에 대한 법제도적 개선이

5) 현재에도 승용차 운전을 선호하는 통행자는 자신이 주로 이용하는 경로에 대해서 비용 및 시간 면에서 상대적으로 우위에 있는 대중교통이 존재하더라도 승용차를 소유하여 운행하는 경향을 보임

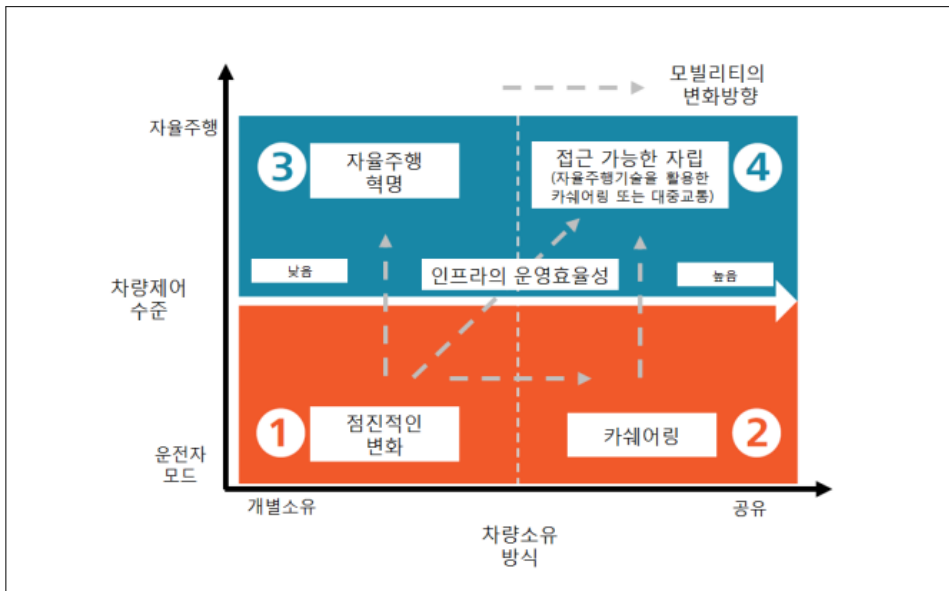
6) DUP, 2015. The Future of Mobility의 관련 내용을 재해석

7) 차량의 기술수준이외에도 법·제도, 이용자 수용성, 산업생태계 등이 차량 운행의 책임 주체를 결정하는데 영향을 미침

요구되며, 이러한 정책지원은 도로 인프라의 운영 효율성 향상을 위해 필요함

- 인간 운전자가 차량을 운행하는 공유 모빌리티 (<그림 2-4>의 오른쪽 아래, 방식 ②)의 확대는 기술보다는 정책적인 장애요인의 해결이 관건임⁸⁾
- 자율주행차의 상용화가 빠른 속도로 이루어진다면 ‘개인 소유의 자율주행차 이용’ (<그림 2-4>의 왼쪽 위, 방식 ③) 이나 ‘공유 서비스를 위한 자율주행차 이용’ (<그림 2-4>의 오른쪽 위, 방식 ④)의 비중이 빨리 증가할 수 있음
- 자율주행차의 기술 및 운영적 특성은 ‘공유 서비스를 위한 자율주행차 이용’을 확대하는 데 기회요인이 될 수 있음⁹⁾

그림 2-4 | 자율주행 도입으로 인한 모빌리티의 변화



출처: DUP. 2015. The Future of Mobility, p13의 Figure 7을 저자 재구성

8) 예를 들면, 국내에서 카셰어링 사업은 「여객자동차운수사업법」에 의하여 "자동차대여사업"으로 간주되며, 개인 차량의 대여방식인 P2P서비스는 허용되지 않음 (기승도와 이규성, 2017)

9) 예를 들면, 편도형 카셰어링에 수반되는 운영 비용 및 주차공간 확보에 관한 문제가 자율주행차의 도입으로 해결될 수 있기 때문임

3. 자율주행차의 기술동향¹⁰⁾

1) AV의 운영방식¹¹⁾

(1) 영상수집과 인공지능(AI)에 의존하는 방식 (Tesla 社)

□ 비디오 카메라¹²⁾와 레이더¹³⁾ (Radio Detection and Ranging: Radar)를 이용하여 주변 객체를 감지하고, AI를 이용하여 비디오 이미지를 해석함

- 레이더와 비교적 저해상도의 전자지도로 인한 한계를 AI로 보완하는 방식으로, 이를 위해서는 인간의 뇌에 상응하는 시각처리 능력이 요구됨
- 이 방식은 방향 벡터와 속도를 갖는 물체를 ‘움직이는 물체’로 규정하며, 참조점(landmark) 파악과 저해상도 지도를 결합하여 차량의 진행방향을 결정함

(2) 고정밀 센서와 고정밀전자지도에 의존하는 방식 (Google 社)

□ 라이더¹⁴⁾ (Light Detection and Ranging: Lidar)로 스캔한 자료와 기 구축된 고정밀전자지도를 매칭하는 방식으로 운영함

- 고정밀 지도를 사용함으로써 측위의 정확성을 높일 수 있으나, 이를 위해서는 고정밀지도의 지속적인 유지관리가 필요함
- 이 방식은 지도상에서 정적인 요소를 제거하는 방식으로 움직이는 물체를 인식하며, 고정밀지도와 라이더의 자료를 기반으로 측위를 하고, 탑승자의 목적지를 고려하여 진행 방향을 결정함

10) 제어기술은 ‘차량과 인프라 간 상호작용’에 직접적인 관련성이 적어서 본 기술동향 검토에서 제외

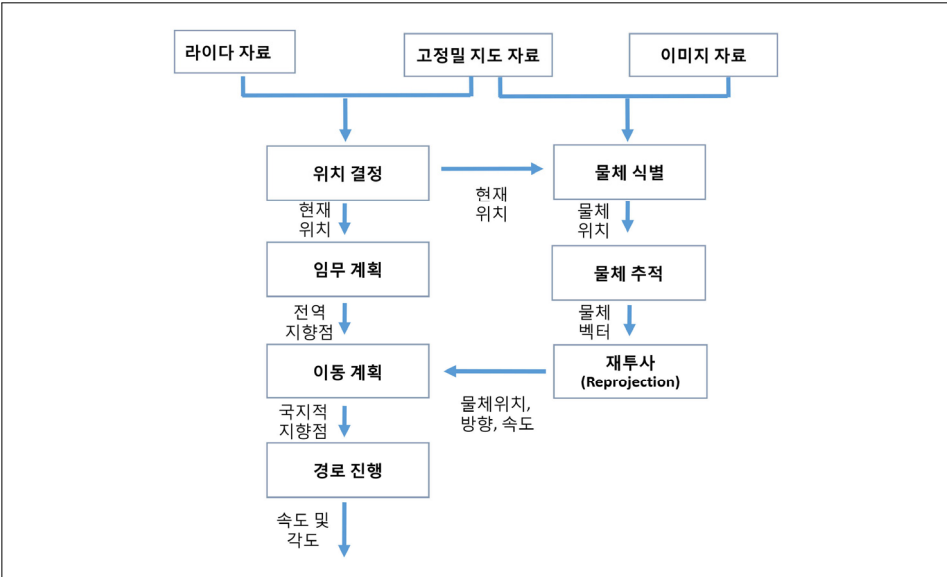
11) Bhat. 2017. Travel Modeling in an Era of Connected and Automated Transportation System: An Investigation in the Dallas-Fort Worth Area, p11-12의 내용을 요약·정리

12) 카메라는 차선, 보행자, 신호 등의 영상을 취득하는 데 사용됨

13) Radar는 전자기파를 사용하여 물체의 거리, 속도, 각도를 측정함

14) Lidar는 레이더와 비슷한 원리를 사용하나 전자기파 대신 빛을 이용하여 Radar의 사각지대까지 관측할 수 있다는 장점이 있으나 주변상황과 날씨에 민감하며 가격이 상대적으로 고가임

그림 2-5 | 라이다 기반의 소프트웨어 절차



출처: Bhat, 2017. Travel Modeling in an Era of Connected and Automated Transportation System: An Investigation in the Dallas-Fort Worth Area, p11 그림 번역

2) AV를 위한 인지 및 판단 기술의 요구사항과 한계¹⁵⁾

(1) 인지기술

□ AV를 위한 차량 센서는 아래와 같은 인지 성능이 요구됨

- 사물감지를 위해 고해상도 (범위, 수평각, 수직각 등)를 제공하며, 화각이 넓고, 업데이트 비율이 높아서 사각 지역 (blind area)이 적어야 함
- 도로표지, 신호 정보, 차선 기하구조, 도로면 마찰력 등을 인지할 수 있어야 함
- 높은 수준의 자율주행은 360° 서라운드 뷰, 3차원 정보, 높은 신뢰성, 날씨, 불빛 등에 대해 효과적으로 대응할 수 있도록 주변 감지가 가능해야함

15) NHTSA. 2014a. Human Factors Evaluation of Level 2 And Level 3 Automated Driving Concepts의 관련 내용을 요약·정리

□ 센서나 카메라는 아래와 같은 상황에서 주변 환경이나 사물의 인지에 한계가 있음

- 보행자, 자전거 이용자, 차량의 상충 가능성이 높은 비정형교차로¹⁶⁾
- 공사구간에 임시로 설치된 표지판이나 신호
- 각도에 따라 다르게 보이는 사물이 존재하거나 시설물 (예: 차선도색, 표지판)의 전체 및 일부가 누락된 경우
- 고속 주행 중에 갑작스럽게 변화되는 주변 조건이나 상황 (예: 도로 기하구조의 변화)
- 밤에 야생동물이 갑자기 나타나는 경우¹⁷⁾

(2) 판단기술

□ 자율주행차가 인간과 유사한 수준의 판단을 수행하기 위해서는 기계학습 (Machine Learning) 기반의 컴퓨터 알고리즘이 필요함

- 시스템 알고리즘은 인간 운전자와 마찬가지로 정보를 공유하고, 상호 간의 목표를 파악하여 협력할 수 있는 정도의 판단 능력을 보유할 필요가 있음

□ AV가 주변 상황을 전체적으로 이해하려면 고도의 인공지능 기술이 요구됨

- 예를 들면, 도로에 공이 굴러들어오는 것을 인지하면, 어린이가 공을 쫓아 들어올 수도 있다는 판단을 해야 함
- 또한 해커의 공격이나 아직 학습되지 않은 사물 (예: 새로 출시된 차량 등)에 대한 대응력을 보유해야 함

16) 운전자 상호간에는 눈짓이나 수신호로 서로 의사소통이 가능하나, 자율주행차의 센서로는 이러한 비정형적인 정보 수집이 어려움

17) 이 경우에 대비해서 적외선 카메라의 장착이 필요함

2) 도로의 설계와 관련된 인지기술의 현황¹⁸⁾

(1) 차선 인지기술¹⁹⁾

□ 차선인식 기술은 첨단운전자지원시스템(Advanced Driver Assistance System: ADAS)²⁰⁾에 대한 수요로 인해 빠른 속도로 발전함

- 차선인식 기술은 차로이탈경보시스템으로 대표되는 상용 솔루션이 있음
- 관련 국제표준으로 ISO 17361 (차로이탈상황을 가정한 장치 시험 방법론) 등이 규정되어 있음

□ 일반적인 차선인식 알고리즘은 ‘카메라 영상에 대한 원근 시점(Perspective view) 보정’과 ‘수직과 수평 조건을 만족하는 선(line) 탐색’의 절차를 포함함

- 차선 인식을 위한 카메라 영상은 차량 전방을 사다리꼴로 촬영하므로 세로로 평행한 두 개의 선분을 추출하기 위해 원근감 보정을 우선적으로 수행함
- 원근 시점이 보정된 영상에 대해 물리적 넓이를 적용하여 영상공간 좌표에서 물리 공간 좌표를 추출함
- 위 단계를 거쳐 세로로 평행한 선분으로 보정된 영상을 만들고 차선을 추출함
- 마지막으로 추출된 선분이 물리공간 좌표계에서 인식하는 차선폭 조건에 부합된다고 판단되면 이 선분을 차선으로 인지함

18) 전문가 의견수렴 결과, 단기적으로는 자율주행차와 일반차가 혼재된 운영이 일반적일 것이고, 이러한 환경에서는 도로 설계요소 중에 차선과 교통안전표지 등의 시인성이 특히 중요할 것으로 전망됨

19) 한국건설기술연구원·세인. 2017. 차량 인지성능 향상 지원 도로시설물, p3~19 중 관련 내용을 요약하여 정리함

20) 센서 및 카메라를 기반으로 차로 유지 등 차량 행동을 부분적으로 제어하는 기능을 수행

□ 자율주행차의 차선 인식에 영향을 미칠 수 있는 속성은 ‘차선의 윤곽과 노면의 대비’, ‘차선의 두께’, ‘차선의 색상 및 재귀반사성능²¹⁾’ 등임

- 차선은 긴 선분의 형상을 띄고 있으므로 영상에서 뚜렷하게 나타나기 위해서는 노면과 차선 간의 대비가 명확해야함
- 영상센서 관점에서 중앙선이나 길가장자리 구역선에 사용되는 차선의 굵기보다 얇거나 두꺼운 선분이 추출되는 경우 차선과 분간이 어려움
- 영상에서 차선이 뚜렷하게 인지되기 위해서는 노면의 색상과 대비를 용이하도록 하는 차선 재료의 재귀반사성능도 중요함

(2) 교통안전표지 인지기술²²⁾

□ AV는 영상센서를 통해 교통안전시설 표지를 인식함²³⁾

- 표지에 대한 인지를 차선의 경우와 비교해보면, 해당 솔루션이 상대적으로 제한된 범위에서 상용화되었고, 시험평가와 관련된 국제표준도 아직 부재함

□ 표지의 인식 알고리즘은 차선의 경우와는 달리 원근감 보정을 수행하지 않음²⁴⁾

- 알고리즘의 첫 단계는 영상 왜곡을 보정하는 과정으로 교통안전표지가 가진 고유한 모양에 해당하는 대상을 영상에서 검색할 때 정확도를 높이기 위해 수행됨
- 두 번째 단계로 교통안전시설을 나타내는 도형 프레임 내에 기호를 구별하기 위해 삼각형, 원형, 사각형 등의 프레임을 검지함

21) 입사한 광선을 광원으로 되돌려 보내는 반사 성능

22) 한국건설기술연구원·세인.2017.차량 인지성능 향상 지원 도로시설물의 p3~19 중 관련 내용을 요약하여 정리함

23) AV가 전자정밀지도를 사용하고, 이 지도가 표지정보를 포함하고 있다면, AV는 표지를 영상센서가 아닌 디지털 신호를 통해 직접 인식할 수 있음

24) 노면에 마킹된 기호 인식의 경우 차선인식과 동일하게 원근감 보정을 수행하나 물리공간 좌표계로 변화하는 과정은 수행하지 않음

-
- 마지막으로 프레임 내의 기호를 추출하는 과정을 수행하며, 문자 (기호) 추출을 위해서는 Fuzzy, Neural Network 등 다양한 학습기를 상황 및 조건에 맞춰 적용

□ **교통안전표지 인식에 영향을 미칠 수 있는 요인은 연산시간과 외부환경임**

- 교통안전시설 인식을 위해 영상처리가 실시간으로 수행되어야 하므로 왜곡보정, 프레임 추출, 기호 추출 과정의 연산부하를 최소화하는 방법론이 필요함
- 외부환경 (악천후, 음영 등) 에 따라 입력 영상의 품질이 저하될 수 있음

4. 첨단도로인프라의 기술동향

1) 전자정밀지도

□ **전자정밀지도는 관점에 따라 차량기술로 간주될 수도 있지만, 본 연구에서는 도로 인프라의 하나로 규정함**

- 전자정밀지도를 위해 이용되는 대부분의 정보가 개별 차량의 외부에서 유입되며 해당 정보의 수집, 가공 및 제공에 있어 도로관리기관이 담당하는 역할 (데이터 베이스 시스템의 구축·운영, 정보 공유 등)이 중요하다는 것을 고려함

□ **국립지리원은 2017년 5월 ‘정밀지도 구축 기본 계획’을 발표하면서 2020년 초까지 고속도로 구간 5,500km와 2단계 일반도로 21,000km 구간에 대한 실제 데이터 구축을 계획 중임 (하상태, 2017)**

표 2-1 | 정밀지도 구축항목

목록	구분인자	선정 항목
차선표시	(1) 규제선	① 중앙선, ② 유턴구역선, ③ 차선, ④ 버스전용차선, ⑤ 진로변경제한선, ⑥ 가변차선
	(2) 도로경계선	① 길가장자리 구역선, ② 주차금지 표시선, ③ 정차주차금지 표시선
	(3) 정지선	① 정지선
	(4) 차로중심선	① 차로중심선
도로시설	(1) 중앙분리대	① 중앙분리대, ② 무단횡단 방지시설, ③ 중앙분리대 개구부
	(2) 터널	① 터널
	(3) 교량	① 교량
	(4) 지하도로	① 지하도로
표지시설	(1) 교통안전표지	① 주의표지 10종, ② 규제표지 27종, ③ 지시표지 23종
	(2) 노면표지	① 정차금지대, ② 유도선, ③ 유도면, ④ 진행방향 표시, ⑤ 차로변경 표시, ⑥ 오르막 경사면, ⑦ 횡단보도, ⑧ 자전거 횡단도
	(3) 신호기	① 신호기

출처: 국토교통부. 2016c. ‘정밀도로지도’ 자율주행차 상용화 앞당긴다 (보도자료), p5

□ 전자정밀지도는 도로 및 주변 환경을 3차원으로 구현한 지도로 기존 지도보다 10배 이상 정확하며 지형의 고저, 곡률 등 상세한 도로환경 정보를 제공함 (KTB 투자증권, 2017)

표 2-2 | 수치지형도와 전자정밀지도 차이

구분	수치지형도	전자정밀지도
지도		
방법	항공사진 측량	Mobile Mapping System (MMS)
용도	국토·도시관리, 건설·토목, 행정, 인터넷 지도, 내비지도 등	자율주행차 연구·개발 및 상용화, 도로관리, 정밀 내비지도 개발 등
특징	2차원 전자지도	3차원 전자지도
정확도	(1/5천) 평면: $\pm 3.5\text{m}/\text{수직}$ $\pm 1.67\text{m}$ (1/1천) 평면: $\pm 0.7\text{m}/\text{수직}$ $\pm 0.33\text{m}$	평면: $\pm 0.25\text{m}/\text{수직}$ $\pm 0.25\text{m}$
자율주행차 지원 정보	차선: x 차로 중심선 : x 규제선 : x 도로경계 : O 도로중심선 : △ 교통표지: △ (도심지, 위치정보) 노면표지: x	차선: O 차로 중심선 : O 규제선 : O 도로경계 : O 도로중심선 : △ (필요시) 교통표지: O (위치, 속성정보) 노면표지: O (위치, 속성정보)

출처: 국토교통부.2016c. ‘정밀도로지도’ 자율주행차 상용화 앞당긴다 (보도자료), p6

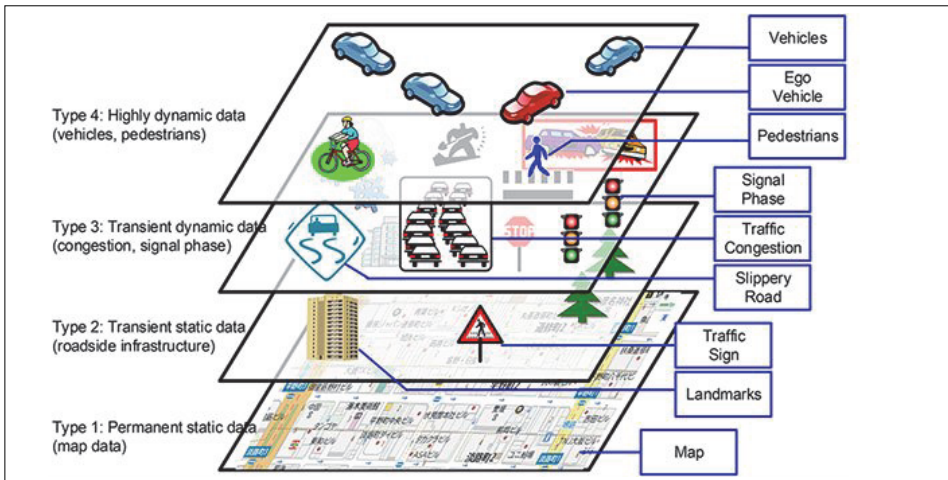
☐ AV를 위한 센서의 기술적 한계를 보완하고 신뢰성을 높이기 위해 아래의 용도로 전자정밀지도가 사용됨

- 자율주행차의 인지 오류 감소
- 자율주행차의 인공지능 학습능력 향상
- 실시간 분석 데이터 용량 감소
- 친환경성 향상 및 배터리 효율관리 지원
- 정적 및 동적 정보 제공 지원

□ AV를 위한 전자정밀지도는 <그림 2-6>과 같이 정적 정보와 동적 정보로 구성되며 후자의 경우가 실시간 갱신 요구사항이 전자보다 높음

- 동적 정보의 제공을 위해 정보의 가공·처리·전달에 관한 기술적인 장애요인뿐만 아니라 정보의 수집·유지관리를 담당하는 기관 간의 협력을 위한 제도적 장애요인이 해결되어야 함

그림 2-6 | 전자정밀지도의 구성요소



자료: Shimada의. 2015. Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems, p.103

□ AV를 위한 전자정밀지도는 고정밀 센서를 장착한 차량을 통해 구축 및 유지관리 됨

- 정보통신업체인 구글 (Google)과 지도업체인 히어 (Here)는 Lidar 등 고정밀 센서를 장착한 차량을 통해 수집한 정보를 토대로 전자정밀지도를 구축함
- 국내 업체는 SK텔레콤이 엔비디아 (Nvidia)와의 기술제휴를 통해 동적 주행 환경 정보의 실시간 갱신을 추진하고 있으며, 현대엠엔소프트는 국내 최초로 MMS (Mobile Mapping System)이 장착된 차량으로 맵을 구축 및 유지관리하고 있음 (미래에셋대우, 2017)

□ 정밀지도의 실시간 정보 갱신을 위해서는 ‘자료의 간략화 및 압축을 위한 기술’과 더불어 ‘클라우드 연계 플랫폼 방식’이 사용됨

- 모빌아이 (Mobileye)는 전방 카메라를 장착한 차량이 주행 중 수집한 고용량 데이터 (1Km 당 1KB 수준)를 압축하여 클라우드 서버로 전송하여 지도를 갱신하는 방식을 사용함 (Autoweek 웹사이트, 2018)

2) 차량과 주변 객체 간 통신 기술 (V2X)

□ V2X 기술은 차량, 인프라 및 기타 통신장비 간의 양방향 통신을 가능하게 하여 다양한 서비스를 제공하는 데 활용될 수 있음

- 예를 들면, V2V (차량 간 통신)을 활용하여 교차로에서의 이동을 지원하거나 V2I (차량과 인프라 간 통신)을 통해 특정 지점의 기상정보를 제공할 수 있음

표 2-3 | V2V 및 V2I 안전 애플리케이션(예시)

구분	애플리케이션	개념
V2V	교차로에서의 이동지원	• 대상차량이 교차로에서 다른 차량과 충돌할 확률이 큰 경우에 교차로에 진입할 시점에서 운전자에게 경고 제공
	좌회전 지원	• 대상차량이 교차로에 진입할 때 반대편 쪽에서 차량이 접근해오는 경우 좌회전 금지 경고 제공
	긴급 전자 제동등	• 대상차량의 전방에 있으나 바로 앞은 아닌 곳에 위치한 V2V장착 차량이 급감속한 경우, 제동등 (brake light)을 통해 대상차량의 운전자에게 경고를 제공
V2I	지점 기상 정보 경고	• 독립적인 기상 시스템을 사용하여 운전자에게 악천후에 관한 경고 제공
	초과규격 차량 경고	• 터널, 교량 등 시야확보가 어려운 구간에 근접했을 때 초과 규격 차량이 존재하면, 운전자에게 경고
	감속 구간 경고	• 감속구간 (예: 학교 구간, 작업구간 등)에서의 속도제한 및 기하구조 변화를 감안하여 대상 차량의 속도가 높을 때 해당 운전자에게 경고

출처: 김광호. 2017. 제4차 산업혁명으로 인한 교통 운영·관리의 변화, p39의 표를 재구성

□ 개별 차량은 차량용 인터넷 (Vehicular Ad-hoc NETwork: VANET)을 통해 기본 안전메시지(Basic Safety Message: BSM²⁵)를 전송함 (Bhat, 2017)

- BSM을 전송함으로써 V2X 통신이 가능하며, 그 표준은 SAE에 의해 수립됨

□ V2X기반의 교통서비스를 위해 이용될 수 있는 통신방식은 근거리 전용통신 (Dedicated Short-Range Communication: DSRC)과 셀룰러 통신이 있음

- DSRC는 통신 지연이 거의 없으므로 안전에 민감한 서비스를 위해 적합한 반면에 주파수 대역수가 한정되어 있고, 자료 전송량에 한계가 있음
- 최근에 개발된 5G 셀룰러 통신²⁶)은 안정적이고, 비교적 낮은 통신지연을 보이며, 고용량의 자료 전송이 가능하여 클라우드 기반으로 전자정밀지도를 갱신하는 데 활용될 수 있음 (Bhat, 2017)

□ CAV를 위해서 주변 차량 및 인프라로부터 전달되는 정보는 CV보다 더 높은 수준의 품질관리를 요구함²⁷)

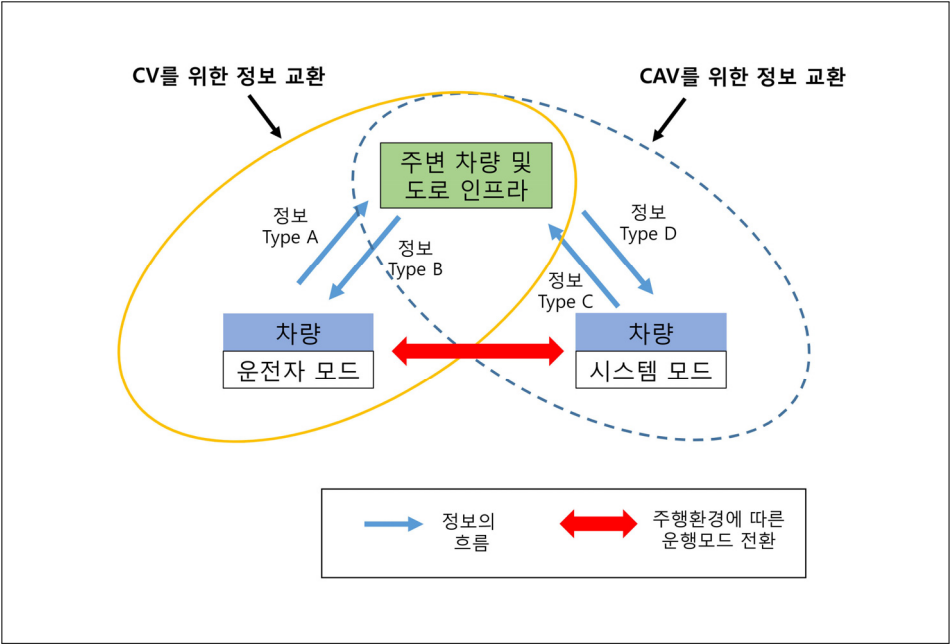
- CV를 위해서 주변 차량 및 인프라로부터 전달되는 정보(<그림 2-7>의 Type B)는 인간 운전자가 인지 및 판단하여 차량 제어에 활용할지를 결정함
- CAV를 위해서 주변 차량 및 인프라로부터 전달되는 정보(<그림 2-7>의 Type D)는 차량 시스템이 인지 및 판단하여 차량 제어에 활용할지를 결정함
- 차량시스템을 통한 인지·제어·판단은 인간 운전자의 경우보다 외부로부터 전달되는 정보의 전송지연이나 오류에 더 취약할 수 있기 때문에 CAV에 제공되는 정보의 품질관리는 CV에 비해 더 높은 유지관리 비용을 요구함

25) SAE는 CV를 위한 BSM 표준을 수립함 (NHTSA, 2014b)

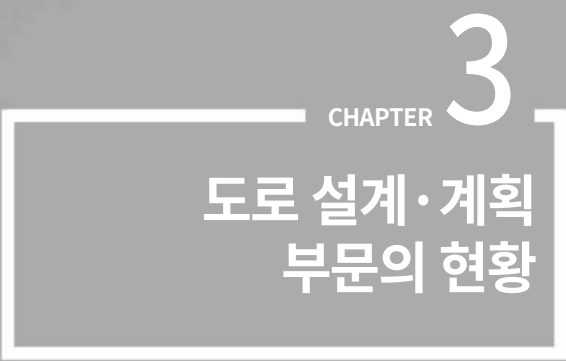
26) 이 통신방식은 기존의 통신 네트워크에서도 작동할 수 있어서 비용 측면에서도 장점이 있음

27) 김광호 외. 2016. 자율주행시대를 대비한 첨단도로인프라의 전략적 관리 방안 연구, p27-28의 내용을 재해석

그림 2-7 | CV와 CAV를 위한 정보교환의 차이



출처: 김광호 외. 2016. 자율주행시대를 대비한 첨단도로인프라의 전략적 관리 방안 연구, p27의 그림을 재구성



CHAPTER 3

도로 설계·계획 부문의 현황

- 1. 도로 설계·계획에 관한 이론 및 모형 현황 | 37
- 2. 도로 설계·계획에 관한 규정 및 지침 현황 | 41
- 3. 도로 설계·계획 부문의 요구사항 | 44

도로 설계·계획 부문의 현황

1. 도로 설계·계획에 관한 이론 및 모형 현황

1) 거시 교통류 모형(Macroscopic Traffic Flow Model)

□ 거시 교통류 모형은 개별 차량의 거동을 모사하기 보다는 교통류 전체의 상태 변화를 모사함¹⁾

- Lighthill and Whitham (1955)과 Richards (1956)가 정립한 이론²⁾은 교통류의 연속성을 가정하여 Kinematic-Wave 모형을 개발함
- Newell (1993)은 LWR 모형의 한계³⁾를 보완하여 삼각형 형태의 교통량과 밀도의 관계식에 기반을 둔 거시 교통류 모형을 제안함
- Daganzo (1995)는 시뮬레이션을 위한 거시 교통류 모형인 Cell Transmission Model을 구축함

□ 거시 교통류 모형은 교통류의 전반적인 상태변화를 모니터링하기에는 적합하나 자율 주행차의 운행 특성이나 교통 운영 전략을 반영하는 데 한계가 있음 (US.DOT, 2016)

1) 예를 들면, 편미분 방정식을 통해 교통밀도와 교통량의 관계를 규정하며, 이 관계는 거시 교통류 시뮬레이션에 활용될 수도 있음

2) 통상적으로 LWR 이론이라고 부름

3) 현실에서는 어떤 도로 구간이 최대 점유율을 보인 이후에도 교통량이 그 구간에 전달될 수 있는데 LWR 모형은 이러한 교통류 특성을 모사하지 못함 (Daganzo, 1995)

-
- LWR 이론 및 Newell의 모형은 병목구간에서 발생하는 대기행렬의 증가와 감소 현상을 잘 모사함
 - 거시 교통류 모형은 V2X 기반의 운영전략을 평가하기 위해 개발되지 않았기 때문에 CV나 CAV의 운영효과를 평가하는데 한계가 있음

2) 미시 교통류 모형(Microscopic Traffic Flow Model)

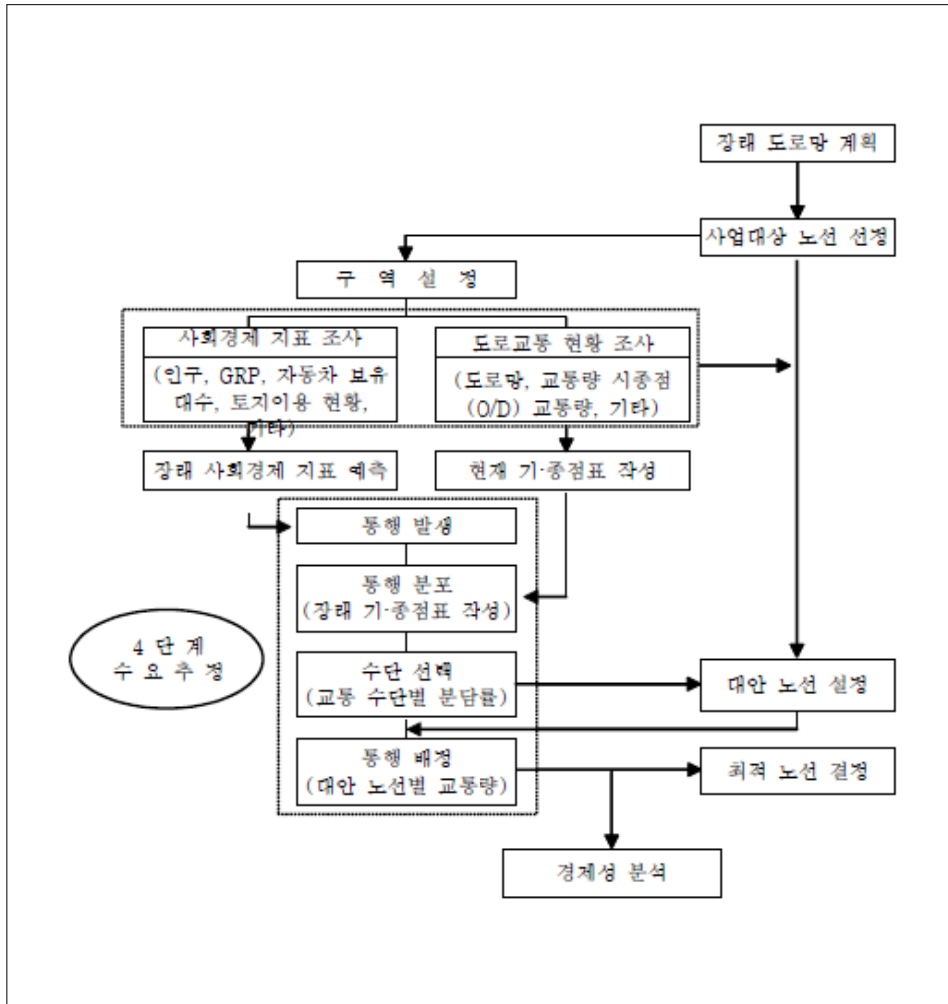
- ☐ 미시 교통류 모형은 개별 차량의 차량 추종 (car-following), 차로 변경 (lane-changing) 등의 세부 모형을 통해 운전자 행태 및 차량 궤적을 모사함 (US. DOT, 2016)
 - 차량 추종모형은 운전자가 전방의 차량에 어떻게 반응하여 차량을 운행하는 지를 모사함
 - 차로변경의 의사결정은 여러 가지 목적에 좌우되기 때문에 차량추종에 비해 더 복잡할 수 있으며, Gipps (1986)는 이러한 의사결정 과정을 순서도로 표현함
- ☐ 미시 교통류 모형은 거시 모형에 비해 개별차량의 특성을 반영하고, 여러 가지 교통 운영전략을 실험하기에 용이하여 자율주행차의 운영을 검증하는 데 더 적합함
 - 미시 교통류 모형은 차량 제원 (차량길이 및 폭, 가속속 성능 등)의 값을 파라미터로 설정하여 실험할 수 있도록 함
 - 미시 교통류 모형은 상세한 도로 네트워크를 분석할 수 있고, 램프 미터링, 교통 신호와 같은 교통 관리 전략을 모사할 수 있음 (US. DOT., 2016)

3) 교통수요예측 모형

- ☐ 교통수요예측 모형은 현재의 조건, 인구 예측, 고용 추세 등에 근거하여 장래의 교통 수요를 추정함

- 국내에서 「도로설계기준」, 「교통시설투자평가지침」 등의 지침은 도로계획을 위한 교통수요예측에 ‘통행발생-통행분포-수단분담-통행배정’의 절차로 이루어진 4단계 모형을 적용하도록 규정함 (<그림 3-1> 참조)

그림 3-1 | 도로계획을 위한 교통수요예측 모형



출처: 국토교통부, 2016a. 도로설계기준, p 2-11.

□ 최근에는 자율주행 기반의 교통 서비스에 대한 효과를 평가하기 위해 교통수요모형을 활용하는 사례가 있음 (Berrada and Leurent, 2017)

- 4단계 예측모형의 세부 모듈을 개선하거나 활동기반 모형⁴⁾(activity-based model)을 교통 모의실험과 결합한 선행연구가 존재함

3) 행위자 기반 모형⁵⁾ (agent-based model)

□ 행위자 기반 모형은 행위자가 실시간 정보에 따라 반응하거나 행동하는 것을 모사할 수 있으므로 자율주행차의 운영을 모사하는 데 적합함 (Berrada and Leurent, 2017)

- 특히 자율주행 기반의 공유 서비스 (Shared Autonomous Vehicles: SAV)의 효과를 평가하기 위해 행위자 기반 모형을 활용한 사례가 있음 (<표 3-1 > 참조)

표 3-1 | SAV의 효과를 평가하기 위한 행위자 기반 모형 적용 사례

저자 및 연도	주요 내용
ITF (2015b)	· 리스본의 네트워크를 대상으로 SAV의 운영을 모의실험 · 규칙 기반(rule-based)의 교통수단 선택 절차를 사용함 · 승객 탑승용량에 따라 3종류의 차량을 고려함
Fagnant and Kockelman (2014)	· 텍사스 오스틴의 네트워크를 대상으로 SAV의 운영을 모의실험 · 도시를 여러 교통존으로 구분하고 통행 발생에 대해 포아송 분포 가정 · 전체 모형은 ‘SAV 위치 및 통행 배정’, ‘SAV 차량 생성’, ‘SAV 이동’, ‘SAV 재배치’에 대한 모듈로 구성됨
Levin 외 (2016)	· SAV를 위한 이벤트 기반 분석틀을 개발하여 모든 차량이 SAV라는 가정 하에 교통 모의실험을 수행 · 주차 용량이 무한대라고 가정하고, 차량 배정은 선착순 규칙을 따른다고 가정함
Yu 외 (2017)	· 싱가포르의 분석 지역을 대상으로 수요 응답형 SAV를 밀도가 낮은 버스의 대체 수단으로 활용하기 위한 전략을 평가 · 서비스 이용자, 자율주행차 운전자 등 주요 주체별로 평가기준 적용

출처: Berrada and Leurent. 2017. Modeling Transportation Systems Involving Autonomous Vehicles: A State of the Art. p 216-217의 해당내용을 발췌하여 요약·정리

4) 활동기반 모형은 통행을 일상 활동으로 부터 파생된다고 간주하여 개인의 일상 활동을 가급적 상세히 반영하는 교통계획 방법론임 (이백진 외, 2013)

5) 행위자 기반 모형은 “독립적인 객체들의 행동 및 상호작용을 가상적으로 재현하여 시스템 전체의 효과를 평가위한 방법론임” (FHWA, 2013)

2. 도로 설계·계획에 관한 규정 및 지침 현황

1) 도로용량편람

□ 도로용량편람은 “총 13개 도로시설 유형별로 용량⁶⁾ 또는 서비스 수준⁷⁾에 대한 분석 방법을 제시함”(국토교통부, 2013)

- 용량을 분석하는 목적은 “도로의 운행상태를 평가하여 기존 도로의 개선방안을 세우거나, 도로 계획시에 도로시설의 적정 규모를 결정하는 데 있음”(국토교통부, 2013)
- 서비스 분석의 목적은 “주어진 도로가 그 기능을 충분히 발휘하고 있는지의 여부를 평가한 후 일정한 서비스 수준을 유지할 수 있도록 여러 가지 대안을 마련하는 데 있음”(국토교통부, 2013)

□ 도로용량편람에서 사용되는 방법론은 결정적·분석적 모형에 기반하고 있으며 정적인 교통 조건 (stationary traffic conditions)을 가정함 (US. DOT., 2016)

- 도로용량편람은 결정적이고, 집계적인 성능 지표를 도출하기 위해 활용되며, 개별적인 교통시설의 운영 상태를 평가하는 데 적합하나 시스템 전체의 효과분석에는 한계가 있음
- 도로용량편람의 용량은 해당시설의 기준용량에 교통 및 기하구조에 관한 조건에 상응하는 보정계수를 곱해서 산정함

6) 용량은 “주어진 도로 조건에서 최대로 관측할 수 있는, 15분 동안의 승용차 교통량을 1시간 단위로 환산한 값임”(국토교통부, 2013)

7) 서비스 수준은 “도로를 이용하는 차량의 운행상태의 질을 나타내는 기준임”(국토교통부, 2013)

2) 도로설계 기준

□ 도로 설계기준은 “도로의 신설, 개량 및 확장을 위하여 실시하는 계획, 조사 및 설계에 적용되며” (국토교통부, 2016), 인간이 운전하는 차량만을 고려하여 수립됨

- 도로 설계기준에서 ‘설계기준자동차’는 도로의 구분에 따라 결정되며, 설계기준 자동차별로 폭, 높이, 길이, 축간거리, 앞내민 길이, 뒷내민 길이, 최소회전 반지름을 제원 항목으로 사용함
- 도로 설계기준의 서비스 수준별 교통류의 상태를 결정하는 요인 중에 하나로 ‘운전자의 안락감’이 있는데, ‘인간 운전자가 직접 운전하는 경우’와 ‘자율주행 모드의 경우’에서 경험되는 안락감이 상호 차이가 날 수 있음을 고려하지 않음

□ 현행 도로설계기준 상에 자율주행차를 위한 전용도로 (또는 전용차로)에 대한 설계 규정이 존재하지 않음

- 도로 설계기준에서 특정교통수단의 분리에 관한 항목으로 ‘간선급행버스체계’나 ‘버스전용차로’, ‘자전거도로’의 분리를 언급하고 있으나 자율주행차의 운영을 위한 시설 분리는 고려하지 않음
- ‘간선급행버스체계 전용차로’, ‘자전거 도로’를 위한 차로 폭의 범위를 규정하고 있으나 자율주행차의 운영을 위한 차로 폭은 다루지 않음

□ 현재 도로 설계기준은 ‘인간과 도로 인프라간 상호작용’만을 다루고 자율주행차가 인간 운전자 대신 도로 인프라와 상호작용하게 되는 상황을 다루지 않음

- 자율주행차가 인간 운전자와는 시인성 측면에서 다른 특성을 보이게 될 경우 발생할 수 있는 교통안전 상의 영향 및 문제점에 대한 고려가 미흡함
- 인간 운전자의 시인성을 고려한 설계요소는 <표 3-2>에서 제시한 바와 같이 설계 구간, 선형 설계 등 여러 항목들에 대해 제시되어 있으나, 자율주행차가 인간 운전자의 인지·판단을 대체할 경우, 해당 설계요소의 변경이 필요한지, 변경이 필요하다면, 어떤 방식으로 변경이 되어야 하는지가 제시되어 있지 않음

표 3-2 | 도로설계기준에 포함된 ‘인간과 도로 인프라 간 상호작용’에 관한 내용 (예시)

항목	‘인간과 도로 인프라 간 상호작용’에 관한 내용
설계 구간	“... 도로의 설계구간은...도로의 주요 시설물 사이의 구간으로 하되 해당 구간의 기하구조 등의 변화에 대한 정보를 제공하여 충분한 거리를 두고 운전자의 사전 인지가 가능하도록 주의를 기울여야 함”(p 2-9)
선형 설계	“... 도로의 선형 설계할 때에는... 각 선형 요소를 적절한 길이 및 크기로 일관성 있게 계획하여 주행에 무리가 없도록.... 운전자의 일반적 성향에서 생기는 위험에 대하여 배려하여야 한다.”(p 3-17)
시거	“정지시거는 운전자가 같은 차로 상에 있는 고장차 등의 장애물 또는 위험 요소를 알아차리고...” (p 3-24) “교차로가 신호로 통제되지 않는 경우 일시정지 표지를 인정한 운전자가 브레이크를 밟기까지의 시간은 2.0초로 보며...” (p 3-50) “교차로를 통행하는 운전자들은 교차로에서 벌어지는 상황을 파악하여 대처할 수 있도록 최소 정지시거가 확보되어야 하며...” (p 3-50)
도류시설물	“교통섬은 운전자의 시선을 끌기에 충분한 크기여야 하며, 폭 등의 최소 규정치를 만족하지 못할 경우에는 노면표시를 사용한다.” (p 3-55)
안전시설	“교통섬은 운전자의 시선을 끌기에 충분한 크기여야 하며, 폭 등의 최소 규정치를 만족하지 못할 경우에는 노면표시를 사용한다.” (p 3-55) “횡단보도는 운전자가 식별하기 쉬운 위치에 설치한다.” (p 3-55)
회전교차로 설계	“회전교차로 내 어느 위치에서도 운전자가 동일한 주행조건을 가질 수 있도록...” (p 3-61)
인터체인지의 설계	“인터체인지를 설계할 때...육교 직후에 설치되어 유출연결로가 가려져 있는 경우에는...운전자의 시선을 방해하지 않도록 한다.” (p 3-69) “유출 연결로의 접속부는 본선을 통행하는 운전자가 적어도 500m 전방에서 변이구간 시작점을 인식할 수 있도록 한다.” (p 3-71) “유입부에서의 합류각을 작게 하여 운전자가 자연스러운 궤적으로 본선에 진입할 수 있도록 한다.” (p 3-71) “...연결로의 분기단의 거리를 가깝게 설치하면, 운전자가 진행하여야 할 방향을 판단하는 시간이나 표지판 설치를 위한 최소 간격의 부족으로 혼란이 생겨서...” (p 3-73)
시선유도시설	“시선유도표지는 주·야간에 직선 및 곡선부에서 운전자에게 전방의 도로선형이나 기하구조 조건이 변화되는 상황을...안내해 줌...” (p 9-4) “갈매기표지는 평면곡선반지름이 작은 구간 등 시거가 불량한 장소에서... 운전자가 도로의 선형 및 굴곡 정도를 명확히 알 수 있도록...” (p 9-4) “표지병은 도로상에 설치된 노면표시의 선형을 보완하여 야간 및 악천후 때 운전자의 시선을 명확히 유도하여...” (p 9-6)
도로조명시설	“교차로, 도로 합·분류 구간에서의 조명기구 설치에 이곳에 접근하는 차량의 운전자가 도로 선형, 전방의 교통조건, 인접차량의 유무 등을 쉽게 인지할 수 있도록 한다.” (p 9-9) “주·야간에 터널 내에서의 운전자에게 충분한 시거, 인지성을 제공하기 위하여...” (p 9-9)

출처: 국토교통부, 2016. 도로설계기준의 내용에서 관련내용을 부분 발췌

3) 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙

□ 현재의 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」 (국토교통부, 2015)에 제시된 기준은 자율주행차의 상용화를 고려하지 않고 있음

- 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙은 “도로를 신설 또는 개량하거나 자동차 전용도로를 지정하고 고속도로 휴게시설 등에 도로안전시설을 설치하는 경우 그 도로의 구조 및 시설에 적용되는 최소한의 기준을 규정함” (국토교통부, 2015)
- 제2조(정의)에서 자율주행차에 대한 정의가 빠져있고, “정지시거”에 대한 정의가 인간 운전자만을 고려하여 규정됨
- 제3조(도로의 구분)에서도 도로는 ‘고속도로’와 ‘일반도로’로 크게 구분되고, ‘일반도로’는 기능에 따라 ‘주간선도로’, ‘보조간선도로’, ‘집산도로’, ‘국지도로’로 구분되어서 자율주행차의 존재 여부가 도로의 구분을 위한 고려사항에 포함되지 않음
- 제4조(도로의 출입 등의 기준)도 ‘자율주행차 운행 가능 구간’에 대한 사항을 별도로 규정하지 않음
- 그 밖에 ‘도로 구분에 따른 설계속도’, ‘차로의 최소 폭’, ‘차로의 분리’와 같은 세부적인 설계 기준이 자율주행차의 운영을 고려하지 않고 정립됨

3. 도로 설계·계획 부문의 요구사항

1) 이론 및 모형 개선 요구사항

□ 기존의 교통 모의실험 모형은 CAV의 운영을 평가하는 데 다음과 같은 근본적인 한계가 있음 (U.S. DOT., 2016)

- 기존의 모형은 자율주행차의 운영에 관한 다양한 시나리오 (장비고장, 통신지연 등) 및 V2X 기반의 서비스 알고리즘을 구현하는 데 한계가 있음
- 기존의 차량추종 또는 차로변경에 관한 알고리즘이 인간 운전자의 행태를 모사하기 위해 개발되어서 다양한 기술수준의 자율주행차가 어떻게 거동하는지를 모사하는 데 한계가 있음
- 자율주행 모드와 인간운전 모드 간 전환 중에 발생할 수 있는 인적 요인(human factor)을 모사할 수 없음
- V2X 서비스에 대한 운전자의 인지반응, 수용성 등을 모사하는 데 한계가 있음

□ **미시 교통류 모형을 구성하는 기존의 알고리즘을 수정·보완할 필요가 있으며, 알고리즘의 변경이 없는 경우라도 파라미터의 값에 대한 재검토 및 수정이 요구됨**

- 자율주행차의 도입으로 인해 변화되는 교통관리 전략을 미시 교통류 모형에 반영하고, 자율주행 실증 분석으로 축적된 운영 자료를 사용하여 기존의 파라미터를 재추정할 필요가 있음 (US. DOT., 2016)

□ **자율주행차의 상용화로 인한 교통류의 거시적 거동을 파악하기 위해서는 교통류 변수에 대한 경험적 모형 (empirical model) 구축이 필요함**

- 자율주행차와 인간 운전자 차량과의 혼재 운영 상황에서 교통류 변수 간의 관계를 관측 자료를 통해 파악해야 하나, 이를 위한 자료 수집은 자율주행차의 시장 점유율이 일정 수준 (예: 10~20%) 에 도달한 시점에서 가능할 것으로 판단됨

□ **현행 도로계획에 자율주행차의 운영을 효과적으로 반영하기 위해서는 기존의 4단계 모형을 구성하는 알고리즘 자체의 개선과 더불어 4단계 모형과 타 모형과의 연계를 통한 분석이 요구됨**

- 예를 들면, 행위자 기반 모형으로 SAV의 효과를 산정하여 이를 4단계 모형의 ‘통행발생’ 모듈에 반영함

2) 지침 및 제도 개선 요구사항

☐ 자율주행차의 기술수준 및 상용화 단계를 반영하여 「도로용량편람」에 대한 보정계수 수정이 필요함

- 보정계수 중에서는 인간 운전 차량의 운행특성을 전제로 산정된 값이 있다는 것을 감안하여, 해당 구간에 고규격 (예: 자동화 단계 3이상) 자율주행차의 점유 비율이 일정 수준 (예: 10%) 이상이 되면, 자율주행차의 운행 특성을 고려한 보정계수 적용이 요구됨

☐ 현행 「도로설계기준」이나 「도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙」에는 인간의 시인성을 기준으로 설정된 설계 요소들이 다수 존재한다는 것을 감안하여, 자율주행차의 인지 및 판단 기술을 고려하여 기존의 시인성 관련 사항을 수정·보완해야 함

- 예를 들면, 자율주행차가 수행하는 인지 및 판단의 정확도가 인간 운전자의 경우에 비해 떨어지도록 하는 설계요소가 존재한다면, 이에 대응하여 수동 운전 모드로 전환을 권고하거나 설계요소 자체의 개선을 의무화하는 규정이 요구됨

4

CHAPTER

자율주행차의 상용화를 고려한 대응과제 도출

1. 대응과제 도출의 개요 | 49

2. 자율주행차 상용화의 시나리오 | 51

3. 주요 시나리오별 요구사항 | 56

4. 도로 설계 및 계획 부문의 대응과제 도출 | 61

자율주행차의 상용화를 고려한 대응과제 도출

1. 대응과제 도출의 개요

□ 본 장에서는 자율주행차의 상용화를 고려하여 도로 설계 및 계획 부문에서 단기적으로 필요한 대응과제를 도출함

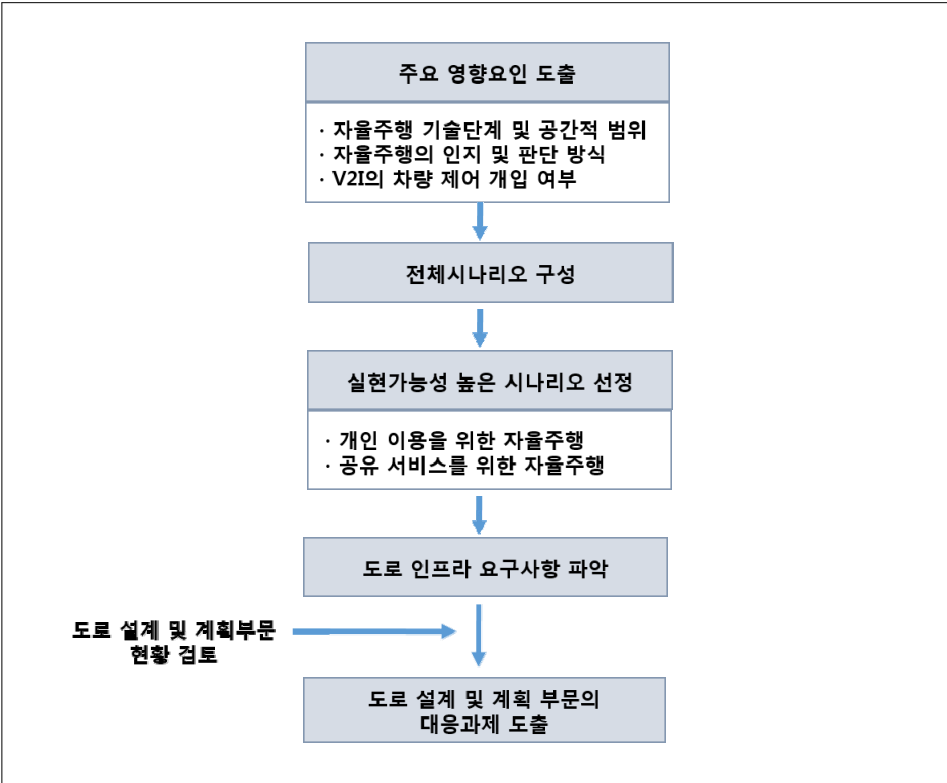
- 대응과제의 구체성을 높이기 위해 “자율주행 3단계가 상용화될 것으로 예상되는 2020년~2025년”을 주요 시간적 범위로 설정함
- 교통수단 측면에서는 소규모 인원 수송¹⁾을 목적으로 하는 ‘개인용’과 ‘공유 서비스’를 위한 도로 인프라를 중심으로 대응과제를 도출함
- 본 연구에서 다루는 ‘공유 서비스’는 마을버스와 같은 고정노선 서비스뿐만 아니라 수요응답형 대중교통과 같은 유동노선 서비스²⁾를 포함함
- 대응과제의 도출을 위해 <그림 4-1>에서 제시한 바와 같이 ‘주요 영향요인 도출’, ‘전체 시나리오 구성’, ‘실현 가능성 높은 시나리오 선정³⁾’, ‘도로 인프라 요구사항 파악’의 과정을 거침

1) 대규모 인원 수송은 적어도 2025년까지는 인간 운전자의 탑승을 필요로 하는 기존의 고용량 대중교통 (예: 광역전철, 광역버스)을 통해 이루어진다고 가정하여 대규모 인원 수송 목적의 자율주행 대중교통은 본 연구의 검토 대상에서 배제함

2) 자율주행차의 도입 초기단계에서 ‘공유 서비스’의 경로는 유동적인 노선을 운행한다고 하더라도 기술적인 한계로 인해 그 경로가 개인용 차량의 경우와 비교했을 때 훨씬 제한적일 가능성이 높음

3) 관련 문헌검토와 20인 이상의 전문가를 대상으로 한 의견수렴을 통해 자율주행 기술의 적용 가능성, 현행 도로관리 수준 등을 파악하여, ‘개인용’과 ‘공유 서비스’에 대해 가장 실현 가능성이 높은 시나리오를 선정함

그림 4-1 | 자율주행차 상용화를 고려한 대응과제 도출 절차



출처: 저자 작성

□ 2장에서 검토한 자율주행의 도입전망 및 기술현황을 바탕으로 ‘자율주행의 기술단계 및 공간적 범위’, ‘자율주행의 인지·판단 방식’, ‘실시간 V2I정보의 차량제어 개입 여부’를 주요 영향요인으로 선정하여 전체 시나리오를 구성함

- 자율주행차의 기술단계 및 공간적 범위를 고려하여, 3단계 이상의 고수준 자율주행을 한정된 공간에서 시행하는 ‘ES 방식’과 부분적인 자율주행을 광범위한 공간에서 적용하는 ‘SE 방식’으로 구분함
- 자율주행의 인지·판단방식은 영상수집과 인공지능에 주로 의존하는 ‘AV 방식1’과 고정밀 센서와 고정밀전자지도에 기반을 둔 ‘AV 방식2’로 구분됨

- 도로 인프라가 자율주행차에게 제공하는 실시간 V2I 정보가 ‘차량제어’에 사용되는 가 아니면 인간 운전자(탑승자)를 대상으로 ‘정보제공’을 목적으로 활용되는가에 따라 협력형 자율주행의 수준을 구분함

□ 단기적으로 실현 가능성이 높은 시나리오에 대해 도로 인프라 요구사항을 파악하여 도로 설계 및 계획 부문의 대응과제 도출

- 시나리오를 구성하는 영향요인 간의 상호관계, 첨단도로인프라의 기술현황 등을 고려하여 단기적으로 실현 가능성이 높은 시나리오를 결정
- 도로 인프라 요구사항과 도로 설계 및 계획부문의 현황을 고려하여, ‘지침 및 규정’ 과 ‘시설 설계·계획 방법론’ 측면의 대응과제 도출

2. 자율주행 상용화의 시나리오

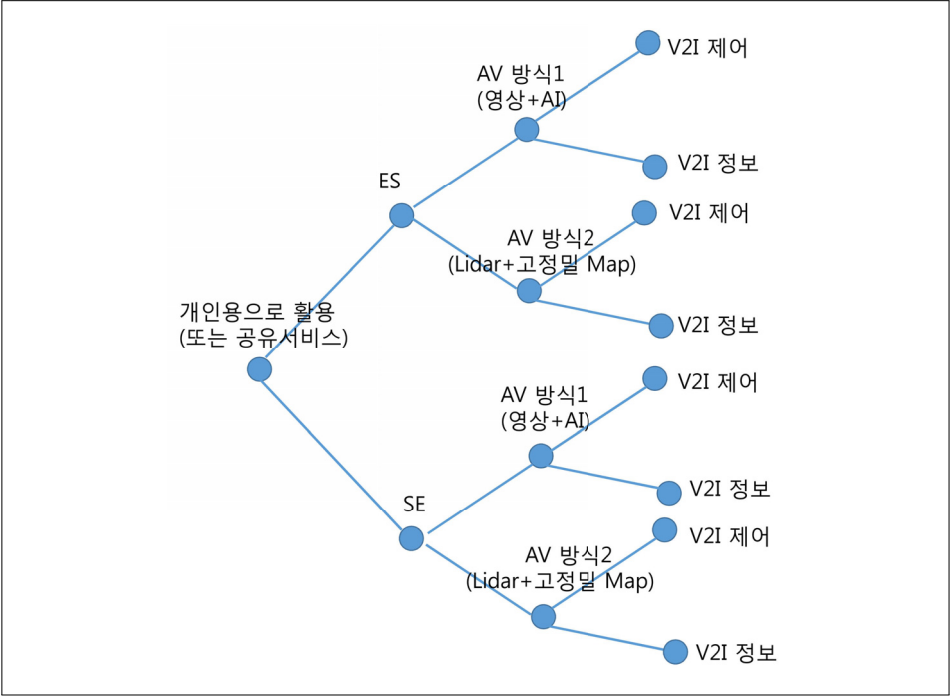
1) 시나리오 구성

□ 자율주행 상용화에 관한 N개의 영향요인이 각각 2가지 방식 중에 하나로 전개된다고 가정하면 2^N 의 조합이 가능함 (<그림 4-2> 참조)

- 본 연구는 자율주행의 상용화에 관해 3개의 영향요인을 고려하여, 개인용과 공유 서비스 각각에 대해 $8 (=2^3)$ 개씩의 조합을 전체 시나리오 집합으로 상정함⁴⁾
- 전체 시나리오 집합을 구성하는 각 조합들은 단기적 (2020~2025) 또는 중장기적 (2025~2040)으로 구현 가능한 자율주행 상용화 시나리오에 대응됨

4) 자율주행차의 상세 제원, 통행거리 등도 시나리오 전개에 영향을 미칠 수 있으나 분석의 간결성을 위해 본 시나리오 구성에서는 별도로 고려하지는 않음

그림 4-2 | 전체 시나리오의 구성



출처: 저자 작성

□ 자율주행 상용화와 관련하여 단기적으로 ‘활용분야와 영향요인 간’ 또는 ‘영향요인 간’에 조응성이 높은 조합이 존재함

- 자율주행차의 시장점유율이 낮은 초기 도입단계에서, 개인 이용을 위한 자율주행 전용 인프라에 공공 재원을 투자하는 것은 사회적 형평성 측면에서 논란의 여지가 있기 때문에⁵⁾ 자율주행의 ‘공유 서비스’와 ‘ES 방식’이, 그리고 ‘개인 이용’과 ‘SE 방식’이 상호 간에 조응성이 높음

5) 자율주행 전용 도로시설의 도입으로 인해 일반차량이 운행되는 도로 시설에는 혼잡이 심각함에도 불구하고, 자율주행차 전용 도로시설의 이용 수요는 턱없이 부족한 상황이 발생할 수 있으며, 결과적으로 해당 시설의 투자가 자율주행차를 소유한 특정 계층의 복지만을 증진시키고, 사회 전체의 복지는 저하시키는 결과를 가져올 가능성이 있음

- 단기적으로는 고성능 센서의 가격이 매우 비싸고, 고정밀 전자지도의 유지관리 체계가 미흡하므로, ‘SE 방식’과 ‘AV방식1’이, 그리고 ‘ES 방식’과 ‘AV 방식2’가 상호 간에 조응성이 높음

2) 단기적으로 실현 가능성이 높은 시나리오 선정

□ 자율주행차가 개인용으로 사용되는 경우 “SE-AV 방식 1-V2I 정보”의 시나리오가 단기적으로 실현가능성이 가장 높음 (<그림 4-3>의 빨간색 굵은 선 참조)

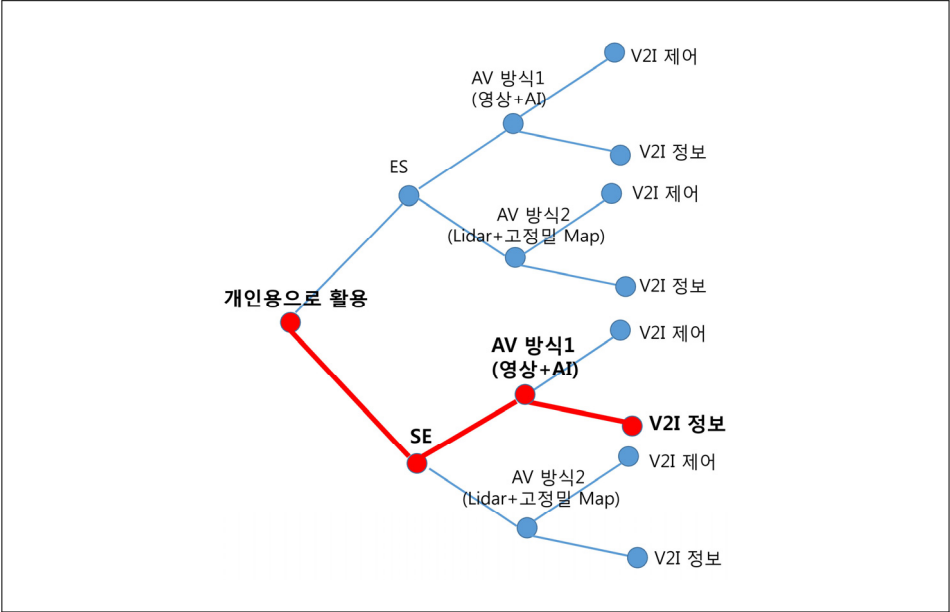
- 개인용 자율주행차의 경우는 접근성이 중요하므로 자율주행의 적용범위가 공간적으로 한정되기 보다는 낮은 자동화 단계라도 광범위한 적용이 가능한 SE 방식에 대한 수요가 높을 것으로 예상됨
- 단기적으로 개인용 자율주행차에 주로 활용되는 자율주행 기술단계는 주로 2단계⁶⁾ 이하일 것으로 전망됨⁷⁾
- 2단계이하의 자율주행차의 경우, 비교적 저가의 센서나 카메라와 인공지능을 주로 이용하고, 정밀 전자지도에 크게 의존하지 않는 방식이 더 구현 가능성이 높고⁸⁾, V2I 통신도 차량 자동제어보다는 인간 운전자에게 정보를 제공할 목적으로 사용될 가능성이 높음

6) 자율주행 2단계까지는 인간운전자가 운전 도중 차량 운행에 대한 책임을 전적으로 짐 (SAE, 2014)

7) 3단계 이상의 자율주행 기능이 가능한 고급차종도 상용화 되겠지만, 단기적으로 차량의 센서 및 카메라를 통해 이러한 높은 수준의 자율주행을 구현하는 차량은 구매 비용이 상당히 비쌀 것으로 예상됨

8) 2020년~2025년까지 광범위한 지역에 대한 정밀지도의 유지관리체계가 구축되기는 힘들다는 전문가 의견을 참고함

그림 4-3 | ‘개인 이용을 위한 자율주행차 적용’에 대한 단기 실현 가능성이 높은 시나리오



출처: 저자 작성

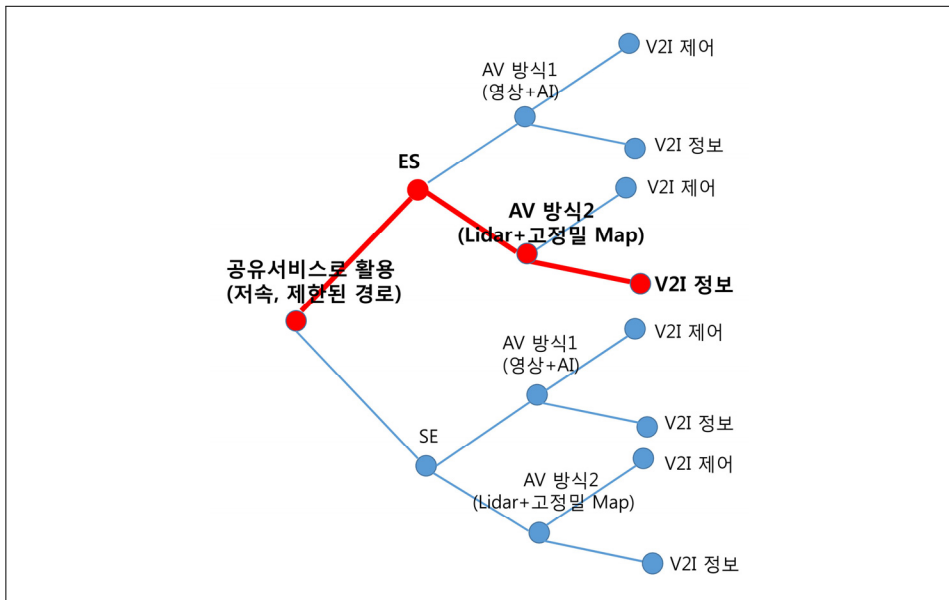
□ 자율주행차가 공유서비스로 사용되는 경우 “ES-AV 방식 2-V2I 정보”의 시나리오가 단기적으로 실현가능성이 가장 높음 (<그림 4-4>의 빨간색 굵은 선 참조)

- 공공부문의 지원으로 자율주행차의 공유서비스가 추진될 경우, 서비스의 신뢰성 및 안전을 고려하여 단기적으로는 제한된 운행 경로에 대해 낮은 주행 속도로 운영될 가능성이 높음⁹⁾
- 제한된 경로의 공유서비스 운영의 경우, 표지 및 차선에 대한 유지관리, 전자정밀 지도에 대한 실시간 갱신 등이 상대적으로 용이하여, 고가의 센서 및 고정밀지도 기반의 자율주행이 기술적·경제적 타당성을 가질 수 있음

9) 공유 모빌리티를 선호하는 통행자들의 일부는 접근성을 중요시 하여 비싼 요금을 지불하더라도 특정 경로에 한정되지 않고 제공되는 교통 서비스를 요구할 수도 있으며, 이러한 특수한 서비스는 ‘SE-AV 방식1-V2I 정보’시나리오로 운행될 수도 있음

- 단기적으로는 주변 도로이용자(보행자, 자전거 이용자 등)와의 상충이 거의 없는 노선을 위주로 자율주행 기반의 공유 서비스가 운영될 것으로 예상되며, 자율주행차를 위해 별도로 분리된 도로 시설(예: 전용차로)이 제공되지 않는 한 ‘자율주행 3단계’로 운영하되, 필요시 인간 운전자가 개입하도록 하는 방식이 구현 가능성이 높음¹⁰⁾
- 도로관리시스템의 정보관리 수준을 고려하면, 자율주행 공유 서비스의 경우도, V2I 통신이 차량제어의 목적이 아닌 인간 운전자에게 정보를 제공할 목적으로 사용될 가능성이 높음¹¹⁾

그림 4-4 | ‘공유서비스를 위한 자율주행차 적용’에 대한 단기 실현 가능성이 높은 시나리오



출처: 저자 작성

- 10) 자율주행 공유 서비스가 별도로 분리된 도로 시설을 통해 제공되는 경우는 4단계 이상의 자율주행이 기술적으로 가능할 수도 있으나 탑승객의 수용성, 법제도적 이슈 등으로 인해 단기적으로는 인간 운전자가 운전의 책임을 지는 것을 전제로 한 ‘자율주행 3단계’ 방식으로 운영될 가능성이 높음
- 11) 철도운행시스템에 기반을 둔 자율주행차의 경우는 V2I를 통한 제어가 단기적으로 도입 가능하나, 이러한 자율주행은 철도 인프라에 기반을 둔 시스템으로 간주하여 본 연구의 분석대상으로 고려하지 않음

3. 주요 시나리오별 요구사항

1) 개요

□ 자율주행차가 ‘공유 서비스’로 사용되는 경우에 대해 단기적으로는 아래와 같이 차별화된 방식으로 도로 인프라의 요구사항이 충족될 필요가 있음

- 전자 정밀지도의 경우 ‘개인 이용’ 보다는 ‘공유 서비스’를 위해 더 높은 수준의 정밀도가 요구될 수 있음
- 자율주행 공유 서비스에 특화된 편의 및 안전시설이 필요할 수 있음

□ 자율주행차의 ‘개인 이용’과 ‘공유 서비스’를 위한 요구사항이 단기적으로는 크게 차이 나지 않는 도로 인프라도 존재함

- ‘운행모드 전환 경고를 위한 통신 인프라’, ‘안전 정차공간 및 휴게소’, ‘자율주행 지원 주차시설’에 대한 요구사항은 자율주행의 개인 이용과 공유 서비스를 비교했을 때, 상호 간에 크게 차이가 나지 않을 것으로 전망됨

2) 공유 서비스를 위해 차별화된 요구사항이 존재하는 인프라¹²⁾

(1) 전자 정밀지도

□ 단기적으로는 개인용 자율주행차의 상용화를 위해 요구되는 정밀지도의 질적 수준¹³⁾은 그다지 높지 않음

- 인간 운전자가 운전해 책임을 지는 낮은 단계 (2단계 이하)의 자율주행을 위한 정밀지도에 도로 환경의 동적인 변화가 실시간으로 반영될 필요성은 높지 않음

12) 2장 3절 및 4절의 기술동향 및 전문가 의견을 고려하여 요구사항을 도출

13) 정보의 해상도, 정확도와 같은 기술적 측면뿐만 아니라 갱신주기, 신뢰성 확보 등 유지관리 측면을 종합적으로 고려한 정밀지도의 질적 수준

- 교통안전시설을 예로 들면, 개인용 자율주행을 위해서 중앙선의 중단, 교차로에서의 회전 허용 등의 교통 규제의 변화를 가급적 빨리 전자지도에 반영해야하겠지만, 그 갱신 주기가 실시간일 필요는 없음¹⁴⁾

□ 공유 서비스를 위한 자율주행차의 상용화 시나리오에 부합하는 정밀지도의 요구수준은 상대적으로 높음

- 도로관리기관 (예: 해당 지자체의 교통부서)은 자율주행을 허용한 특정 지역 또는 경로에 대해서 전자 정밀지도의 정보를 높은 수준으로 관리해야함
- 자율주행 공유 서비스를 도입하고 하는 지자체는 교통 규제의 변화를 거의 실시간으로 전자지도 유지관리 기관 (예: 민간 서비스 업체)에 전달하는 체계를 구축해야 함
- 해당 구간에 속한 차선이나 교통안전표지에 대한 물리적인 유지관리의 수준을 단기적으로 개선하기 어려운 경우, 해당 정보를 디지털화하여 AV의 전자정밀 지도를 통해 전달하는 방안도 고려할 수 있음¹⁵⁾

(2) 자율주행 공유 서비스를 위한 안전 및 편의시설

□ 자율주행 기반의 공유 서비스를 위해 그 운영 특성에 부합하도록 승·하차 시설 등의 인프라를 개선하거나 추가할 필요가 있음

- 특히 유동인구의 밀도가 높거나 일반 대중교통으로의 환승이 빈번하게 일어나는 곳에 자율주행 승·하차 시설이 도입될 경우, 자율주행 공유 서비스 운영의 효율성 뿐만 아니라 보행자 또는 자전거 이용자 등의 안전을 고려할 필요가 있음

14) 현재 이러한 교통규제의 변화 여부는 지방경찰청 또는 경찰청 주관의 '교통안전규제심의위원'의 심의 대상이 되며, 인간 운전자가 차량 운행의 책임을 지는 경우만을 상정한다면, 교통규제의 변화를 반영하기 위한 물리적인 교통 표지 또는 신호의 추가 및 조정이 전자정밀지도의 갱신 보다 선행되어야 함

15) 단기적으로 정적인 정보를 중심으로 이러한 디지털화가 이루어질 수 있으며, 이를 위해 교통안전표지, 차선 등에 관한 내역, 유지관리 기록 등에 대한 데이터베이스 구축이 선행되어야 함

- 자율주행 승·하차 주변에서 도로 이용자 간 상충이 빈번하게 발생할 수 있는 경우 자율주행차와 주변 이용자의 동선을 분리하기 위한 시설을 제한된 범위 내에서라도 제공할 필요가 있음
- 자율주행 승·하차를 안내하는 유도 시설, 인근 도로 이용자에게 안전 정보를 실시간으로 제공하기 위한 통신시설 등이 필요함

3) 개인 이용과 공유서비스를 위해 공통적으로 적용되는 인프라 요구사항¹⁶⁾

(1) 운행모드 전환 경고를 위한 통신 인프라

- ☐ AV의 센서 및 카메라의 현재 기술로는 복잡한 교통상황을 모두 인지하기에 한계가 있으므로 운행모드의 전환 (자율주행↔수동운전)을 경고하기 위한 V2X 서비스가 필요함

- 예를 들면, 자율주행에 적합하지 않은 구간 (예: 상충이 많은 기하구조)에 접어들면 차량 간 통신 (V2V)이나 인프라와 차량간 통신 (V2I)을 이용하여 해당 자율주행차의 탑승자에게 경고를 제공할 필요가 있음¹⁷⁾

(2) 안전 정차공간 및 휴게소

- ☐ 고속의 자율주행 모드에서 탑승자가 졸음 중이거나 의식을 잃은 경우 운전을 재개할 수 있을 때까지 안전하게 정차할 수 있는 공간이 필요함 (CATAPULT, 2017)

- 자율주행차가 길어깨에 정차하면 안전상 위험할 수 있는 경우에는 위험 대피공간 형태의 안전 정차공간을 제공해주어야 함 (<그림 4-5> 참조)

16) 통신 인프라에 대해서는 2장 3절 및 4절의 기술동향을 고려하여 요구사항을 도출하였으며, ‘안전 정차공간 및 휴게소’, ‘주차시설’에 대한 요구사항은 2장 2절의 자율주행차의 도입전망과 CATAPULT (2017)를 참조하여 정리함

17) 자율주행차가 2단계 이하의 모드로 운행하는 경우, 인간 운전자가 차량 운행의 책임이 있어서 모드 전환에 대한 정보제공이 고수준 자율주행의 경우에 비해 상대적으로 덜 필요하나, 위험상황에 직면하기 이전에 여유를 갖고 운행모드 전환을 유도할 수 있는 안전상의 이점이 있음

- 자율주행차의 안전 정차공간에서 V2I를 이용하여 교통관리센터에 해당 차량 및 탑승자의 상태정보를 전달할 필요가 있음¹⁸⁾

그림 4-5 | 길어깨와 위험 대피 공간



출처: CATAPULT. 2017. Future Proofing Infrastructure for Connected and Automated Vehicles, p39

□ 기존의 고속도로 휴게소도 자율주행차가 정차하여 탑승자가 휴식을 취하거나 편의 시설을 이용할 수 있도록 할 필요가 있음 (CATAPULT, 2017)

- 휴게소에 자율주행 전용 주차공간을 제공하거나 이를 위한 유도안내시설 (표지 및 통신)을 제공할 수 있음
- 자율주행 기반의 공유 서비스가 활성화된다면, 고속도로 휴게소가 지역 간 통행을 위한 환승허브로서의 역할을 담당할 수 있도록 적절한 편의시설이 필요함
- 자율주행차가 전기 동력을 사용한다면 전기 충전시설도 필요할 수 있음

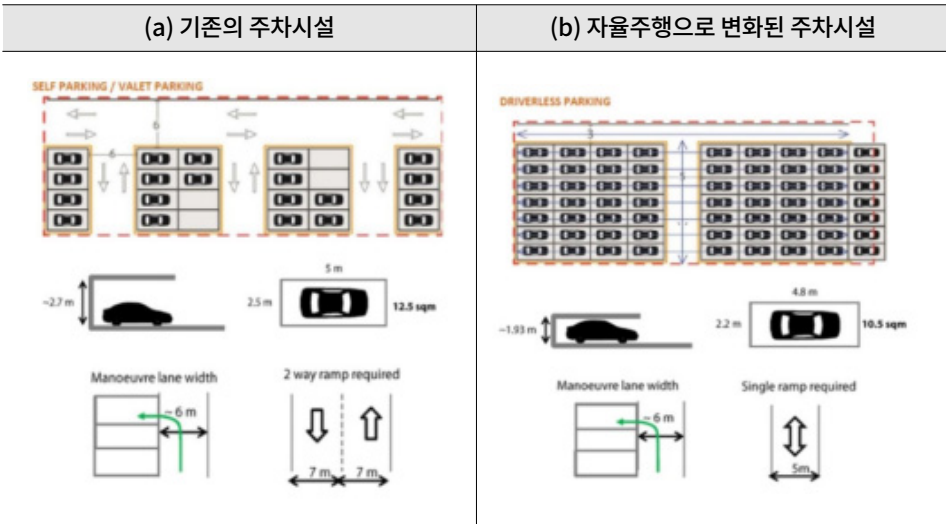
18) 이와 관련하여 E-call (차량 ICT 기반 긴급구난체계) 서비스와의 연계 운영도 검토할 필요가 있음

(3) 주차시설

□ ‘자율주행 발렛파킹’이 가능하면, 탑승객은 주차장 입구에서 승하차 할 수 있으므로, 주차장 내에서 탑승객의 차문을 여는 공간이 절약되며, 이중주차 등을 활용하여 주차 공간을 효율적으로 사용할 수 있음 (CATAPULT, 2017)

- 이러한 무인주차 방식은 원격 제어가 필요할 수 있으며, 이 경우 사이버 해킹 등의 위험으로부터 안전하도록 보안 시스템을 구축할 필요가 있음
- 탑승객이 없는 상태에서 주차 자동결재를 위해 V2I 인프라가 필요할 수 있음

그림 4-6 | 자율주행 발렛파킹으로 인한 주차시설의 변화



출처: CATAPULT. 2017. Future Proofing Infrastructure for Connected and Automated Vehicles, p43

4. 도로 설계 및 계획 부문의 대응과제 도출

1) 개요

□ 자율주행차의 ‘활용분야’와 도로 설계 및 계획 부문의 ‘과제영역’을 고려하여 자율주행차의 상용화에 대한 단기적인 대응과제를 도출함

- 자율주행차가 ‘개인용’과 ‘공유 서비스’로 활용되는 경우에 대해 차별적으로 요구되는 과제와 두 경우 모두에 공통적으로 요구되는 과제를 ‘지침 및 제도’, ‘시설 설계·계획 방법론’으로 구분함

표 4-1 | 자율주행차의 활용분야 및 과제영역을 고려한 단기적 대응과제¹⁹⁾

과제영역 활용분야	지침 및 제도	시설 설계·계획 방법론
개인용	• 일반 전자정밀지도 구축 및 관리 방안 정립	-
공유 서비스	• 고품질 전자정밀지도 구축 및 관리 방안 정립 • 자율주행 공유 모빌리티의 승·하차 시설 설계 지침 정립	• 고수준 자율주행 운행구간의 선정기준 정립 • 자율주행 공유 서비스의 도입을 고려한 접근성 평가방안 정립
공통사항	• 자율주행차를 고려한 「도로의 구조·시설기준」의 개선 • 자율주행차를 고려한 「도로용량편람」의 개선 • 자율주행차를 고려한 「도로설계기준」의 개선 • 운행모드 전환 경고를 위한 V2I 설계 및 설치 기준 정립 • 자율주행 안전 정차 시설의 설계 기준 정립 • 자율주행 주차시설 설계 지침 정립	• 자율주행차의 혼입률에 따른 용량 및 지체함수 산정 • 자율주행차를 고려한 교통수요예측 모형 개선

출처: 저자작성

19) 장기적으로는 개인용 자율주행차를 위한 전용도로 등의 시설을 위한 설계·계획 측면의 방법론이 필수적일 수 있으나, 단기적으로는 개인용 자율주행차의 시장점유율이 그다지 높지 않을 것으로 전망하여, 본 연구에서는 단기 대응과제로 선정하지는 않음

2) 개인용 자율주행차의 상용화에 대한 단기 대응과제

☐ 일반 전자정밀지도 구축 및 관리 방안 정립

- 목적: 2단계 이하의 비교적 낮은 수준의 개인용 자율주행차를 광범위한 지역에 걸쳐 운행할 수 있도록 일반 전자정밀지도의 관리 방안을 정립함
- 주요내용: 광범위한 지역을 대상으로 한 전자정밀지도의 데이터 표준, 제작·갱신의 주체, 정보의 갱신주기, 보안 시스템과 관련한 관리 방안 연구

3) 자율주행 공유 서비스의 상용화에 대한 단기 대응과제

☐ 고품질 전자정밀지도 구축 및 관리 방안 정립

- 목적: 3단계 이상의 비교적 높은 수준의 자율주행기반의 공유 서비스가 한정된 지역이나 노선에 제공될 수 있도록 고품질 전자정밀지도의 관리 방안을 정립함
- 주요내용: 한정된 지역 및 노선을 대상으로 한 고해상도 전자정밀지도의 데이터 표준, 제작·갱신의 주체, 정보의 갱신주기, 보안 시스템 등의 관리 방안 연구

☐ 자율주행 공유 차량의 승·하차 시설에 대한 설계지침 정립

- 목적: 공유 차량이 높은 수준의 (3단계 이상) 자율주행을 통해 대중교통 환승시설에서 안전하게 승·하차 할 수 있도록 지원하는 시설의 설계지침을 정립함
- 주요내용: 자율주행 공유 차량과 타 도로 이용자 간의 상충을 최소화하기 위한 물리적 유도시설, 안전 정보 제공 시설 설계에 관한 연구

☐ 고수준 자율주행 운행구간의 선정기준 정립

- 목적: 공유 서비스를 위해 높은 수준의 자율주행모드로 운행하기에 적합한 도로 구간을 선정하고, 그 운영방식을 검토함

- 주요 내용: 기하구조, 통신 인프라, 사고건수 등 다양한 요소를 감안하여 공유 서비스를 위한 자율주행 도로 구간 선정기준을 마련

□ 자율주행 공유 서비스의 도입을 고려한 교통 접근성 평가방안 정립

- 목적: 대중교통의 연계수단으로 자율주행 공유서비스가 활용됨으로 인한 운영 효과를 평가함
- 주요내용: 행위자 기반 모형과 대중교통 배정 모형을 연계하여 통합 모의실험 환경의 구축을 통해 다양한 운영전략을 평가할 수 있도록 함

4) 자율주행차의 활용분야에 관계없이 공통적으로 요구되는 단기 대응과제

□ 자율주행차를 고려한 「도로의 구조·시설기준」의 개선

- 목적: 자율주행차의 상용화를 고려하여 도로의 구조나 시설에 대한 기존의 기준이 수정·보완될 필요성이 있는지를 검토하고 개선방안 도출
- 주요 내용: 도로의 구분, 설계속도, 차도 및 차로, 주차대 등과 관련하여 기존의 수정·보완

□ 자율주행차를 고려한 「도로용량편람」의 개선

- 목적: 자율주행차의 상용화를 고려하여 도로용량편람에 제시된 기존의 지침이 수정·보완될 필요성이 있는지를 검토하고 개선방안 도출
- 주요 내용: 자율주행차의 차량 제원, 운전자의 인적요인 등을 감안하여 도로 용량을 산정하기 위한 보정계수 등에 대한 수정·보완

□ 자율주행차를 고려한 「도로설계기준」의 개선

- 목적: 자율주행차의 상용화를 고려하여 도로설계기준에 제시된 기존의 기준이 수정·보완될 필요성이 있는지를 검토하고 개선방안 도출

-
- 주요 내용: 자율주행차의 상용화를 고려하여 도로 서비스 수준의 정의, 인간 운전자의 시인성과 관련된 기준의 수정·보완

□ 운행모드 전환 경고를 위한 V2I 설계 및 설치 기준 정립

- 목적: 자율주행차가 자율주행모드로 운행하다가 주변 도로이용자와의 상충 또는 도로의 급격한 기하구조의 변화에 안전하게 대응할 수 있도록 ‘수동운전’으로의 전환을 촉구하는 시기적절한 정보를 제공하기 위해 V2I 인프라의 설계 및 설치 기준 정립
- 주요 내용: 자율주행차의 운전자가 V2I 기반의 메시지에 어떻게 반응하는 지에 관한 실증연구를 수행하고, 이를 기반으로 V2I 설계 및 설치 기준을 정립

□ 자율주행차 안전 정차시설의 설계 및 설치기준 정립

- 목적: 자율주행차의 탑승자가 차량 운행의 모니터링을 할 수 없는 상황 (예: 졸음 운전, 의식불명 등)에 대비해 자율주행차의 안전 정차공간의 입지, 간격 등에 대한 기준정립
- 주요 내용: 모의실험이나 실증 분석을 통해 자율주행차 안전 정차시설 및 유도 시설의 설계 대안을 평가하고 최적안을 기준으로 정립

□ 자율주행 주차시설의 설계 기준 정립

- 목적: 자율주행 주차시설의 효율적인 공간 이용 및 안전한 운영을 위한 설계 기준 정립
- 주요 내용: 모의실험이나 실증 분석을 통해 자율주행차의 안전 주차를 위한 시설 설계 대안을 평가하고 최적안을 도출하기 위한 기준 마련

□ 자율주행차의 혼입률에 따른 용량 및 지체함수 산정

- 목적: 자율주행차의 상용화에 따른 교통수요예측 및 편익 산정을 개선하기 위해 도로 용량의 증가효과와 지체함수 형태의 변화효과를 추정

-
- 주요내용: 자율주행차의 제원정보 및 실증 운영 자료를 미시 교통류 모형에 반영하고, 이 개선 모형을 기반으로 모의실험을 수행하여 용량 및 지체함수 추정

□ 자율주행차를 고려한 교통수요 예측 방법론 정립

- 목적: 개인용뿐만 아니라 공유 서비스를 위한 자율주행차의 상용화를 반영하여 교통수요의 변화를 예측할 수 있는 방법론 정립
- 주요 내용: 기존의 4단계 수요예측 모형과 행위자 기반의 모의실험을 연계한 융합 분석의 틀을 정립하고, 세부 모형을 개선

CHAPTER 5

결론 및 향후 과제

1. 요약 및 시사점 | 69

2. 연구의 한계 및 향후 과제 | 72

결론 및 향후과제

1. 요약 및 시사점

1) 자율주행차의 도입전망 및 주요 기술현황 검토

- 자율주행차의 향후 도입 양상은 그 기술수준 및 공간적 범위를 고려하여 높은 단계의 자율주행을 한정된 공간에서 적용하는 ‘ES 방식’과 부분적인 자율주행의 광역적 적용인 ‘SE 방식’으로 대별됨
 - ES는 자율주행차가 도시부 환경에서 대중교통을 중심으로 저속 운행하거나 전용 시설을 통해 연속 교통류 환경에서 운행될 때 적합한 방식임
 - SE는 자율주행차의 접근성을 확보하기 위해 낮은 기술단계의 자율주행이라도 광범위한 지역에서 적용하기 위한 방식임
- 자율주행차의 기술수준 및 소유 방식을 고려하면 ‘개인 이용’과 ‘공유 서비스’를 위한 활용분야가 공존할 가능성이 높음
 - 차량의 운영에 있어 그 구매 비용보다는 통행의 편의성 및 접근성을 더 중시하는 이용자들이 상당수 있으며, 이들은 각자의 소득수준이나 취향에 부합하는 자율주행시스템이 장착된 차량을 구매하여 이용하고자 할 것임
 - 자율주행차의 도입 초기단계에서 공유 서비스로 자율주행차를 이용하는 방식은 차량의 구입, 도로 시설 투자의 부담을 상대적으로 감소시킬 수 있기 때문에 향후 확대 가능성이 높음

□ 자율주행 기술은 저가의 센서 및 영상 추출·처리와 인공지능에 주로 의존하는 방식과 Lidar 등 고정밀 센서와 고정밀 전자지도에 주로 의존하는 방식으로 대별됨

- 영상 추출·처리와 인공지능에 의존하는 방식은 주로 정적인 정보만을 제공하는 기본적인 수준의 정밀지도를 요구함
- Lidar와 고수준의 정밀전자지도에 의존하는 방식은 고가의 장비에 의존하기 때문에 부유층이 구매할 가능성이 높음

□ 자율주행을 위한 첨단도로인프라로 ‘전자정밀지도’와 ‘V2X 통신’ 등이 있으며 자율주행 방식에 따라 요구사항이 상이할 수 있음

- 예를 들면, Lidar와 고정밀 전자지도에 의존하는 자율주행 방식은 전자지도의 실시간 갱신이 요구됨
- V2X 통신 기반의 정보가 차량제어에도 활용되는 경우는 인간 운전자에게 정보를 제공하는 경우에 비해 현격하게 높은 수준의 정보관리가 요구됨

2) 도로 설계 및 계획 부문의 현황 검토

□ 도로 설계 및 계획 부문의 현황을 ‘이론 및 모형’, ‘지침 및 규정’ 측면에서 검토함

- 최근 들어 도로 설계·계획 부문의 ‘이론 및 모형’ 분야에서 자율주행차의 운영을 반영하기 위한 개선이 이루어져 왔으나 자율주행차의 시장 점유율이 어느 정도 이상이 되어야만 개선될 수 있는 사안들이 있음
- 자율주행차의 상용화 시나리오에 대한 불확실성으로 인해 도로 설계·계획 부문의 ‘지침 및 규정’ 분야는 아직까지 개선 방향이 정립되어 있지 않음

3) 자율주행차 상용화 시나리오 도출

☐ 자율주행차의 도입전망 및 기술현황, 첨단도로인프라의 기술현황 등에 대한 검토를 토대로 자율주행차의 상용화에 관한 시나리오를 구성

- 자율주행차의 시나리오를 구성하는 주요 영향요인으로 ‘자율주행의 기술수준 및 공간적 범위’, ‘인지·판단 방식’, ‘V2I통신의 차량제어 개입여부’를 고려함

☐ 자율주행차의 활용분야를 ‘개인 이용’과 ‘공유 서비스’로 구분하여 자율주행차 상용화의 전체 시나리오를 구성하고, 각 활용분야에 대해 기술발전 동향, 전문가 의견을 종합적으로 고려하여 단기적 실현가능성이 높은 시나리오를 선정

- ‘개인 이용’의 경우 부분적인 자율주행을 광범위한 지역에 적용하고, 영상추출·처리와 인공지능에 의존하는 방식을 기반으로 하며, V2I 통신을 운전자에게 정보제공의 목적으로 활용하는 시나리오가 단기적 실현가능성이 높음
- ‘공유 서비스’의 경우 높은 수준의 자율주행을 제한된 경로에 적용하고, Lidar와 고정밀 전자지도에 의존하는 방식을 기반으로 하며, V2I 통신을 운전자에게 정보제공의 목적으로 활용하는 시나리오가 단기적 실현가능성이 높음

4) 자율주행차 상용화를 고려한 도로 인프라 요구사항 검토

☐ ‘공유 서비스’를 위해 차별적으로 적용되어야 할 도로 인프라의 요구사항이 존재함

- 높은 수준(예: 3단계)의 자율주행기술을 활용한 공유서비스의 운영을 위해 전자정밀지도에 대한 정보의 정확도 및 실시간 갱신 체계가 정립되어야함
- 자율주행 공유 서비스를 위한 승·하차 시설 등의 안전 및 편의시설이 요구됨

☐ ‘개인 이용’과 ‘공유 서비스’를 위해 거의 유사하게 적용될 수 있는 도로 인프라의 요구사항도 존재함

- ‘운행모드 전환 경고를 위한 통신 인프라’, ‘안전 정차공간 및 휴게소’, ‘주차시설’에 대해서는 활용분야에 따른 차별성이 거의 없는 요구사항이 존재함

5) 자율주행차의 상용화를 고려한 도로 설계 및 계획 부문의 대응과제 도출

□ 자율주행차의 상용화에 대한 단기적 대응과제는 ‘개인 이용’, ‘공유 서비스’ 각각에 차별적으로 적용되는 과제와 공통적으로 요구되는 과제로 구분됨

- 기존에 인간 운전자의 인지·판단 특성을 고려하여 수립되었던 도로 설계 및 계획 부문의 ‘지침 및 제도’에 대한 수정·보완 요구사항을 검토하여 대응과제 도출
- 자율주행차의 상용화에 따른 기존 인프라의 이용 방식의 변화와 신규 인프라의 요구사항을 반영하여 ‘시설 설계·계획 방법론’을 개선하기 위한 대응과제 도출

2. 연구의 한계 및 향후 과제

□ 자율주행차의 상용화를 고려하여 ‘도로설계 및 계획’ 부문의 단기적 대응과제를 도출하였지만, 도출된 과제의 세부 내용을 기획하기 위한 추가 연구가 요구됨

- 향후에는 도출된 연구과제들의 우선순위를 산정하여 중요도가 높은 과제에 대해서 세부 연구항목을 도출하고 연구 내용도 구체화할 필요가 있음

□ 도로 인프라의 요구사항을 검토하여 신규 대응과제를 도출하는 데 중점을 둔 반면에 도출된 대응과제들의 상호 관련성 및 활용 방안에 대한 검토가 미흡함

- 도출된 대응과제들을 연계 및 통합하여 정책과제 로드맵을 작성하고, 이를 R&D 프로그램 기획에 활용하는 방안을 추가적으로 검토할 필요가 있음

참고문헌

REFERENCE



【인용문헌】

- 국토교통부. 2013. 도로용량편람.
- 국토교통부. 2015. 도로의 구조·시설 기준에 관한 규칙.
- 국토교통부. 2016a. 도로설계기준.
- 국토교통부. 2016b. 자율주행차 기술로드맵 및 R&D 정책방향 검토.
- 국토교통부. 2016c. ‘정밀도로지도’ 자율주행차 상용화 앞당긴다(보도자료)
- 국토교통부. 2017. 국토교통 신산업 R&D 중장기 로드맵.
- 기승도, 이규성. 2017. 카셰어링 확산의 문제점과 제도개선 방안. 보험연구원.
- 김광호, 오성호, 이백진, 박종일. 2016. 자율주행시대를 대비한 첨단도로인프라의 전략적 관리 방안 연구. 세종시: 국토연구원.
- 김광호. 2017. 제4차 산업혁명으로 인한 교통 운영·관리의 변화. 국토(2월호). 세종시: 국토연구원.
- 미래에셋대우. 2017. 자율주행차, '현실'을 꿈꾸다. 미래에셋리서치센터.
- 우승국, 박지영, 김범일, 이동윤. 2017. 자율주행자동차 도입의 교통부문 파급효과와 과제 (1차년). 세종시: 한국교통연구원.
- 이백진, 윤서연, 이춘용. 2013. 교통정책 실효성 제고를 위한 활동기반 시뮬레이션 모형 개발 및 적용방안(Ⅰ). 세종시: 국토연구원.
- 이백진, 김광호, 박종일. 2016. 첨단인프라 기술발전과 국토교통분야의 과제- 자율주행자동차를 중심으로. 세종시: 국토연구원.
- 이백진, 육동형, 김광호. 2017. 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구. 세종시: 국토연구원.
- 하상태. 2017. 자율주행 지원을 위한 고정밀지도 기술 동향, TTA Journal Vol.173.

-
- 한국건설기술연구원·세인. 2017. 차량 인지성능 향상 지원 도로시설물 - 차량 영상
센서 기준 차선, 교통안전표지 설치기준 개선방안 검토서, 「스마트 자율협력주행
도로시스템 개발」 2차년도 연구보고서.
- AdaptIVe. 2017. AdaptIVe Deliverable D1.0 Final project results. Automated
Driving Applications and Technologies for Intelligent Vehicles.
- Anderson, J. M., Kalra, N., Stanley, K. D., Sorensen, P., Samaras, C.,
Oluwatola, O. A. Autonomous Vehicle Technology: A Guide for
Policymakers. Santa Monica, CA: RAND Corporation, 2014.
- BCG. 2015. Revolution in the Driver's Seat. Boston Consulting Group.
- Berrada, J., Leurent, F. 2017. Modeling Transportation Systems Involving
Autonomous Vehicles: A State of the Art. Transportation Research
Procedia, 27, 215-221.
- Bhat, C. 2017. Travel Modeling in an Era of Connected and Automated
Transportation System: An Investigation in the Dallas-Fort Worth Area.
US DOT. University Transportation Center at The University of Texas at
Austin.
- CATAPULT. 2017. Future Proofing Infrastructure for Connected and Automated
Vehicles.
- Chong, J. 2016. Automated and Connected Vehicles: Status of the Technology
and Key Policy Issues for Canadian Governments. Ottawa: Library of
Parliament.
- Daganzo, C. F. (1995) The Cell Transmission Model, Part II: Network Traffic.
Transportation Research Part B, 29, 79-93.
- DUP, 2015. The Future of Mobility, Deloitte University Press.
- ERTRAC. 2015. Automated Driving Roadmap. the European Road Transport
Research Advisory Council.

-
- Fagnant, D., Kockelman, K. 2014. The Travel and Environmental Implications of Shared Autonomous Vehicles, Using Agent-based Model Scenarios. Transportation Research Part C: Emerging Technologies, 40, 1-3.
- FHWA, 2013. A Primer for Agent-Based Simulation and Modeling in Transportation Applications. Washington DC: Federal Highway Administration.
- Gipps, P.G. 1986. A Model for the Structure of Lane-changing Decisions. Transportation Research Part B: Methodological, 20, pp 403-414.
- ITF. 2015a. Automated and Autonomous Driving Regulation under Uncertainty. Paris: OECD International Transport Forum.
- ITF. 2015b. Urban Mobility System Upgrade: How Shared Self-driving Cars Could Change City Traffic. Paris: OECD International Transport Forum.
- Johnson, C. 2017. Readiness of the Road Network for Connected and Autonomous Vehicles. London: Royal Automobile Club Foundation.
- KTb 투자증권. 2017. 자율주행의 핵심: 정밀지도, 그들은 왜 지도 S/W 업체를 인수하는가.
- Lighthill, M. J., Whitham, G. B. 1955. On Kinematic Waves, Part II. A Theory of Traffic Flow on Long Crowded Roads. Proceedings of the Royal Society of London. Series A. Mathematical and Physical Sciences, 229, 317-345.
- Levin, M., Li, T., Boyles, S.D., Kockelman, K.M. 2016. A General Framework for Modeling Shared Autonomous Vehicles. Proceeding of the 95th Annual Meeting of Transportation Research Board, 2016.
- Newell, G.F. 1993. A Simplified Theory of Kinematic Waves in Highway Traffic, Part II: Queueing at Freeway Bottlenecks. Transportation Research Part B, 27, 289-303.
- NHTSA. 2014a. Human Factors Evaluation of Level 2 and Level 3 Automated

Driving Concepts, Washington DC: National Highway Traffic Safety Administration.

NHTSA. 2014b. Vehicle-to-Vehicle Communications: Readiness of V2V Technology for Application. Washington DC: National Highway Traffic Safety Administration.

Richards, P.I. 1956. Shock Waves on the Highway. Operations Research, 4, 42-51.

SAE. 2014. Automated Driving: Levels of Driving Automation are Defined in New SAE International Standard J3016. Society of Automotive Engineers.

Shimada, H., Yamaguchi, A., Takada, H. and Sato, K. 2015. Implementation and Evaluation of Local Dynamic Map in Safety Driving Systems. Journal of Transportation Technologies, 5, 102-112. doi: 10.4236/jtts.2015.52010.

US DOT. 2016. Connected Vehicle Impacts on Transportation Planning. Washington DC: US Department of Transportation.

Yu, S., Zhang, H., Zhao, J. 2017. Embedding Autonomous Vehicle Sharing in a Public Transit System: Example of Last-Mile Problem. Transportation Research Board TRB 96th Annual Meeting.

Autoweek 웹사이트

<http://autoweek.com/article/autonomous-cars/heres-how-2-million-cars-will-map-roads-autonomous-vehicles> (2018년 3월 접속)

Web2carz 웹사이트

<https://www.web2carz.com/autos/everything-else/5897/making-the-move-from-automaker-to-mobility-company> (2018년 3월 접속)

SUMMARY



A Preliminary Study to Make the Road Sector Ready for the Commercialization of Automated Vehicles: Focusing on Road Design and Planning

Kwangho Kim, Jongil Park, Taekwan Yoon, Jin-tae Kim

Key words: Automated Vehicles, Road Design and Planning, Shared-use Service

The road sector is required to successfully accommodate automated vehicles capable of driving with few or no intervention of human drivers. It is however difficult to predict the way how the operations of automated vehicles will be realized in the future. In light of this, the present study aims at deriving key projects to improve the road design and planning by assuming plausible scenarios in the near future ranging years between 2020 and 2025.

This study examined three major factors that would affect the ways of operating automated vehicles. The first factor is related to the automation level and the spatial scope of operating automated vehicles. In this regard, one approach called ‘Everything Somewhere’ (ES) is to apply highly automated vehicles on limited routes or areas. The other approach called ‘Something Everywhere’ (SE) is to operate partially automated vehicles with few restrictions on their spatial scope of driving. The second factor concerns the

types of technology used for automated recognition and judgement. A technology type called 'AV1' in this report largely depends on both the image processing and the artificial intelligence. The other type denoted by 'AV2' is enabled mainly by both high-resolution sensors such as the Lidar and an advanced electronic map. The third factor depends on the role of the information delivered by the road infrastructure to enhance the mobility or the safety of individual vehicles. In this regard, one way termed 'V2I information' represents the case that the information from road infrastructure is used only for warning human drivers to change their behavior for the safety or the mobility. For example, 'V2I information' can be used to warn human drivers in the face of upcoming complicated road conditions to change modes from automated driving into manual driving. The other case denoted by 'V2I control' corresponds to the case where the information from road infrastructure can be used as direct input data to automatically control the operations of the subject vehicle. Note that the information applied to the latter case should have higher quality in terms of both the accuracy and the timeliness in comparison with the former one.

The above affecting factors are used to constitute the whole set of scenarios of operating automated vehicles. In the case of personally using automated vehicles, 8 scenarios are conceivable by assuming that each affecting factor has binary options. Among these scenarios, 'SE-AV1-V2I information' seems highly plausible in the near future. Likewise, another set of 8 scenarios are expected for shared-use automated vehicles. In this case, 'ES-AV2-V2I information' appears to have the highest likelihood in the near future. Note that these highly plausible scenarios shed lights on the needs of road infrastructure required to operate automated vehicles safely and efficiently.

In addition, current situations of the road design and planning were

examined by focusing on two domains. One is ‘theory and model’ and the other is ‘guideline and specification.’ Recently there have been many efforts to improve theories and models to investigate the operations of automated vehicles in the transportation system analysis. Note however that there are inevitable limitations in those efforts because some theories or models require detailed validations, which are possible only after the market penetration rate of automated vehicles reaches a significant level (e.g. 10~20%). On the other hand, one cannot notice any serious attempts made to revise guidelines or specifications on the road design and planning. This may be due to the difficulty in predicting automated vehicles’ operating scenarios that will be dominant in the future.

In light of the above, key projects for the road sector were derived particularly to improve the road design and planning. Such derived projects can be categorized by both the vehicle ownership (‘personal use’ versus ‘shared-use service’) and the application area (‘guideline and specification’ versus ‘methodology for facility design and planning’). One example of the derived projects belonging to the category of ‘shared-use service’ and ‘guideline and specification’ is to develop guidelines on the design of pick-up or drop-off facilities by considering the safety of shared-use automated vehicles as well as their surrounding road users such as pedestrians.

This study has two major limitations. One is that sufficient considerations were not given to identify the relationships among the derived projects. The other is that the contents of the derived projects were not specified in details. In light of these limitations, further research is worthwhile to coordinate the derived projects or to design their specific contents.



약어 모음

ADAS	Advanced Driving Assistance Systems	첨단운전자지원시스템
AI	Artificial Intelligence	인공지능
AV	Autonomous Vehicle	자율주행차
BSM	Basic Safety Message	기본 안전 메시지
CV	Connected Vehicle	양방향 통신 기반의 협력주행차
CAV	Connected Automated Vehicle	협력형 자율주행차
DSRC	Dedicated Short Range Communication	근거리 전용 통신
ES	Everything Somewhere	높은 단계의 자율주행을 한정된 공간에서 적용
LIDAR	Light Detection and Ranging	광(光) 검지 및 분류
NHTSA	National Highway Traffic Safety Administration	미국 국가도로교통안전청
P2P	Peer-to-Peer	개인 대 개인
RADAR	Radio Detection and Ranging	라디오 검지 및 분류
SAE	Society of Automotive Engineers	자동차 기술자 협회
SE	Something Everywhere	부분적인 자율주행의 광역적 적용
SP	Stated Preference	잠재선호
V2I	Vehicle to Infrastructure	차량과 도로 인프라 간 통신
V2V	Vehicle to Vehicle	차량과 차량 간 통신
V2X	Vehicle to X	차량과 주변 대상 (차량, 도로 인프라, 보행자 등) 간 통신

수시 18-16

**자율주행차 상용화를 고려한 도로부문 대응과제
: 도로 설계 및 계획을 중심으로**

지 은 이 김광호, 박종일, 윤태관, 김진태

발 행 인 김동주

발 행 처 국토연구원

출판등록 2017-9호

인 쇄 2018년 3월 28일

발 행 2018년 3월 31일

주 소 세종특별자치시 국책연구원로 5

전 화 044-960-0114

팩 스 044-211-4760

가 격 비매품

ISBN 979-11-5898-324-6

한국연구재단 연구분야 분류코드 D240100

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2018, 국토연구원

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.

자율주행차 상용화를 고려한
도로부문 대응과제
: 도로 설계 및 계획을 중심으로



A Preliminary Study to Make the Road Sector Ready for the Commercialization
of Automated Vehicles : Focusing on Road Design and Planning

제1장 서론

제2장 자율주행차의 개념 및 도입전망

제3장 도로 설계 · 계획 부문의 현황

제4장 자율주행차의 상용화를 고려한 대응과제 도출

제5장 결론 및 향후 과제



KRIHS 국토연구원

(30147) 세종특별자치시 국책연구원로 5 (반곡동)
TEL (044) 960-0114 FAX (044) 211-4760

