



기본 | 19-17

자율주행기반 대중교통체계 구축방안 연구 : BRT 및 셔틀 도입을 중심으로

Strategies to Implement Autonomous Public Transit
: Focusing on Autonomous Bus Rapid Transit and Shuttle Services

윤태관, 임영태, 박종일, 이혁기, 연규봉, 정기윤

자율주행기반 대중교통체계 구축방안 연구 : BRT 및 셔틀 도입을 중심으로

Strategies to Implement Autonomous Public Transit
: Focusing on Autonomous Bus Rapid Transit and Shuttle Services

윤태관, 임영태, 박종일, 이혁기, 연규봉, 정기윤

■ 연구진

윤태관 국토연구원 책임연구원(연구책임)

임영태 국토연구원 연구위원

박종일 국토연구원 책임연구원

■ 외부연구진

이혁기 한국자동차연구원 선임연구원

연규봉 한국자동차연구원 책임연구원

정기윤 한국자동차연구원 선임연구원

■ 연구심의위원

문정호 국토연구원 부원장

이춘용 국토연구원 국토인프라연구본부장

이상건 국토연구원 선임연구위원

고용석 국토연구원 연구위원

이재용 국토연구원 스마트공간연구센터장

정일호 서울대학교 연구원

김경석 공주대학교 교수

이용관 국토교통부 사무관

주요 내용 및 정책제안

FINDINGS & SUGGESTIONS



본 연구보고서의 주요 내용

- 1 자율주행 대중교통 서비스 도입을 통해 기존 대중교통이 가진 안전 취약문제, 낮은 접근성, 차내 혼잡 등을 완화할 수 있을 것으로 기대됨
- 2 기술개발 완료 시기에 따른 자율주행 대중교통 서비스 도입시기 예측
 - 자율주행 대중교통은 자율주행 순환/셔틀, 자율주행 간선/BRT, 자율주행 DRT, 자율주행 지선 버스로 정의할 수 있음
 - 자율주행 대중교통 도입을 위해 자율주행 환경 인식, 안전, 통신, 시스템 및 기타 기술 개발동향을 분석한 결과, 2022년 경 자율주행 BRT를 시작으로 셔틀, DRT 서비스 순으로 도입될 것으로 예측됨
 - 기술개발에 중점을 둔 예측이므로 경제적 타당성, 운영방식의 결정, 사회적 수용성, 부작용에 대한 대책 마련 등에 대한 검토가 요구됨
- 3 효율적으로 도입하기 위해서는 첨단인프라 측면에서 도로 및 교통 인프라 관리, 시설물 개선, 정보통신 인프라와 관제센터 구축 및 운영 등이 요구되며, 관련 법 개정도 필요함

본 연구보고서의 정책제안

- 1 (활용성) 국내·외 자율주행 대중교통 관련 기술개발, 선행연구, 실증사례 등의 심층 분석을 통해 국내 도입을 위한 기초자료로 활용 가능
- 2 (자율주행 대중교통 도입 예측) 해외 컨설팅 보고서가 아닌 국내화 된 자율주행 대중교통 서비스의 도입순서 및 시기 예측을 통해 효율적 도입을 위한 타임라인 제시
- 3 (미래 대중교통 체계 변화) 셔틀이라는 소형버스에 국한되어 있던 자율주행 대중교통 서비스를 4개의 서비스로 정의하고 기대효과를 제시하여 미래 대중교통 체계 변화 예측

약어표

4WS	4Wheel Steering system	LDM	Local Dynamic Map
ACC	Adaptive Cruise Control	LDWS	Lane Departure Warning System
ACSF	Automatically Commanded Steering Function	LKS	Lane Keeping System
ADAS	Advanced Driver Assistance Systems	LRR	Long Range Radar
AEB	Autonomous Emergency Braking	LRT	Light Rail Transit
AV	Autonomous Vehicle	MFC	Multi Function Camera
BRT	Bus Rapid Transit	MMS	Mobile Mapping System
CARTS	The Committee on Autonomous Road Transport for Singapore	MRM	Minimal Risk Maneuver
C-ITS	Cooperative Intelligent Transport System	MRR	Mid Range Radar
CIWS	Cooperative Intersection Warning System	NDSL	National Digital Science Library
DGPS	Differential Global Positioning System	OBU	On Board Units
DMC	Digital Media City	PRT	Personal Rapid Transit
DNN	Deep Neural Network	RDW	Road Departure Warning
DR	Dead Reckoning	SAE	Society of Automotive Engineers
DRT	Demand Response Transit	SARTRE	Safe Road Trains for the Environment
DSRC	Dedicated Short Range Communication	SRR	Short Range Radar
E-Call	Emergency Call	TPMS	Tire Pressure Monitoring System
EM	Emergency Maneuver	TRID	Transport Research International Documentation
ESC	Electronic Stability Control	UHD	Ultra High Definition
ESF	Emergency Steering Function	UNECE	United Nations Economic Commission for Europe
ESP	Electronic Stability Program	V2I	Vehicle to Infrastructure
FCW	Forward Collision Warning	V2P	Vehicle to Pedestrian
FIR	Far Infrared	V2V	Vehicle to Vehicle
FSRA	Full Speed Range ACC	V2X	Vehicle to Everything
GNSS	Global Navigation Satellite System	VDC	Vehicle Dynamic Control
INS	Inertial Navigation System	VIF	Variation Inflation Factor
ITS	Intelligent Transport System	VVICW	Vehicle to Vehicle Intersection Collision Warning System
LCS	Lane Changing System	WAVE	Wireless Access in Vehicular Environments



1. 연구의 개요

□ 연구의 배경 및 필요성

- 자율주행차 시장은 급성장하고 있으며, 저명 시장조사기관인 IHS에 따르면 2025년까지 자율차 전세계 판매량 60만대, 2035년까지 2,100만대를 전망하며, 정부도 2022년 완전자율주행 기반 마련을 목표로 정책 수립
- 완전 자율주행시대는 안정성 및 효율성 확보, 비싼 차량가격, 기존 교통문제 해결 등의 이유로 승용차보다는 대중교통 서비스로 먼저 도입될 것으로 예상됨
- 자율주행 대중교통이 도입되면 기존 대중교통의 문제점인 안전취약, 낮은 접근성, 차내 혼잡 등을 완화할 수 있을 것으로 기대됨
- 이러한 연구의 필요성에도 불구하고 선행연구에서 자율주행 대중교통의 기술 개발에만 중점을 두어 진행하였기에 본 연구는 자율주행 대중교통 서비스를 정의하고 기술개발 동향에 기반한 도입 순서 및 시기에 따른 구축방안을 제시함

□ 자율주행 대중교통의 정의

- 완전 자율주행 기술을 탑재한 육상 대중교통 수단, 즉 다양한 유형의 버스(광역, 간선, 지선, 수요응답형, 간선급행 등)를 의미하며, 다른 연구에서 선행된 카셰어링이나 준 대중교통 수단인 택시는 본 연구에서 제외함

2. 선행연구 및 사례 분석을 통한 시사점 도출

□ 국내·외 자율주행차량 기술개발 동향 분석

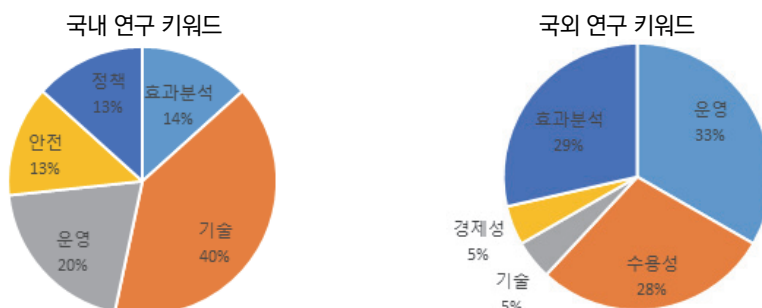
- 2010년경부터 대규모 자율주행 프로젝트를 수행한 유럽이나 미국에 비해 국내 자율주행 기술은 3년 이상 뒤처진 것으로 판단되며 특히 기술개발 역량이 부족한 트럭과 버스의 자율주행은 해외기술에 의존하는 실정임

- 반면, 해외 선진국은 다음과 같이 자율주행차량 기술개발을 수행 중
 - 미국은 국방부 주도로 무인주행차량 연구개발을 주도하고 있으며, VAA (Vehicle Assist and Automation) 프로그램으로 다양한 BRT(Bus Rapid Transit)에 대한 연구를 미국 각지에서 진행하고 있음
 - 유럽연합(EU)에서는 교통혼잡을 감소하고 운전자의 편의성을 향상시키기 위해 대중교통 혼합 상황에서의 차량의 군집주행에 대한 연구를 위해 SARTRE 프로젝트에 2009년부터 2012년까지 640만 유로를 투입한 연구를 진행함

□ 자율주행 대중교통 관련 선행연구 분석

- 자율주행 대중교통 선행연구 분석을 위해 2015년 이후 한국어 또는 영어로 작성된, 심사를 통해 게재되는 국내·외 저널 및 컨퍼런스 프로시딩을 대상으로 키워드 검색을 활용하여 총 36편의 선행연구를 선별·분석함
 - 국내 자율주행 대중교통 관련 연구는 2016년 이후 현재까지 증가추세를 나타내고 있으며, 주로 기술에 대한 연구가 주를 이루고 있으며, 그 외 시범운행을 통한 효과분석에 대한 연구도 수행됨
 - 국외 자율주행 대중교통 관련 선행연구는 기술에 대한 연구보다 수용성에 대한 연구가 높은 비중을 차지하고 있으며, 시범사업을 통한 효과분석 연구 또한 수행됨
 - 해외 선진국은 국내에 비해 기술개발이 선행되어 현재는 기술 적용 단계에서 이용자의 수용성에 대한 연구가 활발히 진행된 것으로 분석됨

그림 1 | 국내·외 자율주행 대중교통 관련 연구 키워드 비율



자료: 저자 작성

□ 자율주행 대중교통 기술개발 및 실증운행 사례 분석

- 2019년 현재 국내에서 자율주행 대중교통과 관련된 기술개발이 2건, 자율주행 기반 대중교통시스템 실증 연구와 전기동력 방식의 대용량 BRT 자율주행 기반 기술 개발, 진행 중임
- 실증운행의 대표적 사례는 판교 제로셔틀과 대구 수성 알파시티 자율주행셔틀이 있으며, KT에서 5G를 이용한 45인승 자율주행 버스 운행 허가 취득 후, 평창올림픽과 인천국제공항에서 시험 운행을 한 사례도 있음
- 북미 18개 도시(미국 14개, 캐나다 4개 도시), 유럽 20개, 아시아 5개, 오세아니아 4개 등 약 50여개 도시에서 실증운행을 함
- 전 세계 자율주행 대중교통 시범운행은 소형차량을 이용한 셔틀 서비스를 운행하는 수준이며, 주로 제한된 구역의 정해진 단거리 노선을 운행함

□ 자율주행 대중교통 서비스 정의

- 본 연구는 차량제원(크기, 속도, 자율주행 레벨 등)과 운행조건(운행거리, 전용차로 운영 유무, 교통류, 노선특성 등)을 고려하여 총 4개의 자율주행 대중교통 서비스를 정의함
 - 자율주행 순환/셔틀: 저속주행이 가능한 소형차량을 이용한 단속류 위주의 주행으로 기존 대중교통 접근성 향상을 위한 first/last mile 서비스로 활용
 - 자율주행 간선/BRT: 고속주행이 가능한 중·대형 차량을 이용한 폐쇄형 연속류 고정노선 위주 주행으로 정시성이 확보되는 간선 서비스로 활용
 - 자율주행 DRT: 저속주행이 가능한 소형차량을 이용하여 수요에 따른 동적 경로 탐색을 통해 교통소외 지역 서비스 제공 및 교통약자 편의 증진에 활용
 - 자율주행 지선: 저속주행 기반의 중·대형 차량을 이용한 개방형 단속류의 단거리 고정 노선 서비스로 활용

3. 자율주행 대중교통 도입효과 분석

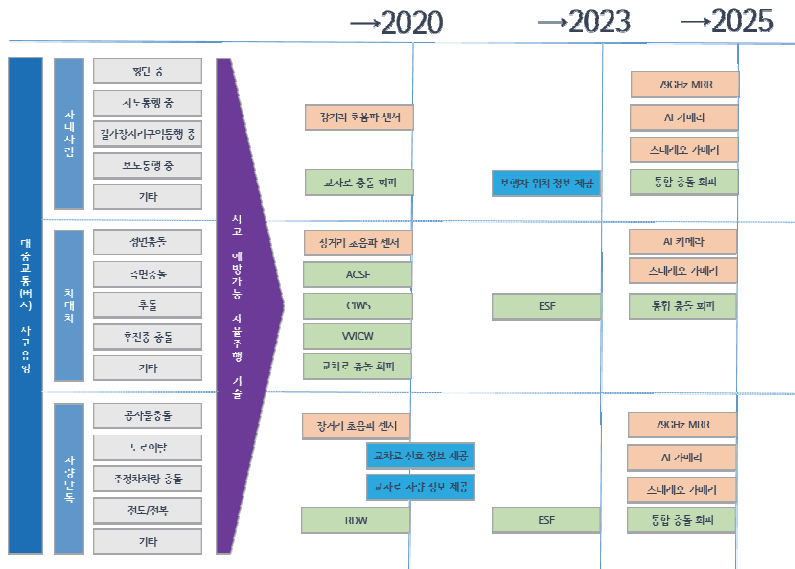
□ 기존 대중교통 서비스 문제점 분석

- 버스 교통사고 통계 분석 결과, 사고건수는 감소하였으나 사망자수는 뚜렷한 감소를 나타내고 있지 않음
 - 절반 이상의 사고가 운전자의 부주의로 인한 사고로 나타났음
 - 60세 정년이 지나도 촉탁직으로 근무 가능한 고령 운전자가 증가하는 추세이며, 61세 넘는 고령 운전자로 인한 사고는 전체의 18.6%로 높게 나타남
- 대중교통으로서 버스의 서비스 관련 문제점이 사회적 이슈가 되고 있음
 - 운송원가 중 노무비의 비중이 높고, 이로 인해 수익이 낮은 벽지노선의 운행 문제, 적정 배차간격 유지, 한정적 운영시간 등의 문제가 있음
 - 서비스 만족도 조사 결과, 차내 혼잡도에 대한 불만이 가장 크고, 안전 및 교통약자에 대한 시설 순으로 만족도가 낮게 나타남

□ 자율주행 대중교통 도입효과 분석

- 자율주행차는 운전자와 도로 운영자 측면의 기대효과가 있으며, 대표적인 기대 효과는 안전성 향상과 차두거리 감소로 인한 용량 극대화 등을 들 수 있음
- 하지만, 본 연구에서는 자율주행 기술이 대중교통에 도입될 때 발생 가능한 기대효과에 중점을 두어 분석하였고, 그 결과는 다음과 같음
 - 기존 버스 사고유형 분석 결과, 상당수가 자율주행 기술을 통해 예방 가능할 것으로 기대되며, 10%의 사고가 감소할 경우 연평균 160억의 효과가 있음
 - 자율주행버스가 도입되면, 기존 운전기사와 관련된 노무비를 절감할 수 있고, 이를 통해 기존보다 더 많은 차량을 동일한 비용으로 배차할 수 있어 더 나은 대중교통 서비스를 제공할 수 있음
 - 그 외, 도시공간 효율화, 낮은 구축비용으로 높은 수송량 제공, 새로운 교통 서비스 제공, 환경오염 감소 등의 직·간접 효과가 있을 것으로 기대됨

그림 2 | 사고유형 별 자율주행 예방 기술



자료: 저자 작성

□ 이용자 측면의 기대사항 조사

- 서울특별시 마포구 상암동, 경기도 성남시 분당구 판교신도시, 세종특별자치시 전역을 대상으로 2019년 5월 20일~6월 7일까지 대면조사를 통해 총 750부의 유효설문을 수집하여 분석함
- 대다수의 응답자가 이미 자율주행 대중교통을 알고 있었으며, 약 64%가 안전성의 이유 등으로 도입을 찬성함
- 첨단기술에 대한 신뢰도가 높은, 차내 이동시간이 긴 통행자, ACC 장착 차량 소유자 그룹이 그렇지 않은 그룹에 비해 선호도가 높았으며, 운전경력이 길수록 선호도가 낮은 것으로 나타남

4. 서비스 도입시기 예측과 효율적 구축방안 제시

□ 자율주행 기술개발 동향 분석

- 총 5개의 대분류에 대해 한국자동차연구원과 협동연구로 기술개발 완료시점 및 상세 기술에 대해 제시함

표 1 | 자율주행 관련 기술 대분류

분류	세부 내용
자율주행 환경 인식 기술	주변 환경 인식을 위한 센서 기술
자율주행 안전 기술	사고를 방지하고 예방하기 위한 안전운전 지원 기술
자율주행 통신 기술	센서 한계 극복과 교통정보 수집 및 제공을 위한 통신 기술
자율주행시스템 기술	종방향 속도제어/횡방향 제어 기술
자율주행 관련 기타 기술	고정밀 지도 및 자율주행 대중교통을 위한 정류장 도킹, 탑승자 모니터링 시스템 등

자료: 저자 작성

□ 서비스 도입순서 및 시기 예측

- 앞서 정의된 자율주행 대중교통 서비스를 위한 필수 기술을 정의하고, 기술의 개발완료 시기에 따라 도입순서 및 시기를 예측함
 - 2022년 자율주행 BRT를 시작으로 자율주행 셔틀, 지선, DRT 서비스가 도입될 것으로 예상됨

그림 3 | 자율주행 대중교통 서비스 도입 순서 및 시기



자료: 저자 작성

□ 첨단인프라 구축 및 법·제도 개선방안

- 도로 및 교통 인프라 측면에서 차선관리와 도로·표지판 관리, 시설물 측면에서 주행 환경 개선 시설물, 비상 상황 대응 시설물, 자율주행 대중교통 정류장 시설에 대한 검토, 교통정보 제공 인프라 구축 및 운영과 관제센터의 역할이 요구
- 법·제도 측면에서 운수종사자 면허 관련 기준, 자율주행차량 표시 의무, 자율주행 대중교통을 위한 정류장 시설 정의, 관제 및 데이터 관리센터 정의 등에 대한 관련 법 개정이 요구

5. 결론 및 향후과제

- 자율주행 대중교통 서비스는 기술개발 동향에 기초한 분석결과, 2022년 BRT를 시작으로 도입될 예정이며, 2025년 셔틀서비스가 가능하다고 예측됨
- 효율적인 도입을 위해 첨단인프라 측면의 정부지원과 법·제도 개선 등이 논의되어야 함
- 향후 지속적인 연구를 통하여 본 연구에서 다루지 못한 기술, 운영, 수용성에 대한 구축방안 제시가 필요함

차례

CONTENTS

주요 내용 및 정책제안	iii
요 약	v

제1장 서론

1. 연구의 배경 및 목적	3
2. 연구의 범위 및 방법	7
3. 연구 틀 및 주요개념	9
4. 선행연구 검토 및 차별성	12
5. 연구의 기대효과	16

제2장 선행연구 및 사례 분석을 통한 시사점 도출

1. 국내·외 자율주행차량 기술개발 동향 분석	19
2. 자율주행 대중교통 관련 선행연구 분석	23
3. 자율주행 대중교통 기술개발 및 실증운영 사례 분석	29
4. 자율주행 대중교통 서비스 정의	38

제3장 자율주행 대중교통 도입효과 분석

1. 기존 대중교통 서비스 문제점 분석	43
2. 자율주행 대중교통 도입효과 분석	51
3. 이용자 측면의 기대사항 조사	67

제4장 서비스 도입시기 예측과 효율적 구축방안 제시

1. 자율주행 기술개발 동향 분석	95
2. 자율주행 비기술 동향 분석	130
3. 서비스 도입순서 및 시기 예측	133
4. 첨단인프라 구축방안	137
5. 법·제도 개선방안	140

제5장 결론 및 향후 과제

1. 결론 및 정책제언	145
2. 연구의 한계와 향후 과제	149

참고문헌	153
------------	-----

SUMMARY	160
---------------	-----

표차례

LIST OF TABLES

〈표 1-1〉 선행연구와 본 연구와의 차별성	13
〈표 2-1〉 국내 자율주행 대중교통 관련 연구 현황	24
〈표 2-2〉 해외 자율주행 대중교통 관련 연구 현황	25
〈표 2-3〉 국내·외 자율주행 대중교통 관련 선행연구 키워드 분석 시사점	27
〈표 2-4〉 국내 자율주행 대중교통 관련 R&D 현황	29
〈표 2-5〉 자율주행기반 대중교통 시범운행 도시 및 세부내용	32
〈표 2-6〉 자율주행기반 대중교통 시범운행 준비 도시 및 세부내용	37
〈표 2-7〉 자율주행기반 대중교통 서비스 분류 조건	39
〈표 2-8〉 자율주행기반 대중교통 서비스	40
〈표 3-1〉 버스 교통사고 추세(2013~2017년)	44
〈표 3-2〉 2017년 버스 업종별, 법규위반별 교통사고 현황	45
〈표 3-3〉 2017년 버스 업종별 종사자 연령 현황	46
〈표 3-4〉 2017년 버스 연령별 교통사고 현황	47
〈표 3-5〉 서울시 표준운송원가의 항목, 산정방법 및 내역(2016년)_1일 기준	48
〈표 3-6〉 2018년 대중교통 서비스 만족도(전국)	50
〈표 3-7〉 자율주행차량 도입에 따른 기대효과	51
〈표 3-8〉 2017년 버스 업종별, 사고유형별 교통사고 현황	52
〈표 3-9〉 자율버스 도입에 따른 교통사고 감소 시나리오 별 사고비용	54
〈표 3-10〉 버스 승차인원 및 가격(현대자동차 기준)	54
〈표 3-11〉 버스 구입비 및 운영비(시나리오 1)	56
〈표 3-12〉 버스 구입비 및 운영비(시나리오 2)	57
〈표 3-13〉 버스 구입비 및 운영비(시나리오 3)	58
〈표 3-14〉 버스 구입비 및 운영비(시나리오 4)	59
〈표 3-15〉 버스 구입비 및 운영비(시나리오 5)	60
〈표 3-16〉 버스 구입비 및 운영비(시나리오 6)	61
〈표 3-17〉 자율주행기반 대중교통 서비스와 기대효과	66

〈표 3-18〉 설문조사 개요	68
〈표 3-19〉 응답자 특성	69
〈표 3-20〉 응답자 대중교통 만족도	73
〈표 3-21〉 응답자 시민의식	75
〈표 3-22〉 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 우려되는 점	81
〈표 3-23〉 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 기대되는 점	84
〈표 3-24〉 상관분석 결과	86
〈표 3-25〉 이항 로짓분석 검정결과	88
〈표 3-26〉 이항 로짓분석 결과	89
〈표 4-1〉 자율주행 관련 기술 대분류	95
〈표 4-2〉 자율주행기반 대중교통 서비스 분류 조건	134
〈표 4-3〉 대중교통 버스 관련 법령	140

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 1-1〉 연구 흐름도	10
〈그림 1-2〉 자율주행차 기술수준	11
〈그림 2-1〉 Automated Vehicles Guidance	21
〈그림 2-2〉 국내·외 자율주행 대중교통 관련 연구 키워드 비율	27
〈그림 2-3〉 판교 제로셔틀	30
〈그림 2-4〉 대구 수성알파시티 자율주행셔틀	30
〈그림 2-5〉 인천국제공항 시험운행 중인 KT 자율주행 45인승 버스	31
〈그림 2-6〉 자율주행기반 대중교통 수단별 서비스(예)	38
〈그림 2-7〉 서비스 유형분류를 위한 요소 정의	39
〈그림 2-8〉 환경조건 요소 조합을 통한 자율주행 서비스 도출	40
〈그림 3-1〉 운전기사 연령별 현황	46
〈그림 3-2〉 교통사고 가해운전자 연령층별 비율	47
〈그림 3-3〉 표준 운송원가 항목별 비율(서울시 예)	49
〈그림 3-4〉 사고유형 별 자율주행 예방 기술	53
〈그림 3-5〉 표준 운송원가 항목별 비율 비교	55
〈그림 3-6〉 손익분기점(시나리오 1)	56
〈그림 3-7〉 손익분기점(시나리오 2)	57
〈그림 3-8〉 손익분기점(시나리오 3)	58
〈그림 3-9〉 손익분기점(시나리오 4)	59
〈그림 3-10〉 손익분기점(시나리오 5)	60
〈그림 3-11〉 손익분기점(시나리오 6)	61
〈그림 3-12〉 로스앤젤레스 도로재편	63
〈그림 3-13〉 자율주행 대중교통 도입으로 인한 도시공간 효율화	64
〈그림 3-14〉 응답자 운전경력	70
〈그림 3-15〉 응답자 통행시간	71
〈그림 3-16〉 응답자 통행비용	71

〈그림 3-17〉 응답자 통행수단	72
〈그림 3-18〉 응답자 대중교통 만족도	73
〈그림 3-19〉 응답자 교통사고 원인	74
〈그림 3-20〉 시민의식 조사결과	75
〈그림 3-21〉 응답자의 보유하고 있는 자가용 AEB(긴급제동장치) 장착여부	76
〈그림 3-22〉 응답자의 보유하고 있는 자가용에 장착된 AEB(긴급제동장치)의 안전운전 유용성	77
〈그림 3-23〉 응답자의 보유하고 있는 자가용의 ACC(어댑티브 크루즈 컨트롤) 장착여부	77
〈그림 3-24〉 응답자의 보유하고 있는 자가용에 장착된 ACC(어댑티브 크루즈 컨트롤) 이용여부	78
〈그림 3-25〉 응답자 자율주행 대중교통(버스) 인지도	79
〈그림 3-26〉 응답자 자율주행기반 대중교통(버스) 도입 찬반의사	80
〈그림 3-27〉 응답자 자율주행기반 대중교통(버스)이용의사	80
〈그림 3-28〉 응답자 자율주행기반 대중교통(버스)의 안전성	81
〈그림 3-29〉 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 우려되는 점 분류	83
〈그림 3-30〉 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 기대되는 점 분류	85
〈그림 4-1〉 자율주행 환경 인식 기술 로드맵	96
〈그림 4-2〉 Bosch Radar Sensor(77GHz)	97
〈그림 4-3〉 Sensor devices around the vehicle	98
〈그림 4-4〉 전방카메라 예시	99
〈그림 4-5〉 NVIDIA PEGASUS Computing Platform	100
〈그림 4-6〉 Bosch 초음파 센서	101
〈그림 4-7〉 ibeo LUD HD 레이저 스캐너(LIDAR)	102
〈그림 4-8〉 Velodyne 레이저 스캐너(LIDAR)	102
〈그림 4-9〉 차량용 열화상카메라 장착 예시	103

그림차례

LIST OF FIGURES

〈그림 4-10〉 Flash LIDAR 예시	104
〈그림 4-11〉 Tri-focal 카메라	104
〈그림 4-12〉 Bosch stereo camera	105
〈그림 4-13〉 자율주행 안전 기술 로드맵	106
〈그림 4-14〉 고속도로 운전 지원시스템	108
〈그림 4-15〉 긴급조향을 통한 사고회피시스템	109
〈그림 4-16〉 제동 및 조향을 통한 사고회피시스템	111
〈그림 4-17〉 V2I를 이용한 교차로 경고시스템 예시	112
〈그림 4-18〉 V2V를 이용한 교차로 사고 위험 경고시스템 예시	113
〈그림 4-19〉 자율주행 통신 기술 로드맵	114
〈그림 4-20〉 V2I기반 차량과 관제시스템 구성도	119
〈그림 4-21〉 V2I기반 합류로 및 정체구간 정보제공 예시	120
〈그림 4-22〉 자율주행 시스템 기술 로드맵	121
〈그림 4-23〉 좌우 자동차선변경시스템 작동 예시	123
〈그림 4-24〉 센서기반 자율주차 기술 예시	124
〈그림 4-25〉 자율주행 관련 기타 기술 로드맵	126
〈그림 4-26〉 국내 자율주행 대중교통관련 연구 동향	131
〈그림 4-27〉 국외 자율주행 대중교통관련 연구 동향	131
〈그림 4-28〉 규제 이슈관련 로드맵	132
〈그림 4-29〉 자율주행 대중교통 서비스 도입 순서 및 시기	137



CHAPTER 1

서론

- 1. 연구의 배경 및 목적 | 3
- 2. 연구의 범위 및 방법 | 7
- 3. 연구 틀 및 주요개념 | 9
- 4. 선행연구 검토 및 차별성 | 12
- 5. 연구의 기대효과 | 16

서론

자율주행차 시장은 급성장하고 있으며, 2022년 완전 자율주행 기반 마련을 위해 정부도 다양한 지원을 하고 있다. 자율주행은 개인승용차보다는 대중교통으로서 선 도입될 것으로 예상되며, 안전성 및 기존 대중교통 서비스 향상 등의 효과를 기대할 수 있다. 하지만, 자율주행 대중교통에 대한 연구는 소형 셔틀 개발에만 집중되고 있으며 정책 연구가 부족한 실정이라 본 연구에서 자율주행 대중교통의 다양한 서비스에 대한 정의와 이를 토대로 첨단인프라 구축 및 법·제도 개선방안을 제시하고자 한다. 연구방법론은 국내·외 자율주행 대중교통 관련 연구 및 실증 운행사례를 분석하고 일반인 대상의 설문조사 등을 수행한다. 최종적으로 본 연구를 통한 기대효과를 제시하였다.

1. 연구의 배경 및 목적

1) 연구의 배경 및 필요성

(1) 국내·외 자율주행 시대를 위한 준비 강화

시장조사기관인 IHS(2016)는 자율주행차 전세계 판매량이 2025년까지 60만대, 2035년까지 2,100만대로 전망하며¹⁾, PwC(2019)는 2021년 시속 50km 미만으로 주행하는 레벨 4 자율주행이 가능할 것으로 예상하였다.²⁾

정부는 2020년 자율주행 레벨 3 조기 상용화와 2022년 완전 자율주행 기반 마련을

1) 이승민, 2018. 자율주행자동차 최근 동향 및 시사점, p.18 정보통신기술진흥센터 Weekly report.

2) PwC (2019.), The 2019 Strategy & Digital Auto Report. p.25.

목표로 자율주행차 임시운행허가제도 마련(2016. 2), 주행가능도로 전국화 (2016. 9), 테스트베드(K-City) 구축(2016~2018), 데이터공유센터 구축 및 운영(2018. 12~)의 기술개발 지원을 수행하였다.

이와 더불어, C-ITS를 통한 스마트도로 구축, 정밀도로지도 구축(~2022) 및 전국 확대, 정밀 GPS 기술개발 및 상용화(2019) 등의 인프라 구축과 자동차 안전기준 마련(2017~2020) 및 보험제도 개편 등의 제도개선의 정책적 지원을 실시 중이다.³⁾

해외 선진국의 현황을 살펴보면, 미국은 2011년 6월 네바다 주를 시작으로 자율주행테스트를 허가했으며, 2016년 1월 12일 자율주행차를 미국의 국가전략기술로 선정해 집중 연구할 계획을 발표했다.⁴⁾ 독일은 2015년 6월 자율주행 라운드테이블에서 ‘자동화와 네트워크 운전 전략’ 입법안을 통과시키고, 자율주행차량 시험연구 및 상용화 지원을 위해 2015년 9월부터 바이에른 주에서 ‘Digital Test Field’를 운영 중에 있다.⁵⁾ 싱가포르는 2014년 자율도로교통위원회(CARTS, The Committee on Autonomous Road Transport for Singapore)를 설립하여 대중교통 고정노선, 수요 응답형 및 도어투도어, 물류, 쓰레기 및 청소 자율주행차량 서비스 등 4개의 전략을 수립하였다.⁶⁾

(2) 대중교통으로서의 자율주행 시대 도래

현재 부분 자율주행은 승용차로서 도입이 빠른 편이나, 완전 자율주행시대는 승용차보다는 화물과 대중교통에 먼저 도입될 것으로 예상된다. 그 이유는 첫째, 승용차에 비해 화물운송 및 대중교통은 운행구간이 단조롭고 반복적이라 변수가 적어 자율주행차량 도입 안정성 및 효율성이 높다.⁷⁾ 둘째, 자율주행차량은 기술완성 초기단계에 높은 가격으로 책정되어 판매될 것이기 때문에 일반 소비자들이 개인승용차로서 쉽게 구

3) 국토교통부 웹사이트(https://www.molit.go.kr/7works/content/sub_0101.jsp), 신산업 육성-자율주행차-개요, 검색일: 2019.2.8.

4) IT News(2018.1.2.), 미국 자율차 정책·전략 집중 분석...한국 ‘자율차 개발전략’과 비교 분석

5) Kotra(2017), 독일, 자율주행 미니버스 근거리 대중교통수단 첫 운행 시작, 해외시장뉴스.

6) 조선비즈(2016.6.19.), 자율주행차로 대중교통을 즐기게 하겠다.

7) 국민일보(2018.8.23.), 자율주행시대, 화물트럭이 승용차보다 먼저 연다.

입하기 어려운 제품이다. 셋째, 개인승용차로서 자율주행은 공차의 운행거리 증가로 총 차량통행거리(Vehicle Miles Traveled, VMT)를 증가시키고 도로 혼잡을 유발할 수 있으므로 대중교통으로 도입이 현재 직면한 도시의 교통문제 해결을 위해 더 적합하기 때문이다.

국내 최초 자율주행버스인 제로셔틀(서울대학교 차세대융합기술원 주도 개발)이 판교 테크노밸리 5.5km 구간을 운행하였고(2019. 4~)⁸⁾, 이는 레벨 3~4 수준의 11인승 전기차량으로 ADAS⁹⁾, 3D HD map, V2X 통신 기술, 차량 제어 기술, DGPS¹⁰⁾, INS¹¹⁾ 등을 장착하고, 주중 맑은 날 10~12시, 14~16시 사이, 좌회전 4회, 우회전 2회, 차선변경 12회, 신호등 15회, 터널 6회 통과 등의 코스를 대상으로 하였다.

전 세계적으로 북미지역과 유럽이 선도적으로 자율주행 대중교통을 시험운행 또는 정해진 짧은 구간의 노선을 운행 중에 있으며, 세부적으로 살펴보면 북미 18개 도시(미국 14개, 캐나다 4개 도시), 유럽 20개, 아시아 5개, 오세아니아 4개 등 약 50여개 도시에서 자율주행 대중교통 셔틀서비스가 시험운행 완료 또는 진행 중에 있다(2장에서 정리한 Bloomberg Philanthropies(<https://avsincities.bloomberg.org/>) 웹사이트 자료).

(3) 자율주행 대중교통의 역할과 기대효과

자율주행 대중교통은 자율주행이라는 첨단기술로 인해 발생할 수 있는 일반 자율주행 승용차와 동일한 기대효과가 있다. 즉, 탑승자 측면에서는 운전자의 인적 오류로 인한 사고 감소로 안전성을 확보할 수 있고, 센서 및 데이터 연계를 통한 운행 효율성을 기대할 수 있다. 또한, 운전자 측면에서는 돌발상황에 대한 즉각적인 대응으로 안전성 향상과 짧은 차두거리 유지로 도로용량 증가 및 정체 감소를 기대할 수 있다.

8) 민성희(2018.6.), 제로셔틀로 본 국내 자율주행차 과제, p.15, Weekly KDB Report.

9) ADAS: Advanced Driver Assistance Systems(첨단 운전자 보조 시스템).

10) DGPS: Differential Global Positioning System(위성항법보조시스템).

11) INS: Inertial Navigation System(관성항법장치).

자율주행 대중교통이 판교 창조경제밸리에 도입되었을 때, 연간 약 7억 원의 통행시간 절감 편익, 연간 약 3억 원의 인건비 절감 편익, 연간 약 1억 원의 연료절감 편익이 발생할 것으로 예상하였다(빈미영, p. 154~156, 2016). 국외 연구결과, 자율주행 대중교통 도입으로 교통사고 감소로 인해 보험 산업은 1인당 60% 감소, 교통 치안 부문 50%, 개인 교통비용은 31%, 자동차 수리 관련 산업은 26%, 건설 및 인프라 산업은 4% 감소할 것으로 예상하였다(Clements and Kockelman, p. 14, 2017).

뿐만 아니라, 자율주행차량이 대중교통으로 이용될 때, 기존 대중교통이 갖고 있는 문제점을 완화할 수 있을 것으로 기대된다. 즉, 기존 버스의 경우 노무비(운전자 급여, 제수당, 상여금, 퇴직급여)가 전체 운송원가의 높은 비율을 차지하는 것으로 나타났기 때문에¹²⁾ 운전자가 필요 없는 최고 수준의 자율주행이 현실화되면, 운송원가 절약으로 인해 적자노선 및 교통 소외지역에 대중교통 서비스를 제공하여 포용성을 확보할 수 있을 것이다. 기존 교통소외 지역의 대중교통은 1회 운행거리가 월등히 높고 배차 간격이 길 수밖에 없는 구조와 낮은 교통 인프라 구축으로 인해 해당 지역의 대중교통 서비스 수준은 점점 낙후될 수밖에 없는 악순환 구조이다.

그리고, 구축비용이 높은 경량전철(LRT, Light Rail Transit) 수준의 수송용량을 차두간격을 줄인 자율주행기반 간선급행버스(BRT, Bus Rapid Transit) 도입을 통해 달성할 수 있으며, 기존 수동운전보다 정밀한 정류장 정차를 통해 승객의 승하차시간을 확보하여 교통약자(장애인 및 노약자 등)의 편의를 증진시킬 수 있는 등의 효과가 있을 것으로 기대된다.

(4) 자율주행 대중교통의 효율적 도입을 위한 준비 부족

앞서 살펴본 바와 같이 자율주행 시대는 성큼 다가왔으며, 완전 자율주행은 대중교통으로서 도입되어 향후 공유교통 또는 개인 승용차로 확장될 것으로 전망된다. 하지만, 국내 연구개발은 자율주행 소형 차량기술개발에 중점을 두어 진행되어 왔으며, 대

12) 자료: 한국자치경제연구원(2013), 시내·외 버스 운행 노선별 원가검증 용역 보고서, p.60.

중교통으로서 자율주행차량 도입에 대비한 정책연구는 없는 실정이다. 따라서 각 자율주행기술 개발완료에 따른 대중교통 서비스를 예측하고, 국내 실정에 맞는 효율적 도입을 위한 연구가 절실히 요구된다

2) 연구의 목적

본 연구의 목적은 자율주행 대중교통의 효율적인 국내 도입을 위한 기초 마련으로, 자율주행 대중교통 서비스 정의와 함께 기술개발 수준에 따른 각 서비스의 도입시기를 예측하고, 이를 위한 첨단인프라 구축 및 법·제도 개선 방안을 제시하는 것이다.

세부적으로 국내·외 자율주행 대중교통 관련 선행연구 및 운행사례를 분석하고, 이를 통해 자율주행 대중교통의 도입 가능한 서비스를 정의한다. 잠재 이용자 설문조사를 통한 선호도 분석과 자율주행 대중교통 도입 시 발생 가능한 효과에 대해 분석한다. 또한, 한국자동차연구원과 협동연구를 통해 자율주행 대중교통을 위한 기술개발 동향을 분석하여 도입 가능한 서비스의 우선순위와 시기를 예측하고, 이를 효과적으로 도입하기 위한 첨단인프라 구축 및 법·제도 개선 방안을 제시한다.

2. 연구의 범위 및 방법

1) 연구의 범위 및 정의

(1) 시·공간적 범위

본 연구의 대상은 전국으로 하며, 자율주행 대중교통 시스템의 도입을 추진하고 있거나 추진계획이 있는 도시를 포함한다. 분석자료는 2018년 또는 구득 가능한 최신 자료를 활용하며, 시간적 범위는 완전 자율주행 예상 시기인 2025년 이후로 설정한다.

(2) 내용적 범위

내용적 범위는 자율주행 대중교통 관련 선행연구 분석, 자율주행 대중교통 도입에 따른 일반 이용자의 선호도 및 도입효과 분석, 자율주행기반 대중교통을 위한 하드웨어와 소프트웨어를 포함한 기술 분석 및 기술개발 완료 시기 예측과 더불어, 우선 도입 가능한 서비스와 시기를 포함한 로드맵 제시와 함께 효과적 도입을 위한 첨단인프라 구축 및 법·제도 개선 방안을 포함한다.

2) 연구 방법

(1) 문헌연구

국내·외 발간된 논문, 연구개발 성과품 등의 문헌연구를 통하여 자율주행차량, 자율주행 대중교통(특히, BRT와 셔틀)의 연구와 기술개발 동향, 실증 운행사례 등을 분석하여 시사점을 도출하고 도입 가능한 자율주행 대중교통 서비스를 정의한다.

(2) 전문가 자문 및 연구협의체

자율주행 대중교통 관련 기술개발 동향에 대한 국내 전문가 자문, 시범운행 관련 교훈(Lessons Learned)과 국내 도입 로드맵 및 상세 구축방안에 대해 자문회의 개최 및 연구협의체를 운영한다.

(3) 설문조사

자율주행 대중교통 도입에 대한 일반 이용자들의 선호도 조사와 통계분석을 통해 자율주행 대중교통 서비스에 대한 선호도가 높은 그룹의 특성을 분석하여 향후 자율주행 대중교통 도입을 위한 이용자 관점의 시사점을 도출한다.

(4) 협동연구

자율주행차량 기술에 대한 전문 역량을 보유한 한국자동차연구원과 협동연구를 수행하여 관련 기술의 국내 개발동향 분석하고 이를 통해 본 연구에서 정의된 자율주행 대중교통 서비스의 도입 순서 및 시기를 예측한다.

3. 연구 틀 및 주요개념

1) 연구 틀

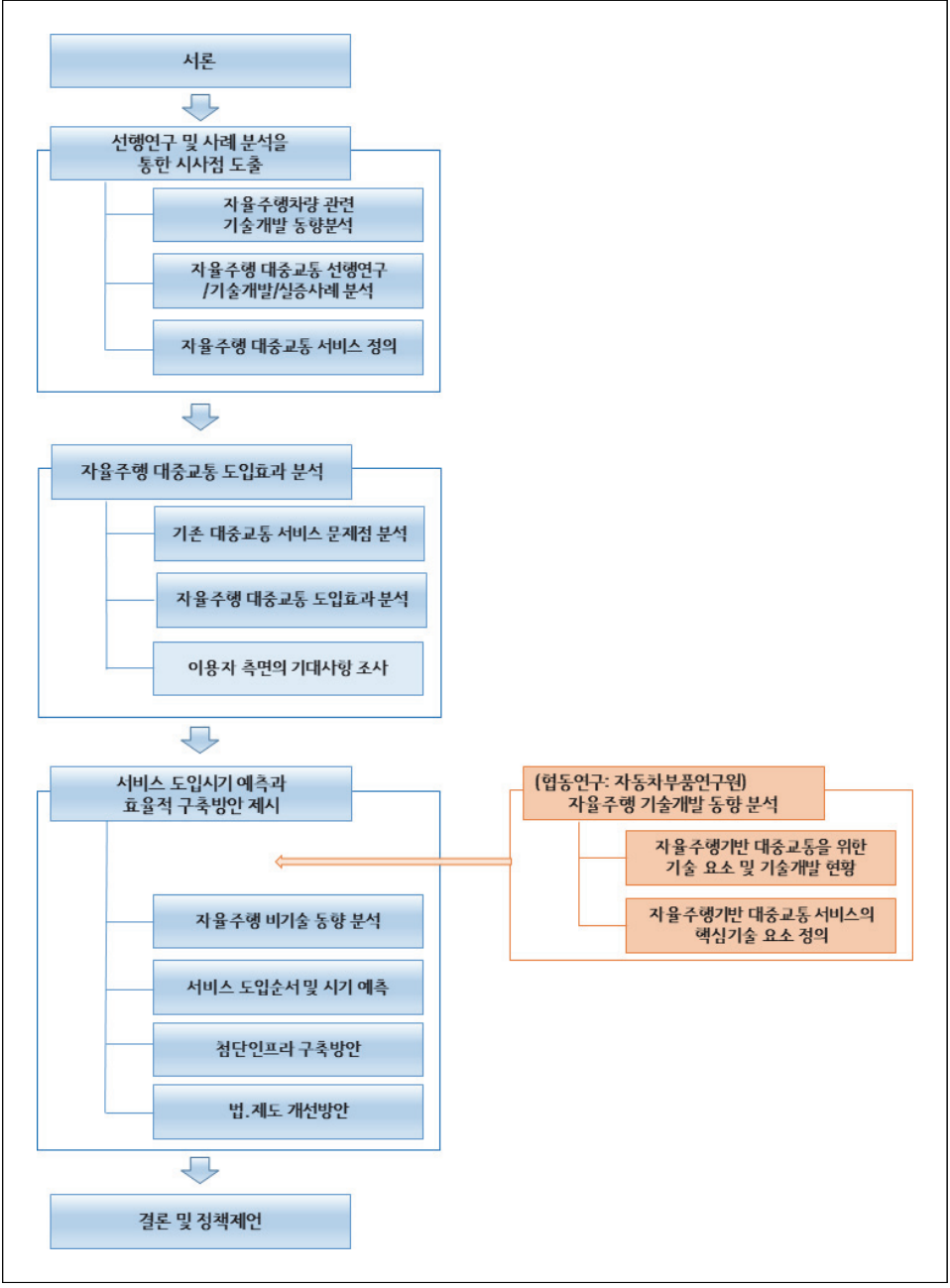
1장에서 연구의 배경 및 목적, 범위 및 방법, 주요개념 및 선행연구와의 차별성을 검토하고, 2장에서 국내·외 기술개발 동향, 관련 연구, 실증사례 분석 등을 통해 시사점을 도출하고 자율주행 대중교통 서비스를 정의한다.

3장에서는 기존 대중교통 서비스의 문제점을 분석하여 이를 토대로 자율주행 기술이 도입되었을 때 발생할 수 있는 효과를 제시하였으며, 이용자 설문조사 분석을 통해 이용자 관점의 자율주행 대중교통에 대한 시사점을 제시하였다.

4장은 한국자동차연구원과의 협동연구 결과를 제시하였다. 자율주행 기술개발 동향 분석을 통해 2장에서 정의된 자율주행 대중교통 서비스의 도입순서와 시기를 예측하였고 이에 기반한 첨단인프라 구축방안 및 법·제도 개선방안을 제시하였다.

마지막으로 5장은 본 연구 결과에 대한 결론과 자율주행 대중교통의 효율적 도입 및 구축을 위한 정책을 서술하였다.

그림 1-1 | 연구 흐름도



자료: 저자 작성

2) 주요개념

(1) 자율주행차

자율주행차는 4차 산업혁명 핵심기술을 기반으로 한 ‘스스로 도로환경 인식, 위험 판단, 주행경로 계획, 차량 제어 등을 통해 목적지까지 안전한 주행이 가능한 자동차’라 정의하고, 기술수준에 따라 0~5 레벨로 구분가능하며(SAE Standard J3016 기준), 2019년 현재 2~3단계 수준이고 2020년 3단계, 2025년까지 5단계를 예상한다.

그림 1-2 | 자율주행차 기술수준

자율주행의 기술 수준 (Levels of driving automation)						
SAE 레벨	명칭	상세내용	조향 가/감속	주행환경 주시	문제발생 대응	운전 모드 시 시스템 지원사항
운전자가 주행 환경을 주시						
0	비(非)자율주행	운전자가 주행 전반의 모든 사항을 담당하는 단계	운전자	운전자	운전자	없음
1	운전자 보조	시스템이 주행을 보조 (조향 또는 가/감속)해도 운전자가 언제나 개입할 수 있어야 하는 단계	운전자, 시스템	운전자	운전자	일부 기능 지원
2	일부 자율주행	시스템이 주행을 보조 (조향과 가/감속)해도 운전자가 언제나 개입할 수 있어야 하는 단계	시스템	운전자	운전자	일부 기능 지원
자율주행시스템(Automated driving system)이 주행 환경을 주시						
3	조건부 자율주행	운전자의 필요시 개입이 요구되는 단계	시스템	시스템	운전자	일부 기능 지원
4	고(南)레벨 자율주행	운전자의 적절한 개입이 없어도 주행이 가능한 단계	시스템	시스템	시스템	일부 기능 지원
5	완전 자율주행	모든 주행을 자율주행시스템이 담당하는 단계	시스템	시스템	시스템	모든 기능 지원

자료: SAE (2016), p.2 자료 저자 재구성

(2) 자율주행 대중교통

자율주행 대중교통은 완전 자율주행 기술을 탑재한 차량으로 운행되는 육상 대중교통 수단, 즉 다양한 유형의 버스 중, BRT와 셔틀에 중점을 두어 연구를 진행하며, 카셰어링이나 택시 서비스는 본 연구에서 제외한다.

4. 선행연구 검토 및 차별성

1) 선행연구 검토

자율주행 차량 관련 선행연구와 더불어 이를 위한 지능형 인프라 연구, 실증평가 기술에 대한 연구가 진행되어 왔다. 소형 무인 대중교통 시스템 기술개발 및 대용량 BRT 자동운전 요소 기술 중심의 연구개발이 한국철도기술연구원을 중심으로 수행되었고, 인프라 기반의 자율주행 대중교통 기술 개발 및 주행제어시스템 등의 기술개발과 실증(판교, K-City) 평가전략에 대한 연구 또한 진행되었으며, 자율주행차 도입에 따른 국토공간 변화와 자동차 산업 전망에 대한 연구도 수행되었다.

2) 선행연구와 본 연구와의 차별성

기존 선행연구의 목적, 방법 및 연구내용은 다음과 같으며, 본 연구와의 차별성은 기술개발에 중점을 둔 기존 연구와는 달리 서비스와 도입을 위한 방안(첨단인프라 구축방안 및 법·제도 개선방안)에 중점을 둔 정책연구라는 점이다.

선행연구는 크게 두 가지로 나눌 수 있는데, 하나는 자율주행시대를 대비한 정책관련 연구이고, 다른 하나는 자율주행 대중교통 기술개발 연구이다. 정책관련 연구는 자율주행 대중교통에 대해 심도있게 다루지 못하였으며, 기술개발 연구는 소형 차량 즉, 자율주행기반 셔틀서비스에 대한 기술개발로 폭넓은 자율주행 대중교통 서비스를 다루지 못한 한계점이 있다.

따라서 본 연구에서는 자율주행 대중교통에 중점을 둔 정책을 제시하는 것과 자율주행 셔틀 뿐만 아니라, 다양한 서비스를 정의하고 각 서비스에 대한 도입 순서 및 시기를 예측하는 것을 목표로 한다.

표 1-1 | 선행연구와 본 연구와의 차별성

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
주요 선행 연구	1	• 과제명: 자율주행시대를 대비한 첨단도로인프라의 전략적 관리방안 연구 • 연구자: 김광호 외 (2016) • 연구목적: 기존의 운영 및 유지관리 체계를 개선하기 위한 분석절차 및 정책 방안 제시	• 국내외 문헌고찰 • 첨단도로인프라 발전동향 분석 • 원칙 및 분석 절차 수립 후 분석절차 적용 • 첨단도로인프라 관리를 위한 정책방안 도출	• 첨단도로인프라의 기술 환경 변화 검토 • 첨단도로인프라의 관리 현황 검토 • 대전시 사례 분석 • C-ITS 및 자율주행 도입에 대입에 대비한 첨단도로인프라 평가제도 정립
	2	• 과제명: 첨단인프라 기술발전과 국토교통분야의 과제-자율주행 자동차를 중심으로- • 연구자: 이백진 외 (2016) • 연구목적: 자율주행 자동차 도입에 따른 교통분야에 미치는 영향 검토 및 향후 과제 도출	• 국내외 문헌고찰 및 정책동향 분석 • 전문가 협의체 및 세미나 운영 • 전문가 조사 및 정책 수요 조사 • 일반인 설문조사	• 자율주행 자동차 도입에 따른 영향과 주요 논점 선정 • 자율주행 자동차에 대한 이용사 의식과 선호도 조사 • 자율주행 자동차 도입에 따른 주요과제 도출
	3	• 과제명: 수요응답형 순환교통 시스템(PRT) 핵심기술 개발 • 연구자: 정락교 외 (2016) • 연구목적: 국내 적용 환경에 적합한 수직/수평 이동이 가능한 PRT 시스템 개발	• 국내외 기술개발 현황 분석 • PRT 중앙제어장치 운영시스템 제작 • 기술개발에 따른 관련 분야 기여도 분석	• 한국형 PRT 차량 개발 • 한국형 PRT 운행제어시스템 기술개발 • 실용화 노선 검토 및 자동운전 시험 • 주행안전성향상을 위한 고장진단기술 개발
	4	• 과제명: 판교 창조경제밸리 자율주행차 운행 지원방안 연구 • 연구자: 빈미영 외 (2016) • 연구목적: 자율주행차 기술개발과 정책동향 정리 및 자율주행차 시범운행 지원 방안 검토	• 경기도 현황과 미래변화 전망 분석 • 자율주행차 기술개발 및 정책동향 분석 • 자율주행차 시범운행지원 방안 검토 • 운행효과 분석 방안 제시	• 기술개발 및 연구지원 현황분석 • 자율주행차 운행 지원방안 제시 • 판교 창조경제밸리 자율주행 테스트베드 로드맵 구성 • 자율주행 효과분석 방법론 제시
	5	• 과제명: 자율주행자동차 안전성 평가기술 및 테스트 베드 개발 • 연구자: 홍윤석 외 (2016) • 연구목적: 자율주행기술 및 해당 기술이 장착된 자동차를 대상으로 안전성을 확인 및 평가를 위한 평가환경 개발	• 국내외 자율주행 평가 기술 분석 • 자율주행 평가 시나리오 개발 • 도로영역별 운영 및 관리방안 자문	• 자율주행자동차 안전성 평가를 위한 도로·교통·통신환경 구축 기술 검토 • 국내외 자율주행 차량 기술 및 성능 분석 • 자율주행차량 요소, 시나리오 상황 설정 및 실험방법 개발

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
	6	• 과제명: 스마트 자율협력주행 도로시스템 개발 • 연구자: 김규옥 외 (2017) • 연구목적: 자율협력 주행을 위한 자동차와 도로시스템의 역할 규명 및 운행을 위한 도로 시스템 개발	• 자율협력주행 기술개발 현황 및 변화 전망분석 • 차량과 도로의 협력 및 역할 정립 • 국내외 자율주행자동차 정책 추진 현황 분석	• 자율협력주행 기술 전망 분석 • 자율주행자동차 시장 전망 조사 • 도로인프라 구축 전략과 추진 로드맵 제시 • 정부의 추진 정책 방향과 연계
	7	• 과제명: 대용량 BRT 자동운전 및 전기동력 시스템 실증연구 기획 • 연구자: 윤혁진 외 (2017) • 연구목적: 대용량 BRT의 자동주행 및 친환경BRT 차량기술 개발 및 실용화 사업을 위한 실증연구 기획	• 국내외 동향 및 환경분석 • 연구개발과제 구성 및 추진전략 수립 • 연구시설 및 장비 투입 계획 수립 및 타당성 검토	• 기술의 정의 및 분류체계 개념 정립 • BRT 자동주행 기술 관련 시장 현황 및 전망 분석 • 대용량 BRT 및 자동주행 법제도 검토 • 특허·표준화·논문 분석
	8	• 과제명: 자율주행차량에 대응한 첨단교통인프라정책 방안 연구 • 연구자: 오성호 외 (2017) • 연구목적: 자율주행차량과 일반차량 혼재 시, 인프라의 효율적 활용을 통한 효율 극대화를 위한 정책 제시 및 자율주행시대에 대한 선제적 대응	• 국내외 문헌검토 • 외부전문가 의견수렴 • 자율주행차량 효율극대화를 위한 도로 운영방안 제시	• 자율주행차량 기술과 첨단교통인프라 현황 분석 • 자율주행차량과 일반차량간의 혼재에 따른 효율적 운영 지원 방안 모색 • 자율주행차량에 대응한 단계별 첨단 교통인프라 정책 제시
	9	• 과제명: 자율주행 대중교통의 안전성 향상을 위한 스마트 인프라 핵심기술 개발 • 연구자: 윤혁진 외 (2017) • 연구목적: 자율주행 대중교통 안전성 향상을 위한 스마트 인프라주요기술 개발 및 차상중심형 무인트램 주행제어시스템 개발	• 국내외 기술개발 현황 검토 • 자율주행 기술 개발 • 교통상황의 V2X 통신 시스템 개념 설계	• 인프라기반 자율주행 대중교통 인지 및 운행 성능 향상 주요기술 개발 • 자율주행 대중교통 전용노선 다중 센싱 시스템 핵심 기술 개발 • 기존 무가선 트램 제어장치 연계 차량 통합제어장치인터페이스 설계 및 제작
	10	• 과제명: 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구 • 연구자: 이백진 외 (2017) • 연구목적: 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향	• 자율주행관련 기술 및 정책 동향 고찰 • 자율주행 도입 시나리오 설정 • 실증분석 결과를 종합 자율주행차 관련 정책	• 자율주행차 도입이 도로네트워크 효율성 개선에 미치는 영향 분석 • 자율주행차 도입이 국토공간에 이용에 미치는 영향을 수도권 대상으로 활동동행태 변화 예측 • 자율주행차 도입에 따른 주요 정책과제

구 분		선행연구와의 차별성		
		연구목적	연구방법	주요 연구내용
		에 대해 계량적으로 실증분석 및 정책 방안 제시	방향 도출	제시
	11	• 과제명: 전기동력·자율주행자동차산업의 현황 및 전망 • 연구자: 이항구 외 (2018) • 연구목적: 국내 자동차산업의 환경변화 분석 및 국내 전기동력·자율주행자동차산업의 육성을 위한 기본정책 방향 제시	• 국내외 시장 동향 및 전망 조사 • 자동차업체의 연구개발 투자 현황 조사 • 자동차산업 정책 방향 분석	• 세계 자동차 산업 환경 변화 검토 • 주요국의 자동차산업 정책방향 분석 • 전기동력·자율주행자동차 산업 육성 방향 제시 • 범부처 차원의 자율주행자동차 산업기술 로드맵 작성
본 연구		• 자율주행기반 대중교통체계 구축방안 제시	• 국내외 기술 및 연구동향 분석 • 관련 기술 및 연구 유형 분류 • 전문가 심층 인터뷰 • 연구 협의체 구성 및 운영 • 관련 기관 (한국자동차연구원) 협동연구	• 자율주행기반 대중교통 관련 선행 연구 분석 • 자율주행기반 대중교통에 대한 선호도 조사 및 통계분석 • 자율주행 대중교통 도입효과 분석 • 자율주행기반 대중교통을 위한 기술 분석 및 기술개발 완료 시기 예측 (기술: 하드웨어, 소프트웨어 등을 포함) • 자율주행기반 대중교통 시스템의 도입 순서 및 시기 예측 (로드맵 제시) • 각 시스템의 효율적 구축방안 제시 (첨단 인프라 및 법·제도)

자료: 저자 작성

5. 연구의 기대효과

1) 정책적 기대효과

(1) 사회·문화적 측면

본 연구의 정책적 기대효과 중 사회·문화적 측면은 자율주행 대중교통 서비스 제공을 통해 다양한 도시문제를 해결할 수 있다는 것이다. 운전자 실수로 인한 안전사고 감소를 통해 안전성이 보다 확보된 대중교통 서비스를 제공하고, 대중교통 서비스 질 향상을 통한 자동차등록대수 감소로 인한 교통 혼잡 완화를 기대할 수 있다. 또한, 초고령화 시대(2026년~)와 교통약자 편의 증진을 위한 대중교통 서비스 제공할 수 있으며, 국내 자율주행 대중교통 서비스 도입을 위한 기초자료로 활용될 수 있다.

(2) 기술·산업적 측면

완전 자율주행 시대 진입과 자율주행 대중교통 시대를 위한 초기 산업 생태계 조성을 통해 국가 경쟁력을 확보하고, 다양한 수송수요 처리와 친환경성, 경제성을 만족하는 미래지향적이며 첨단화된 자율주행 대중교통으로의 패러다임 전환 등을 위한 기초자료로 활용을 기대할 수 있다.

2) 학술적 기대효과

학술적 기대효과는 기존 선행연구에서 다루지 않던 자율주행 대중교통 서비스에 대한 새로운 개념 정립을 통해 기존 대중교통 서비스의 문제점을 개선하고 서비스를 향상시킬 수 있는 방안을 제시하고, 자율주행 기술의 대중교통 서비스 적용과 발전에 관한 논의 확대에 기여할 수 있다.



CHAPTER 2

선행연구 및 사례 분석을 통한 시사점 도출

- 1. 국내·외 자율주행차량 기술개발 동향 분석 | 19
- 2. 자율주행 대중교통 관련 선행연구 분석 | 23
- 3. 자율주행 대중교통 기술개발 및 실증운영 사례 분석 | 29
- 4. 자율주행 대중교통 서비스 정의 | 38

선행연구 및 사례 분석을 통한 시사점 도출

본 장에서는 자율주행차량, 자율주행 대중교통에 관한 국내·외 선행연구, 기술개발 현황에 대한 키워드 분석을 통해 시사점을 도출하였다. 또한 실증 운행 사례 분석 결과, 활발한 자율주행 대중교통 실증이 진행되고 있으나 통제된 짧은 구간의 시범운행 수준이며, 시민을 위한 교통서비스 제공이 아닌 기술개발 실증에 그치고 있는 실정이다. 차량제원 및 운행조건에 기반하여 자율주행 대중교통 서비스를 순환/셔틀, 간선/BRT, DRT, 지선으로 정의하였고, 정의된 서비스는 4장에서 제시한 국내 기술개발 동향에 기반하여 도입순서와 시기 예측될 것이다.

1. 국내·외 자율주행차량 기술개발 동향 분석

1) 국내 기술개발 동향

2010년경부터 대규모 자율주행 프로젝트를 수행한 유럽이나 미국에 비해 국내 자율주행 기술은 3년 이상 뒤쳐진 것으로 판단되고 있으며, 특히 체계적인 소프트웨어의 개발과 자동차 기능안전(ISO 26262) 등의 안전 확보 기술 등에서 격차가 크다.

세계적인 자율주행 기술 경쟁으로 국내에서도 승용차를 중심으로 해외 주요기업과 협력하여 자율주행차량 개발과 시험 운행을 하고 있으나, 국내 자체 기술 확보는 미진한 편이며, 특히, 기술개발 역량이 부족한 트럭과 버스에서의 자율주행은 전자제어 기반의 제동과 조향 기술의 부족으로 전적으로 해외기술에 의존하고 있는 실정이다.

2) 국외 기술개발 동향

(1) 미국

국방부는 국방고등연구기획청(DARPA, Defense Advanced Research Projects Agency)을 통한 무인주행차량에 대한 연구 개발을 주도하고 있다. 2004년 DARPA는 무인자동차 기술을 향상시키고 발전시키기 위하여 사막 무인자동차 대회인 “DARPA Grand Challenge”를 개최하였으며, 2007년 DARPA는 도심에서 자율주행을 하는 무인자동차 대회인 “DARPA Urban Challenge”를 개최하였다.

PATH 프로그램에서는 1988년부터 도로노면에 영구자석을 삽입하여 차량 가이드시스템 연구를 시작하는 등 다양한 자율주행자동차 연구를 수행하고 있다. 1988~89년 영구자석의 자기장 측정을 통한 차량의 위치 추정기술을 Toyota Celica에 적용해서 전동식 자동조향제어 차량을 개발하였으며, 1992년에는 세계 최초로 차량 군집주행시스템을 개발하고 San Diego의 HOV(High Occupancy Vehicle) 차로에서 4대의 차량을 이용해서 시연하였다.

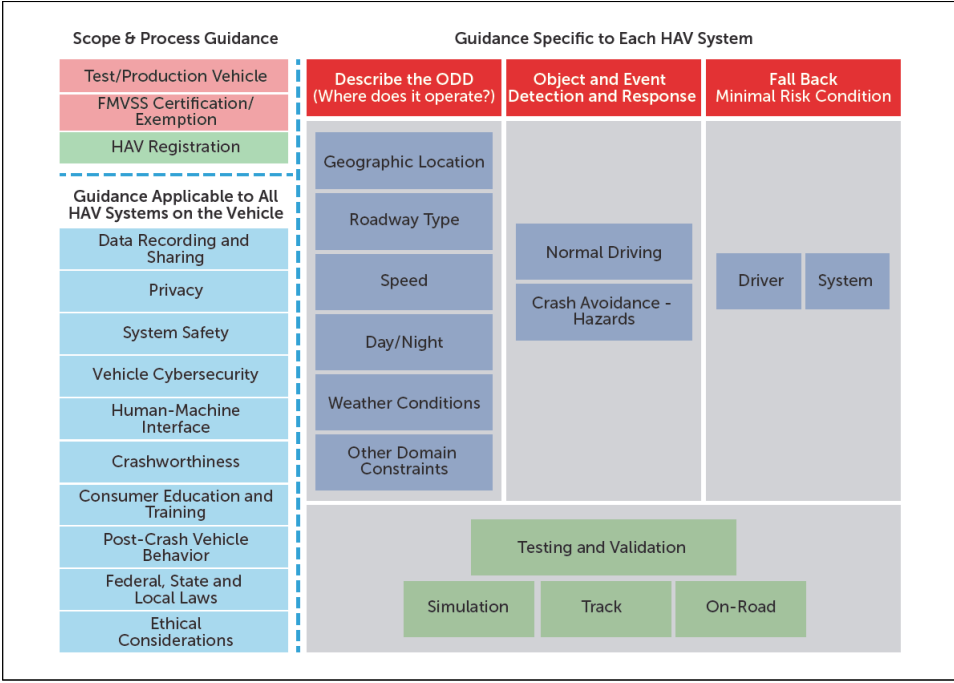
VAA(Vehicle Assist and Automation) 프로그램으로 다양한 BRT(Bus Rapid Transit)에 대한 연구를 미국 각지에서 진행하고 있다. 미네소타주에서는 530만 달러의 예산으로 10대 버스를 이용한 군집주행을 수행하였고 레이더, 라이다 센서를 이용한 충돌예방 기술과 GPS 기술을 이용한 횡방향제어 기술을 적용하였다. 또한, AC Transit(Alameda-Contra Costa Transit District)에서는 연방정부 및 캘리포니아 주 정부의 지원(200만 달러)으로 2009년부터 자율주행자동차를 개발하고 있고 Eugene 사에서는 도로노면에 부착된 영구자석을 통한 자율주행기술을 연구하고 있으며, 특히 내부센서, 영구자석 및 DGPS를 이용한 상호보안 기술을 적용한 자율주행 기술을 동시에 개발하고 있다.

Google은 DARPA Grand/Urban Challenge에서 우승한 Stanford 대학의 리더인 Sebastian Thrun 교수와 Carnegie Mellon 대학의 Chris Urmson 교수를 포함한 핵심 연구원들을 영입하여 자율주행자동차를 개발하고 있다. 2017년까지 구글맵 기반의 클

라우드 서비스가 가능한 구간 내에서 근거리 자율주행자동차의 실용화를 추진하였고, 2015년 12월 22일 오토모티브 뉴스에서 구글이 차세대 무인차 개발을 위해 포드와 협력하는 방안을 논의하고 있다고 보도되었다.

연방 자율주행법 시행 전인 2016년 9월에 ‘연방자동주행자동차 정책 : 도로 교통안전의 새로운 혁신을 촉진’을 수립하며, 자율주행차 관련 입법 방향과 정책 가이드라인을 다음과 같이 제시하였다.

그림 2-1 | Automated Vehicles Guidance



자료: Federal Automated Vehicles Policy (NHTSA, 2016)

(2) 유럽

유럽연합(EU)에서는 교통혼잡을 감소하고 운전자의 편의성을 향상시키기 위해 대중교통 혼합 상황에서의 차량의 군집주행에 대한 연구를 위해 SARTRE 프로젝트에

2009년부터 2012년까지 640만 유로를 투입한 연구를 진행했다(국가기술표준원, p. 15, 2015). 이는 기존의 다른 군집주행연구와 달리 차량의 IVN(In-Vehicle Network) 및 센서 기술과 5.9GHz DSRC(Dedicated Short Range Communication) 기술을 적용하여 차량간 통신을 이용하였으며, 두 번째 시연은 스페인 일반도로에서 선행트럭 외에 3대의 승용차와 1대의 트럭을 이용한 군집주행이었다.

완전 자율주행이 아닌 부분적인 자율주행자동차 개발과 HMI와 운전자 인터페이스를 통한 co-pilot을 연구하기 위해서 HAVEit(Highly Automated Vehicles for Intelligent Transport) 프로젝트에 2008년부터 2011년까지 2,750만 유로를 지원하였다. 또한, 현재 도심에서 사용하는 이동수단을 변화하기 위한 시도로 2002년부터 2008년까지 NETMobil(New Transport System Concepts for Enhanced and Sustainable Personal Urban Mobility) 프로젝트를 수행하였다. 이 프로젝트의 주요 시스템으로는 운전자지원시스템, 개인고속운송수단인 PRT(Personal Rapid Transit), 지능화된 대중 교통수단인 BRT(Bus Rapid Transit), 인공지능화된 운송시스템(Cybernetic Transit System) 등이 있다.

CyberCar, NETMobil 프로젝트의 후속으로 기존 자동차나 트럭이 아닌 대중 교통 수단을 위한 자율주행 기술 개발을 위해 2006년부터 2011년까지 4,000만 유로를 지원한 CityMobil 프로젝트를 수행하였으며, 볼보는 2014년부터 스웨덴 예테보리에서 스웨덴 정부와 협력하여 자율주행 실증사업인 Drive-me 프로젝트를 실시 중이다. 실증 자율주행자동차는 약 100대이며 자율주행의 기술적, 사회적 효용과 소비자 요구사항을 확인하기 위한 것으로 운전자의 지속적인 전방 주시를 필요로 하지 않는 자율주행 수준으로 속도는 시속 70km 이하로 제한된다.

(3) 일본

일본은 자율주행자동차의 연구를 지능형 차량에 대한 3단계의 프로젝트(Intelligent Vehicle, PVS(Personal Vehicle System), AHVS(Automated Highway Vehicle System))를 통하여 발전시켜 왔다.

일본 에너지 통상 산업통상자원부 NEDO(New Energy Technology Development Organization)를 통해 공기저항을 감소를 통한 에너지 저감 및 CO₂ 배출감소를 목적으로 2008년부터 2013년까지 1,200만 달러의 eITS 프로젝트를 수행했고, 2013년 내각 회의에서 발표되었던 “세계 최첨단 IT 국가창조선언”에서는 2018년을 목표로 교통사고 사망자수를 2,500명 이하, 2020년까지 세계에서 가장 안전한 도로교통사회를 실현하는 것을 목표로 일본 내각부 SIP-자율주행(자율주행) 시스템 연구개발 프로젝트를 진행했다. 또한, 일본 국토교통성 Auto Pilot System 중간보고에서, 도로분야나 자동차분야에서 연구개발·실용화가 진행되어 온 ITS는 교통사고의 저감이나 정체의 해소·완화에 공헌해 왔다고 발표했다(국가기술표준원, p. 13, 2015).

하지만, 이런 기본적인 문제해결을 도모하기 위해서 인프라와 자동차의 협조시스템의 실현 등 종래의 ITS 기술을 더욱 더 고도화, 융합시킨 차세대 ITS의 도입이 기대되고 있으며, 이러한 움직임에서 국토교통성에서는 차세대 ITS에 대한 연구회를 구성해서 차세대 ITS에 관한 니즈 또는 기술적, 제도적인 과제 등을 분석, 새로운 개념인 고속도로 상에서 자율주행의 실현을 향한 검토를 수행하고 있다.

2. 자율주행 대중교통 관련 선행연구 분석

1) 분석방법론

자율주행 대중교통 선행연구 분석을 위해 2015년 이후 한국어 또는 영어로 작성된, 심사를 통해 게재되는 국내·외 저널 및 컨퍼런스 프로시딩을 대상으로 키워드(자율주행차량, 자율주행 대중교통, 자율주행 버스, 자율주행 셔틀, 미래 버스, autonomous (automated) public transport, autonomous (automated) transit, autonomous (automated) shuttle, autonomous (automated) bus, future bus, autonomous (automated) mobility)를 검색엔진((국내) RISS 통합검색, 한국학술지인용색인, NDSL(국외)

Google Scholar, Transport Research International Documentation(TRID), Web of Science)을 통해 검색하였다.

위의 조건에 해당하는 국내 연구논문은 총 1,358편과 국외 570건이 검색되었고, 본 연구 분야와 연관 있는 학회지로 범위를 좁힌 후, 논문제목 및 초록 Initial Review를 통해 국내 15, 국외 21, 총 36편의 논문을 선별·분석하였다.

2) 분석결과

국내 자율주행 대중교통 관련 연구는 2016년 이후 현재까지 증가추세를 나타내고 있으며, 주로 기술에 대한 연구가 주를 이루고 있다. 그 외, 시범운행을 통한 효과분석에 대한 연구도 수행되었다.

국내 자율주행 대중교통 관련 선행연구 목록과 키워드는 다음과 같다.

표 2-1 | 국내 자율주행 대중교통 관련 연구 현황

	연도	제목	저자	키워드
1	2016	판교 창조경제밸리 자율주행차 운행 지원방안 연구	빈미영	효과분석
2	2016	차세대 무인대중교통 인프라 구축을 위한 완전자율주행차 플랫폼 개발사업	한국전자통신연구원	기술
3	2017	수요응답형 자율주행 대중교통체계를 위한 기계학습기반 최적차량경로 알고리즘과 협력게임기반 공정요금산정 알고리즘 개발	태현철	기술
4	2018	자율주행 버스를 활용한 효율적 대중교통 운영 방안에 관한 연구	한대희	운영
5	2018	버스 승차 프로세스 개선 방안 연구 : 자율주행버스 도입을 위한 선결과제	나진성	운영
6	2018	자율주행 대중교통의 안전성 향상을 위한 스마트 인프라 핵심기술 개발	한국철도기술연구원	안전
7	2018	기후 변화 대응형 스마트 모빌리티 연계기술을 활용한 PRT (Personal Rapid Transit) 실용화 기술개발 기획연구 최종보고서 (자율주행기반 대중교통시스템 실증 연구 기획)	한국철도기술연구원	기술
8	2018	자율주행 버스를 위한 모델 독립식 종 방향 가속도 제어기의 동특성 연구	조아라	기술
9	2018	인프라 정보 융합 기반 자율주행버스의 충돌 예측 알고리즘 설계	이주석	안전

	연도	제목	저자	키워드
10	2018	장애물 및 제한구역 클러스터링을 통한 자율주행 shuttle 경로탐색에 관한 연구	최영훈	운영
11	2018	C-V2X를 활용한 군집주행 버스에 대한 연구	백재희	기술
12	2019	자율주행 대중교통 공공성 확보를 위한 쟁점과 개선방향	김규옥	정책
13	2019	한국교통대학교 협력자율주행셔틀버스 소개	박만복	효과분석
14	2019	도심 자율주행서비스 테스트를 통한 자율주행 기술개발 현황 및 5G연계 미디어의 역할	최정단	정책
15	2019	스마트도시를 위한 공유형 자율주행차량 기반 교통시스템 구축 기술 개발	한국과학기술원	기술

자료: 저자 작성

국의 자율주행 대중교통 관련 선행연구는 기술에 대한 연구보다 수용성에 대한 연구가 높은 비중을 차지하고 있으며, 시범사업을 통한 효과분석 연구 또한 수행되었다.

아래 표는 국외 자율주행 대중교통 관련 선행연구 목록과 키워드이다.

표 2-2 | 국외 자율주행 대중교통 관련 연구 현황

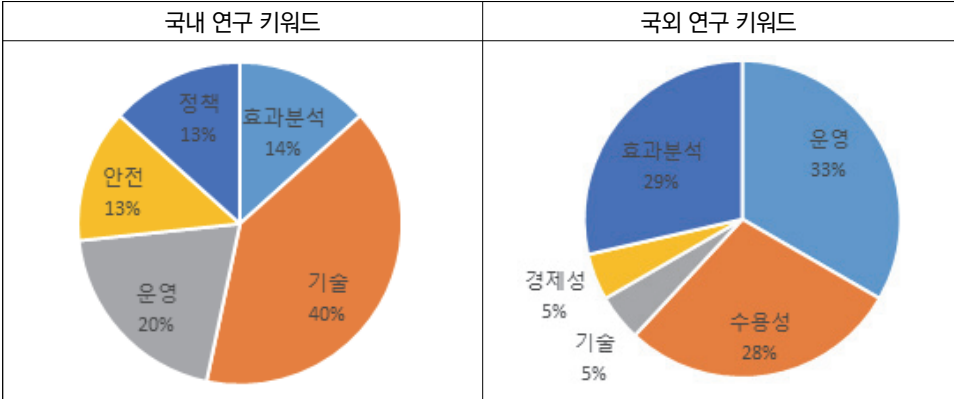
	연도	제목	저자	키워드
1	2016	Analysing and designing automated and dynamic bus route allocation	A. Agrawal	운영
2	2016	Investigating users' attitudes towards conventional and automated buses in twelve European cities	A. Alessandrini	수용성
3	2016	Development of multi-sensor data fusion technique for the automated Bus Rapid Transport System	IA Ramgopal	기술
4	2017	User Acceptance of Fully Autonomous Public Transport	C. Pakusch	수용성
5	2017	Cost-based analysis of autonomous vehicle services	PM Bosch	경제성
6	2017	Re-defining the role of public transport in a world of shared autonomous vehicles	J. Bischoff	운영
7	2017	Public attitudes towards autonomous mini buses operating in real conditions in a Hellenic city	E. Portouli	수용성
8	2017	Demand-capacity coordination method in autonomous public transportation	C. Csiszar	운영
9	2018	Do Americans differ in their willingness to ride in a driverless bus?	SR Winter	수용성

	연도	제목	저자	키워드
10	2018	Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore	Y. Shen	효과분석
11	2018	Autonomous driving in public transportation depots	A. Lauber	운영
12	2018	Optimal Automated Demand Responsive Feeder Transit Operation and Its Impact	YJ Lee	효과분석
13	2018	Performance analysis and fleet requirements of automated demand-responsive transport systems as an urban public transport service	K. Winter	효과분석
14	2018	User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg: A questionnaire study	K. Winter	수용성
15	2018	Application of Driverless Electric Automated Shuttles for Public Transport in Villages: The Case of Appelscha	R. Boersma	효과분석
16	2018	On the interaction between autonomous mobility-on-demand and public transportation systems	M. Salazar	운영
17	2019	Efficiency of connected semi-autonomous platooning bus services in high-demand transit corridors	W. Zhang	효과분석
18	2019	Connected and automated vehicles: chances for elderly travellers	A. Millionig	운영
19	2019	Transit user perceptions of driverless buses	X. Dong	수용성
20	2019	What impressions do users have after a ride in an automated shuttle? An interview study	S. Nordhoff	효과분석
21	2019	Path Planning for Autonomous Bus Driving in Urban Environments	R. Oliveira	운영

자료: 저자 작성

해외 선진국은 국내에 비해 기술개발이 선행되어 현재는 기술 적용 단계에서 이용자의 수용성에 대한 연구가 활발히 진행된 것으로 나타났다. 기술 및 경제성 관련 연구는 2016년에 수행된 것으로 최신 연구 동향은 아니며, 도입을 위한 수용성, 도입 후 운영, 시범사업 후 효과분석에 대한 연구가 국내에 비해 국외 비중이 높은 것으로 나타났다. 국내와 국외 연구의 키워드 비율을 분석하면 다음과 같다.

그림 2-2 | 국내·외 자율주행 대중교통 관련 연구 키워드 비율



자료: 저자 작성

3) 키워드 분석 시사점

국내·외 자율주행 대중교통 관련 선행연구의 키워드 분류에 따른 연구결과를 정리하면 다음과 같이 나타낼 수 있다.

표 2-3 | 국내·외 자율주행 대중교통 관련 선행연구 키워드 분석 시사점

분류	키워드	시사점
국내	안전	• 자율차 센서만으로 모든 정보를 인지-판단-제어하기에 한계가 있어 도로시설의 개선을 통해 자율차를 지원하는 기술 개발의 시급성을 제안함
	운영	• 자율주행 대중교통의 국내 도로 운영을 위한 투자와 정부 규제에 대해 제안 • 자율주행 대중교통의 승차 프로세스를 위한 IoT 기반 세움버스 서비스 모델 개발 • 자율주행버스의 충돌 예측 알고리즘을 개발하고 실험결과 제시 • 클러스터링을 통한 경로 탐색 알고리즘 개발
	기술	• 다부처 사업 추진으로 레벨4 기반 무인 대중교통의 조기 서비스를 위해 자율차 플랫폼 개발 • 수요응답형 자율주행 대중교통의 최적경로 선정을 위한 알고리즘 개발 • V2X 기술을 보완한 C-V2X를 활용한 효율적 군집주행 버스 기술을 제안
	정책	• 서비스제공, 안전확보, 인프라 확충, 수용성 개선의 측면에서 자율주행의 쟁점과 문제점을 해결하기 위한 방안 제시 • 자율주행을 위한 통신으로서 5G연계의 역할에 대해 제시

분류	키워드	시사점
	효과분석	- 자율주행 셔틀과 대중교통 연계가 요구되며, 빅데이터 정보제공을 위한 오픈 플랫폼 개발 필요성을 제안 - 한국교통대학교의 협력자율주행셔틀서비스에 대한 운영결과 소개
국외	운영	- 자율주행셔틀 탑승객 위주 또는 경제 운전 (운영비 감소)의 목적합수 기반의 경로탐색 알고리즘을 연구 - 자율주행 대중교통을 위한 정류장, 노선, 운영시간, 배차간격, 예약시스템 등은 어떻게 연계해야 하는지에 대해 이용자 만족을 목표로 연구
	기술	자율주행 BRT의 센서의 인지 한계 극복을 위해 멀티 센서를 융합하는 알고리즘을 개발
	경제성	차량 운송단가 중 높은 서비스 비용이 자율주행기반 대중교통의 경제성을 떨어뜨리는 큰 요인이므로 인구과밀지역에서 자율주행기반 대중교통이 보다 적합함
	효과분석	- 싱가포르를 대상으로 대중교통 접근성 향상을 위한 자율주행 셔틀 서비스를 시뮬레이션 한 결과, 기존 버스 서비스의 효율성 향상의 결과를 나타냄 - 자율주행 수요응답형 대중교통에 대한 시뮬레이션 수행 결과, 운영비용은 비슷한 반면 이용자의 대기시간이 감소하는 효과를 나타냄 - 네덜란드 Appelscha 도시의 자율주행 대중교통 시범운영 효과분석 결과, 인프라의 큰 도움 없이 운행에 지장이 없었으며, 차량의 느린 속도로 향후 도로를 자전거와 함께 공유하는 방안도 고려할 것 수 있는 가능성을 제시함 - 자율 군집주행 버스의 경우 최소한의 헤드웨이, 작은 차량 사이즈, 높은 이용자 수요일 경우 효과가 극대화되는 것으로 나타남
	수용성	- 유럽 12개 도시에서 자율주행 무인 버스는 이용자의 높은 선호를 보였으며 시스템 작동 원리, 경험이 전무한 사람일수록 자율주행에 대한 낮은 신뢰를 보임 - 독일 연구에서 수행한 온라인 설문조사 결과, 77% 이상의 응답자가 자율주행 대중교통에 대한 선호를 나타냈으며, 기존 무인 교통수단을 경험한 응답자가 높은 선호를 나타냄 - 그리스 트리칼라 도시에 운영되는 무인 미니버스 이용자 대상의 설문조사 결과 안전, 보안에 대한 우려가 매우 낮았으며, 젊고 무인운전에 대한 경험이 있을수록 더 만족도가 높은 것으로 나타남 - 미국의 inter-city bus에 대해 무인과 유인 운전 선호도를 조사한 결과, 유인버스에 대한 선호도가 높은 것으로 2018년 연구당시 미국인은 무인 자율주행 버스에 대해 아직 준비가 되지 않은 것으로 제시함 - 독일 베를린의 자율주행 셔틀 이용자 대상의 설문조사 결과, 전반적으로 만족하는 것으로 나타났으나 운행 속도에서 아쉬움을 나타냄 - 미국 필라델피아에서 수행된 설문조사 결과, 2/3이상의 응답자가 자율주행 대중교통에 대한 이용의사를 나타냈으며, 13%는 운전자가 없는 차량에는 탑승하지 않겠다고 함. 젊은 층, 남성이 자율주행 대중교통 선호가 높음

자료: 저자 작성

3. 자율주행 대중교통 기술개발 및 실증운행 사례 분석

1) 국내

국토교통과학기술진흥원 기술개발(R&D) 과제 중, 자율주행 대중교통과 관련된 과제는 다음과 같이 현재 2건이 진행 중이며, 그 내용은 기술과 실증에 관한 것이다. 2019년 11월 현재 다부처 사업으로 자율주행 기술개발 혁신사업이 기술성 평가를 통과하여 본 사업을 준비 중에 있다.

표 2-4 | 국내 자율주행 대중교통 관련 R&D 현황

	시작 연도	제목	연구책임	키워드
1	2018	자율주행기반 대중교통시스템 실증 연구	강경표	실증
2	2019	전기동력 방식의 대용량 BRT 자율주행 기반기술 개발	윤혁진	기술

자료: 저자 작성

실증운행 사례의 대표적 예는 판교 제로셔틀¹⁾을 꼽을 수 있다. 경기도가 서울대학교 차세대융합기술연구원에 의뢰해 3년간 연구 끝에 개발한 11인승 레벨 4 수준의 미니버스(길이 5.14m, 전폭 1.88m, 전고 2.7m)로 5.5km 구간을 시속 25km로 2018년 9월부터 오전10시~12시, 오후 2시~4시 4회 이내로 시범운행²⁾하였다. 운전대, 액셀, 브레이크 페달이 없고, 통합관제센터와 교통신호 정보, GPS 위치 보정 정보신호, 주행안전정보 등을 무선으로 주고받는 차량사물통신기술(V2X)을 활용해 운행하였으며 2018년 11월부터는 일반인 시승이 처음으로 이루어졌다.³⁾

1) 오토데일리(2018.09.04.), 국내최초 무인 자율주행차 제로셔틀, 3년만에 달린다, 11월부터 실증운행.

2) 연합뉴스(2018.09.04.), 판교 달리던 자율주행버스 '제로셔틀', 옆 차 끼어들자 끼익~.

3) 지디넷코리아(2018.11.05.), "자율주행차 타러 판교 오세요" 제2회 판교자율주행모터쇼, 15일 개막.

그림 2-3 | 판교 제로셔틀



자료: 오토데일리 기사. 2018.9.4.

대구광역시는 수성알파시티 내 일부 구간에서 탑승을 위한 정류장 및 정보안내시스템 등의 맞춤 인프라를 구축하여 2019년 10월까지 시범운행 후, 11월부터 일반시민 대상의 탑승행사 진행 예정이며, 12월부터 교통통제 없이 상시운행을 계획 중이다.

그림 2-4 | 대구 수성알파시티 자율주행셔틀



자료: 뉴데일리 기사. 2019.8.19.

자율주행셔틀과 같은 소형차량 뿐 아니라, KT에서 5G를 이용한 45인승 자율주행 버스 운행 허가 취득 후, 2018년 평창올림픽, 11월에는 인천국제공항에 자율주행버스 시험운행을 실시하였다.⁴⁾ KT는 소형버스에 비해 더욱 커진 대형버스의 완벽한 운행 제어를 위해 5G와 LTE 네트워크 기반 V2X 자율주행 방식을 도입하여 올림픽 개막 직후인 2018년 2월 10일부터 24일까지 녹색도시 체험센터 승강장에서 출발해 경포호 동편을 끼고 도는 15분가량의 거리를 매일 15분씩 8시간 운행하였다.⁵⁾ 아울러 5G 네트워크를 통해 버스 창에 설치된 투명 디스플레이로 실시간 홀로그램 영상통화, 초고 화질(UHD) 영상 스트리밍 등 다양한 멀티미디어 서비스 체험 기회를 제공하였으며, 인천국제공항공사는 2018년 11월 9일 제1 여객터미널 장기주차장 순환도로 구간 약 2.2km에서 자율주행 버스가 시속 30km로 주행하는 데 성공하였다.⁶⁾

그림 2-5 | 인천국제공항 시험운행 중인 KT 자율주행 45인승 버스



자료: 한겨레 기사. 2018.11.11.

4) 지디넷코리아(2018.01.08.), KT, 45인승 5G 자율주행 버스 운행 허가받아

5) 매일경제(2018.02.27.), 5G 자율주행버스 강릉시내 질주

6) 한겨레(2018.11.11.), 인천공항 "자율주행 셔틀버스 시범운행 성공"

2) 국외

전 세계 자율주행 대중교통 시범운행은 소형차량을 이용한 셔틀 서비스를 운행하는 수준이며, 주로 제한된 구역의 정해진 단거리 노선을 운행하며, 도시 별 세부내용은 다음 표와 같이 정리할 수 있다.

표 2-5 | 자율주행기반 대중교통 시범운행 도시 및 세부내용

대륙	나라	도시	정책 및 계획 우선순위	참여기관	세부내용
북미	미국	앤아버	시험 구역 식별	대학, 기업	미시간대학 통제도로에서 운영하는 주문형 셔틀을 최대 50대 배치하는 방법 모색
		알링턴	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	중소기업	도시공원의 포장된 도로에서 승객들을 운송 셔틀을 이용시간은 13분
		브라이언	토지이용 및 대중교통계획	정부, 대학	시내 구간 0.8마일을 순환하며 운행
		컬럼버스	토지이용 및 대중교통계획, 피어 교환	기업	이스턴 타운센터의 3개의 경로에 6개 자율주행버스를 운영
		디트로이트	시험 구역 식별	중소기업	정원 6명의 자율주행버스 2대가 퍼스트내셔널빌딩과 브릭타운차고 사이를 운행
		프리스코	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	중소기업	2018년 7월 자율주행버스 서비스 시작, 6곳의 지정된 장소에서 스마트폰을 이용하여 버스 호출 가능
		게인스빌	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	정부, 기업, 대학	2018년 플로리다 대학과 게인스빌 시내 사이의 구간을 4대의 자율주행버스를 3년간 시험운행
		그랜드래피즈	토지이용 및 대중교통계획	기업, 중소기업	2019년 3월부터 1년동안 3.2마일의 구간을 시험운행
		라스베이거스	토지이용 및 대중교통계획, 피어 교환	중소기업	2017년 1월 정원 12명인 자율주행버스를 3블록구간을 2주동안 운행
		프로비던스	토지이용 및 대중교통계획	정부, 기업, 중소기업	6대의 자율주행버스를 2019년 초에 시험운행 시작, 5월에 일반인에게 공개 계획 중

대륙	나라	도시	정책 및 계획 우선순위	참여기관	세부내용
			도시 구성, 시험 구역 식별		
		리노	교통법규, 토지이용 및 대중교통계획	기업	2017년부터 2019년까지 버지니아 카지 노거리 3마일 경로를 운행하는 자율주행 차량 연구 중
		샌프란 시스코	토지이용 및 대중교통계획, 피어 교환	중소기업, 대학	2018년 3대의 자율주행버스를 시험, 2020년에는 승객 서비스 계획 중
		샌라몬	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	정부, 중소기업	2018년 6월 통근 열차역과 주요 정류장, 비즈니스 파크를 연결하는 자율주행버스를 시험운행 함
		탬파	토지이용 및 대중교통계획, 도시 구성, 시험 구역 식별	정부, 기업, 중소기업	매리언 거리 1마일 구간에 자율주행버스를 투입할 예정
	캐나다	캘거리	시험 구역 식별, 피어 교환	대학	테루스 과학센터와 캘거리 동물원 사이의 1마일을 자율셔틀버스로 운행
		캔디악	토지이용 및 대중교통계획	정부, 기업, 중소기업	2018년 9월부터 주민들은 몬트리올 외곽 지역 2km구간을 1년 동안 무료 이용
		에드 먼튼	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별, 피어 교환	정부, 기업, 대학	2018년 10월 전기 자율주행버스를 1개월 간 시험운행 함, 추운날씨적응과 사이버 보 안 테스트
		몬트 리올	택시 규정, 교통법규, 토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별, 피어 교환, 도시구성	N/A	2017년 5월 UITP 글로벌 대중교통 정상 회담에서 자율주행버스가 성공적으로 시 연, 그 이후 도심 내 시험 구간을 선정하여 시험
유럽	독일	바이 에른	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	비정부단체, 정부, 기업, 중소기업	자율주행버스를 운행하기 위해 700m 구 간 자율주행 경로 수립
		베를린	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	정부, 기업, 중소기업, 대학	2018년 에른스트 로이터플렛과 브란덴부 르크문 사이의 6.3km 구간을 자율주행차 량을 위한 테스트 베드 구축, 이자마일사의 자율주행버스를 활용

대륙	나라	도시	정책 및 계획 우선순위	참여기관	세부내용
		함부르크	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	정부, 기업	2018년 가을부터 4년 동안, 자율주행버스를 시험운행
	그리스	트리칼라	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별, 피어 교환	중소기업, 대학	2015년 9월부터 2016년 1월 4개월 동안 2.5km 경로를 6대의 자율주행버스를 시험운행 함
	네덜란드	하를럼	도시 구성	비정부단체, 기업	2015년 20km 경로를 따라 레벨3 기능을 갖춘 자율주행버스를 테스트
		바게닝겐	토지이용 및 대중교통계획	정부, 중소기업, 대학	2016년 1월 공공도로에서 세계 최초 자율주행버스 시험운행, 2대의 차량으로 운행, 대학 방문자가 기차역에서 픽업을 위해 앱으로 버스 호출 가능
	노르웨이	스타방에르	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	중소기업	2017년 1월 자율주행버스를 4km 구간 시험운행, 2018년 12월 프로젝트 완료
	덴마크	코펜하겐	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	기업	2017년 5월 자율주행버스 시험운행
		코에	토지이용 및 대중교통계획, 시험 구역 식별	정부, 기업, 중소기업	2018년 5월 스알랜드 대학병원에서 65일 동안 자율주행버스를 운행, 6000명의 환자 및 방문객 이용, 2019년 2대 추가 운행 예정
	스웨덴	예테보리	교통법규, 토지 이용 및 대중교통 계획, 피어 교환	비정부단체, 기업, 중소기업, 대학	2018년 2월 Chalmers 대학과 Lindholmen Science Park의 캠퍼스에서 Navya 자율주행버스를 운행
		스톡홀름	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	기업, 대학	2018년 1월 3대의 자율주행버스를 6개월 동안 1.5km를 시험운행, 2019년에는 6대로 확장 예정
	스위스	프리부르크	토지 이용 및 대중교통 계획	정부	스위스 최초 자율주행버스 본거지, 2017년 8월에 1.3km구간을 4번 정차 하여 시험운행
		제네바	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	정부, 중소기업, 대학	Navya 자율주행버스를 이용, 2.3km구간을 운행, 일반버스와 나란히 정기적으로 운행

대륙	나라	도시	정책 및 계획 우선순위	참여기관	세부내용
		샤프 하우젠	토지 이용 및 대중교통 계획	정부, 기업, 대학	2018년 3월 관광마을에서 자율주행버스를 시험운행, 2019년 서비스 연장 계획 예정
		시온	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	기업, 중소기업, 대학	Navya Arma의 자율주행버스를 이용, 2년동안 시험운행, 주요 시내 광장과 발레르 및 투르 빌론 성 두 곳을 일정 요금제로 운행
	영국	케임 브리지	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	중소기업	2018년 영국 최초 자율주행버스 서비스를 개발하기 위해 테스트함 2020년 까지 3마일의 구간을 달리는 버스 개발 예정
	프랑스	라 로셀	교통법규, 토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별, 피어교환	비정부 단체 ,기업, 중소기업	Robosoft의 6대의 자율주행버스를 4개월 동안 1.9km구간을 시험운행, 15,000명 승객을 운반함
		리옹	시험 구역 식별	중소기업	2016년 9월 Navya의 자율주행버스를 1.35km 구간에 무료로 서비스 운행
		파리	택시 규정, 교통법규, 토지 이용 및 대중교통 계획, 도시 구성, 피어교환	기업, 중소기업	2017년 7월 라마일스 상업지구에서 라스 트마일을 연결하는 3개의 자율주행버스를 6개월 동안 시험운행
	핀란드	헬싱키	택시 규정, 교통법규, 토지 이용 및 대중교통 계획, 도시 구성, 피어교환, 시험 구역 식별	기업, 대학	이지마일사의 EZ10 자율주행버스를 2016년 말 시험운행, 2018년 5월 정기적으로 운행
아시아	대만	가오슝	토지 이용 및 대중교통 계획	중소기업	2017년 6월 시험운행, 10월, 11월 추가 시험운행, 시험운행동안 8,000명 승객 수송, 250m였던 구간이 1km구간까지 증가
		타이페이	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	중소기업, 대학	이지마일사의 ez10 자율주행버스를 보유, 7스타레이크 현지 기업이 이지마일사의 허가를 받아 자동차를 현지에서 생산

대륙	나라	도시	정책 및 계획 우선순위	참여기관	세부내용
	중국	심천	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	중소기업	심천 하이 리온 테크놀로지가 제공하는 중 국산 자율주행버스는 최대 20mph의 속도 로 20 명까지 탑승 가능, 현재 4대 버스가 1.2km 구간을 운행
	싱가폴	싱가폴	택시규정, 교통법규, 토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별, 도시 구성, 피어 교환	기업, 중소기업, 대학	2015년 6km 시험구간이 2017년 8월에는 55km이상으로 확장됨, 2017년 12월 싱가폴 리조트 섬에서 10대의 자율주행버 스 차량을 무료로 운행한다고 발표 함
	대한민국	성남	시험 구역 식별	정부, 기업	2018년 9월 자율주행버스 제로셔틀 시험 운행
오세아 니아	오스트레 일리아	애들레 이드	교통법규, 토지 이용 및 대중교통 계획	정부, 기업, 중소기업, 대학	2019년 까지 10대의 자율주행버스 운행 예정 (애들레이드 공항- 장기 주차시설 구 간, 플린더스 대학 내)
		다윈	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	정부, 기업	2017년 2대의 자율주행버스를 운행, 6,000명 승객을 태움
		사우스 퍼스	토지 이용 및 대중교통 계획	비정부 단체, 정부, 중소기업	2016년 9월에 Intellibus의 자율주행버스 는 5,000 명 이상의 승객을 태움, 3.5km 구간을 운행
		시드니	토지 이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	중소기업, 대학	Navya AV 미니자율주행버스를 2 년간 시 험운행

자료: Bloomberg Philanthropies (<https://avsincities.bloomberg.org/>) 자료 재구성, 검색일: 2019.3.20.~27.

또한, 국외 여러 도시에서 자율주행 대중교통 도입을 위한 시범운행을 준비 중에 있
으며, 세부내용은 다음 표와 같다.

표 2-6 | 자율주행기반 대중교통 시범운행 준비 도시 및 세부내용

대륙	나라	도시	정책 및 계획 우선순위	참여기관	세부내용
북미	미국	내쉬빌	피어 교환	N/A	저소득 대학생들을 지원하기 위한 자율주행버스 사용에 초점에 맞춰 개발 중
		톨레도	토지이용 및 대중교통 계획, 시험구역 식별	정부	2019년 자율주행버스 시험운행 예정
		피치트 리코 너스	시험 구역 식별	중소기업	자율주행버스 시험운행을 위해 1.4마일의 구간을 업그레이드 할 예정
유럽	영국	에딘 버러	토지이용 및 대중교통 계획, 시험구역 식별	비정부단체, 기업, 중소기업	2020 년 14마일의 구간을 자율주행버스 함대 시험 운행 예정
아시아	대만	장화	토지이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별	N/A	자율주행버스와 재생가능에너지 투자와 결합해 지속 가능하고 자율적인 대중교통 경로 구축 중
	일본	쓰쿠바	토지이용 및 대중교통 계획, 시험 구역 식별, 피어 교환	정부, 기업, 대학	2019년 전기 자율주행버스를 시험운행 할 예정

자료: Bloomberg Philanthropies (<https://avsincities.bloomberg.org/>) 자료 재구성, 검색일: 2019.3.20.~27.

3) 시사점

국내·외 많은 도시에서 자율주행 대중교통 시범운행이 활발하게 진행되고 있으나, 대부분이 통제된 짧은 구간(5km 내외)에서 저속으로 특정시기에 한정해 시범운행을 수행하는 수준이다. 대부분이 소형차량을 이용한 저속 셔틀 서비스이지만, 고속주행 서비스도 시범운행을 한 사례가 있다. 현재까지 사례를 종합하여 분석하면, 자율주행 대중교통 시범운행이 시민을 위한 교통서비스 역할보다는 차량의 기술개발 실증을 위한 제한구역(테스트베드) 내 시범운행의 성격이 강하다고 할 수 있다.

4. 자율주행 대중교통 서비스 정의

1) 선행연구에서의 분류

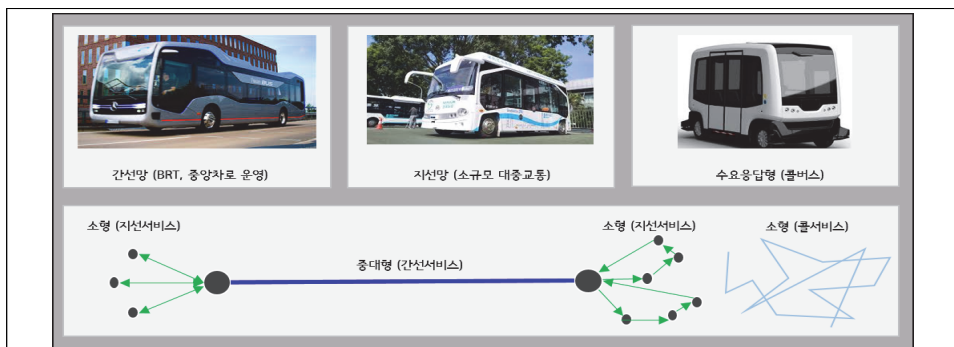
선행연구 및 국내·외 실증사례를 바탕으로 예상되는 자율주행기반 대중교통 서비스는 다음과 같이 분류할 수 있다.

첫째, 45인승 이하의 대형 버스 차량으로 제공되는 서비스로, 기본 노선을 벗어나지 않고 운행하는 중·대형 자율주행 차량을 이용한 간선 서비스, 둘째, 15인승 이하의 미니버스로 제공되는 서비스로, 기본 노선 기반으로 운행하는 소형 자율주행 차량을 이용한 지선 서비스, 셋째, 6인승 이하의 차량과 함께 제공되는 기본 노선 없는 공유 택시 개념의 서비스, 고객의 요청에 따라 서비스 차량 배치 최적화 및 노선 최적화를 실시하고 요청된 지점에 신속하게 서비스를 제공할 수 있도록 제어하는 소형 자율주행 차량을 이용한 수요응답형(콜버스) 서비스로 구분할 수 있다.

또한, 소형 자율주행버스는 광역 대도시권 외곽지역의 first- and last-mile 서비스, 중소 도시의 수요응답형 대중교통 서비스, 대학 캠퍼스의 자율주행 셔틀 서비스 등으로 활용할 수 있다.

현재 세종특별자치시에서는 자율주행 기반 대중교통을 도심형 셔틀, 자동차 전용도로, 공원형 셔틀로 구분하여 자율주행특화도시로 조성 중에 있다.

그림 2-6 | 자율주행기반 대중교통 수단별 서비스(예)



자료: 저자 작성

2) 본 연구에서의 정의

자율주행기반 대중교통은 기술발전 시기와 이용자 및 사회적 수용도에 따라 그 수단이 단계적으로 도입될 것으로 예상된다. 서비스 유형을 분류하기 위한 조건을 차량제원과 운행조건 대분류와 다음과 같은 각각의 소분류로 정의한다.

표 2-7 | 자율주행기반 대중교통 서비스 분류 조건

대분류	소분류	세부 내용
차량제원	차량크기 (탑승인원)	초소형 셔틀에서 45인승의 중대형 버스까지 다양한 크기의 차량을 고려
	차량 주행속도	저속 및 고속 운행가능 차량을 의미
	차량 동력	전기동력의 자율주행차량만을 고려
	자율주행 레벨	완전 자율주행만을 고려
운행조건	운행거리	단거리 노선 또는 중·장거리 노선을 의미하며, 전기차의 1회 충전 주행거리와 상관관계가 높음
	전용차로 운영	자율주행차량을 위한 전용차로가 있을 경우 폐쇄형, 그렇지 않으면 개방형으로 정의
	교통류	주변 교통류의 특성에 따라 단속류, 연속류로 구분하며, 단속류의 경우 신호 및 도로·교통표지의 인식이 필요하며, 단속류와 연속류 혼합형도 고려
	노선 특성	고정경로와 동적경로로 구분하고 고정경로는 시스템에 설정된 좌표를 따라 주행하며, 동적경로는 수요에 따라 경로를 동적으로 생성하여 주행

자료: 저자 작성

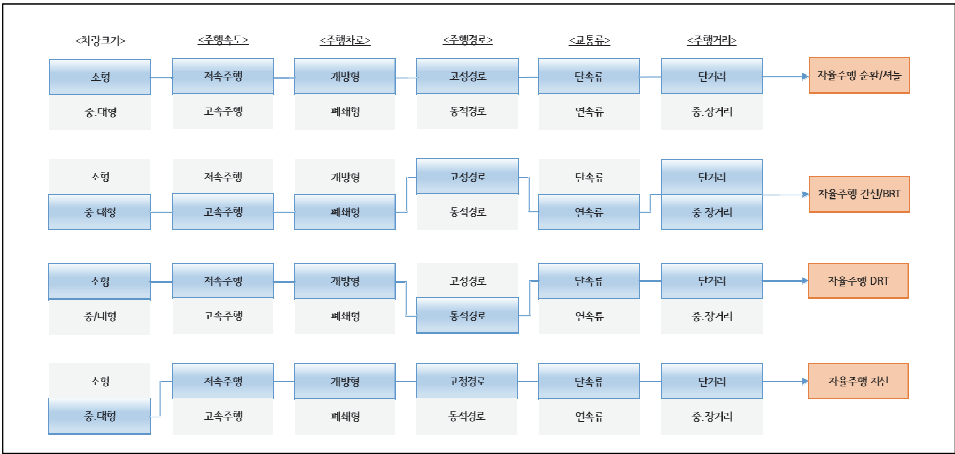
그림 2-7 | 서비스 유형분류를 위한 요소 정의

<차량크기>	<주행속도>	<주행차로>	<주행경로>	<교통류>	<주행거리>
수형	저속주행	개방형	고정경로	단속류	단거리
중·대형	고속주행	폐쇄형	동적경로	연속류	중·장거리

자료: 저자 작성

각 요소들의 조합을 통해 자율주행 대중교통 서비스를 정의할 수 있으며, 각 서비스의 특징은 다음 표에 제시하였다. 본 연구에서는 4개 서비스 중 셔틀과 BRT 서비스에 중점을 두어 연구를 진행한다.

그림 2-8 | 환경조건 요소 조합을 통한 자율주행 서비스 도출



자료: 저자 작성

표 2-8 | 자율주행기반 대중교통 서비스

서비스 분류	특징
자율주행 순환/셔틀	저속주행만이 가능한 소형차량 대상 단속류 주행 위주이며, 개방형 도로를 일반차량과 혼재하여 주행 캠퍼스 및 특정 단지 내 정해진 단거리 주행 위주 기존 대중교통의 접근성 개선을 위한 First/last mile 서비스로 활용 가능
자율주행 간선/BRT	고속주행이 가능한 중·대형 차량 대상 폐쇄형 연속류의 정해진 중·장거리 노선 주행 전용차로 주행으로 정시성 확보
자율주행 DRT	저속주행만이 가능한 소형차량 대상 이용자 수요에 따라 동적 경로 탐색 교통소의 지역 및 교통약자를 위한 서비스 제공
자율주행 지선	저속주행 기반의 중·대형 차량 대상 개방형 단속류의 정해진 단거리 노선 주행

자료: 저자 작성



CHAPTER 3

자율주행 대중교통 도입효과 분석

- 1. 기존 대중교통 서비스 문제점 분석 | 43
- 2. 자율주행 대중교통 도입효과 분석 | 51
- 3. 이용자 측면의 기대사항 조사 | 67

자율주행 대중교통 도입효과 분석

본 장에서는 자율주행 대중교통의 도입효과 분석을 위해, 기존 대중교통 서비스의 문제점을 파악하고 기존 일반차량을 자율주행차량으로 대체하였을 때 발생 가능한 효과를 정량적으로 분석하여 제시하였다. 그 결과 안전성 향상, 대중교통 서비스 향상, 도시공간 효율화, 낮은 구축비용으로 높은 수송량 제공, 새로운 교통 서비스 제공, 환경오염 감소 등의 효과가 있을 것으로 분석되었다. 또한, 이용자 선호도 조사를 위해 설문조사를 실시하고 통계분석을 수행하여 시사점을 도출하였다.

1. 기존 대중교통 서비스 문제점 분석

기존 대중교통 서비스의 문제점은 운전자 실수로 인한 사고와 고령 운전자 증가로 인한 안전 취약 문제, 낮은 접근성, 차내 혼잡 등으로 요약할 수 있다. 낮은 접근성과 차내 혼잡 문제는 운영비와 직접 연관이 있으며, 운영비의 가장 높은 비율을 차지하는 비용은 노무비로 나타났다.

1) 안전 관련 문제점

다음 표에서 나타나듯, 2013~2017년 버스 교통사고 추세를 살펴보면 사고건수는 감소추세를 나타내나, 사망자수는 뚜렷한 감소를 보이지 않고 있다.

표 3-1 | 버스 교통사고 추세(2013~2017년)

단위: 건

구분		2013	2014	2015	2016	2017	연평균 증감률(%)
전체	발생건수	8,616	8,645	8,744	7,969	7,849	-2.30
	사망자수	175	185	189	164	179	0.57
	부상자수	14,692	14,735	14,556	12,966	13,137	-2.76
전세버스	발생건수	1,152	1,184	1,188	1,090	1,053	-2.22
	사망자수	32	36	40	45	32	0.00
	부상자수	2,669	2,680	2,550	2,386	2,514	-1.48
시내버스*	발생건수	6,390	6,415	6,462	5,910	5,890	-2.02
	사망자수	105	125	109	100	94	-2.73
	부상자수	9,543	9,747	9,700	8,663	8,697	-2.29
시외버스	발생건수	835	821	861	781	737	-3.07
	사망자수	21	18	31	11	43	19.62
	부상자수	1,674	1,743	1,619	1,394	1,457	-3.41
고속버스	발생건수	239	225	233	188	169	-8.30
	사망자수	17	6	9	8	10	-12.42
	부상자수	806	565	687	523	469	-12.66

자료: 도로교통공단 교통사고분석시스템 웹사이트 (<http://taas.koroad.or.kr/>), 가해운전자 차량용도별 교통사고, 검색일: 2019.4.10.

*: 농어촌버스, 마을버스 포함

(1) 운전자 부주의로 인한 사고

사고통계 중 2017년 자료를 법규위반별로 분석하면 다음 표와 같이 나타낼 수 있고, 운전자 부주의로 일어난 사고의 비율이 높은 것으로 나타났다. 특히, 안전운전의무 불이행으로 일어나는 사고가 버스 전체사고의 50%가 넘는 비율을 나타내고 있다.

표 3-2 | 2017년 버스 업종별, 법규위반별 교통사고 현황

단위: 건

구분	합계	과로/과속	앞지르기 방법/금지 위반	중앙선 침범	신호위반	안전거리 미확보	서행 및 일시정지 위반
노선버스	6,796	11	9	81	550	541	24
전세버스	1,053	6	5	27	130	153	1
버스전체	7,849	17	14	108	680	694	25
구분	부당한 회전	안전운전 의무 불이행	교차로 동행 방법위반	보행자 보호 의무위반	차로위반 (진로변경 위반)	직진/ 우회전차 동행방해	기타
노선버스	13	3,895	214	196	81	45	1,136
전세버스	7	529	76	54	33	10	22
버스전체	20	4,424	290	250	114	55	1,158

자료: 도로교통공단 교통사고분석시스템 웹사이트 (<http://taas.koroad.or.kr/>), 가해운전자 차량용도별, 법규위반별 교통사고, 검색일: 2019.4.10.

(2) 고령 운전자 증가 문제

버스운전자는 60세 정년이 지나도 건강에 문제가 없으면 축탁직 계약으로 61세 이상에도 근무를 계속 이어갈 수 있다. 버스운수회사는 정규직의 70%의 임금만 지급할 수 있어 축탁직 계약직이 증가하는 추세이며, 2017년 기준 버스종사자 연령별 현황은 다음 표, 그래프에서 나타내듯, 61세가 넘는 고령 운전자 비율은 전체의 10.5%를 차지하고 있다.

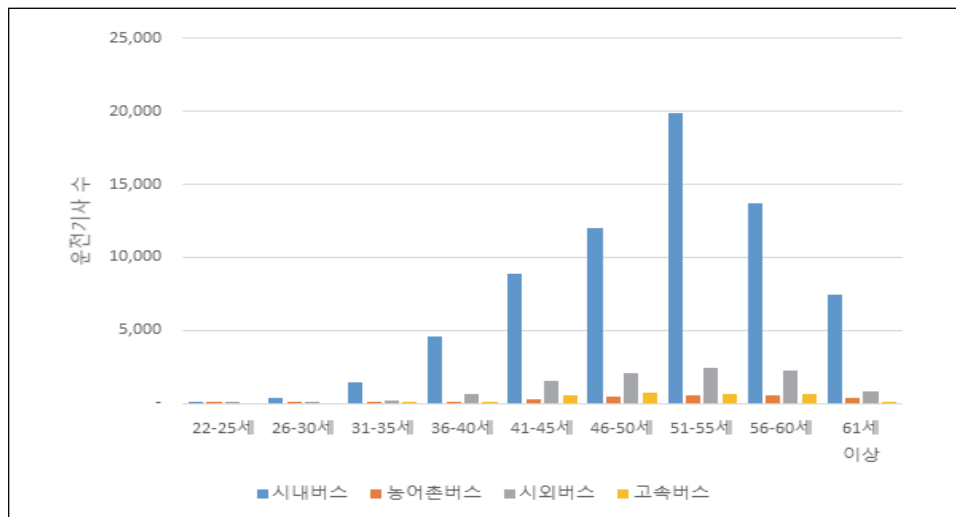
표 3-3 | 2017년 버스 업종별 종사자 연령 현황

단위: 명

구분	22 ~25	26 ~30	31 ~35	36 ~40	41 ~45	46 ~50	51 ~55	56 ~60	61세~	계
전체	83	614	1,795	5,661	11,295	15,817	23,951	17,879	9,608	89,703
시내버스	75	551	1,509	4,807	9,115	12,427	20,484	14,289	8,165	71,422
농어촌버스	5	15	71	97	287	465	587	626	453	2,606
시외버스	3	47	191	600	1,366	2,058	2,190	2,266	872	9,595
고속버스	0	1	24	157	525	867	690	698	118	3,080

자료: 전국버스운송사업조합연합회 버스통계편람, p.116, 2018

그림 3-1 | 운전기사 연령별 현황



자료: 전국버스운송사업조합연합회 버스통계편람, p.116, 2018, 자료 저자 재구성

고령 운전자로 인한 사고는 전체 사고의 18.6%로 61세 이상 운전자수 대비 4~50대 운전자의 사고건수보다 약 2배 이상을 나타내고 있다.

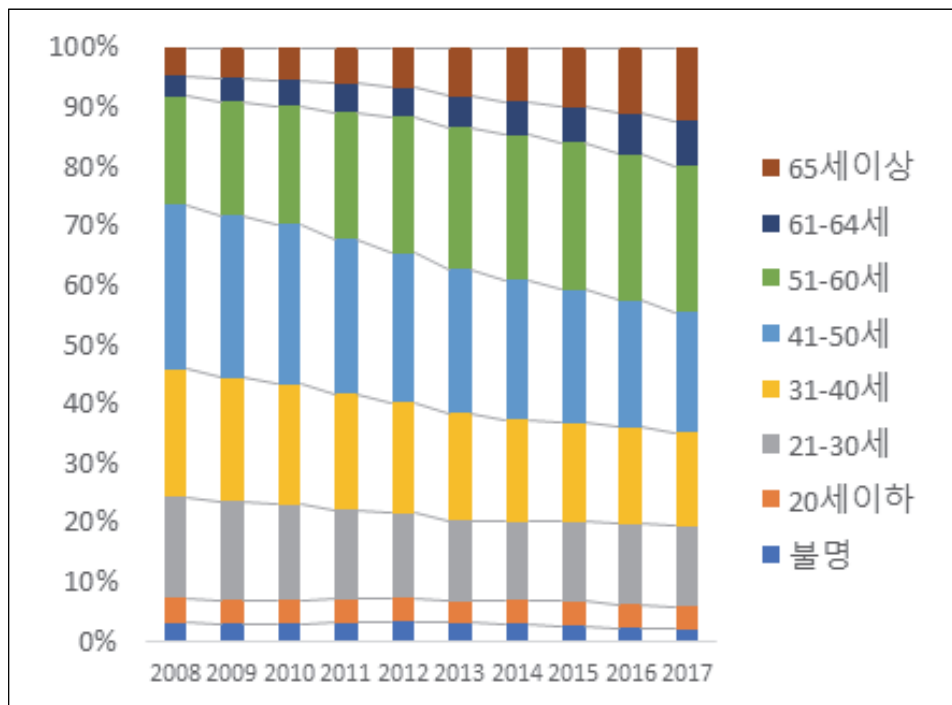
표 3-4 | 2017년 버스 연령별 교통사고 현황

단위: 건

구분	21~30세	31~40세	41~50세	51~60세	61세~	미분류	계
발생건수	93	623	2,037	3,628	1,456	12	7,849
사망자수	3	10	43	84	39	0	179
부상자수	198	1025	3505	5783	2,613	13	13,137

자료: 도로교통공단 교통사고분석시스템 웹사이트 (<http://taas.koroad.or.kr/>), 가해운전자 차량용도별 교통사고, 검색일: 2019.4.10.

그림 3-2 | 교통사고 가해운전자 연령층별 비율 (단위: %)



자료: 도로교통공단 교통사고분석시스템 웹사이트 (<http://taas.koroad.or.kr/>), 가해운전자 차량용도별 교통사고, 검색일: 2019.4.10. 자료 저자 재구성

2) 서비스 관련 문제점

(1) 높은 노무비로 인한 서비스 품질 저하

지자체 표준운송원가 산정 방법 및 내역 검토 결과, 서울특별시 기준, 노무비는 전체 운송원가의 약 70%를 차지하고 있으며, 운전 종사자의 주 52시간 근무제 시행으로 노선감축 및 운행횟수 감소로 버스 서비스 품질이 낮아지고 있다. 이러한 이유로, 수익이 낮은 벽지노선은 보조금 없이 운행이 어렵고, 배차간격을 길게 운영할 수밖에 없으며, 운영시간도 한정적일 수밖에 없는 실정이다.

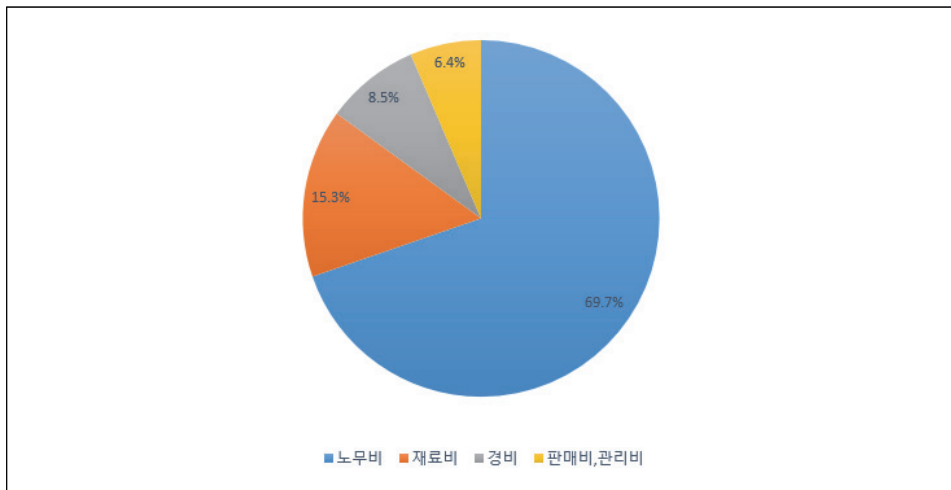
표 3-5 | 서울시 표준운송원가의 항목, 산정방법 및 내역(2016년)_1일 기준

원 가 항 목		적 용	표준원가 (원)	원가 세부 항목 및 산정방법
총 계 (이 윤 포 함)			615,826 (633,520)	(기준) 보유대수의 표준가액의 경우 효율성이 높은 상위 50%업체의 평균값 적용
I. 재 료 비	1.연료비	가동비	80,601	(항목) 경유, CNG (기준) 경유: 노선별 연비적용, 고시단가의 96% ·CNG: 실적기준
	2.부품비	보유비	9,069	(항목) 정비비(잡유제외) (기준) 보유대수의 표준가액 적용
	3.타이어비	가동비	4,477	(항목) 타이어비 (기준) 보유대수의 표준가액 적용
	4.기타	-	-	재료비-부품비에 포함
II. 노 무 비	1.운전직인건비	가동비	410,437	(항목) 급여, 퇴직급여, 복리후생비(법정복리후생비+기타복리후생비) (기준) 급여: 대당 2.69명, 만근일 22일(1일2교대) 기준 ·퇴직급여: 급여의 1/12 퇴직총당금 설정 ·복리후생비: 표준급여의 13.295%
	2.정비직인건비	보유비	18,899	(항목) 급여, 퇴직급여, 복리후생비(법정복리후생비+기타복리후생비) (기준) 급여: 대당 0.1428명 기준 ·퇴직급여: 급여의 1/12 퇴직총당금 설정 ·복리후생비: 표준급여의 13.295%
III. 경	1.차량감가상각비	보유비	33,373	(항목) 차량감가상각비 (기준) 9년 정액법(=차량가액×1/9)

원 가 항 목		적 용	표준원가 (원)	원가 세부 항목 및 산정방법
비	2.차고지비	보유비	4,094	(항목) 차고지비 (기준) 보유대수의 표준가액 적용(중형은 대형의 70%)
	3.보험료	보유비	11,537	(항목) 차량보험료 (기준) 대인1: 버스공제조합 기본분담금×100% ·대인2: 버스공제조합 기본분담금×133% ·대 물: 버스공제조합 기본분담금×100%
	4.기타	보유비	3,632	(항목) 잡유, 세차비, 세금과공과, 임차료, 운반비, 차고지관련유지비, 수도광열비, 기타잡비 (기준) 보유대수의 표준가액 적용
IV. 판 매 비 와 관 리 비	1.임원·관리직 인건비	보유비	28,919	(항목) 급여, 퇴직급여, 복리후생비(법정복리후생비+기타복리후생비) (기준) 급여: 대당 임원 0.0200명, 관리직 0.2791명 기준 ·퇴직급여: 급여의 1/12 퇴직총당금 설정 ·복리후생비: 표준급여의 임원 12.365% 관리직 13.295%
	2.기타	보유비	10,789	(항목) 손익계산서상 관리비로서 통신비, 수도광열비, 기타세금과공과, 지급임차료, 수선비, 보험료, 광고선전비, 소모품비, 도서신문비, 지급수수료, 기타의 감가상각비 등 (기준) 보유대수의 표준가액 적용

자료: 서울특별시, 2016년 시내버스 표준원가에 따른 운송비용 정산지침, 2017

그림 3-3 | 표준 운송원가 항목별 비율 (서울시 예)



자료: 저자 작성

(2) 낮은 서비스 만족도 및 차내혼잡 문제

대중교통 수도권 및 광역시 서비스 만족도 조사 결과, 혼잡도가 제일 낮은 점수 (3.91/7점)로 나타냈으며, 안전 관련 만족도, 교통약자 시설에 대한 만족도 순으로 낮게 나타났다.

표 3-6 | 2018년 대중교통 서비스 만족도 (전국)

단위: 점, 7점 만점

구분	전반적 만족도	운영서비스			이용서비스		
		노선체계	배차시간 간격	대중교통 중심운영	기사 /역무원 친절도	시설이용 편리성	교통약자 시설
점수	4.84	4.98	4.50	4.68	4.53	4.50	4.48
구분	쾌적 환경서비스		정보제공서비스			접근서비스	
	혼잡도	이용시설 청결	정보제공 체계	정보 정확성	변경정보 제공	접근거리 및 접근시간	목적지 이동거리 및 소요시간 적절성
점수	3.91	4.38	4.86	4.80	4.80	4.85	4.91
구분	환승서비스			안전 환경서비스			
	환승 체계 구축	환승정보 제공	환승요금	(버스) 안전운행	(버스) 비상시 대처방안 안내	(지하철) 안전운행	(지하철) 비상시 대처방안 안내
점수	4.74	4.65	4.83	4.29	4.17	4.74	4.62

자료: 한국교통안전공단, 2018년 대중교통 현황조사 종합결과보고서, p.192.

2. 자율주행 대중교통 도입효과 분석

자율주행차 도입으로 인한 기대효과는 여러 측면에서 연구되어 왔으며, 다음과 같이 정리할 수 있다. 운전자와 도로 운전자 측면의 기대효과가 있으며, 대표적인 기대효과는 안전성 향상과 차두거리 감소로 인한 용량 극대화 등을 들 수 있다.

표 3-7 | 자율주행차량 도입에 따른 기대효과

수혜자	기대효과	세부내용
운전자	주행 편의성	운전 업무에서 해방됨에 따라 편의성이 증가되고 차내 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 운전자	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

자료: 오성호 외, p.5, 2017

하지만, 본 연구에서는 자율주행 기술이 대중교통에 도입될 때 발생 가능한 기대효과에 중점을 두어 분석한 결과를 제시한다.

1) 교통사고 감소 효과 (안전성 향상)

표에서 나타난 바와 같이, 총 버스 사고건수는 7,849건이고 그 중 노선버스 사고는 6,796건, 사망자수 179명, 부상자수 13,137명이며, 버스 교통사고 유형을 차대사람, 차대차, 차량단독으로 구분할 수 있다.

표 3-8 | 2017년 버스 업종별, 사고유형별 교통사고 현황

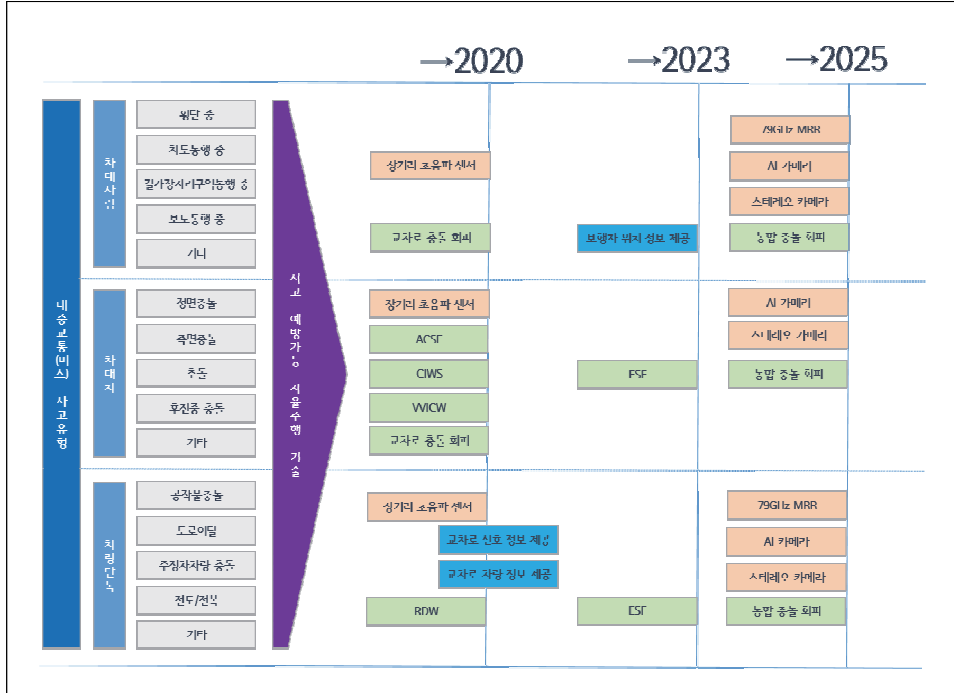
단위: 건

구분	소계	차대사람				
		횡단 중	차도통행 중	길가장자리 구역통행 중	보도통행 중	기타
노선버스	2,034	714	78	48	31	1,163
전세버스	196	134	12	5	5	40
버스전체	2,230	848	90	53	36	1,203
구분	소계	차대차				
		정면충돌	측면충돌	추돌	기타	후진 중 충돌
노선버스	2,818	198	1,162	725	712	21
전세버스	806	62	350	168	217	9
버스전체	3,624	260	1,512	893	929	30
구분	소계	차량단독				
		공작물충돌	도로이탈	주정차 차량 충돌	전도/전복	기타
노선버스	1,944	56	6	0	66	1,816
전세버스	51	9	1	0	12	29
버스전체	1,995	65	7	0	78	1,845

자료: 도로교통공단 교통사고분석시스템 웹사이트 (<http://taas.koroad.or.kr/>), 가해운전자 차량용도별, 사고유형별 교통사고, 검색일: 2019년 4월 12일

버스 사고 중 전세버스 사고를 제외한 노선버스 사고 절감은 자율주행 관련 기술의 도입을 통해 가능할 것으로 기대되며, 각 사고유형 별 예방 가능한 자율주행 관련 기술은 다음과 같으며 2025년 자율주행 관련 기술 개발이 완료되면, 상당수의 안전사고가 감소될 수 있을 것으로 기대된다.

그림 3-4 | 사고유형 별 자율주행 예방 기술



자료: 저자 작성

일반 버스가 자율주행 버스로 대체될 경우, 그 비율에 따라 운전자의 과실로 일어난 사고의 일정 부분이 감소할 수 있을 것으로 기대된다. 도로교통공단의 도로교통 사고 비용의 추계와 평가(2018년판) 보고서의 연구개요 페이지에 따르면, 사상자 피해종별 평균비용은 사망자 1인당 약 4억 4,517만원, 중상자 1인당 6,292만원, 경상자 1인당 424만원, 부상신고자 1인당 약 204만원이고 이를 이용하여 사고감소율을 다음과 같이 가정하고, 교통사고 감소로 인한 편익을 나타내면, 현재 수준에서 5% 감소하면 연 80 억원 수준, 20% 감소하면 319억 수준의 절감 효과가 있을 것으로 기대된다.

표 3-9 | 자율버스 도입에 따른 교통사고 감소 시나리오 별 사고비용

단위: 건,억

구분	0%	5%	10%	15%	20%	25%	30%
사고건수	7,849	7457	7,064	6672	6,279	5887	5,494
사고비용	1594.1	1514.4	1434.7	1355	1275.3	1195.6	1115.8

자료: 저자 작성

2) 대중교통 서비스 향상

자율주행버스가 도입되면, 기존 운전기사와 관련된 노무비를 절감할 수 있고, 이를 통해 기존보다 더 많은 차량을 동일한 비용으로 배차할 수 있다. 이는 곧, 대중교통 서비스 향상으로 이용자의 대기시간을 감소시켜 편의를 향상시키고, 노선을 추가할 수 있으며, 적자 노선 등에 적절한 서비스를 제공할 수 있음을 의미한다.

본 연구에서는 이를 위해 기존 버스의 차량가격을 조사하고 그 중 일반 시내버스와 전기 시내버스로 사용되는 한 차량의 판매가격을 기준으로 분석을 하였다.

표 3-10 | 버스 승차인원 및 가격(현대자동차 기준)

구분	승차인원	가격
마을버스(뉴컨트리)	15	60,730,000
마을버스(그린시티)	20+1	113,500,000
시내버스(뉴슈퍼에어로시티)	27+25+1	115,400,000
시내버스(뉴슈퍼에어로시티_저상)	24+22+1	209,000,000
시내좌석(뉴슈퍼에어로시티)	38+1	127,000,000
시외버스(뉴슈퍼에어로시티)	45+1	125,900,000
고속버스(유니버스)	45+1	172,710,000
시내버스(일렉시티(전기버스))	27+1+20	450,000,000

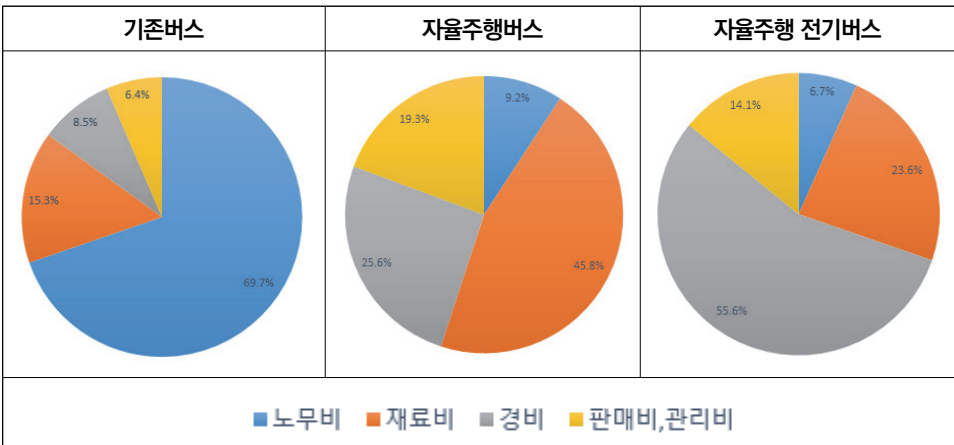
자료: 현대 트럭&버스 현대상용차 공식 홈페이지(<https://www-trucknbus.hyundai.com/kr>), 검색일 : 2019.09.18

자율주행버스의 경우, 현재 상용화 단계가 아니므로 판매가격이 정해지지 않아 본 연구에서 기존 버스 가격대비 판매 예상가격에 대한 시나리오를 설정하여 분석하였다.

전체 분석연도는 「여객운수사업법 시행령의 사업용 자동차의 차령과 그 연장조건」에 따라 사업용 자동차의 차령인 9년으로 설정하고, 전기버스 운영비는 경기도 전기버스 도입효과 결과를 참고하여 연료비 34.6% 절감효과로 가정하였다. 또한, 자율주행버스 운영비는 표준운송원가의 운전직 인건비를 제외하였으며, 전기 동력 기반의 자율주행버스의 경우 보조금(1억) 시나리오도 고려하였다.¹⁾

자율주행 기술과 전기버스 도입에 따른 표준 운송원가의 비율 변화를 분석한 결과, 기존버스에서 가장 높은 비율을 차지하던 노무비의 비율이 자율주행 기술 도입과 함께 감소하는 것으로 나타났고, 반면 내연기관 자율주행 버스의 가장 큰 원가는 재료비, 즉 연료비 등으로 나타났다. 보조금이 없는 시나리오의 경우, 자율주행 전기버스의 경우 연료비를 포함한 재료비는 낮게 나타났으나, 차량감가상각비 등의 경비가 가장 높은 비율로 나타났다.

그림 3-5 | 표준 운송원가 항목별 비율 비교



자료: 저자 작성

1) 환경부. 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리 지침. p.22. 2019.1.

(1) 시나리오 1: 자율주행버스 가격 = 일반버스의 1.5배, 보조금 0원

표 3-11 | 버스 구입비 및 운영비 (시나리오 1)

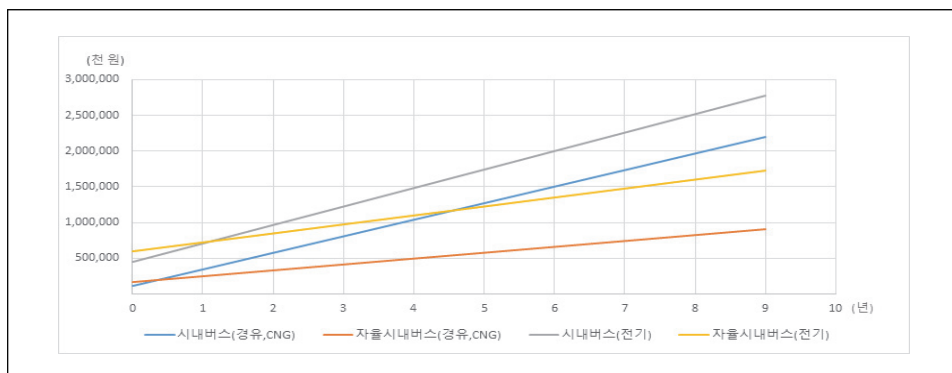
구분	구입비	1년 운영비 (서울표준운송원가기준)
시내버스(경유,CNG)	115,400,000	231,234,800
시내버스(전기)	450,000,000	258,874,400
자율 시내버스(경유,CNG)	173,100,000	81,425,300
자율 시내버스(전기)	600,000,000	125,731,600

자료: 저자 작성

기존 경유나 CNG와 동일 연료기반 자율주행 버스 도입 시, 5개월 이내에 구입비가 높은 자율주행버스가 낮은 운영비로 인해 일반버스의 손익분기점을 넘는 것으로 분석되었다. 이는 총 9년이라는 내구연한을 고려했을 때, 자율주행버스 도입 시 전체 생애주기 운영비 차이는 약 12.9억으로 1.42대 추가 구입할 수 있는 정도의 금액이다.

기존 내연기관 버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하면, 4년 경과 후 전체 비용이 감소하는 시점을 맞게 되며, 전기 시내버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하는 경우, 1년 경과 후 손익분기점에 도달하며, 9년 운영 시, 약 10.4억의 운영비 차이로 전기자율버스를 0.61대 추가 운행할 수 있는 것으로 분석되었다.

그림 3-6 | 손익분기점 (시나리오 1)



자료: 저자 작성

(2) 시나리오 2: 자율주행버스 가격 = 일반버스의 1.5배, 보조금 1억원

표 3-12 | 버스 구입비 및 운영비 (시나리오 2)

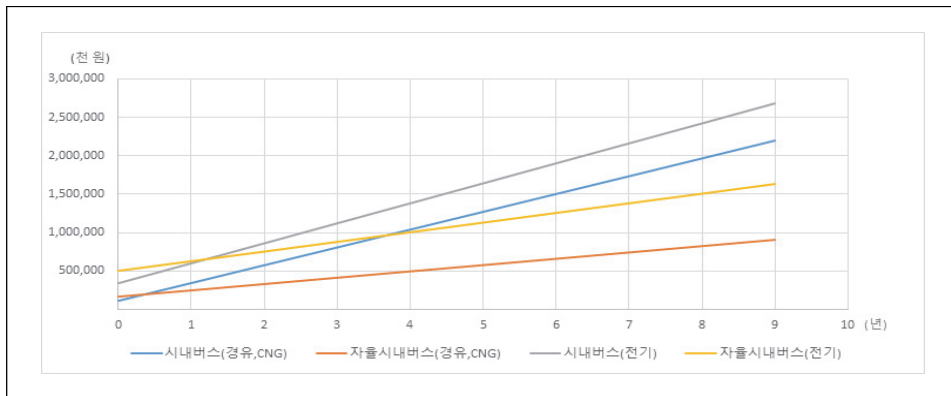
구분	구입비	1년 운영비 (서울표준운송원가기준)
시내버스(경유,CNG)	115,400,000	231,234,800
시내버스(전기)	350,000,000	258,874,400
자율시내버스(경유,CNG)	173,100,000	81,425,300
자율시내버스(전기)	500,000,000	125,731,600

자료: 저자 작성

기존 경유나 CNG와 동일 연료기반 자율주행 버스 도입 시, 시나리오 1과 동일한 결과를 나타내며, 기존 내연기관 버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하면, 3년 경과 후 전체 비용이 감소하는 시점을 맞게 된다. 생애주기를 고려하면 총 5.6억을 절감할 수 있고, 이는 전기 자율버스 약 0.35대를 추가 운영할 수 있는 금액이다.

전기 시내버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하는 경우도 시나리오 1과 동일하게 나타난다.

그림 3-7 | 손익분기점 (시나리오 2)



자료: 저자 작성

(3) 시나리오 3: 자율주행버스 가격 = 일반버스의 2배, 보조금 0원

표 3-13 | 버스 구입비 및 운영비 (시나리오 3)

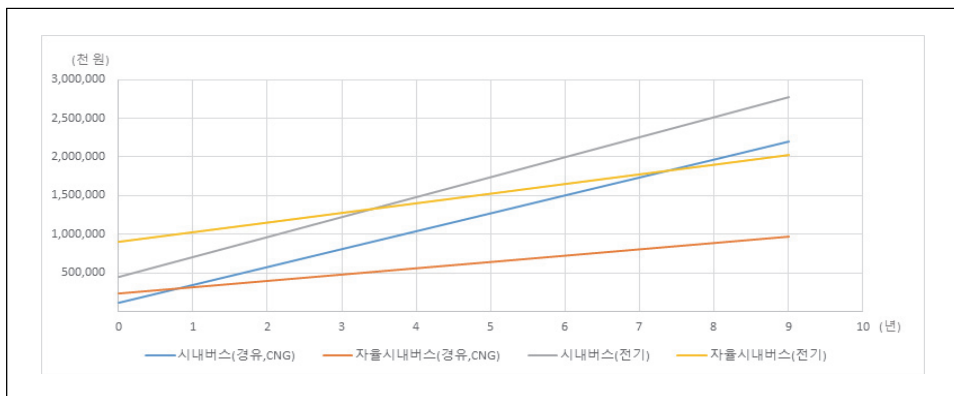
구분	구입비	1년 운영비 (서울표준운송원가기준)
시내버스(경유,CNG)	115,400,000	231,234,800
시내버스(전기)	450,000,000	258,874,400
자율시내버스(경유,CNG)	230,800,000	81,425,300
자율시내버스(전기)	900,000,000	125,731,600

자료: 저자 작성

기존 경유나 CNG와 동일 연료기반 자율주행 버스 도입 시, 1년 이내 손익분기에 도달하며, 생애주기동안 운영비 차이는 약 12.3억으로 자율주행 버스 1.36대 추가 운영 가능한 것으로 분석되었다. 또한, 기존 내연기관 버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하면, 약 7년 후 손익분기에 도달하여 경제성이 매우 낮은 것으로 판단된다.

전기 시내버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하는 경우, 3년 경과 후 손익분기점에 도달하며, 9년 운영 시, 약 7.5억의 운영비 차이로 전기 자율버스를 0.43대 추가 운행할 수 있는 것으로 나타났다.

그림 3-8 | 손익분기점 (시나리오 3)



자료: 저자 작성

(4) 시나리오 4: 자율주행버스 가격 = 일반버스의 2배, 보조금 1억원

표 3-14 | 버스 구입비 및 운영비 (시나리오 4)

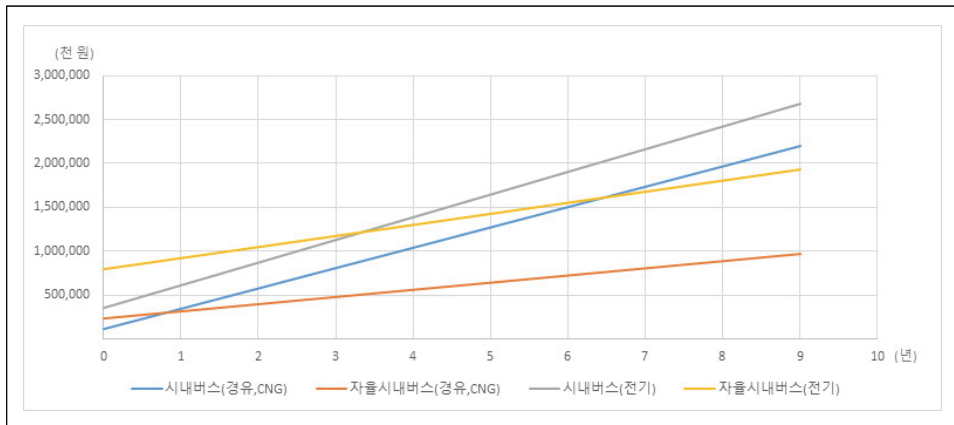
구분	구입비	1년 운영비 (서울표준운송원가기준)
시내버스(경유,CNG)	115,400,000	231,234,800
시내버스(전기)	350,000,000	258,874,400
자율 시내버스(경유,CNG)	230,800,000	81,425,300
자율 시내버스(전기)	800,000,000	125,731,600

자료: 저자 작성

기존 경유나 CNG 차량과 동일한 연료 기반의 자율주행 버스 도입 시, 시나리오 3과 동일한 결과가 나타나며, 기존 내연기관 버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하면, 약 6년 후 손익분기점에 도달하며 생애주기 운영비 차이는 약 2.6억으로 낮게 나타난다.

전기 시내버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하는 경우, 3년 경과 후 손익분기점에 도달하며, 9년 운영 시, 약 7.5억의 운영비 차이로 전기 자율버스를 0.46대 추가 운행할 수 있는 것으로 나타났다.

그림 3-9 | 손익분기점 (시나리오 4)



자료: 저자 작성

(5) 시나리오 5: 자율주행버스 가격 = 일반버스의 3배, 보조금 0원

표 3-15 | 버스 구입비 및 운영비 (시나리오 5)

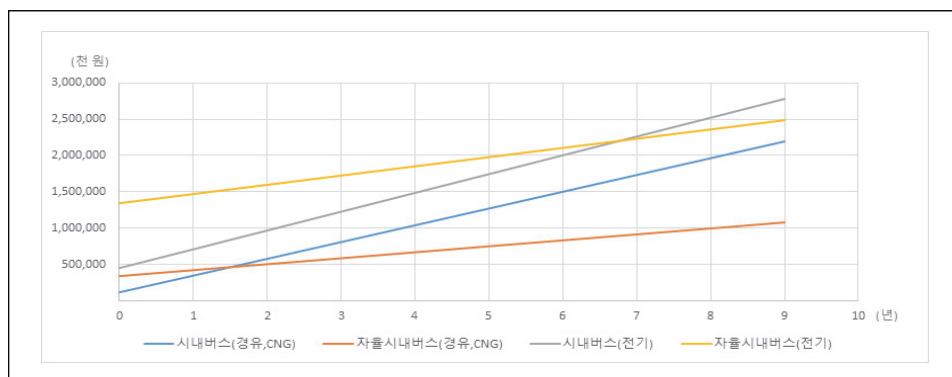
구분	구입비	1년 운영비 (서울표준운송원가기준)
시내버스(경유,CNG)	115,400,000	231,234,800
시내버스(전기)	450,000,000	258,874,400
자율시내버스(경유,CNG)	346,200,000	81,425,300
자율시내버스(전기)	1,350,000,000	125,731,600

자료: 저자 작성

기존 경유나 CNG와 동일 연료기반 자율주행 버스 도입 시, 1년 반 경과 후 손익분기점에 도달하며, 생애주기동안 운영비 차이는 약 11.7억으로 자율주행 버스 1.23대 추가 운영이 가능하다. 기존 내연기관 버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하면, 생애주기 9년 내 손익분기점에 도달하지 못하며, 운영비 차이도 -2.9억으로 경제성이 매우 낮게 나타났다.

전기 시내버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하는 경우, 약 7년 후 손익분기점에 도달하며, 9년 운영 시, 약 3억의 운영비 차이로 전기 자율버스를 0.18대 추가 운행할 수 있는 것으로 나타났다.

그림 3-10 | 손익분기점 (시나리오 5)



자료: 저자 작성

(6) 시나리오 6: 자율주행버스 가격 = 일반버스의 3배, 보조금 1억원

표 3-16 | 버스 구입비 및 운영비 (시나리오 6)

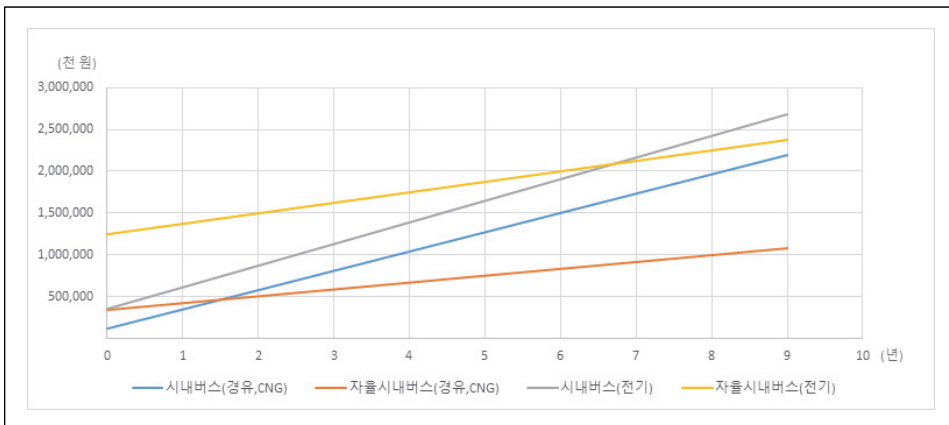
구분	구입비	1년 운영비 (서울표준운송원가기준)
시내버스(경유,CNG)	115,400,000	231,234,800
시내버스(전기)	350,000,000	258,874,400
자율시내버스(경유,CNG)	346,200,000	81,425,300
자율시내버스(전기)	1,250,000,000	125,731,600

자료: 저자 작성

기존 경유나 CNG와 동일 연료기반 자율주행 버스 도입 시, 시나리오 5와 동일한 결과가 나타나고, 기존 내연기관 버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하면, 생애주기 9년 내 손익분기점에 도달하지 못하며, 운영비 차이도 -1.9억으로 경제성이 매우 낮은 것으로 분석된다.

전기 시내버스를 전기 동력 자율주행 버스로 대체하는 경우, 시나리오 5와 유사한 것으로 나타났다.

그림 3-11 | 손익분기점 (시나리오 6)



자료: 저자 작성

(7) 시나리오 분석에 대한 시사점

자율주행버스는 기존 버스와 달리 운전직 인건비가 필요 없어 운영비 일정 부분 저감효과가 있다. 자율주행버스 가격이 일반 버스에 비해 1.5배 비싸게 책정될 경우, 반년 이내 손익분기점에 도달하며, 차량 한 대가 생애주기 동안 약 12.9억 저감효과를 나타내 차량 약 1대 반을 추가 운영할 수 있는 것으로 분석되었다. 또한, 전기 동력 기반의 자율주행버스를 도입할 경우에도 약 1년 경과 후 손익분기점을 도달하며, 생애주기 동안 10억 이상의 운영비 감소로 인해 0.6대 이상의 차량을 추가 운영 가능하다.

자율주행버스 가격이 일반 버스가격에 비해 비싸질수록 경제성은 낮아지며, 특히 3배 이상의 판매가로 책정될 경우, 차량 추가 운영 등이 가능할 수준의 비용저감 효과는 없으며, 전기 자율주행버스의 연료비가 낮음에도 불구하고 총 운영비가 일반 버스에 비해 현저히 낮지 않은 이유는 높은 차량가격으로 인한 감가상각비용 또한 높게 나타났기 때문으로 분석되었다.

운영비 감소효과는 추가 차량 구입 및 운영을 위한 비용으로 충당하여 대중교통의 배차시간 감소효과(이용자 대기시간 감소)를 통한 이용자 만족도 향상이 기대된다. 예를 들어, 배차간격이 15분이 10분으로 감소하면, 이용자가 정류장에 도착했을 때 버스를 기다리는 다른 승객이 없을(이미 버스를 타고 출발했을) 확률은 75%에서 83.3%로 증가하고, 버스를 기다릴 확률은 25%에서 16.67%로 감소하게 된다. 단, 이는 버스 운영비용 절감만을 고려한 결과이고, 다른 교통수단과의 이해관계 상충 문제 등을 고려하지는 않았다는 전제에 기반한 결과이다.

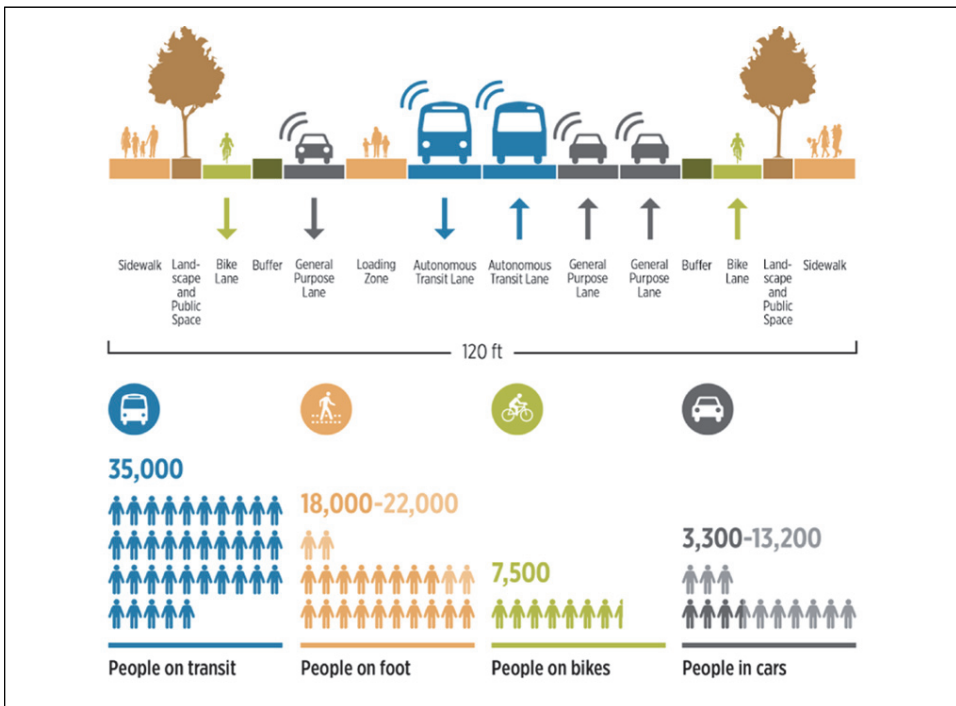
이러한 분석결과는 향후 자율주행버스로 일반 버스 대체 시, 각 시나리오를 고려하여 적정 보조금 지급 및 차량 판매가 책정 등을 위해 활용될 수 있을 것으로 기대된다.

3) 기타 도입효과

(1) 도시공간 효율화

기존 유사 선행연구에서 자율주행 대중교통 도입은 기존 대중교통에 비해 큰 수송능력을 통해, 개인 승용차 이용이 억제되는 효과가 있고 이는 도로재편으로 이어질 것이라는 연구결과가 있다. 미국 로스앤젤레스의 도로재편 시뮬레이션 결과, 미래는 기존 아스팔트 도로의 비율을 줄이고 가로수가 있는 보행로를 넓힐 것을 제안하였다.

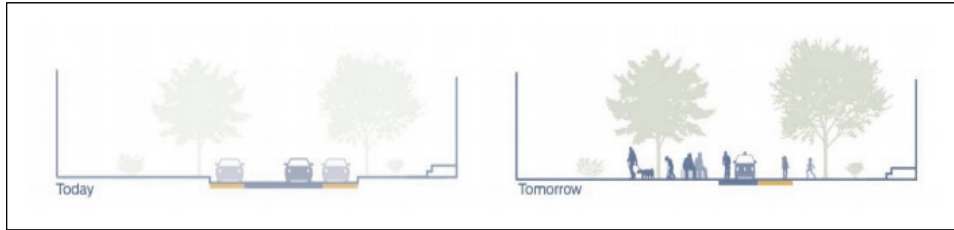
그림 3-12 | 로스앤젤레스 도로재편



자료: Emily (2017.9.19.기고문), A new vision for Los Angeles Streets.

또 다른 선행연구에서 또한 자율주행 대중교통 도입 시 도시공간을 효율적으로 활용할 수 있을 것으로 기대하며, 다음 그림과 같이 도시변화상을 제시하였다.

그림 3-13 | 자율주행 대중교통 도입으로 인한 도시공간 효율화



자료: Designing Cities Edition (2017), Blueprint for autonomous urbanism, p.32.

(2) 낮은 구축비용으로 높은 수송량 제공

앞서 제시한 비용분석 결과와 유사하게, 짧은 차두간격을 유지한 자율주행 BRT의 경우, 그 수송량이 트램이나 LRT(경량전철)와 유사하지만, 구축비와 운영비는 절반수준이다.

따라서, 낮은 구축비용으로 높은 수송량을 제공하여, 대중교통 혼잡이 심한 대도시의 첨두시간에 보다 나은 질의 서비스 제공이 가능하다. 선행연구에서 자율주행 BRT에 대한 경제성 분석(12년 운영 기준) 결과, B/C 40.8로 나타나 경제적 타당성이 매우 높은 것으로 나타났다(USDOT FTA, p.122, 2018).

(3) 새로운 교통 서비스 제공

본 연구에서 정의한 자율주행 DRT 서비스를 통해, First/last mile 서비스 제공을 통한 대중교통 접근성 향상 및 교통소외 지역 노선확충, 수요응답형 서비스를 통한 대중교통 서비스영역 확대 등의 효과가 있을 것으로 기대된다. 특히, 65세 이상 고령자가 14.2%로 고령사회 인 현재, 고령자 이동권 보장 이슈가 제기되는 가운데, 이를 위한 대중교통 서비스 제공도 가능할 것으로 기대된다.

(4) 환경오염 감소

자율주행 차량이 상용화되고 활성화 되는 미래에는 기존 내연기관 차량이 아닌 친환경 에너지(하이브리드, 전기, 수소전기 등) 차량이 큰 비중을 차지할 것으로 예상되고 있다. 또한, 자율주행 대중교통은 첨단화 된 운행 시스템을 통해 운행 최적화가 가능할 것으로 예측된다. 이러한 친환경 차량 증가와 운행 시스템 최적화 등을 통한 배출가스 감소로 인해 환경오염이 감소할 수 있을 것으로 기대된다.

게다가 승용차 통행의 일부가 서비스가 개선된 자율주행 대중교통으로 전이되는 효과가 기대되기 때문에 승용차 통행 감소로 인한 배출가스 감소 효과를 기대할 수 있다.

4) 소결

자율주행 대중교통 서비스 도입을 통해 기존 대중교통 서비스에 비해 안전성과 서비스질이 향상될 것으로 기대된다. 특히, 도시 내부의 자율주행 순환/셔틀 서비스 도입은 승용차 통행을 감소시키고 보행 환경을 개선하는 등의 효율적인 공간 활용에 긍정적인 영향을 미칠 것이다.

노무비 절감으로 인해 기존 서비스에서 자율주행 서비스로 전환될 경우, 수송용량이 증가할 수 있으며, BRT의 경우 짧은 차두거리를 유지한 군집주행이 가능해 낮은 구축 비용으로 LRT 대비 높은 효과를 나타낼 수 있으며, 자율주행 수요응답형 서비스라는 새로운 교통서비스를 제공하여, 적자노선, 교통소외지역, 고령자 등의 교통약자 문제 등을 완화시킬 수 있다.

전기 동력의 자율주행차량 도입 시, 환경오염 감소 효과를 기대할 수 있으며, 운행 시스템 최적화를 통해 기존의 운전자 운전습관에 의해 발생한 급 가·감속 빈도감소로 경제운전이 가능하다.

앞서 정의된 자율주행 대중교통 서비스의 기대효과를 정리하면 다음과 같다.

표 3-17 | 자율주행기반 대중교통 서비스와 기대효과 (● (직접효과), ◐ (간접효과), ○ (해당없음))

	자율주행 간선/BRT	자율주행 지선	자율주행 순환/셔틀	자율주행 DRT
안전성 향상	●	●	◐	◐
서비스 향상	●	●	●	●
공간 효율화	○	○	●	◐
수송용량 증가	●	●	●	○
신 교통서비스 제공	○	◐	◐	●
환경오염 감소	◐	◐	◐	◐

자료: 저자 작성

3. 이용자 측면의 기대사항 조사

1) 자율주행 대중교통에 대한 인식 및 선호도 조사 개요

선행연구에서 살펴본 바와 같이, 해외 선진국은 이미 자율주행 대중교통에 대한 일반 시민의 수용도에 대한 연구를 진행하였으나, 국내는 아직 관련 연구가 수행되지 않았으므로 본 연구에서 시민의 인식 및 선호도에 대한 조사를 수행하였다.

설문의 목적은 일반시민의 개인속성, 기존 대중교통에 대한 만족도, 시민의식, 새로운 기술에 대한 신뢰도 및 익숙함, 현재 소유한 차량의 첨단기술 장착여부 등의 특성에 따른 자율주행 대중교통에 대한 인식 파악이다.

서울특별시 마포구 상암동, 경기도 성남시 분당구 판교신도시, 세종특별자치시 전역을 대상으로 2019년 5월 20일~6월 7일까지 대면조사를 통해 총 750부의 유효설문을 수집하였다. 상암 디엠씨(DMC, Digital Media City)는 서울시가 구축하는 5G 융합 자율주행차량 테스트베드로 SK Telecom 자율주행 버스가 도입되어 시범 운영을 한 차례 실시하였고, 판교는 경기도시공사와 경기도가 함께 자율주행 실증테스트 단지로 조성해 현재 자율주행 셔틀이 시범 운행 중이며, 세종특별자치시는 자율주행 특화도시와 스마트시티 시범도시(5-1생활권)로서 자율주행 버스가 실제 도로에 운행할 수 있는 환경을 구축할 예정 지역이다.

본 조사의 허용오차는 신뢰도 95% 범위에서 $\pm 3.58\%$ 이며, 설문조사의 세부사항은 다음 표와 같다.

표 3-18 | 설문조사 개요

구분	세부내용
응답자 개인속성	○ 응답자 거주지/주생활지, 성별, 연령, 운전면허 보유여부, 운전경력, 학력, 직업, 가구 소득 등에 대한 개인속성을 질문함 ○ 통행목적, 출발/도착지, 통행시간, 통행비용, 주 통행수단에 대한 질문을 통해 응답자의 통행특성에 따른 자율주행기반 대중교통 선호를 조사함
대중교통 서비스 만족도	○ 대중교통 서비스에 대한 만족도를 다음과 같이 조사함 - 대중교통 운영서비스 (노선, 배차간격, 요금, 정시성)에 대한 만족도 - 대중교통 이용환경 (기사 친절도, 차량 시설 및 청결, 쾌적성)에 대한 만족도 - 대중교통 운전자 (급출발, 급정거, 급차선 변경 등)에 대한 만족도 - 대중교통 안전관리 (비상시 대처방법 안내, 소화기 및 망치 배치 등)에 대한 만족도 - 대중교통 서비스 전반에 대한 만족도 ○ 대중교통 이용시 사고 경험과 사고 원인에 대해 질문함
시민의식	○ 전기차 기반의 자율주행 대중교통에 대한 선호도 및 안전의식 및 신기술 수용도 등이 미치는 선호도의 차이를 분석하기 위해 다음에 대해 리커트 척도로 질문함 - 환경문제에 대한 심각성, 나에게 미치는 영향 - 환경문제 해결을 위한 노력 - 사회의 안전관리 수준, 본인의 안전의식 수준 - 신제품 선호도, 신기술 선호도, 신기술 관심도
자율주행 대중교통 인식	○ 현재 승용차에 널리 상용화 된 자율주행기술인 AEB, ACC를 접해본 경험에 대해 묻고 자율주행 기반 대중교통에 대한 설명을 다음과 같이 제공함 자율주행 기술을 탑재한 차량으로 운행되는 육상 대중교통 수단, 즉 다양한 유형의 버스(광역, 간선, 지선, 수요응답형, 간선급행 등)를 의미하며, 카셰어링과 택시는 포함하지 않음. 일반적으로 운전자 탑승이 없고, 외형은 기존 버스와 동일하며, 전기를 주동력으로 사용하므로 배출가스가 없다는 것이 특징임 ○ 자율주행 대중교통에 대한 인지도, 도입 찬반, 이용의사 등에 대해 질문하고, 안전성에 대한 기대, 우려되는 점과 기대되는 점을 주관식으로 질문함

자료: 저자 작성

2) 기초통계 분석

(1) 응답자 특성

설문조사 응답자 통행 목적의 약 40%는 통근/통학 통행이며, 친구/친지만남, 업무 통행 또한 높은 비율을 보이고 있으며, 자율주행기반 대중교통에 대한 찬성 의견은 전체의 약 64%를 차지하여 반대보다 찬성이 높은 것으로 나타났다.

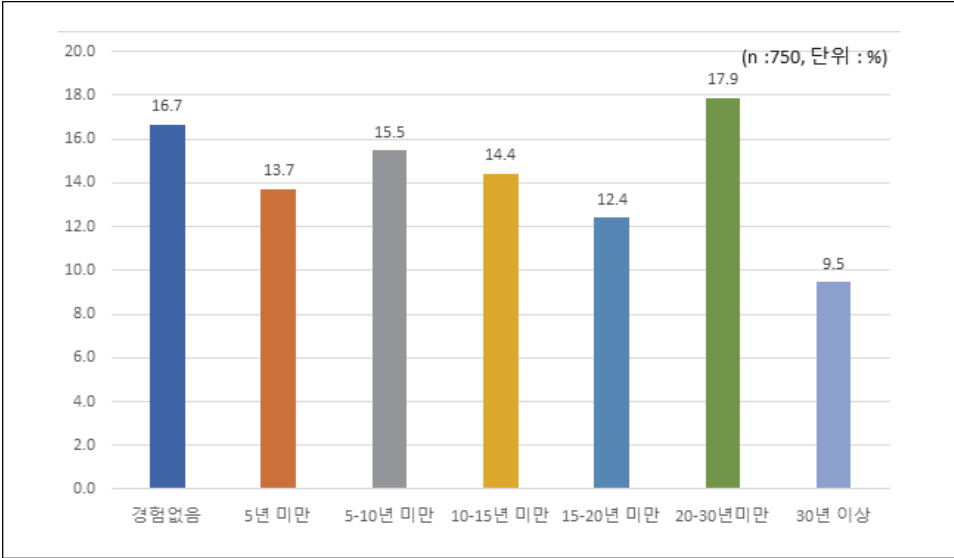
표 3-19 | 응답자 특성

구분		전체		서울 상암동		성남 판교		세종	
		사례 수	비율 (%)	사례 수	비율 (%)	사례 수	비율 (%)	사례 수	비율 (%)
전체		750	100	300	40.0	300	40.0	150	20.0
주생활지	서울상암동	300	40.0	300	100.0	0	0.0	0	0.0
	성남판교	300	40.0	0	0.0	300	100.0	0	0.0
	세종시	150	20.0	0	0.0	0	0.0	150	100.0
성별	남자	375	50.0	150	40.0	150	40.0	75	20.0
	여자	375	50.0	150	40.0	150	40.0	75	20.0
연령	20대	160	21.3	60	37.5	60	37.5	40	25.0
	30대	160	21.3	60	37.5	60	37.5	40	25.0
	40대	150	20.0	60	40.0	60	40.0	30	20.0
	50대	150	20.0	60	40.0	60	40.0	30	20.0
	60대	130	17.3	60	46.2	60	46.2	10	7.7
면허보유 여부	예	636	84.8	248	39.0	259	40.7	129	20.3
	아니오	114	15.2	52	45.6	41	36.0	21	18.4
통행목적	통근/통학	274	36.5	99	36.1	91	33.2	84	30.7
	업무	124	16.5	54	43.5	49	39.5	21	16.9
	여가/관광	82	10.9	34	41.5	37	45.1	11	13.4
	친구/친지만남	181	24.1	83	45.9	80	44.2	18	9.9
	쇼핑	89	11.9	30	33.7	43	48.3	16	18.0
학력	고졸이하	202	26.9	99	49.0	87	43.1	16	7.9
	대졸이상	548	73.1	201	36.7	213	38.9	134	24.5
직업	회사원	371	49.5	153	41.2	160	43.1	58	15.6
	자영업	143	19.1	58	40.6	57	39.9	28	19.6
	학생	71	9.5	11	15.5	10	14.1	50	70.4
	가정주부/무직	165	22.0	78	47.3	73	44.2	14	8.5
소득수준	300만원 미만	41	5.5	15	36.6	4	9.8	22	53.7
	300~500만원 미만	188	25.1	95	50.5	70	37.2	23	12.2
	500~700만원 미만	315	42.0	132	41.9	139	44.1	44	14.0
	700~1,000만원 미만	161	21.5	52	32.3	77	47.8	32	19.9
	1,000만원 이상	25	3.3	6	24.0	10	40.0	9	36.0
	모름/거절	20	2.7	0	0.0	0	0.0	20	100.0
자율주행 대중교통 찬반	반대	273	36.4	106	38.8	112	41.0	55	20.1
	찬성	477	63.6	194	40.7	188	39.4	95	19.9

자료: 저자 작성

각 문항에 대한 기초통계 분석의 세부내용을 살펴보면 다음과 같다. 운전경험이 없는 응답자가 전체의 16.7%를 차지하고, 운전경험이 있는 경우 20~30년 운전경력을 보유한 응답자의 비율이 가장 높은 것으로 나타났다.

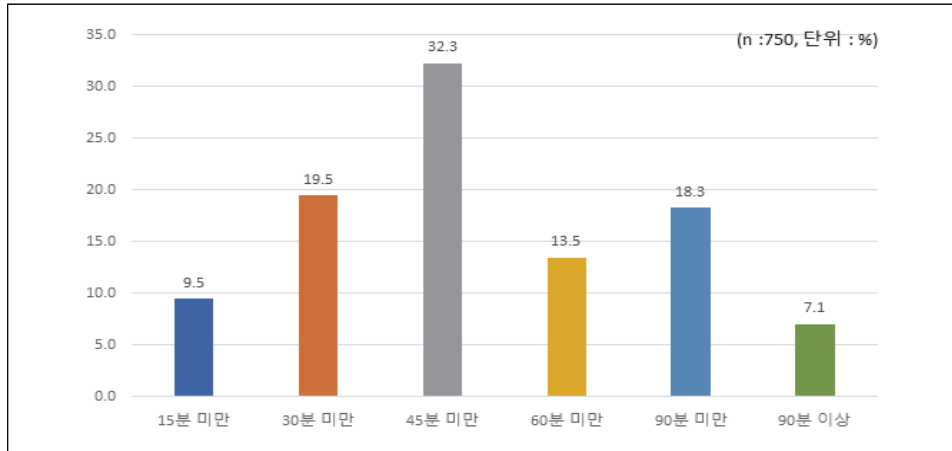
그림 3-14 | 응답자 운전경력



자료: 저자 작성

응답자의 일 통행시간은 45분 미만이 전체의 60%를 넘을 정도로 높은 것으로 나타났다으며, 한 시간 반 이상 통행하는 비율은 전체의 7.1%를 나타내고 있다. 통행거리에 대해서는 정확한 정보 수집이 어려워 본 설문조사에서 제외하기로 하였다.

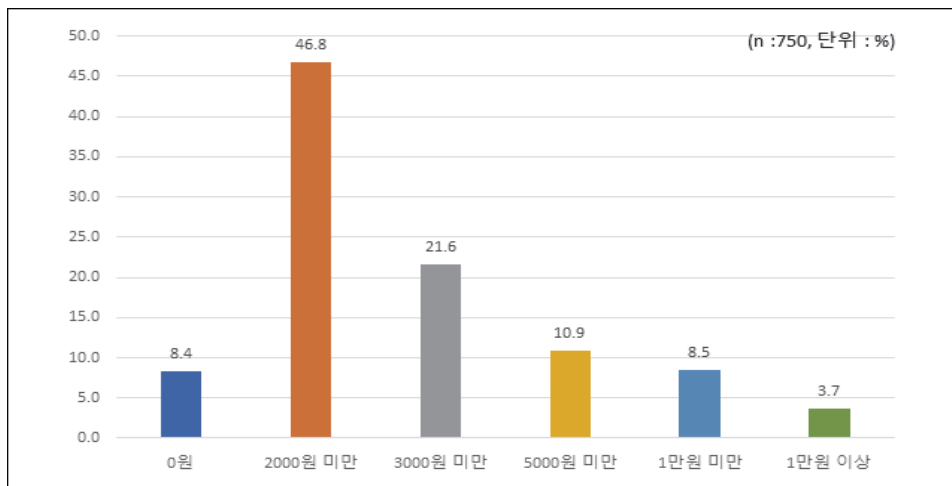
그림 3-15 | 응답자 통행시간



자료: 저자 작성

응답자 통행비용은 2,000원 미만이 전체의 절반이 넘는 비율이며, 이를 통해서 설문조사가 수행된 지역에서 대부분의 응답자는 대중교통을 이용한다고 유추할 수 있다.

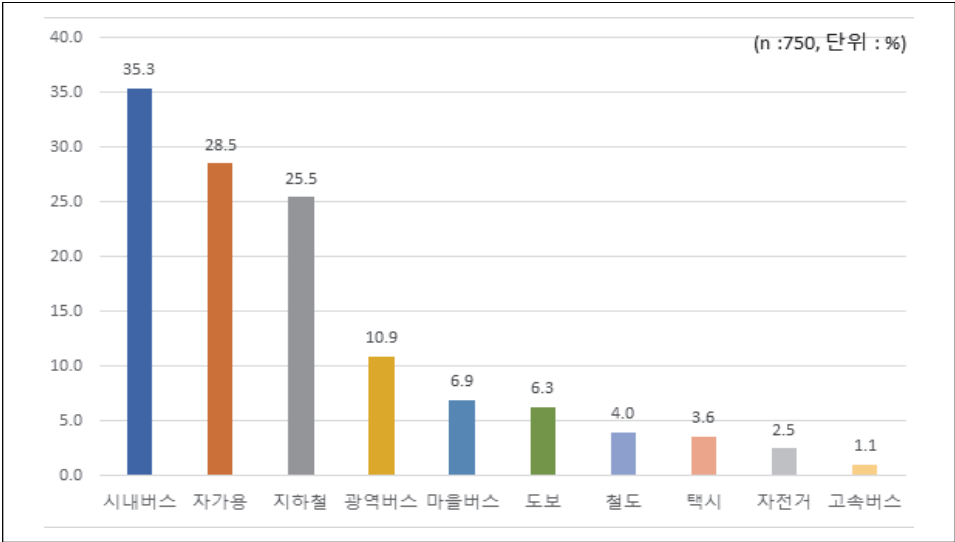
그림 3-16 | 응답자 통행비용



자료: 저자 작성

앞서 응답자의 통행비용에서 유추했듯이, 자가용을 이용한 통행 28.5%를 제외한 통행의 대부분이 단거리 위주의 대중교통임을 나타냈다. 세부적으로는 시내버스, 지하철, 광역버스, 마을버스 순으로 높은 것으로 나타났고, 고속버스를 이용한 통행의 비율이 가장 낮은 것으로 나타났다.

그림 3-17 | 응답자 통행수단



자료: 저자 작성

(2) 기존 대중교통에 대한 만족도 및 사고경험 조사

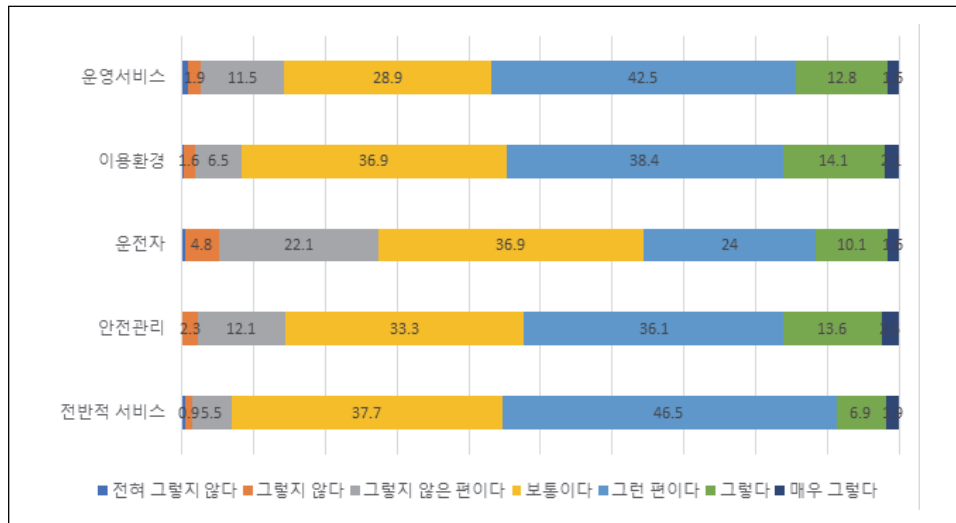
기존 대중교통 이용 경험에 대한 만족도를 조사한 결과, 전체적으로 보통 이상의 만족을 나타내고 있다. 운전자와 안전관리 측면에 대한 만족도가 가장 낮은 것으로 나타났다.

표 3-20 | 응답자 대중교통 만족도(n:750, 단위: %)

구분	전혀 그렇지 않다	그렇지 않다	그렇지 않은 편이다	보통이다	그런 편이다	그렇다	매우 그렇다
운영서비스	0.8	1.9	11.5	28.9	42.5	12.8	1.6
이용환경	0.3	1.6	6.5	36.9	38.4	14.1	2.1
운전자	0.4	4.8	22.1	36.9	24.0	10.1	1.6
안전관리	-	2.3	12.1	33.3	36.1	13.6	2.5
전반적 서비스	0.5	0.9	5.5	37.7	46.5	6.9	1.9

자료: 저자 작성

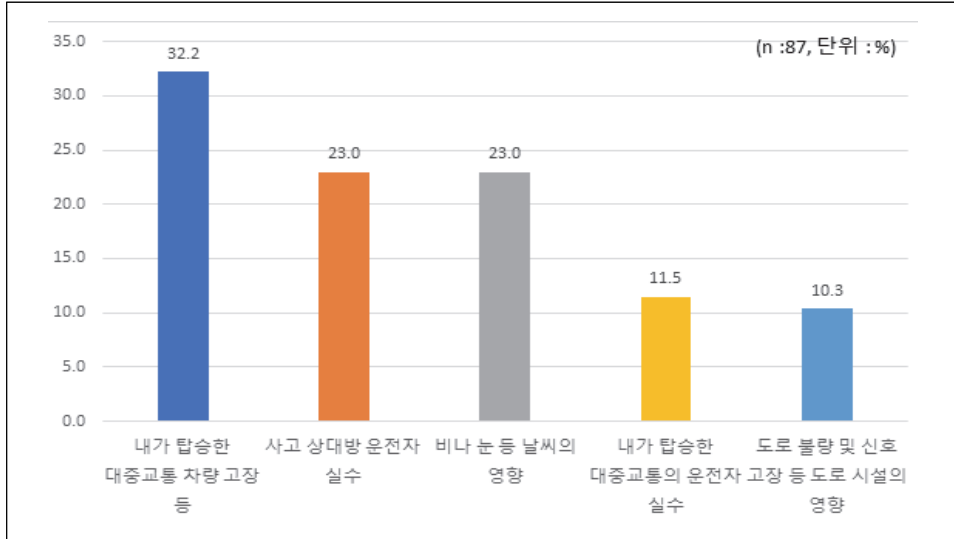
그림 3-18 | 응답자 대중교통 만족도



자료: 저자 작성

대중교통을 이용하다 교통사고를 경험한 응답자의 비율은 전체의 11.6%이며, 세부 내용으로는 상대 차량의 실수 23% 및 날씨 등의 통제 불가능한 원인을 제외한, 43%의 사고가 차량 고장 및 운전자의 실수와 연관되어 있는 것으로 나타났다. 조사항목 중 자율주행기술의 도입으로 인해 개선 가능한 항목은 ‘내가 탑승한 대중교통의 운전자 실수’로 그 비율은 약 11%를 차지하는 것으로 분석되었다.

그림 3-19 | 응답자 교통사고 원인



자료: 저자 작성

(3) 환경, 안전 및 신기술에 대한 의식수준 조사

응답자의 연령은 고른 분포를 나타낸 가운데, 자율주행이라는 신기술에 대한 수용도를 알아보기 위해, 자율주행 대중교통의 핵심인 친환경과 신기술에 대한 의식에 대한 조사를 수행하였다.

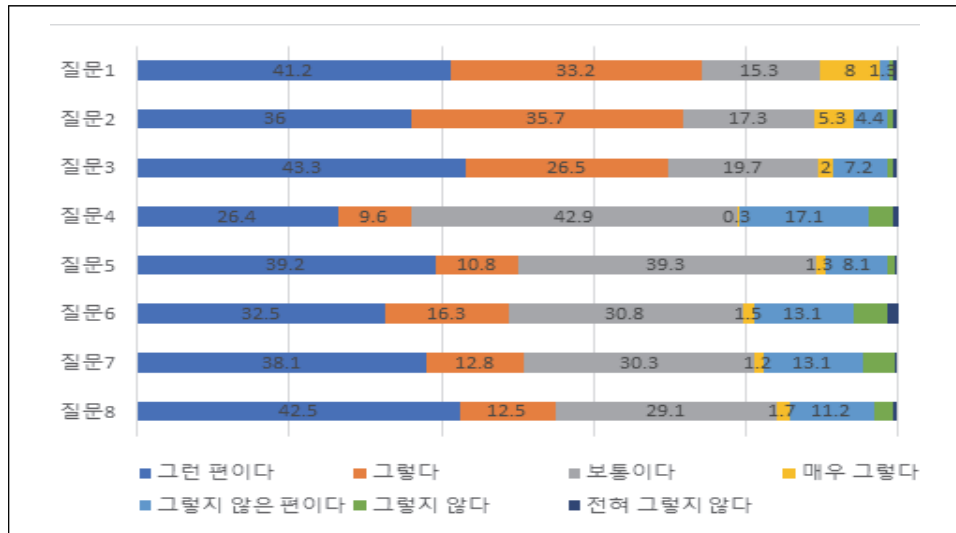
환경에 대한 관심이 높고 개인이 환경을 위해 노력을 한다고 생각하는 비율이 높은 것으로 나타났으며, 안전에 대한 의식수준은 높으나, 현재 안전을 위한 준비가 잘 되어 있다고 생각하는 응답자의 비율은 상대적으로 낮게 나타났다. 응답자의 대다수가 첨단 기술에 대한 신뢰도가 높고, 최신 자동차나 신기술에 대한 관심도가 높은 것으로 나타났다.

표 3-21 | 응답자 시민의식 (n:750, 단위: %)

구분		그런 편이다	그렇다	보통이다	매우 그렇다	그렇지 않은 편이다	그렇지 않다	전혀 그렇지 않다
질문 1	환경문제가 심각하다고 생각한다	41.2	33.2	15.3	8.0	1.3	0.5	0.4
질문 2	환경문제가 나에게도 영향 끼친다	36.0	35.7	17.3	5.3	4.4	0.8	0.4
질문 3	환경문제 해결을 위해 개인적으로 노력한다	43.3	26.5	19.7	2.0	7.2	0.7	0.5
질문 4	우리 사회는 재난이나 사고대비를 위한 안전관리가 잘 되고 있다고 생각한다	26.4	9.6	42.9	0.3	17.1	3.1	0.7
질문 5	안전의식 수준이 높다고 생각한다	39.2	10.8	39.3	1.3	8.1	1.1	0.1
질문 6	새로운 제품이 나오면 남보다 먼저 신제품을 사용한다	32.5	16.3	30.8	1.5	13.1	4.4	1.5
질문 7	새로운 첨단기술에 대해 신뢰한다	38.1	12.8	30.3	1.2	13.1	4.1	0.4
질문 8	최신 자동차나 자동차 신기술에 관심이 있다	42.5	12.5	29.1	1.7	11.2	2.4	0.5

자료: 저자 작성

그림 3-20 | 시민의식 조사결과

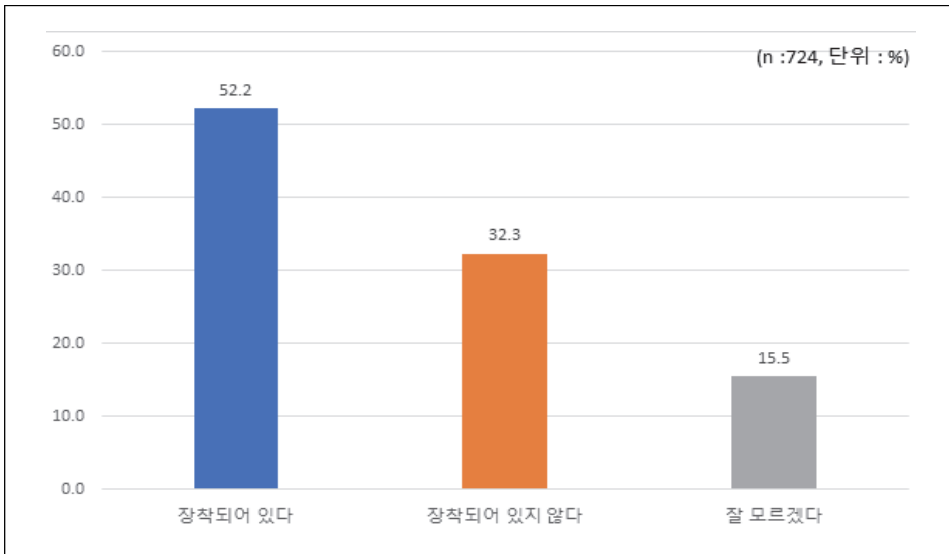


자료: 저자 작성

(4) 보유차량의 자율주행 기술 장착여부 및 만족/활용도 조사

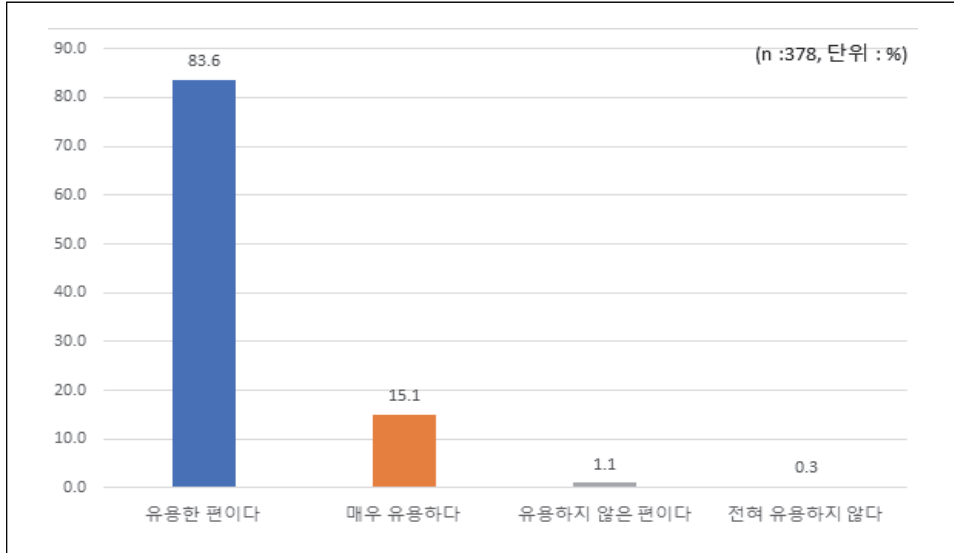
응답자의 약 97%가 자가용을 소유하고 있으며, 차량을 1대 보유한 응답자의 비율이 자가용 소유자 중 87%로 높게 나타났다. 기존의 자율주행기술 사용 경험이 향후 자율주행기반 대중교통 이용의사에 어떤 영향을 주는지를 알아보기 위해, 자율주행의 기초 단계이며, 현재 상용화된 기술인 AEB(긴급제동장치)와 ACC(어댑티브 크루즈컨트롤)에 대한 사용경험과 도움여부에 대한 질문을 수행한 결과, 차량보유자 중 절반이 넘는 응답자가 AEB 기능이 장착된 차량을 소유 및 운행하고 있으며, 기술에 대한 만족도가 매우 높은 것으로 나타났으며, ACC 또한 절반이 넘는 응답자가 장착된 차량을 소유하고 있으며, 이용 빈도도 높은 것으로 나타났다.

그림 3-21 | 응답자의 보유하고 있는 자가용 AEB(긴급제동장치) 장착여부



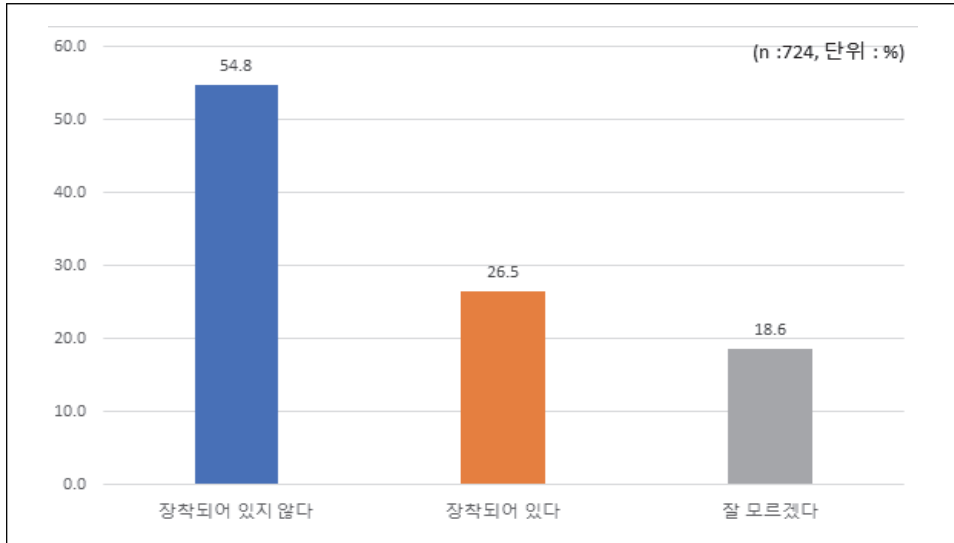
자료: 저자 작성

그림 3-22 | 응답자의 보유하고 있는 자가용에 장착된 AEB(긴급제동장치)의 안전운전 유용성



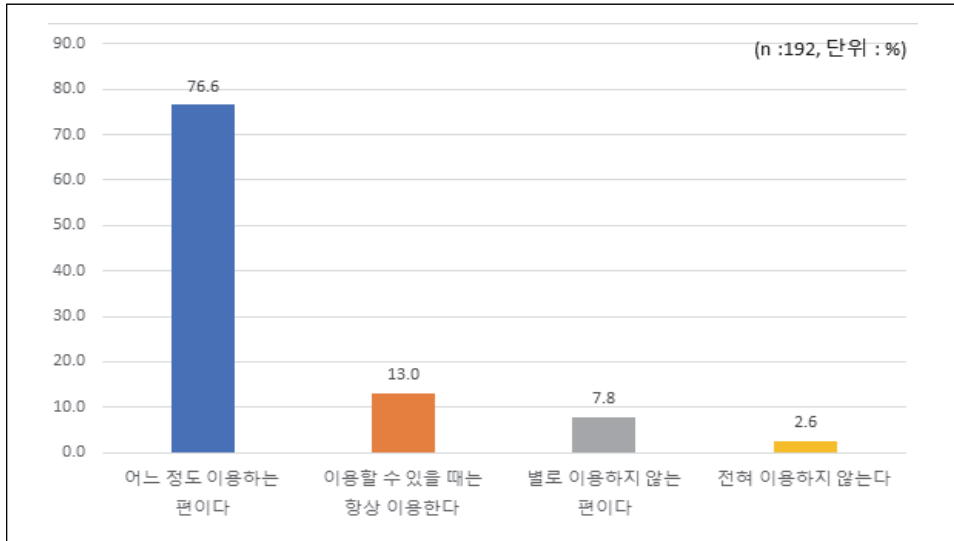
자료: 저자 작성

그림 3-23 | 응답자의 보유하고 있는 자가용의 ACC(어댑티브 크루즈 컨트롤) 장착여부



자료: 저자 작성

그림 3-24 | 응답자의 보유하고 있는 자가용에 장착된 ACC(어댑티브 크루즈 컨트롤) 이용여부

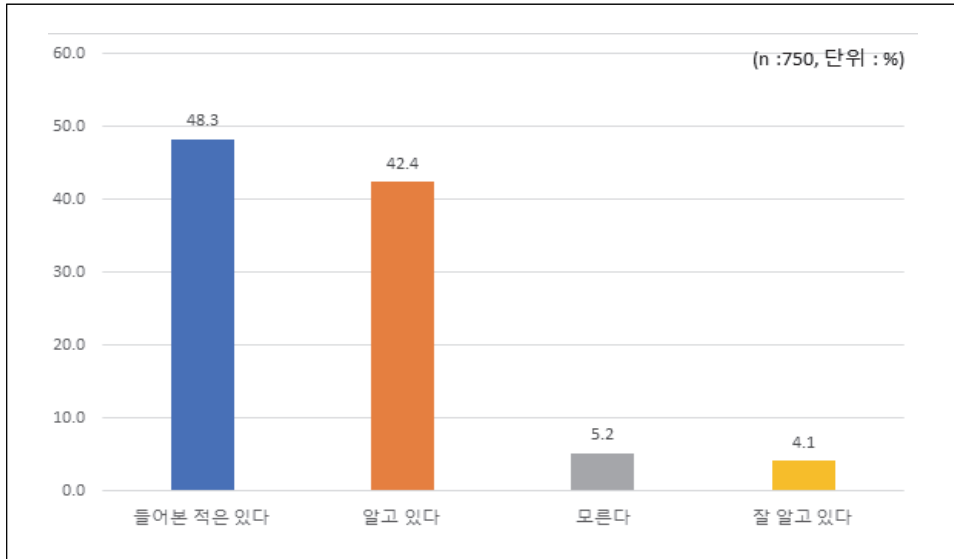


자료: 저자 작성

(5) 자율주행기반 대중교통에 대한 인지도 및 기대사항 조사

전체의 90%에 달하는 응답자가 자율주행 대중교통에 대해 인지하고 있는 것으로 나타났다. 이렇게 높은 결과가 나타난 원인은 설문조사가 수행된 지역의 특성 때문이라고 할 수 있다. 즉, 이미 판교 제로셔틀을 보고 이용해봤거나, 서울시 상암, 세종시 자율주행에 대한 언론홍보를 접했기 때문일 것으로 추측된다.

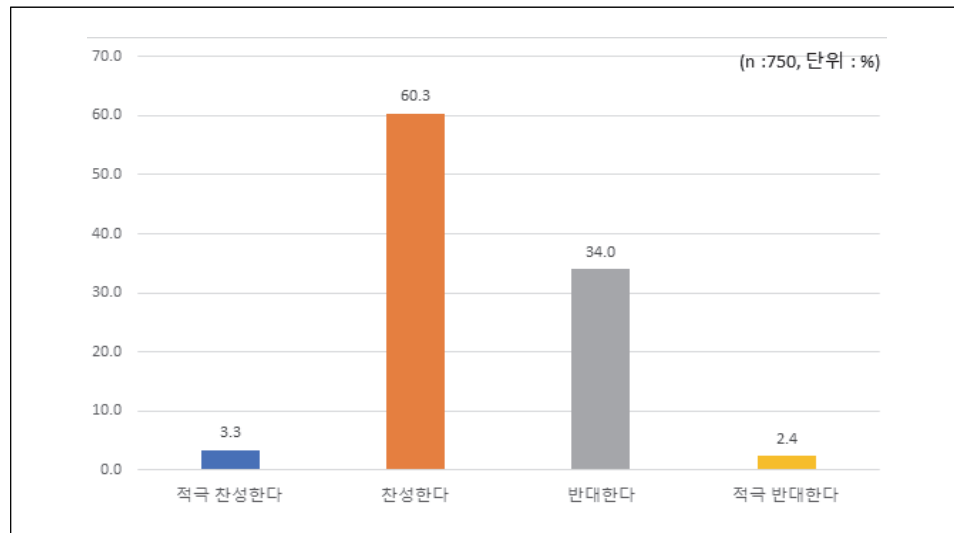
그림 3-25 | 응답자 자율주행 대중교통(버스) 인지도



자료: 저자 작성

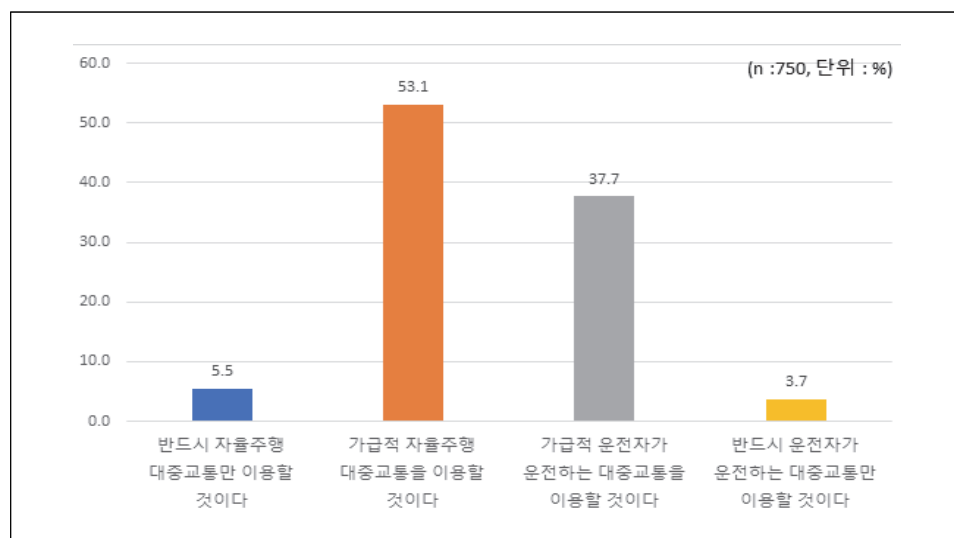
전체의 60%가 넘는 응답자가 자율주행기반 대중교통의 도입을 찬성하는 것으로 나타났다으며, 찬성 비율과 비슷한 응답자의 비율이 대중교통에 대한 이용의사를 나타낸 반면 3.7% 응답자는 기존의 운전자가 운전하는 대중교통만을 이용하고 싶다는 의향을 나타냈다.

그림 3-26 | 응답자 자율주행기반 대중교통(버스) 도입 찬반의사



자료: 저자 작성

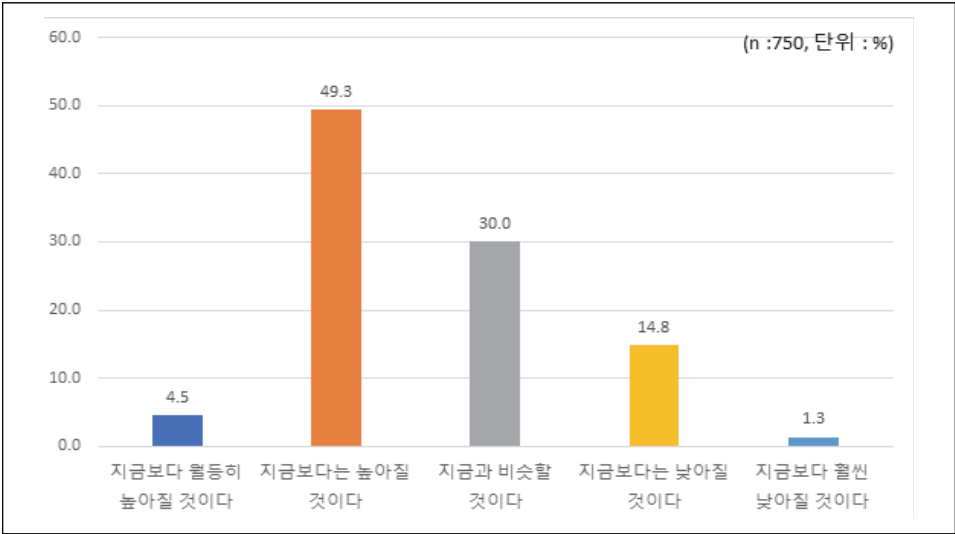
그림 3-27 | 응답자 자율주행기반 대중교통(버스)이용의사



자료: 저자 작성

자율주행기반 대중교통의 안전성에 대해서는 절반 이상의 응답자가 기존의 운전자 기반의 대중교통(버스)에 비해서는 높은 안전성을 기대하는 것으로 나타났다.

그림 3-28 | 응답자 자율주행기반 대중교통(버스)의 안전성



자료: 저자 작성

자율주행기반 대중교통 도입 시, 안전 및 보안에 대한 우려가 전반적으로 높은 것으로 나타났고, 일자리 감소에 대한 우려 또한 높은 것으로 나타났다. 우려되는 점에 대한 세부 내용은 다음 표와 같고, 이를 그룹화 한 결과는 다음 파이차트와 같이 나타낼 수 있다.

표 3-22 | 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 우려되는 점 (n:750, 단위: %)

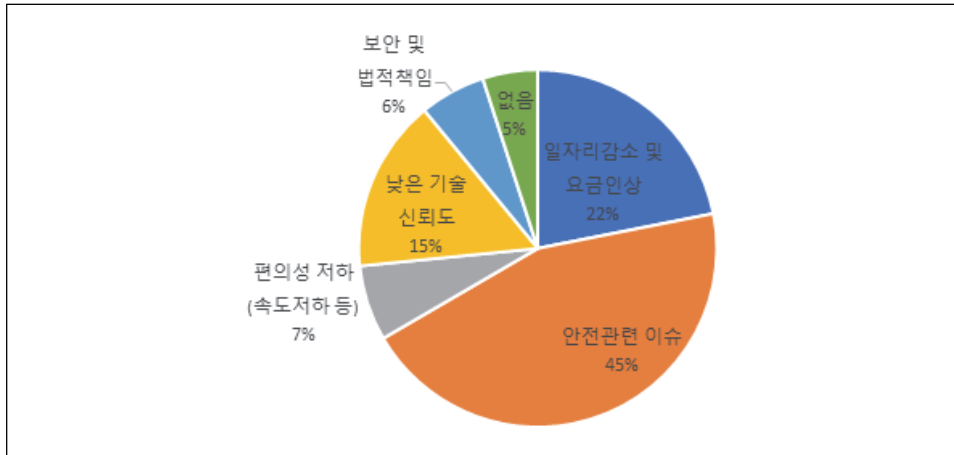
구분	비율
관련업종 종사자들 일자리 감소	14.7
기계/시스템 오작동(고장)으로 인한 사고발생	13.6
돌발상황/비상사태에 대한 대처능력 부족	10.0

구분	비율
안전성에 대한 우려	8.7
기계/시스템 오작동(고장)시 대처능력 미흡	7.2
없다	5.1
교통비 인상	4.7
사고시 법적 책임여부 논란	4.0
주행속도가 느림	3.7
프로그램 해킹 문제	3.2
기상 변화에 대한 대처능력 미흡	3.1
장애물 인식능력 부족	2.5
사고에 대한 불안감 증가	1.9
긴급 제동능력이 떨어짐	1.6
대형사고의 위험성 상승	1.6
혼잡한 도로상황에서 실용성이 떨어짐	1.5
대중화전 까지의 많은 오류 발생	1.3
기술력의 미검증	1.2
범죄에 악용될 우려	0.9
프로그램에 막대한 예산 투입	0.9
우리나라 환경에 운행이 적합한지의 여부	0.8
관련업종 종사자들 임금 인하	0.8
사람만큼의 결정력이 떨어짐	0.8
버스노선이 다양하지 않다	0.8
자율주행차가 다른 일반차들과의 혼잡 우려	0.8
장시간 운행시 방전우려	0.7
통신장애로 인한 사고발생	0.7
개발에 대한 외국자본 유입 우려	0.5
고장, 사고시 통제력 부족	0.5
교통사고율 증가	0.5
개인정보 유출 우려	0.4
곡선주행시 안정성이 낮다	0.4
배차간격이 길어짐	0.3
서비스 부족	0.3
속도조절 문제	0.3
주기적 프로그램 업그레이드로 인한 불편	0.3
승하차시 사고 우려	0.3
차선변경이 원활하지 않다	0.3
안정화까지의 많은 시간이 소요됨	0.3

구분	비율
자율주행 관련한 법규 부족	0.3
무임승차	0.3
정차시간이 길다	0.1
기반시설 미비	0.1
프로그램 개발자 선정에 대한 공정성 우려	0.1
차량내의 사고관리	0.1
고장시 부품가격이 비싸다	0.1
충전시간이 오래 걸림	0.1

자료: 저자 작성

그림 3-29 | 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 우려되는 점 분류



자료: 저자 작성

우려되는 점도 많지만, 기대되는 점도 많은 것으로 나타났는데 이 중 가장 높은 비율은 안전성 향상으로 인한 효과를 기대했으며, 전기차량 기반의 자율주행 대중교통 도입을 통해 환경오염 문제 개선에 대한 효과 또한 기대하고 있는 것으로 나타났다.

세부내용과 그룹화 한 결과는 다음 표와 파이차트와 같다.

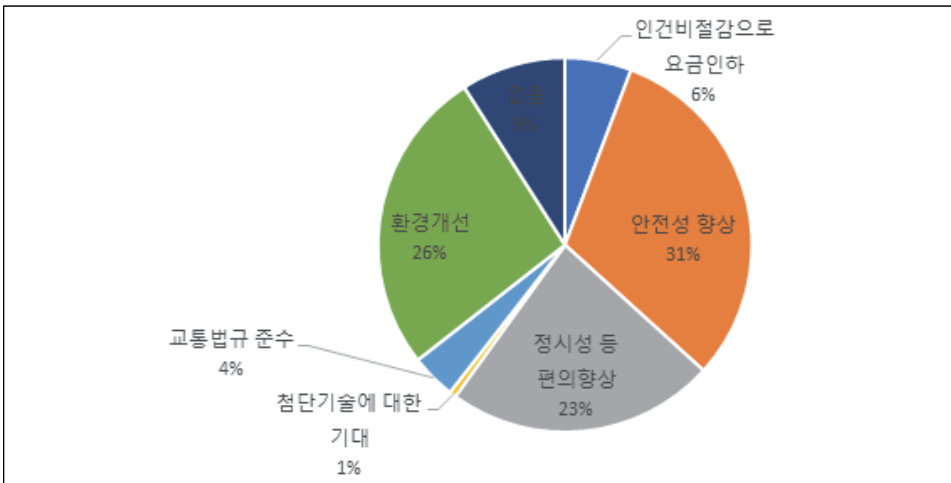
표 3-23 | 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 기대되는 점 (n:750, 단위: %)

구분	비율
환경문제 개선	9.3
편안한 승차감기대	7.6
교통사고 감소	6.1
도로정체/교통체증 해소	5.9
안전성 향상	5.2
난폭운전 감소	5.1
탄소배출 감소	4.1
교통법규 준수	3.9
정시운행 기대	3.7
소음이 적다	3.7
교통비 인하	3.5
과속운전 감소	2.8
친환경적이다	2.5
급출발, 급정차 감소	2.5
운전자 부주의로 인한 사고율 감소	2.5
졸음운전으로 인한 사고 감소	2.4
차량간 안전거리 유지	1.9
에너지 절감 효과 기대	1.9
공기질 개선	1.9
차량 내부의 쾌적성 강화	1.7
대기오염 감소	1.3
교통정체에 대한 신속한 정보 기대	1.1
파업으로 인한 불편 감소	1.1
출퇴근시간 단축	0.9
신호위반 문제 해결	0.9
차량 유지비 인하	0.8
위험감지가 빨라 안전성이 높다	0.8
미세먼지 감소	0.8
생활의 편리성 강화	0.8
충돌방지 효과	0.7
운전자들이 조작하지 않아도 되는 편리함	0.5
운전자의 피로가 적다	0.5
주차난 해소	0.5
첨단시스템 장착으로 인터넷 이용이 편리	0.5

구분	비율
신규 일자리가 많이 창출	0.5
잔고장이 적다	0.4
호기심	0.4
시설의 첨단화	0.4
대중교통 이용률 향상	0.3
기사의 친절도 향상	0.3
교통체계 개선	0.3
승용차가 줄어든 것 같다	0.3
사고로 인한 교통분쟁 감소	0.3
보행자를 위한 넓은 횡단보도 확보	0.1
경제 활성화	0.1
불필요한 인건비 절감	0.1
방향에 맞춰 정확한 주정차가 가능함	0.1
도시의 발전	0.1
대중교통 외 타 분야의 자동화	0.1
야간 가시성 향상	0.1
운전기사 폭행사고가 없어짐	0.1
없다	9.3

자료: 저자 작성

그림 3-30 | 자율주행기반 대중교통(버스)도입 시 기대되는 점 분류



자료: 저자 작성

3) 자율주행 대중교통에 대한 선호도 분석

(1) 상관분석

변수 간 상관관계를 분석하여 로짓분석의 입력변수로 활용하기 위한 목적과 변수 간 상관관계로 인한 다중공선성 여부에 대한 확인을 위해 상관분석을 수행하였다. 학력, 소득, 대중교통 만족도, 환경에 대한 본인의 노력, 우리사회 안전관리 수준에 대한 인식, 본인 안전의식 수준, 신제품 수용도, 첨단기술 신뢰성 및 관심도, 자율주행 대중교통에 대한 인지도, AEB, ACC 장착한 차량 소유자는 양의 상관관계로 유의수준 5%에서 통계적으로 유의하였으며, 연령, 통행비용, 운전경력은 음의 상관관계를 나타냈다.

표 3-24 | 상관분석 결과

구분	변수	변수 설명	자율주행 대중교통 찬반
	자율주행 대중교통 찬반	(1. 찬성/0. 반대)	1.000
인구통계 변수	남성	(1. 남성/0. 여성)	0.019
	연령*	연속변수	-0.241
	대졸*	(1. 대졸/0. 대졸이외)	0.203
	직업	(1. 직업 有/0. 직업 無)	0.042
	소득*	연속변수	0.121
통행특성 변수	통근/통학	(1. 통근/통학 통행/0. 그외 통행)	-0.002
	업무	(1. 업무 통행/0. 그외 통행)	0.068
	소요시간	연속변수	0.041
	소요비용*	연속변수	-0.073
	자가용이용	(1. 자가용 이용/0. 그외 수단 이용)	-0.040
	대중교통 사고경험	(1. 있음/0. 없음)	0.023
대중교통 만족	대중교통 운영서비스 만족*	척도	0.134
	대중교통 이용환경 만족	척도	0.037
	대중교통 운전자 만족*	척도	0.101
	대중교통 안전관리 만족*	척도	0.111
시민 의식	최근 발생 환경문제 심각성 인식	척도	0.025
	최근 발생 환경문제의 나에게 영향력	척도	0.048

구분	변수	변수 설명	자율주행 대중교통 찬반
	환경문제 해결을 위한 개인적 노력*	척도	0.093
	우리 사회의 안전관리 수준*	척도	0.131
	나의 안전의식 수준*	척도	0.109
	신제품 수용도*	척도	0.218
	첨단 기술 신뢰성*	척도	0.451
	최신 자동차/신기술 관심*	척도	0.413
	자율주행 대중교통 인지도*	척도	0.164
자동차 관련	면허보유	(1. 있음/0. 없음)	0.027
	자동차 운전 경력*	연속변수	-0.155
	보유차량수	연속변수	0.036
	AEB 장착*	(1. 있음/0. 없음)	0.197
	ACC 장착*	(1. 있음/0. 없음)	0.215

자료: 저자 작성

(2) 이항 로짓분석

자율주행 대중교통에 대한 선호/비선호 두 개의 선택에 대해 로짓분석을 수행하였다. 모형의 설명력은 Nagelkerke R-제곱 기준 0.392로 39.2%이고, Hosmer와 Lemeshow 적합도 검정 결과는 유의확률이 0.707의 적합성을 나타냈다. 예측 정확도는 분류정확도 77.2%로 통계적으로 양호한 수치를 나타냈으며, 상관분석에서 다중공선성을 나타내는 변수 관계는 없었고, VIF (Variation Inflation Factor, 분산 팽창 계수)가 10보다 낮은 평균 1.654를 통해 다중공선성 문제를 재확인하였다.

표 3-25 | 이항 로짓분석 검정결과

모형 요약				
단계	-2 Log 우도		Cox와 Snell의 R-제곱	Nagelkerke R-제곱
1	730.766		0.286	0.392

Hosmer와 Lemeshow 검정			
단계	카이제곱	자유도	유의확률
1	5.466	8	0.707

분류표(a)					
관측			예측값		분류정확 %
			자율주행 대중교통 찬반		
			반대	찬성	
1단계	자율주행 대중교통 찬반	반대	164	109	60.1
		찬성	62	415	87.0
	전체 %				77.2

자료: 저자 작성

여러 변수조합 분석결과 중, 가장 적합도가 높은 모형의 결과에 대해 설명하면, 통행비용이 낮은, 통행시간은 긴 응답자가 그렇지 않은 응답자에 비해, 우리 사회의 안전 관리 수준이 높다고 생각할수록, 첨단 기술에 대한 신뢰도와 관심이 높을수록 자율주행기반 대중교통에 대한 선호도가 높은 것으로 나타났다.

또한, ACC 탑재한 차량을 보유한 응답자가 그렇지 않은 응답자에 비해 자율주행기반 대중교통에 대한 이용의사가 높은 것으로 나타난 반면 긴 운전경력을 보유한 응답자일수록 짧은 운전경력을 보유한 응답자에 비해 자율주행기반 대중교통에 대한 선호도가 높았다.

그 외, 연령, 학력, 소득, 기존 대중교통에 대한 만족도 및 인지도 등은 자율주행기반 대중교통에 대한 선호도에 아무런 영향을 미치지 않는 것으로 분석되었다.

표 3-26 | 이항 로짓분석 결과

구분		B	S.E.	Wald	자유도	유의 확률	Exp (B)	r04		VIF
								0	0	
1 단계 (a)	남성	-0.035	0.224	0.024	1	0.876	0.966	0.086	-0.351	1.424
	연령	-0.008	0.012	0.415	1	0.520	0.992	0.282	-0.699	3.026
	대졸	0.030	0.254	0.014	1	0.906	1.030	-0.153	0.006	1.671
	직업	-0.337	0.259	1.694	1	0.193	0.714	-0.097	-0.153	1.65
	소득	0.164	0.095	3.010	1	0.083	1.179	0.028	-0.036	1.346
	면허보유	0.308	0.345	0.796	1	0.372	1.360	1.000	-0.532	1.782
	자동차 운전 경력	-0.031	0.017	3.316	1	0.069	0.970	-0.532	1.000	3.614
	통근/통학	0.069	0.230	0.089	1	0.766	1.071	-0.018	-0.047	1.442
	업무	0.350	0.297	1.387	1	0.239	1.418	0.023	-0.079	1.358
	소요시간	0.009	0.004	6.134	1	0.013	1.009	-0.050	0.063	1.557
	소요비용 (천원)	-0.000103	0.000	9.150	1	0.002	1.000	0.027	-0.064	1.647
	자가용 이용	0.231	0.221	1.095	1	0.295	1.260	-0.054	-0.104	1.200
	사고경험	0.038	0.300	0.016	1	0.899	1.039	0.040	-0.015	1.069
	대중교통운영 서비스 만족	0.177	0.106	2.754	1	0.097	1.193	0.001	-0.092	1.375
	대중교통이용 환경 만족	-0.252	0.120	4.403	1	0.036	0.777	-0.014	-0.014	1.505
	대중교통 운전자 만족	0.190	0.101	3.533	1	0.060	1.209	0.041	-0.064	1.459
	대중교통 안전관리만족	-0.033	0.116	0.084	1	0.773	0.967	-0.040	0.088	1.657
	최근 발생 환경문제 심각성 인식	-0.019	0.124	0.022	1	0.881	0.982	0.100	-0.030	1.649
최근 발생 환경문제 나에게 영향력	0.108	0.117	0.843	1	0.359	1.114	-0.027	-0.046	1.675	
환경문제 해결을 위한 개인적 노력	-0.009	0.103	0.007	1	0.933	0.991	-0.033	-0.027	1.181	
우리사회의 안전관리수준	0.246	0.103	5.677	1	0.017	1.279	0.063	0.024	1.275	

구분	B	S.E.	Wald	자유도	유의 확률	Exp (B)	r04		VIF
							0	0	
나의 안전 의식 수준	-0.122	0.117	1.089	1	0.297	0.885	-0.028	0.000	1.256
신제품 수용도	-0.201	0.104	3.721	1	0.054	0.818	-0.020	0.041	1.690
첨단 기술 신뢰성	0.728	0.131	31.072	1	0.000	2.070	0.026	-0.043	2.194
최신 자동차/ 신기술 관심	0.596	0.141	17.995	1	0.000	1.815	0.052	-0.071	2.293
자율주행 대중교통 인지도	-0.008	0.168	0.002	1	0.961	0.992	0.001	-0.084	1.368
보유 차량수	-0.026	0.234	0.012	1	0.913	0.975	-0.033	-0.062	1.149
AEB 장착	0.130	0.248	0.275	1	0.600	1.139	-0.051	0.007	1.919
ACC 장착	0.834	0.275	9.235	1	0.002	2.303	-0.023	-0.005	1.532
상수	-5.917	1.340	19.491	1	0.000	0.003			

자료: 저자 작성

4) 소결

(1) 설문조사 개요 및 기초통계 분석 결과

서울특별시 마포구 상암동, 경기도 성남시 분당구 판교신도시, 세종특별자치시 전역을 대상으로 2019년 5월 20일~6월 7일까지 대면조사를 통해 총 750부의 유효설문을 수집하였다.

90%에 달하는 응답자가 이미 자율주행 대중교통을 알고 있었으며, 자율주행기반 대중교통에 대한 찬성 의견은 전체의 약 64%를 차지하여 반대보다 찬성이 높은 것으로 나타났다. 기존 대중교통에 가장 낮은 만족도를 보인 부문은 운전자와 안전관리 측면으로 나타났으며, 이로 인해 자율주행기반 대중교통의 높은 안전성을 기대하는 비율이 가장 높은 것으로 나타났다. 자율주행기반 대중교통에 대해 우려하는 점은 기기적 결함을 포함한 안전에 대한 내용과 일자리 감소가 가장 높은 비율로 나타났다.

(2) 이항로짓 분석 결과

대중교통을 짧은 시간보다는 긴 시간 이용하는 응답자가 자율주행 대중교통에 대한 이용의사가 높은 것으로 미루어 볼 때, 차내 시간이 길수록 안전이 담보된 자율주행 차량 이용으로 통행의 안전성을 확보하려는 것으로 해석할 수 있다.

AEB에 비해 ACC 장착된 차량 소유자가 자율주행기반 대중교통에 대한 이용의사가 높은 것으로 나타난 이유는 AEB는 긴급상황에만 작동하는 시스템으로 많은 운전자가 실제 경험해보지 못한 잠재 기술이지만, ACC는 주행 중 쉽게 사용할 수 있는 기술이기 때문인 것으로 추측된다.

운전경력이 긴 응답자는 교통수단은 기계보다는 인간의 통제하에 조작되는 것이 더 안전하다는 인식이 있을 수 있으며, 첨단기술에 대한 신뢰도가 높고 관심이 많은 얼리어답터는 신 교통수단에 대한 기대감이 높은 것으로 나타났다.

마지막으로, 현재 사회의 안전관리 수준에 대해 높다고 생각하는 응답자가 신기술에 대한 정부의 안전관리의 신뢰성이 높으므로 접해보지 못한 자율주행기반 대중교통시스템에 대해 이용할 의사가 높은 것으로 나타났다.



4

CHAPTER

서비스 도입시기 예측과 효율적 구축방안 제시

- 1. 자율주행 기술개발 동향 분석 | 95
- 2. 자율주행 비기술 동향 분석 | 130
- 3. 서비스 도입순서 및 시기 예측 | 133
- 4. 첨단인프라 구축방안 | 137
- 5. 법·제도 개선방안 | 140

서비스 도입시기 예측과 효율적 구축방안 제시

본 장에서는 자율주행기반 대중교통 도입을 위한 국내 기술개발 동향을 살펴보고, 기술개발 완료 시기에 따른 자율주행 대중교통 서비스의 도입 순서와 시기를 예측하였다. 한국자동차연구원과 협동연구로 진행하였으며, 자율주행 관련 기술 개발 전반적인 내용을 서술하고 대중교통 서비스 도입에 필요한 세부기술에 대해 도출하였으며 이를 토대로 2022년 자율주행 BRT를 시작으로 2025년 자율주행 셔틀/지선, 2025년 이후 자율주행 수요응답형 서비스가 도입될 것으로 예측하였다. 마지막으로 자율주행 대중교통 서비스의 효율적 도입을 위한 첨단인프라 구축방안 및 법·제도 개선방안을 제시하였다.

1. 자율주행 기술개발 동향 분석

다음 표와 같이 자율주행 관련 기술을 5개 세분화하여 기술개발 동향을 분석하였다.

표 4-1 | 자율주행 관련 기술 대분류

분류	세부 내용
자율주행 환경 인식 기술	주변 환경 인식을 위한 센서 기술
자율주행 안전 기술	사고를 방지하고 예방하기 위한 안전운전 지원 기술
자율주행 통신 기술	센서 한계 극복과 교통정보 수집 및 제공을 위한 통신 기술
자율주행시스템 기술	종방향 속도제어/횡방향 제어 기술
자율주행 관련 기타 기술	고정밀 지도 및 자율주행 대중교통을 위한 정류장 도킹, 탑승자 모니터링 시스템 등

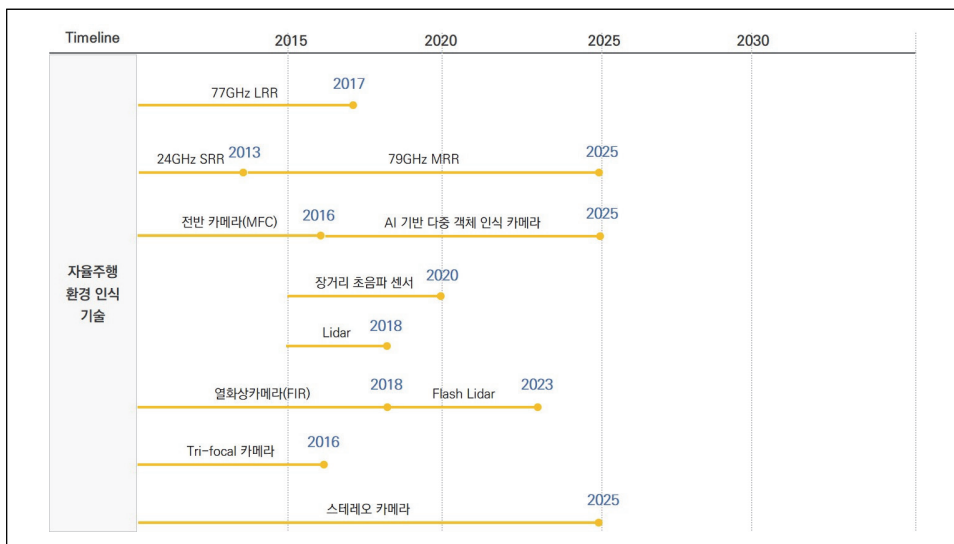
자료: 저자 작성

1) 자율주행 환경 인식 기술

자율주행 기술 구현을 위해서는 주변의 차량, 차선, 보행자, 신호등, 교통표지판 등을 인식하는 센서가 필수적으로 요구되며 이러한 인식 기능 구현을 위해 레이더, 카메라, 초음파, 라이다를 적절히 조합하여 주변 장애물 인식 성능을 높이고 잘못된 검출 가능성을 낮출 수 있다.

각 세부기술의 도입시기는 다음과 같이 정리할 수 있으며, 기술의 세부내용은 다음과 같다.

그림 4-1 | 자율주행 환경 인식 기술 로드맵



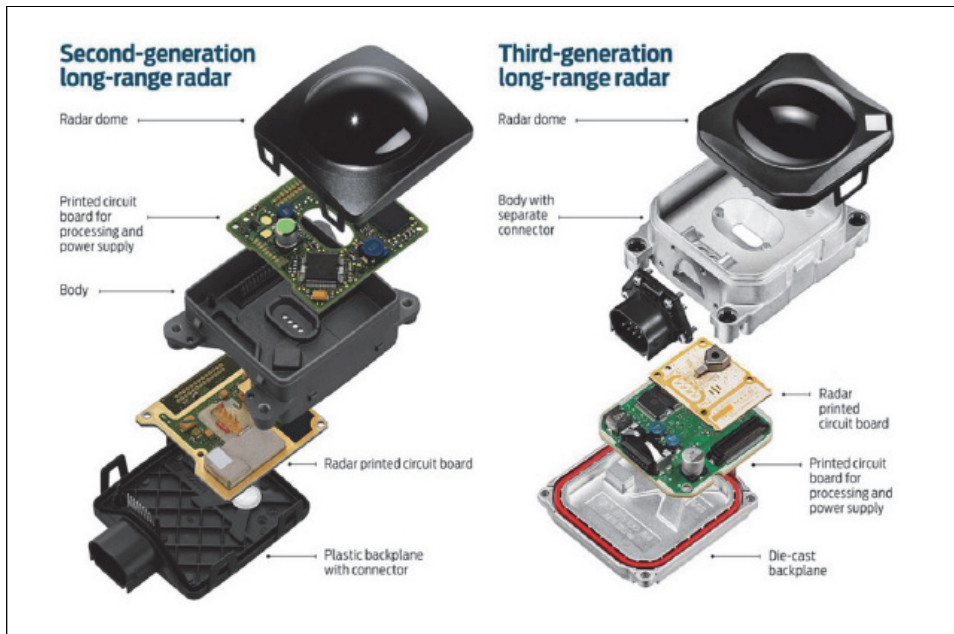
자료: 저자 작성

(1) 77GHz LRR(Long Range Radar)

LRR은 차량 전방의 장거리 장애물을 인식하기 위한 센서로 mm파를 이용하여 전방 장애물과의 거리(2~200m), 상대속도, 상대적인 크기를 측정한다. 전방 차량을 일정

간격으로 추종하는 ACC(Adaptive Cruise Control) 기능 구현을 위해 2010년 국내에 처음 장착이 시도 되었으며, 2017년 국산화에 성공하였다. 주요한 검지 대상은 차량과 이륜차로 개발이 되었으나, 최근 보행자 AEB(Autonomous Emergency Braking)의 도입으로 검지 대상이 보행자, 자전거까지 확대되었다.

그림 4-2 | Bosch Radar Sensor (77GHz)



자료: IEEE Spectrum magazine 2011을 인용한 전자통신동향분석 (p.108, 2012) 재인용

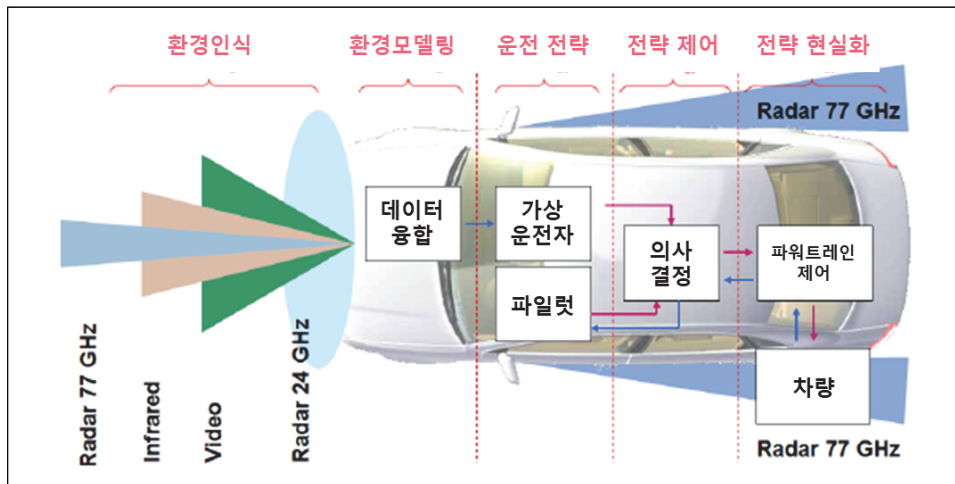
(2) 24GHz SRR(Short Range Radar)

SRR은 측후면의 사각지대 차량을 감지하기 위한 목적으로 개발되었으며 사각지대 모니터링 시스템의 차량 장착으로 보급이 확대되기 시작하였다. 해외 기술을 이전받아 2013년 이후 국내 생산을 통해 완성차에 납품하고 있으며, 현재의 SRR은 주로 차량을 주요 검지대상으로 하고 있어 보행자에 대한 인식이 어려운 편이다.

(3) 79GHz MRR(Mid Range Radar)

79GHz MRR은 기존의 SRR의 단점을 보완하여 차량뿐만 아니라, 보행자 및 기타 장애물에 대한 감지 성능이 뛰어나며, 4GHz 대역폭으로 영상에 준하는 정보를 얻을 수 있어 이미징 레이다로 불린다. 2020년 칩셋이 출시 될 것으로 예상되어 차량에 장착 가능한 시점은 2023년~2025년 정도로 전망하고 있다.

그림 4-3 | Sensor devices around the vehicle



자료: G. Peter 외 (2014) 자료 저자 번역

(4) 전방카메라(MFC: Multi Function Camera)

전방카메라는 전방의 영상을 취득하여 이를 기반으로 차량, 차선, 보행자, 자전거, 야간전조등, 교통표지판 등을 인식하여 장애물의 크기, 위치, 속도 정보를 수집한다. 현재 양산되는 제품의 80% 이상이 이스라엘 기업인 모빌아이 제품이며, 최근 인텔이 인수하여 DNN을 적용한 인공지능기반의 자율주행용 전방 카메라를 개발하고 있다. 최근 대형 트럭과 버스에 차선이탈경고장치(LDWS)와 자동긴급제동장치(AEBS)의 의무장착으로 차선과 전방 차량 감지가 가능한 전방카메라가 장착되어 출시되고 있다.

그림 4-4 | 전방카메라 예시

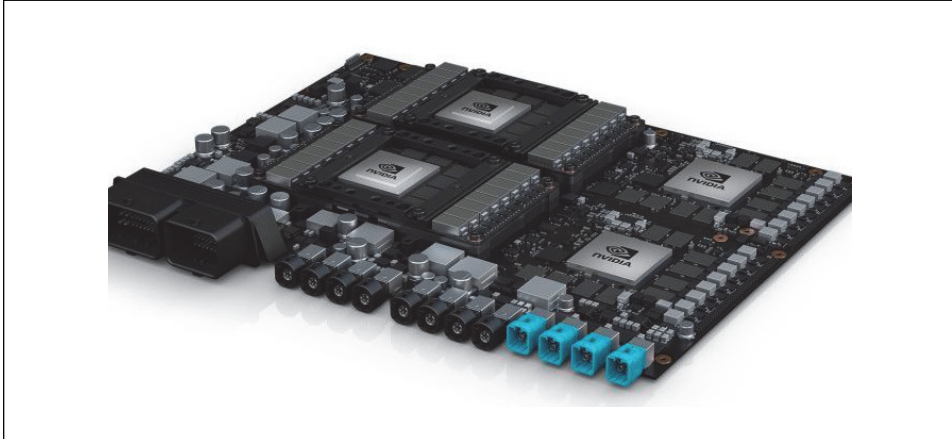


자료: 구글이미지 검색 (검색어: Mobileye 전방카메라, 검색일: 2019.7.15.)

(5) AI기반 다중 객체 인식 카메라

최근 인공지능 특히 딥러닝(DNN) 기술 적용으로 카메라 인식 성능이 획기적으로 발전하고 있어, 현재의 인식 대상에서 도로 주변 지형지물과 차량, 보행자, 자전거 등의 기존 객체에 대해서도 일부 가려짐이 발생하는 상황에서도 강인하게 인식한다는 장점이 있다. NVIDIA는 PEGASUS 등 다수의 카메라 영상을 입력으로 받아 딥러닝 기반 추론이 가능한 차량용 임베디드 시스템을 출시하였다. 차량 적용을 위해서는 다양한 상황에서의 데이터셋을 확보하여 학습을 수행하여야 하며, 이에 대한 성능 검증이 요구되어 2~3년 내에 상용화는 어려울 것으로 전망되며, 자율주행 레벨 4 이상의 상용화 시점을 고려하여 2025년 이후 출시가 예상된다.

그림 4-5 | NVIDIA PEGASUS Computing Platform



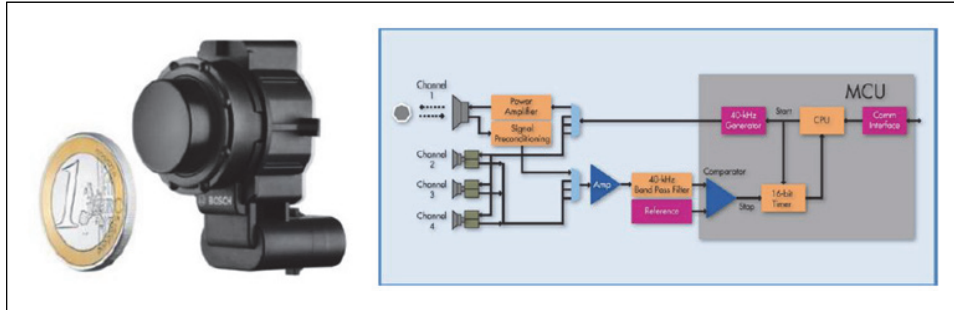
자료: NVIDIA 홈페이지 (<https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/drive-platform/hardware/>), 검색
일: 2019.7.15.

(6) 장거리 초음파 센서

현재의 초음파 센서는 주차 보조용으로 주차 시 3m 이내에 있는 벽 또는 기둥과 같은 장애물에 근접 시 감지하여 보고한다. 초음파 센서는 음파를 쏘아 반사되는 음파를 이용해 장애물과의 거리를 측정하는 센서로 주변 노이즈에 민감하게 반응하는 경향이 있고, 감지 화각 내에서의 횡방향 위치 분석이 안 되어 용도가 제한적이다.

장거리 초음파 센서는 이러한 단점을 보완하여 차량은 6m 이상, 보행자는 4m 이상의 거리에서 감지가 가능하도록 개발하고 있으며, 다양한 방법을 통해 횡방향 분해능을 높이기 위한 기술이 접목되고 있어, 후진 시 차량 또는 보행자와 같은 장애물과의 사고 예방에 활용 예정이다. 2015년 이후 꾸준한 기술 개발로 2020년 이후 상용화가 가능할 것으로 전망된다.

그림 4-6 | Bosch 초음파 센서

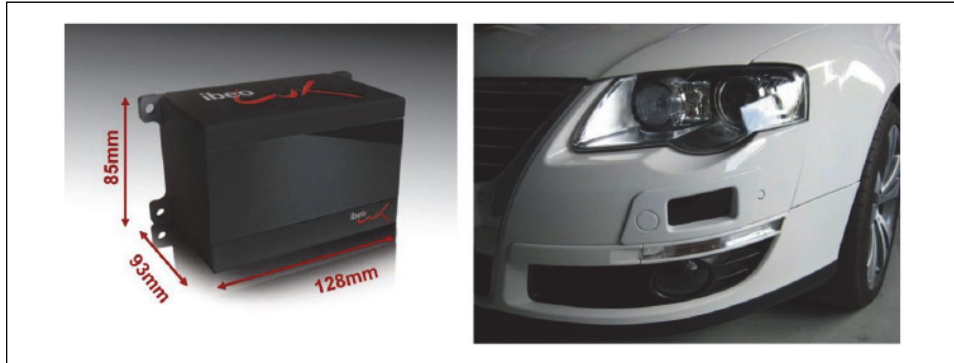


자료: G. Peter 외 (2014)

(7) 라이다(Lidar)

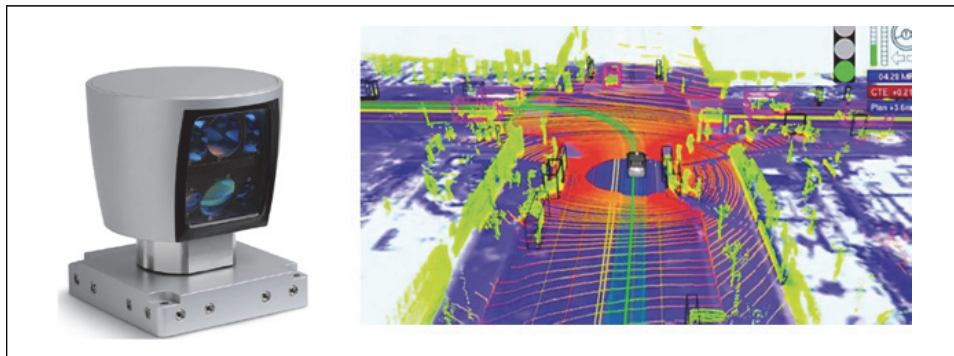
라이다 센서는 적외선 파장대의 레이저 펄스를 방사하여 반사되어 오는 빛을 측정하여 전방 장애물과의 거리를 측정하는 센서로 cm급의 거리 정밀도를 나타낸다. 현재의 수직 64채널의 포인트 정보를 수집하고, 횡방향으로 스캔하여 100도~ 180도의 화각을 보유하도록 구성되며, 측정된 데이터는 센서의 해상도에 맞는 점군(Point Cloud) 데이터를 형성하여 이 정보를 기반으로 검지된 대상에 대한 식별을 수행하나 영상센서에 비해 객체의 식별 성능은 부족한 편이다. 2010년 64채널 스캐닝 방식의 라이다가 출시되어 판매되고 있으나, 3,000만원을 넘는 고가품으로 차량에 장착은 어려운 실정이다. 아우디는 2018년 A8 신형 모델에 16채널 라이다를 장착하여 출시하였다.

그림 4-7 | ibeo LUD HD 레이저 스캐너(LIDAR)



자료: G. Peter 외 (2014)

그림 4-8 | Velodyne 레이저 스캐너(LIDAR)



자료: Velodyne 홈페이지 (<https://velodynelidar.com/>), 검색일: 2019.7.15.

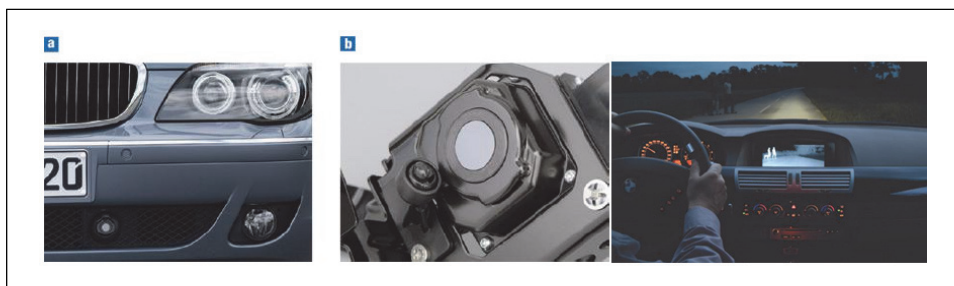
(8) 열화상 카메라 (FIR)

열화상카메라는 원적외선(열선)을 감지하는 영상 센서로 대상물체의 온도 분포와 열 방사 특성에 따라 다르게 보이는 영상 정보를 제공한다. 미국에서 로드킬을 방지하기 위한 목적으로 초창기 개발되었으며, 추후 야간 운전 시 전조등의 한계로 운전자의 시계로 볼 수 없는 길가의 보행자를 감지하는 기능이 추가되었다. 열영상을 제공하여 운

전자가 전방 위험 장애물이 있는지 정보를 제공하는 방식과 특정한 객체(보행자, 시승 등)를 인식하여 경고를 수행해주는 방식으로 발전해오고 있다.

최근 보행자용 자동긴급제동(AEB) 시나리오에 야간 종방향 시나리오가 추가되어 추후 신차안전도평가 점수를 고려하여 열영상카메라의 장착 확대와 보행자 인식 성능이 개선될 것으로 전망된다.

그림 4-9 | 차량용 열화상카메라 장착 예시

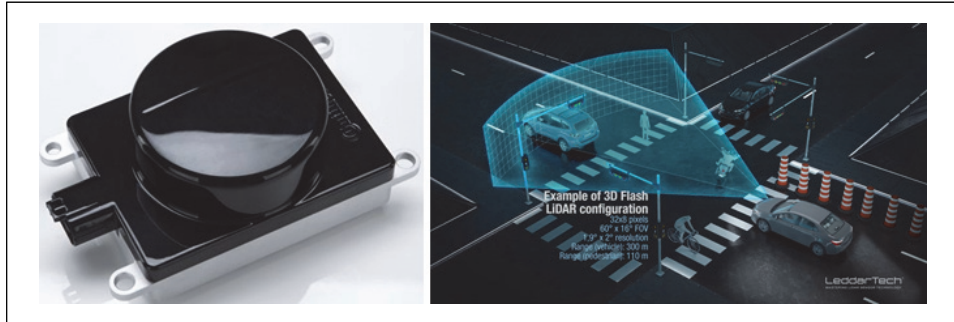


자료: G. Peter 외 (2014)

(9) 플래쉬라이다(Flash LIDAR)

플래쉬라이다는 기존의 스캐닝 방식을 사용하지 않고 일시적으로 빛을 방사하고 반사되어 오는 빛을 측정하는 방식으로 Solid-state lidar라고도 불린다. 플래쉬라이다는 기존의 스캐닝 방식에 비해 내구성이 뛰어나며 칩화 과정을 통해 사이즈를 줄일 수 있는 장점이 있다. 현재 세계적으로 워킹샘플 정도만 출시된 상황으로 본격적인 상용화에는 3~5년의 시간이 필요할 것으로 전망된다.

그림 4-10 | Flash LIDAR 예시



자료: Continental Automotive 홈페이지(<https://www.continental-automotive.com/en-gl/>), 검색일: 2019. 7.16.

(10) Tri-focal 카메라

모빌아이는 2016년 기존 차선 감지용 수평화각 40도 카메라에 20도 협각, 100도 광각카메라를 일체형으로 제작한 카메라를 출시하였다. 기존 카메라의 장거리 인식 성능 저하는 협각 카메라를 통해 해결하고 보행자와 같은 횡방향 진입 장애물의 검지 성능 향상을 위해서는 광각카메라를 통해 해결하는 카메라시스템이 요구된다.

그림 4-11 | Tri-focal 카메라

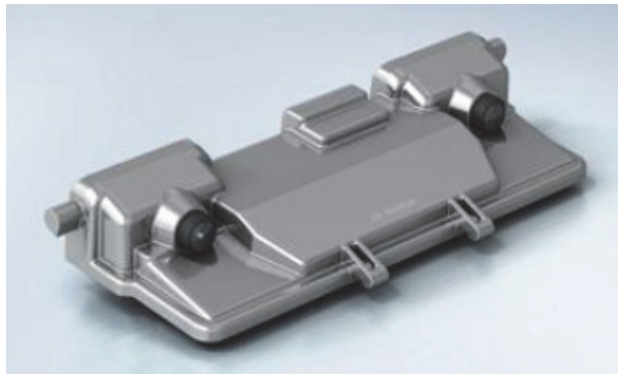


자료: <https://g05.bimmerpost.com/> 웹사이트, 검색일: 2019.7.16.

(11) 스테레오 카메라

스테레오 카메라는 2개의 카메라를 일정한 거리(약 10cm)의 수평 거리를 두어 사람이 사물을 인식하는 방식과 유사하게 영상기반 거리 정보를 획득할 수 있는 카메라 기술이다. 기존 전방카메라의 검지 대상인 차선, 차량, 보행자, 야간전조등, 자전거, 교통표지판 등을 감지하며 추후 자율주행을 위해 인식 대상을 확대하여 기술개발 수행하였다. 벤츠, 쓰바루 등은 스테레오 카메라를 이용한 운전자지원시스템 차량을 출시하였으며, 자율주행을 위한 스테레오 카메라는 2025년 이후 출시가 예상된다.

그림 4-12 | Bosch stereo camera



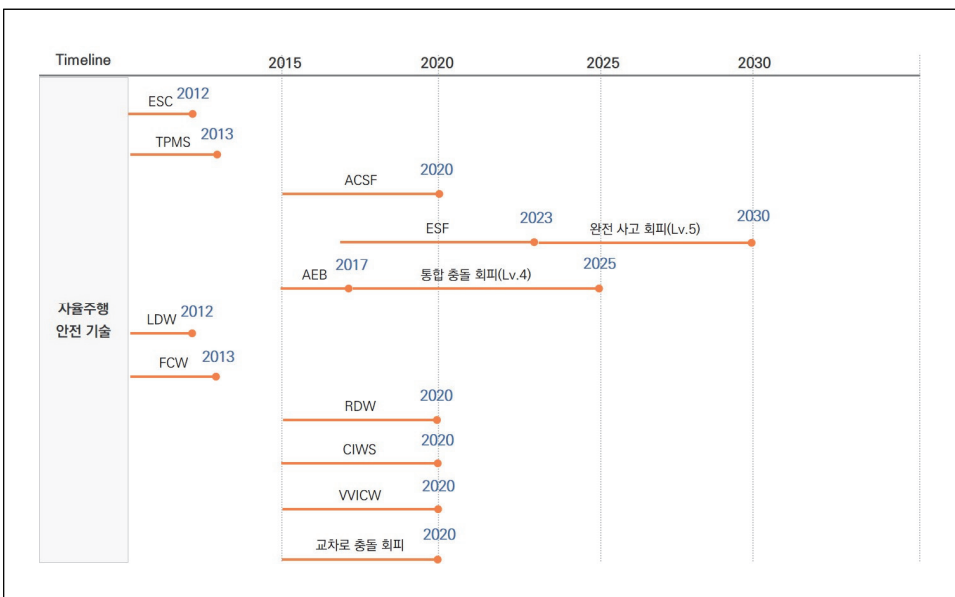
자료: G. Peter 외 (2014)

2) 자율주행 안전 기술

자율주행 기술 구현을 위해서는 주행 안전에 대한 기술이 필수적으로 요구되며 복잡한 도로 상황이나 다양한 환경 조건에서 사고를 방지하고 예방하기 위한 충돌 회피 기술, 충돌 예방 기술, 차량 제어 기술 등이 탑재되어 안전 운전을 지원하며 사고 발생 가능성을 낮출 수 있다.

각 세부기술의 도입시기는 다음과 같이 정리할 수 있으며, 기술의 세부내용은 다음과 같다.

그림 4-13 | 자율주행 안전 기술 로드맵



자료: 저자 작성

(1) ESC(Electronic Stability Control): 차체 자세 제어장치

ESC는 자동차안전성제어장치로써 차량의 속도와 회전, 미끄러짐을 실시간으로 계산하여 실제값과 운전자가 의도한 값을 비교하여 차이가 나는 경우 운전자가 의도한 만큼 제어할 수 있도록 브레이크와 엔진 출력 등을 스스로 제어하여 사고를 방지하는 기술이다. 보쉬가 메르세데스-벤츠와 합작으로 1995년 세계 최초로 개발한 ESP라는 프로그램을 기반으로, ESP, ESC라는 명칭을 주로 사용하며 제조사마다 이름을 달리 하여(ESC/ESP/VDC 등) 사용 중이다. 2011, 2012, 2014년부터 각각 캐나다, 미국, 유럽연합에서 각각 신차에 의무적으로 장착되었으며 국내에서는 2012년부터 모든 승용차와 4.5톤 이하의 승합·화물·특수 자동차에 장착을 의무화하였다.

(2) TPMS(Tire Pressure Monitoring System) : 타이어공기압 경고장치

타이어 공기압을 감지하는 전자장치로 운전자에게 타이어 공기압에 대한 정보와 이상 시 알람을 준다. 타이어 온도와 공기압 감지 방법에는 센서를 직접 타이어 공기주입 밸브에 부착하는 직접식과 바퀴의 회전수로 공기압의 적정성을 판단하는 간접식으로 구분된다.

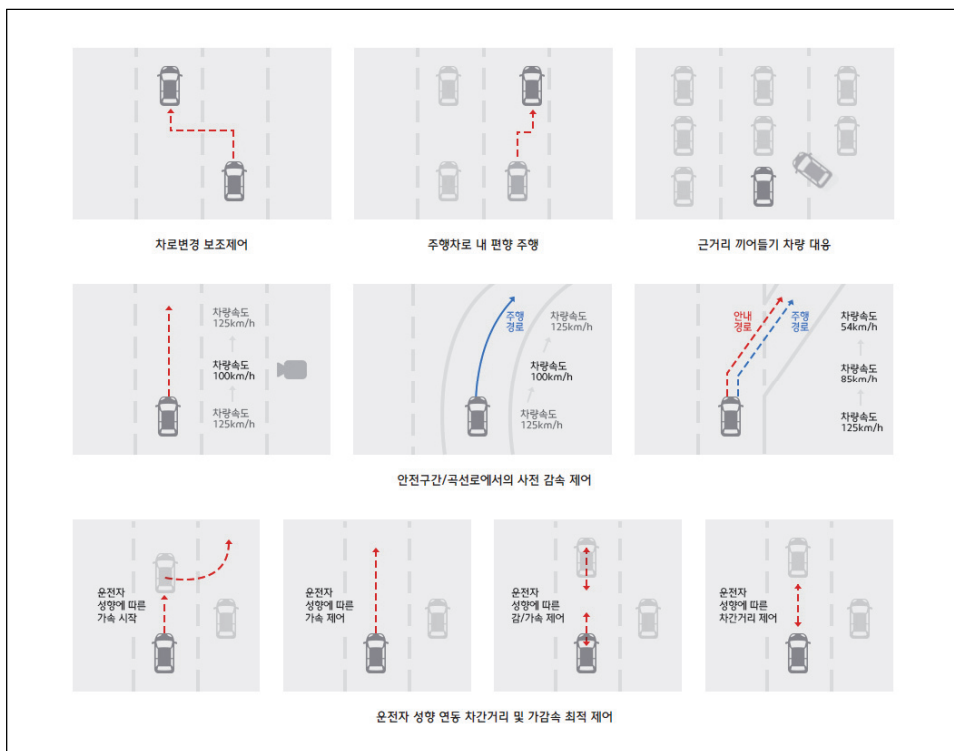
미국에서는 2007년, 유럽에서는 2012년부터 TPMS를 의무화 하였고 국내에서는 2013년부터 승용차와 총 중량 3.5톤 이하 승합·화물·특수 자동차의 신차에 한해 부분적 의무화를 거쳐 2015년 이후 모든 신차에 TPMS 장착을 의무화하였다.

(3) ACSF(Automatically Commanded Steering Function) : 자동명령 조향기능

ACSF는 자동명령조향기능으로 운전자를 보조하는 조향 제어 기능으로 주행 차선 유지 및 인접 차선 변경 등과 같은 제어를 자동으로 수행하는 기능을 한다. 기존 10km/h로 주행속도를 제한하는 자동명령조향기능(ACSF) 기준은 자율주행기능인 차선 유지, 정체구간주행, 군집주행, 고속도로 오토파일럿 등의 기술 상용화를 제한하고 있어 관련 기술 발전을 감안하여 UN Reg. 79 의 속도제한을 상향시키자는 의견에 따라

2015년 전문가기술그룹(ACSF IWG)을 결성하여 이해관계자들이 참여하여 관련 기준의 개정 작업을 진행 중이다. 국내에서는 2019년 4월 ACSF를 포함한 첨단조향장치 관련한 입법을 예고하였다. 테슬라의 오토파일럿 기능은 운전자의 차선 변경 신호에 따라 자동으로 차선을 변경하며, 현대기아자동차는 운전자의 차선 변경 신호 입력 시 자동 차선변경을 포함한 HDA2 기능을 2019년 하반기에 출시 예정이다.

그림 4-14 | 고속도로 운전 지원시스템



자료: 현대자동차 홈페이지 (<https://www.hyundai.co.kr/TechInnovation/Autonomous/Hdp.hub>), 검색일: 2019.10.1.

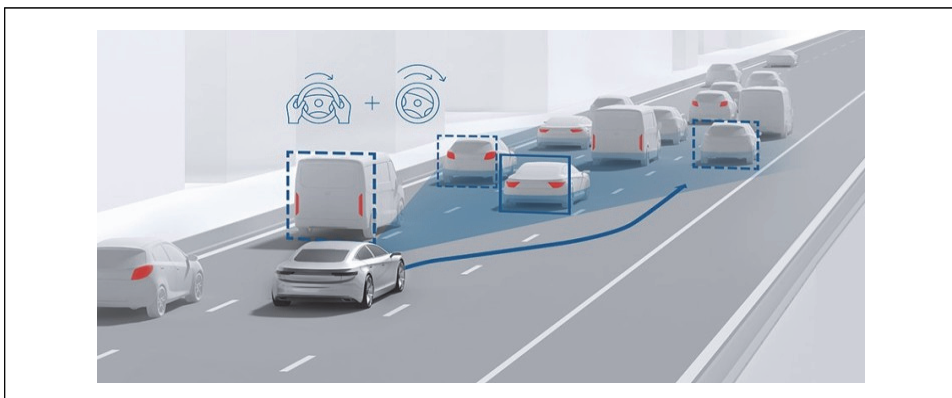
(4) ESF(Emergency Steering Function) : 긴급 조향 기능

비상조향기능으로 충돌 회피 또는 완화를 위해 자동 조종이 필요한 경우 잠재적인 충돌 상황을 자동으로 감지하여 제한된 시간 동안 자동차의 조향 장치를 자동으로 작동시키는 제어 기능이다. ESF는 아래의 한 개 이상의 상황에서만 작동하여야 하며 아래 다른 자동차와의 주행방향은 대상 자동차와 동일하거나 반대일 수 있다.

- 대상 자동차의 경로 쪽으로 다가오는 인접 차로의 다른 자동차
- 대상 자동차가 다가가는 인접차로에서 주행하고 있는 다른 자동차
- 대상 자동차의 운전자가 차로변경운전을 시작한 인접차로에서 주행하고 있는 다른 자동차
- 대상 자동차의 경로를 가로 막고 있거나 곧 가로막을 것 같은 장애물

현재로는 승용차를 대상으로 운전자의 부족한 조향을 보조하는 수준으로 출시되었으며 2020년 이후 출시가 예상된다. 국내에서는 2019년 4월 ACSF와 ESF를 포함한 첨단조향장치 관련한 입법을 예고하였으며, Euro NCAP에서는 ESF 기능을 2020년부터 평가 예정이며 승용차의 경우 2020년 이후 출시 예상되며, 대중교통 버스와 트럭의 경우 새시 제어시스템의 개선이 필요하여 2023년 이후 적용이 가능할 것으로 전망한다.

그림 4-15 | 긴급조향을 통한 사고회피시스템



자료: G. Peter 외 (2014)

(5) 완전 사고 회피(Lv. 5)

주변 차량 및 장애물뿐만 아니라, 악의조건과 긴급 상황, 고장 상황에 모두 대응이 가능한 자율주행 Lv. 5 수준의 사고회피 기능이다. AEB, ESF의 안정적인 도입과 기술 성숙 이후 비정형 상황에 대한 대응 기술을 개발하여 2030년 이후 완전 사고 회피 기술의 도입이 가능할 것으로 전망된다.

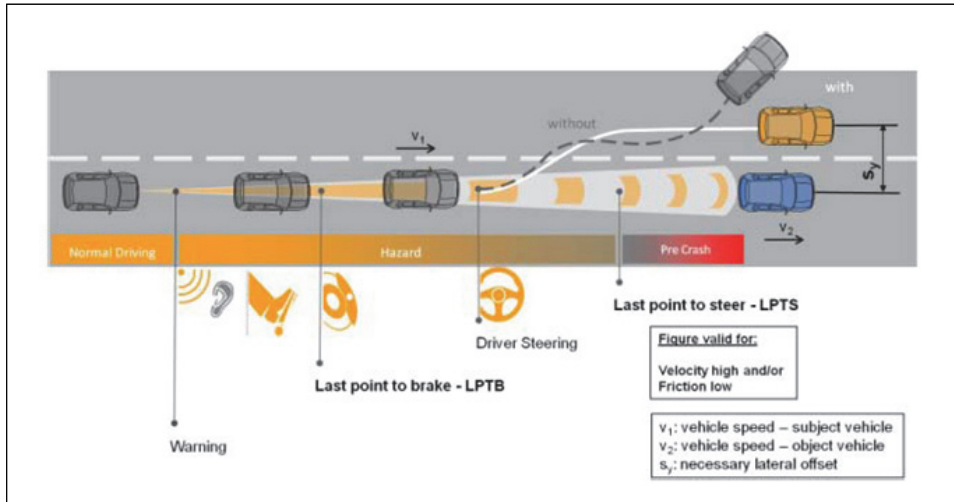
(6) AEBS(Autonomous Emergency Braking System) : 자동긴급제동시스템

자동긴급제동시스템은 전방 센서로 부터 충돌 위험을 감지하여 경고 및 자동 긴급 제동을 통해 사고 방지 또는 피해를 경감하는 시스템이다. 충돌 대상은 자동차, 보행자, 자전거 등이 있으며 최근 직선로와 함께 야간, 교차로, 후방 AEB 기술 등이 Euro NCAP을 통해 평가 예정이다. 2017년 이후 모든 승합차와 총 중량 3.5톤 이상의 화물·특수차를 대상으로 의무 장착이 요구되며 현재 출시되어 장착되고 있다. UNECE에서는 기존 트럭과 버스에만 적용되었던 의무장착 규제를 승용차와 소형차에 대해 보행자와 자동차를 대상으로 하는 AEB 시스템을 장착하도록 하는 합의안을 2019년 공식 채택 예정이다.

(7) 통합 충돌 회피

전방 및 측후방 장애물을 감지하여 긴급 제동 또는 긴급 조향을 활용하여 충돌을 회피하는 시스템으로 제동 및 조향을 통합한 회피 기술이 적용된다. 긴급 조향 기술의 경우 운전자의 조향을 보조하는 기능은 승용차에 상용화되었으나 자동 조향 회피 시스템은 개발 중이며 이와 함께 통합 충돌 회피 시스템은 2025년 이후 출시될 것으로 예상된다.

그림 4-16 | 제동 및 조향을 통한 사고회피시스템



자료: Continental Automotive 홈페이지 (<https://www.continental-automotive.com/en-gl/>), 검색일: 2019. 7.16.

(8) LDW(Lane Departure Warning) : 차선 이탈 방지 경고

차선 이탈 방지를 위한 시스템으로 카메라 센서를 통해 주행 차선을 감지하고 차선 이탈을 판단하여 차선 이탈 감지 시 운전자에게 경고하여 차선 이탈 방지를 지원하는 시스템이다. 2017년 이후 화물차와 버스에 차선이탈경고장치(LDWS) 설치가 의무화 되어 장착되고 있다.

(9) FCW(Forward Collision Warning) : 전방 충돌 경고

전방 충돌을 방지하기 위한 시스템으로 전방 센서를 통해 전방 물체와의 충돌이 예측될 때 충돌 경고를 수행하여 충돌을 예방하기 위한 시스템이다. 전방 충돌 감지를 위한 센서로는 카메라, 레이다, 스테레오 비전 등이 사용되고 있으며, 화물차와 버스에 FCW 설치가 의무화 되어 장착되고 있다.

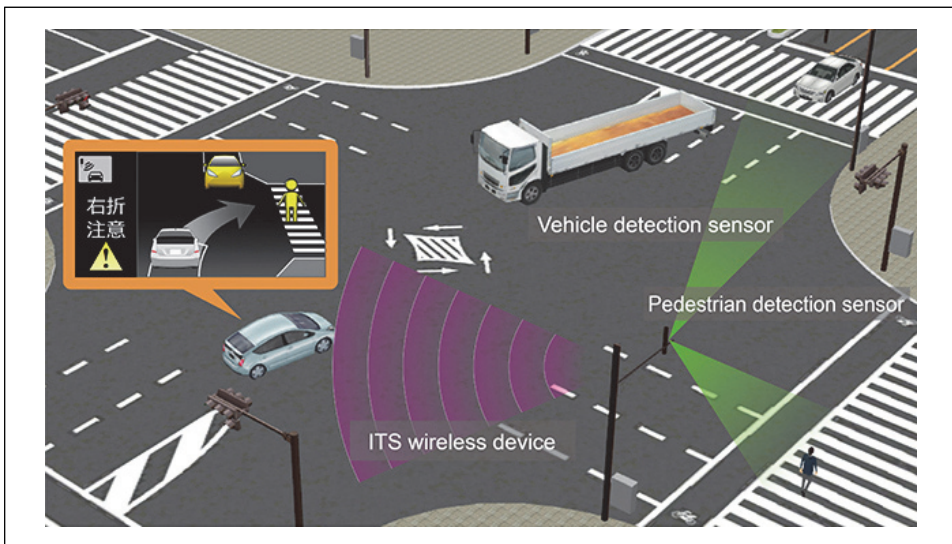
(10) RDW(Road Departure Warning) : 도로 이탈 방지 경고

도로 이탈 방지를 위한 시스템으로 카메라 센서로 부터 도로 경계를 인식하여 도로를 이탈하는 것을 방지하기 위해 경고 및 조향과 브레이크 제어를 자동으로 조작하여 차로를 벗어나는 것을 돕는 시스템이다. 혼다에서 2018년 출시하였으며 현재 상용차에는 적용되지 않고 있다. 승용차를 위한 RDW 기술개발이 2019년 완료될 예정으로 대중교통을 위한 기술 도입은 2020년 이후 가능할 것으로 전망된다.

(11) CIWS(Cooperative Intersection Warning System) : 교차로 경고시스템

V2I를 통해 교차로에 접근하는 차량간의 사고 위험을 감지하여 경고해주는 기능으로, V2I의 보급시점을 고려할 때 2020년 이후 도입이 가능할 전망이다.

그림 4-17 | V2I를 이용한 교차로 경고시스템 예시

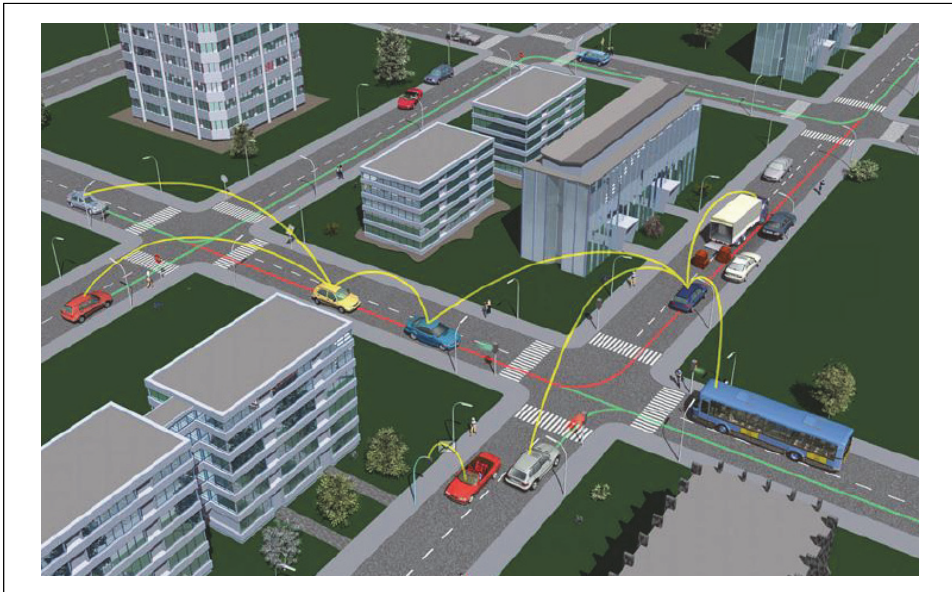


자료: 도요타 홈페이지 (<https://global.toyota/en/>). 검색일: 2019.7.19.

(12) VVICW(Vehicle to Vehicle Intersection Collision Warning System) :
교차로 사고 위험 경고시스템

V2V를 통해 교차로에 접근하는 차량간의 사고 위험을 감지하여 경고해주는 기능으로, V2V의 보급시점을 고려할 때 2020년 이후 대중교통에 도입이 가능할 것으로 전망된다.

그림 4-18 | V2V를 이용한 교차로 사고 위험 경고시스템 예시



자료: <http://www.car-2-car.org> 웹사이트

(13) 교차로 충돌 회피

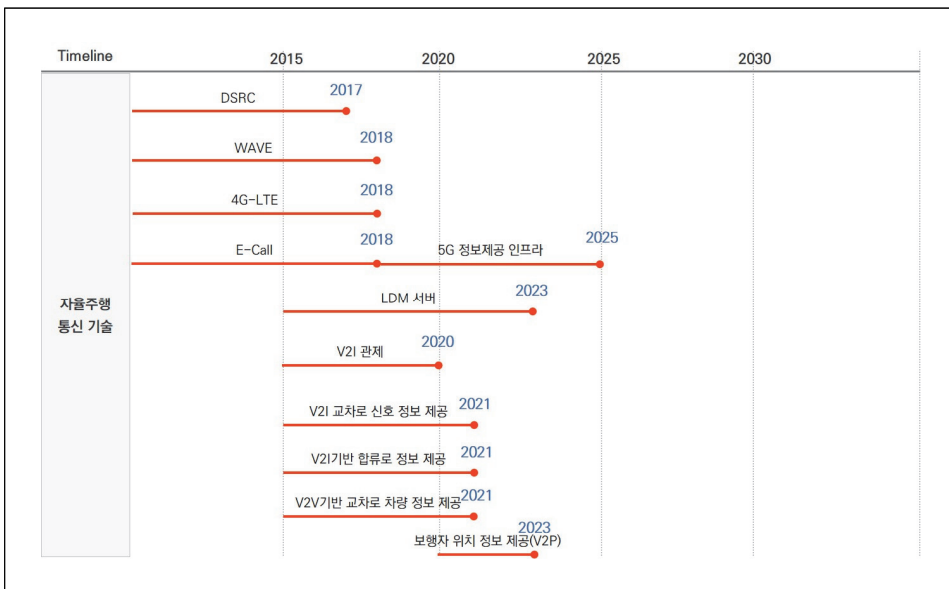
레이다, 카메라, 라이다 센서 기반 차량 및 장애물(보행자, 자전거 등) 감지를 통하여 충돌 회피를 위한 제동을 수행하는 기능이다. 교차로 진입 차량을 감지하기 위해 화각이 큰 센서를 사용하여 시스템을 구성하여 상용화를 추진할 경우 2020년 이후 도입이 가능할 것으로 전망된다.

3) 자율주행 통신 기술

V2X 통신은 차량과 주변 차량(V2V), 차량과 도로 인프라(V2I) 및 차량과 보행자(V2P) 간의 연결을 통해 Camera, Lidar, Radar 등 환경 센서의 한계를 극복하고 C-ITS, Connected Vehicle에 적용하여 양방향 소통을 통해 안전주행, 교통 혼잡 방지 및 다양한 서비스를 제공할 수 있는 완전한 자율주행자동차의 구현을 가능하게 해줄 것으로 예측된다.

각 세부기술의 도입시기는 다음과 같이 정리할 수 있으며, 기술의 세부내용은 다음과 같다.

그림 4-19 | 자율주행 통신 기술 로드맵



자료: 저자 작성

(1) DSRC (Dedicated Short Range Communication) : 근거리무선통신

DSRC는 ITS 서비스를 제공하기 위한 통신수단의 하나로서, 노변장치라고 불리는 도로변에 위치한 소형기지국과 차량 내에 탑재된 차량 탑재장치 간의 단거리 전용통신을 의미한다. DSRC는 노변-차량간 양방향 근거리 통신(Coverage 100m 이하), 일대 다수의 통신기능, LOS(Line of Sight)를 유지할 수 있는 통신환경, 고속전송(~1Mbps) 기능, 값싸고 단순한 변조기술을 사용한다.

국내에서 톨게이트의 자동요금징수시스템, 버스안내시스템, 주차관리 시스템 분야, 교통정보 수집 및 제공, 도로정보 제공, 상용차량 관리, 긴급차량 처리 등으로 서비스가 시행 중이다.

현대자동차가 오는 2021년에 출시하는 신형 제네시스 G90부터 근거리전용무선통신(DSRC) 기반 차량·사물간통신(V2X) 기능을 기본 사양으로 탑재하였다. 제너럴모터스(GM), 폭스바겐, 토요타 등은 DSRC 방식으로 V2X를 준비하고 있다.

(2) WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)

DSRC (Dedicated Short Range Communication) 기술의 일종으로 무선 인터넷을 포함하는 ITS에서 요구하는 다양한 서비스 및 높은 전송속도를 수용하는데 한계로 출현한 기술이다. 고속으로 주행하는 차량 환경에서 통신서비스를 제공하기 위하여 특화된 차세대 ITS 통신 기술로 WLAN 기술을 기반으로 자동차 환경에 맞도록 수정하였다. 최대 200km/h 속도의 차량 주행 환경을 지원하고, 안전 운행의 경우 1km까지 전송거리를 제공하며, 차량간(V2V) 통신 및 차량과 노변(V2I, Vehicle to Infrastructure) 통신을 최대 54Mbps를 제공한다.

차량 내 단말(OBU, On Board Units)에서 구간별 통행속도, 위치정보를 수집하여 교통 정보센터에 보내준다. IEEE 802.11ac, ad등의 고속 전송 WLAN기술들이 검증되어 가고 있어 이들 기술을 V2X에 적용하여 고속통신을 지원하기 위한 표준화 작업이 IEEE802.11p란 이름으로 2021년 완성을 목표로 진행 중이다.

(3) 4G-LTE

LTE 통신을 이용해 주변 차량의 위치, 방향, 속도와 교통정보 등을 실시간으로 교환하고 대응함으로써 ADAS 센서의 제약을 극복했다. 충돌경고, 고장차량 경고, 차량 정체 경고, 사각지역 보행자 경고 등 운전자 및 보행자의 안전과 관련된 서비스를 한다. 단일 차량 또는 소수의 차량을 이용한 자율주행 시범 서비스인 경우 4G-LTE 기술을 활용하여 대다수의 기능 구현이 가능하나 고밀집 차량 환경에서의 저지연 요구조건을 만족시키기 어렵고, 동기, 링크 설정, 자원 할당과 같은 채널 획득 및 연결 설정 과정이 자율주행 기반 저지연 V2X 응용에 적절하지 않다.

국제 이동통신 표준화 기구인 3GPP에서는 4G-LTE기술로 지연시간을 단축하고 차량 간 직접 통신을 지원하는 등 2017년 3월 LTE 차량 통신을 위한 표준화가 완료되었다. LG전자는 3GPP의 국제표준에 따라 개발한 LTE V2X 단말기의 2020년 상용화 예정이다.

(4) E-Call : 차량 ICT 기반 긴급구난체계

E-Call 시스템은 Emergency Call의 약자로 사고 발생 시 차량 내 장착된 시스템이 사고 사실을 인지한 후(에어백 작동 등), 구조를 요청할 수 있는 차량용 비상전화장치 시스템이다(차량 내 시스템이 자동으로 작동되지 않을 경우에는 수동으로도 작동 가능). 이와 동시에 차량 내 장착된 SIM 카드가 사고 발생 인근 관할 긴급구조대로 최소한의 필요 데이터(Minimum Set of Data; 이하 MSD)를 송신하며, MSD는 아래와 같은 정보를 포함한다.

EU 이사회는 E-Call 시스템을 2018년 3월 31일부터 신규 자동차 및 상업용 경차 내 E-Call 시스템 장착이 의무화하고 버스, 3.5톤 이상의 화물차 등으로 대상 차량을 확대하는 방안을 검토 중이다.

러시아는 2010년 5월부터 2013년 11월까지 시범 서비스 이후 2013년 12월부터 E-Call 단말기 의무장착 계획 수립을 통해 E-Call 전국 서비스 기반을 마련하였다.

현대-기아자동차의 텔레매틱스 서비스로 기존 모젠의 텔레매틱스 기능에 스마트폰과 연동이 가능한 서비스를 함께 도입하여 SOS 긴급출동, 에어백 전개 자동 통보, 차량관리 등의 E-Call 유사 서비스를 선택형 상품으로 제공 중에 있으며, 르노 삼성 INS-700은 이동 통신사가 제공하는 프로그램을 연결하여 휴대전화가 연결된 상태에서 차량 버튼을 통해 긴급구조 요청 서비스를 제공하며, 별도의 요금이 부과되는 유료 서비스로 운영 중에 있다.

(5) 5G 정보제공 인프라

초고속(최대 10GB/s), 대용량, 초연결, 초실시간(1ms 지연)의 기능을 제공하고 있으며, 또한 자율주행 서비스 간에 다양한 정보 교환을 안전하게 할 수 있도록 핵심 기능을 제공한다. 5G 정보제공 인프라는 차량 이동성에 영향을 받지 않는 연속적인 5G 커버리지를 제공하고, 네트워크 슬라이싱 기술과 엣지 클라우드 기술을 적용하여 차량 서비스에 특화된 전용 네트워크 환경을 제공하여, 자율주행차의 다양한 서비스 요구조건에 맞는 최적의 무선 통신 서비스가 가능하다.

2018 평창동계올림픽에서 5G 시범서비스를 위해 개발되어 5G 자율주행 버스 운행하고 있으나, 표준 제정이 이루어지지 않은 점과 차량 통신을 위한 5G R16의 기술 안정화 시간을 고려하여 국내 도입은 2025년 이후로 전망된다.

(6) LDM 서버

LDM(Local Dynamic Map)은 자동차 및 인프라에서 수집되는 정적/동적 정보를 저장하는 저장소로 주행경로 상에서 서비스 지역 안의 지형정보, 위치정보, 상태 정보를 포함하는 개념적 데이터 저장소이다.

유럽은 ISO 표준을 기반으로 교통정보 제공자 또는 센서/애플리케이션의 MAP 정보를 수정 및 활용할 수 있고 지도 매칭 알고리즘 기반의 측위 및 위치 추적을 위한 정밀 전자지도 개발을 통한 C-ITS(Cooperative-ITS) 및 ADAS 기술 연구가 활발하게 진

행 중이다.

일본은 디지털 도로맵 협회에서 주도하여 연구를 수행하고 있으며 일본 표준국가 지도 데이터베이스를 관리하여 표준 국가 지도 데이터베이스를 통해 자동차 내비게이션 서비스 및 안전운전 지원을 위한 차세대 디지털로드맵 구축을 활용하고 있다.

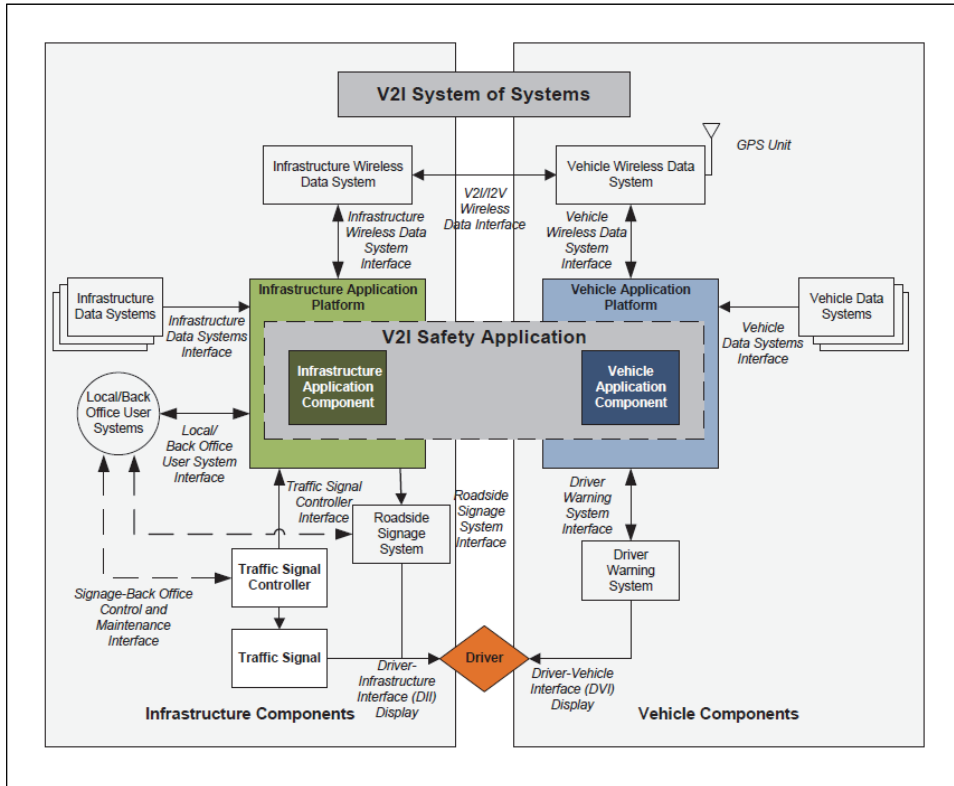
Audi, BMW, Daimler 컨소시엄은 25억 유로에 Nokia로부터 정밀지도 업체 here를 인수하였고 Toyota를 포함한 일본 완성차업체 9개는 정밀지도 구축을 위해 Dynamic Map Planning(DMP)를 공동 설립하였으며 Mobileye도 Roadbook 정밀지도 구축 진행 중이다.

네이버는 3차원 공간 정보 시스템 업체 '에피폴라'를 인수하고 3차원 정밀 지도 제작 로봇 'M1' 출시하였으며, 카카오, SK텔레콤, KT 등도 지도 정밀화 및 고도화에 적극적으로 투자 중이다. 현대차그룹은 현대엠엔소프트를 통해 정밀지도를 구축 중이며, 향후 Lv.3 자율주행자동차 출시 시기인 2025년경 상용화를 전망한다.

(7) V2I 관제

차량의 통행량, 사고 상황, 정체 구간, 공사구간, 커브, 신호등 정보 등을 수집하여 해당 지역에 진입하는 차량에 정보를 제공하여 차량의 안전과 편의성을 향상 시키는 교통정보 수집 및 제공 운용 시스템이다. 국내는 스마트하이웨이 시범사업을 통해 관련 기술을 확보한 상태이나 전국적인 보급을 위한 인프라 구축과 정보 수집을 위한 관제센터 구축을 위한 시간을 고려할 때 2020년 이후 대중교통 체계에 도입이 가능할 것으로 전망된다.

그림 4-20 | V2I기반 차량과 관제시스템 구성도



자료: <https://blog.rgsi.com/what-is-v2i-technology> 웹사이트

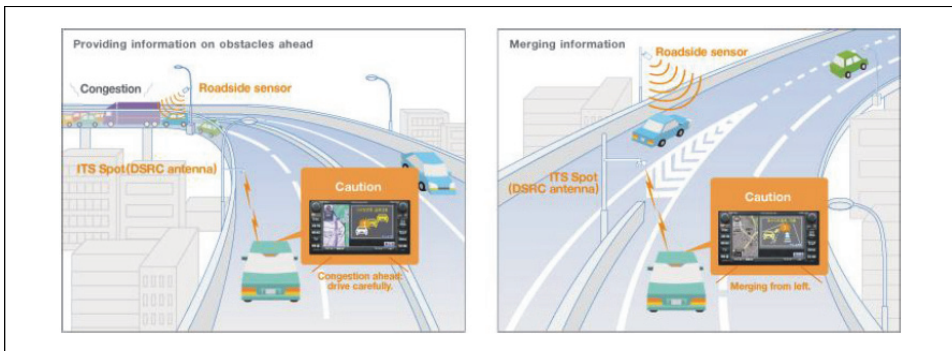
(8) V2I 교차로 신호 정보 제공

차량과 도로 인프라 간에 무선으로 교차로 신호 정보를 주고받는 기술로서, 현대기아차는 2017년 2월, ‘교차로 주변차 정보 서비스’, ‘교차로 교통신호 정보 서비스’, ‘신호위반 경고 정보 서비스’, ‘보행자 정보 서비스’를 적용하여 모니터링 단계로 2021년 제한된 장소(스마트시티)에서 레벨 4 수준의 자율주행이 가능한 기술을 완성할 계획이다.

(9) V2I 기반 합류로 정보 제공

차량과 도로 인프라 간에 무선으로 합류로 정보를 주고받는 기술로서, 현대기아차는 2017년 2월, ‘교차로 교통신호 정보 서비스’, ‘신호위반 경고 정보 서비스’, ‘보행자 정보 서비스’를 적용하여 모니터링 단계로 2021년 제한된 장소(스마트시티)에서 레벨 4 수준의 자율주행이 가능한 기술을 완성할 계획이다.

그림 4-21 | V2I기반 합류로 및 정체구간 정보제공 예시



자료: 도요타 홈페이지 (<https://global.toyota/en/>). 검색일: 2019.7.19.

(10) V2V 기반 교차로 차량 정보 제공

차량 간에 무선으로 교차로 차량 정보를 주고받는 기술로서, 현대기아차는 2017년 2월, 교차로 주변차량 정보 서비스를 적용하여 모니터링 단계로 2021년 제한된 장소(스마트시티)에서 레벨 4 수준의 자율주행이 가능한 기술을 완성할 계획이다.

(11) 보행자 위치 정보 제공(V2P)

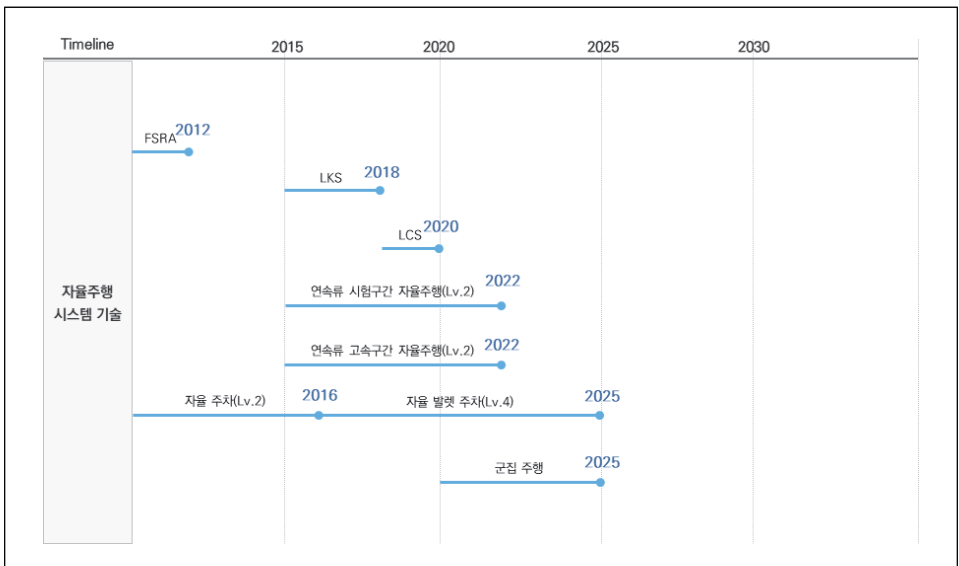
차량과 보행자 위치 정보를 무선으로 주고받는 기술로서, 현대기아차는 2017년 2월, 교차로 주변차량 정보 서비스를 적용하여 모니터링 단계로 2021년 제한된 장소(스마트시티)에서 레벨 4 수준의 자율주행이 가능한 기술을 완성할 계획이다.

4) 자율주행시스템 기술

자율주행을 위한 차량 시스템의 종방향 속도 제어 기술과 횡방향 제어 기술을 기반으로 기술과 적용 범위의 확장으로 자율주행 기술의 발전 단계를 설명하고, 트럭 등 상용차의 공기저항을 줄이기 위한 대열주행 기술과 자율주차 기술의 발전 단계를 설명한다.

각 세부기술의 도입시기는 다음과 같이 정리할 수 있으며, 기술의 세부내용은 다음과 같다.

그림 4-22 | 자율주행 시스템 기술 로드맵



자료: 저자 작성

(1) FSRA (Full Speed Range ACC) : 전 속도 구간 적응형 순항제어 시스템

전방차량을 추종하는 ACC(Adaptive Cruise Control) 기능이 40km/h 이상의 속도에서 작동되는 속도 범위를 저속구간까지 확대하여 전속도 범위에서 전방차량을 추종하거나 전방 차량이 없을 경우 설정한 속도로 주행하는 속도 제어 기능 등으로 구성된다.

초기 FSRA는 차량 감지를 위해 레이더를 사용하였으나, 이후 커브, 횡방향 이동 차량에 대한 감지 성능을 향상시키기 위해 카메라와의 퓨전을 통해 장애물을 인식한다. 속도제어를 위해서는 엔진제어기에서 가속을 제동제어기(ESC)에서 감속을 담당하도록 구성되어 협조제어를 통해 기능이 구현된다.

트럭이나 버스의 경우 전자제동장치의 보급이 최근 AEB의 신차 의무장착으로 확대되고 있으나, 국산화가 이루어지지 않아 수입에 의존하고 있는 실정이다. FSRA는 승용차에 탑재되어 2012년 상용화되었다.

(2) LKS(Lane Keeping System) : 차선유지 시스템

LKS는 FSRA가 작동되는 상황에서 차선을 따라가도록 조향제어를 수행하는 기능이다. 카메라로 오른쪽 차선과 왼쪽 차선을 인식하여 차량을 차선의 중앙에 위치하도록 조향제어를 수행한다. 국산 차량으로는 K9 2018 신규 출시 차량에 최초 탑재되었다.

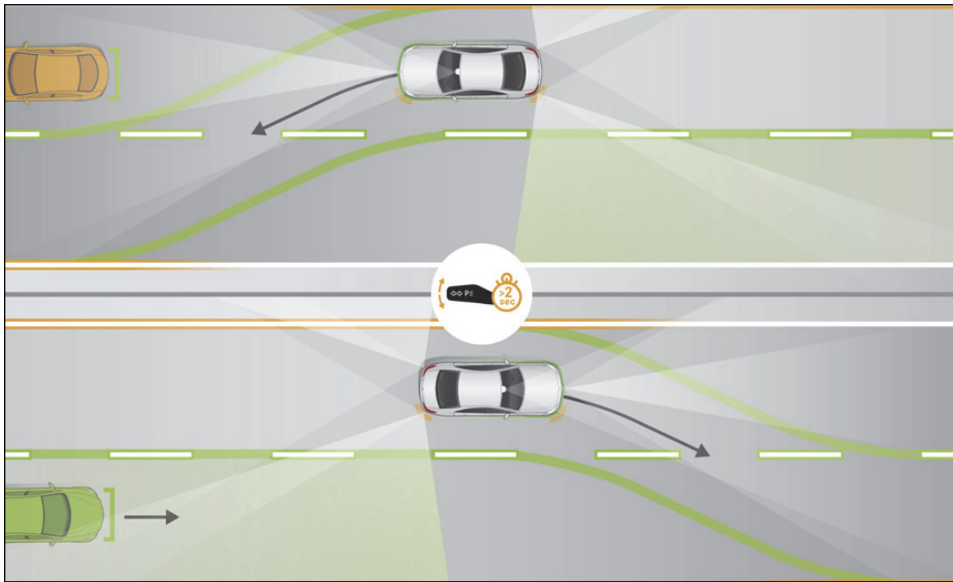
(3) LCS(Lane Changing System) : 자동 차선 변경 시스템

LCS는 자동으로 차선을 변경하는 기능으로 자율주행시스템의 단계에 따라 운전자가 주변상황을 인식하고 차선 변경 명령을 수행하여 차량이 차선을 변경하는 수준과 차량이 스스로 주변 환경을 인식하여 차선을 자동으로 변경하는 기능으로 나눌 수 있다.

운전자가 주변 상황을 인식하여 차량에 차선 변경을 하라는 명령을 보낼 때 차선 변경을 하는 기능은 자동차선변경 기능 개발 관련 정부 과제의 2018년 종료이후 상용화를 위한 추가 기술개발을 고려하여 2020년 도입이 가능할 것으로 예상된다.

차량이 스스로 주변 상황을 인식하여 차선을 변경하는 단계는 자율주행 Lv. 3의 수준으로 2025년 이후 상용화가 이루어질 것으로 전망된다.

그림 4-23 | 좌우 자동차선변경시스템 작동 예시



자료: <https://www.greencarcongress.com/2015/12/20151209-mb.html> 웹사이트, 검색일: 2019.8.2.

(4) 연속류 시험구간 자율주행(Lv. 2)

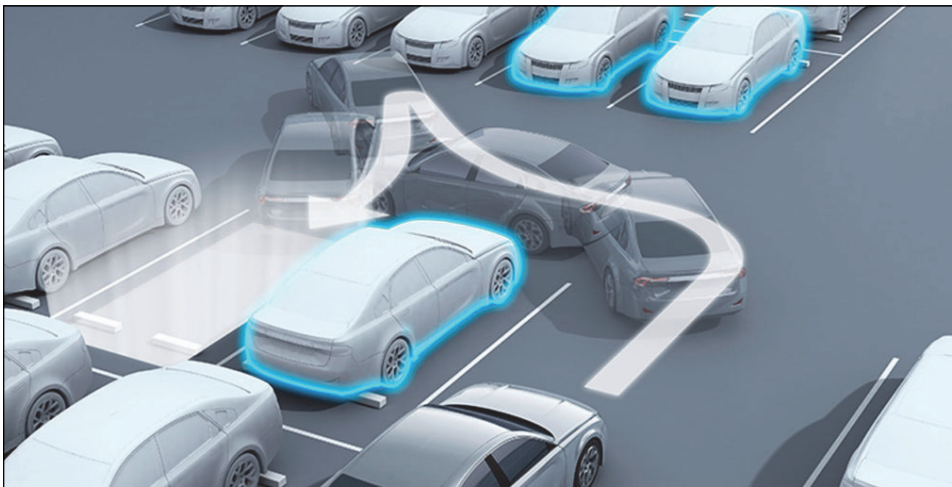
연속류 시험구간 자율주행은 신호등 없는 자동차 전용도로 시험구간에서의 자율주행으로 BRT 시험 운행을 포함한다. 버스전용차선 지정된 도로에서 차선을 유지하며 일정속도로 주행하거나 전방 차량을 추종하는 제어 기술이 탑재된다.

끼어들기나 차선 변경을 고려하지 않은 자율주행 초기 기술로 비정형 객체 및 시나리오에 대한 대응이 어려우며, 운전자의 전방 주시가 항상 필요하며 위험 상황에서의 운전자의 즉각적인 개입이 요구된다. 연속류 시험구간 자율주행 2019년 현재 일부 시험 운행 연구를 수행하고 있어, 기술안정화 이후 2022년 기술 도입이 가능할 것으로 전망된다.

(5) 자율주차(Lv. 2)

자율주차는 주차장 주차위치까지 운전자에 의해 운행이 된 이후 주차 공간 탐지, 조향 제어와 속도 제어를 통한 주차를 수행하는 기능이다. 운전자의 자동주차 명령에 의해 시작되며 카메라, 레이더, 초음파를 이용한 주변 장애물 인식 이후 운전자의 모니터링 하에서 자동 주차 기능을 수행한다. 운전자의 개입을 통해 안전한 주차 기능 구현을 위해 조향제어는 자동으로 수행되는 속도 제어는 운전자에 의해 조작될 수 있다. 운전자가 탑승한 자율주차(Lv. 2)는 2016년 국내 기술 개발을 완료하였다.

그림 4-24 | 센서기반 자율주차 기술 예시



자료: <https://www.japanautomotivedaily.com/2017/12/08/denso-begin-verification-testing-entry-automated-parking/>, 검색일: 2019.8.2.

(6) 자율 발렛 주차(Lv. 4)

자율 발렛 주차는 주차장 입구 또는 주차장 초입의 지정된 장소에서 운전자가 하차한 이후 자율주행으로 빈 주차공간으로 이동하여 자동주차를 수행하는 기능이다. 주차장의 빈 주차공간 정보를 차량에 제공해주기 위해 센서기반 주차장 점유 상태 감지가

가능하여야 하며 주차장에 진입한 차량에 주차 가능한 공간에 대한 정보를 제공해주어야 한다.

주차장 내 자율주행으로 이동 시 마주 오는 차량, 보행자 등을 회피하여 주행하는 기능이 필요하며 차선이 없는 주차장에서 주행 가능 영역을 찾아 주차 공간까지 이동하는 기능이 요구된다. 주차장 인프라와의 통신을 통해 주차장 정보와 현재 차량의 위치 정보 수신이 가능하며 주차장에서의 이동 경로 생성이 가능하여야 한다.

관제시스템이 탑재된 인프라와 유기적으로 협력주행을 수행하는 자율 발렛 주차는 관제시스템과의 통신방식, 실내 측위, 차량의 주행 공간 탐색, 고장 또는 이상 상황에 대한 대응 등의 추가 연구를 포함하고 있어 2025년 이후 국내 기술 도입이 가능할 것으로 전망된다.

(7) 연속류 고속구간 자율주행(Lv. 2)

신호등 없는 자동차 전용도로나 고속도로 구간에서 운전자의 전방 주시 상황에서 전방차량을 추종하거나 설정 속도로 주행하는 속도제어 기능과 차선을 유지하는 기능을 수행하여 일정 시간 자율주행을 수행하는 기능이다. 승용의 경우 현재 연속류 고속구간 자율주행(Lv. 2)이 상용화 되어 추후 상용차를 위한 기술 적용기간을 통해 2022년 이후 대중교통을 위한 기술로 도입이 가능할 것으로 전망된다.

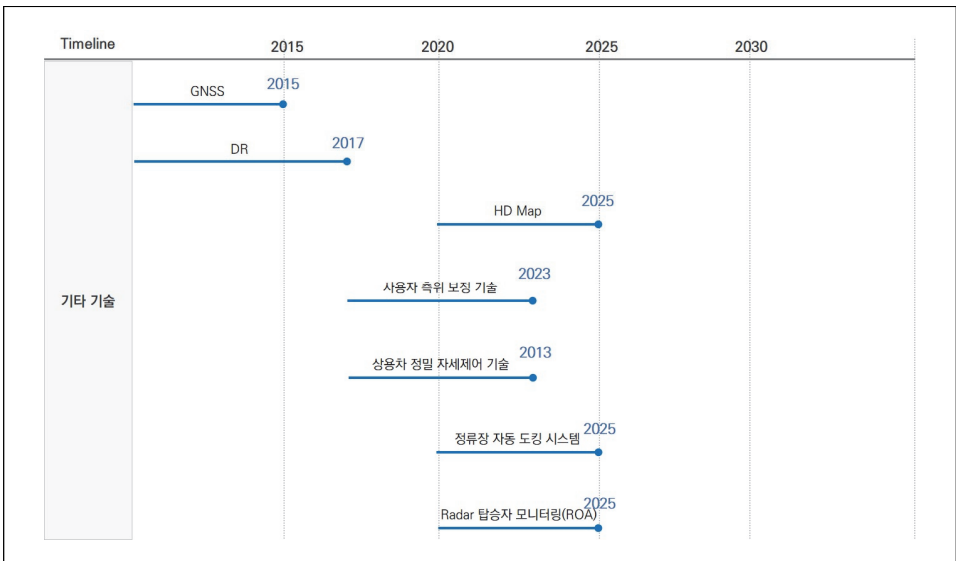
5) 자율주행 관련 기타 기술

자율주행을 위한 기타 기술로는 정밀한 위치 정보 계산과 자율주행을 위한 정밀한 도로 정보의 제공이 필수적이며 이를 위해 차량의 위치를 정밀하게 계산하는 GNSS 기술 및 DR(Dead Reckoning) 기술이 적용된다.

도로의 차선 단위까지 제공하는 고정밀 맵인 HD Map은 현재 일부 구간에 대하여 구축이 진행 중이며, 또한 버스, 트럭 등 상용차의 경우 운전자의 실수로 대형사고의 발생 가능성이 높고 사회적 손실이 높기 때문에 자율주행 기술에 대한 필요성이 높아짐에 따라 자율주행기술 연계를 위해 상용차 측위 보정 기술과 상용차 정밀 자세제어 기술이 필수적이다. 자율주행 버스를 위한 정류장 자동 도킹 시스템과 탑승자를 모니터링하기 위한 기술이 요구된다.

각 세부기술의 도입시기는 다음과 같이 정리할 수 있으며, 기술의 세부내용은 다음과 같다.

그림 4-25 | 자율주행 관련 기타 기술 로드맵



자료: 저자 작성

(1) GNSS(Global Navigation Satellite System) : 위성측위 시스템

1970년대 초 미국에서 개발된 GPS(Global Positioning System)은 특정 대상체의 위치를 정확하게 측정하기 위해 개발된 군사 목적의 시스템이지만 현재 일반 민간에게도 개방되어 널리 사용되고 있다.

대표적으로는 미국의 GPS, 러시아의 GLONASS, 유럽연합의 Galileo, 일본의 JRANS 등이 있으며 GNSS는 이러한 각국의 위성측위시스템을 통칭하는 단어로 쓰인다. 자율주행자동차의 본격적인 개발 및 필요성이 증대되면서 차량의 정밀한 위치 정보 계산을 위해 GNSS가 자율주행자동차 개발에 필수적인 역할을 수행하고 있다.

GNSS 단독 사용 시 실제 위치 정보와의 오차는 약 20m 정도로 크기 때문에 cm 단위의 정확도를 요하는 자율주행 기술에 사용하기 위해서 GNSS와 관성항법장치인 INS(Inertial Navigation System), 주행기록계(Odometer) 등과 같은 차량 센서를 융합하여 정밀도를 향상시킨다.

(2) DR(Dead Reckoning) : 추측항법, 추측측위

GNSS는 위성으로부터 데이터를 전달 받기 때문에 터널이나 지하 등 음영지역에서는 데이터가 부정확하거나 데이터 수신에 불가한 단점을 가지고 있다. DR은 이런 단점을 보완하기 위해 관성센서와 차량 각속도센서를 이용한 추측항법 기술을 적용하여 GNSS 정보 부재 시 차량의 위치를 추적한다.

DR 기술은 차량의 회전 방향을 파악할 수 있는 자이로 센서와 가속도 센서가 내장되어 있고 이동 거리를 추적할 수 있도록 차량의 차속 센서와 연계하도록 설계되어 있으며 각 제조사별 알고리즘에 의해 구현된다.

(3) HD MAP : 고정밀 지도

자율주행을 위해서는 적어도 50cm 이하의 지도 정확도가 확보되어야 하며 주행도로에 대한 차선, 신호등, 표지판 등 자율주행을 위해 필요한 도로교통 정보를 구분하는

작업이 필요하며 위성지도, 등고선 지도 등을 활용하여 보정 및 검증하는 후처리 절차가 필요하다.

자율주행을 위한 HD MAP 구축에는 많은 비용과 시간이 요구되고 일반적인 내비게이션 지도에 비해 용량이 매우 크기 때문에 저장, 활용, 업데이트 등의 어려움이 있어 이를 해결하기 위한 여러 가지 방안을 논의 중이다.

고정밀 지도를 제작하고 있는 주요 업체는 Google, Here, 탐탐 등이 있으며, 국내에서는 현대엠엔소프트가 자체 정밀지도를 구축하고 있다. Google은 3D 인지가 가능한 라이더 센서를 활용하여 차선 구분이 가능한 HD급 정밀지도를 제작하고 검증하고 있으며, 독일의 주요 자동차 OEM에서는 공동으로 지도 제작업체인 Here를 인수하여 유럽 및 미국 등지에서 정밀지도를 제작하고 있다.

현대엠엔소프트에서 사용하는 MMS(Mobile Mapping System)은 환경인식 센서(레이더/라이더/카메라 등)와 위치 인식 센서(RTK-GPS/INS/DMM 등)들을 조합해 장착한 차량으로 데이터를 취득하여 10~20cm 오차 수준의 3차원 HD MAP을 구축해오고 있으며, 2016년에는 국내 9개 구간의 고속도로와 일반도로 500km 구간의 HD MAP을 구축하였다.

국토교통부가 MMS(Mobile Mapping System)를 이용하여 2025년까지 전국 4차선 이상의 일반도로 21,000km를 대상으로 정밀 맵을 구축할 예정이며 고속도로 등 일부 구간에 대해 이용이 가능한 시기는 2020년 이후로 전망된다.

(4) 상용차 측위 보정 기술

상용차의 측위 보정 기술은 GPS를 이용한 현재 위치에 대해 보정을 통해 오차범위를 줄이는 기술을 의미하며, 상대적으로 크기가 큰 상용차의 경우 기준점을 중심으로 한 위치 측정과 차량의 자세와 크기를 고려한 차량 점유 공간에 대한 정보를 계산하여 후방 차량 및 주변 차량에 정보를 제공한다.

대표적인 상용차의 측위 보정기술은 볼보 트럭의 “I-See”, 다임러의 “PPC”, 이베코의 “하이크루즈컨트롤”, 타타대우의 “프리비전” 등이 있으며 이는 GPS와 전자 지도

를 통해 데이터를 수집하고 도로의 상황과 지형을 예측하고 이에 맞게 능동적인 차량의 제어를 수행한다.

최근 자율주행버스의 시험운행을 수행한 KT의 경우 GPS 정보를 보정하는 “정밀 측위” 기술은 자율주행의 주요 기능 중 하나이며, DGPS 및 5G기술을 접목한 측위 보정 기술은 2020년 이후 상용화가 전망된다.

(5) 상용차 정밀 자세제어 기술

상용차는 길이와 폭이 승용에 비해 상대적으로 크기 때문에 주행 가능 영역 및 차선 내 정밀 자세제어가 요구되며, 후진 또는 주차 시 주변 지형지물과의 충돌 여부를 판단하기 위한 정밀한 속도와 횡방향 제어 기술이 필요하다.

미국 캘리포니아의 PATH 프로젝트에서는 캘리포니아 주와 카네기멜론 대학에서 차량의 동시 가감속 제어를 통한 차량 간격 제어를 통한 상용차 군집주행 기술을 시연하였고, 유럽의 경우 SARTRE(Safe Road Trains for the Environment) 프로젝트를 통해 상용차의 군집주행에 관한 연구를 통해 상용차의 정밀 자세제어 기술과 군집주행 기술에 대한 연구를 수행하였다.

상용차의 정밀한 자세제어는 차량의 상태를 정밀하게 추정하기 위한 속도센서, 자이로센서, 관성센서의 탑재가 요구되며, 이를 이용한 정밀 자세제어는 2023년 이후 상용화가 이루어질 것으로 전망된다.

(6) 정류장 자동 도킹 시스템

자율주행버스는 정류장에 도착하여 승객의 승하차를 위해 인도와 인접하여 정차하는 자동 도킹시스템이 필요하다. 2013년 한국철도기술연구원에서는 자율주행 버스에 대하여 정류장에 정밀한 정차를 위한 자동 도킹 시스템에 대한 기초 연구가 수행되었으며, 정부에서는 2023년까지 세종시에 자율주행 버스를 총 200대를 투입하는 방안을 추진 중이다. 따라서, 자율주행 버스가 정차하는 정류장 자동 도킹 시스템에 대한 연구

가 활발하게 이루어질 것으로 전망되며 차량의 자체 센서를 이용한 방식과 정류장과 통신을 융합한 도킹 방법이 가능할 것으로 전망되며, 2020년부터 정류장 자동 도킹 시스템 개발이 진행될 경우, 2025년 상용화가 전망된다.

(7) 탑승자 모니터링 장치

Radar 또는 Camera 센서 등을 이용하여 버스에 탑승한 승객의 수를 측정하거나 추정하는 기술이다. 승용의 경우 승객의 탑승 유무를 레이더 센서를 이용한 검지 기술이 개발되고 있어 이를 응용한 탑승자 모니터링 장치는 2025년 이후 상용화가 가능할 것으로 전망된다.

2. 자율주행 비기술 동향 분석

1) 국내·외 연구 동향

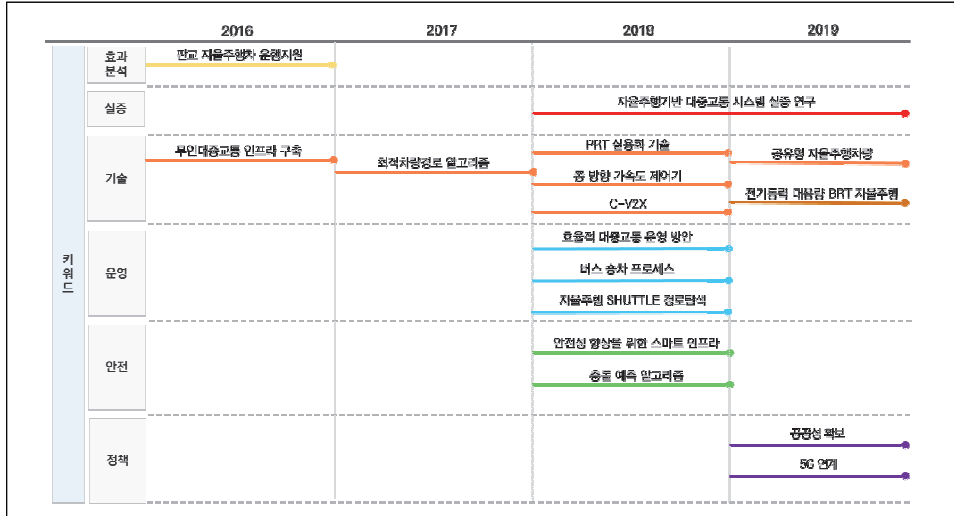
국내·외 자율주행 대중교통 관련 연구동향 분석결과, 국내는 2016년부터 2019년 현재까지 기술개발에 중점을 두어 연구를 진행하였고, 판교 자율주행 셔틀에 대한 실증 연구도 최근 수행하였다.

반면, 국외는 국내에 비해 약 3년 앞서 기술개발 연구가 수행되었고, 그 후 완성된 기술을 토대로 서비스 운영을 어떻게 할지에 대한 연구가 수행되었으며, 시민의 자율주행기반 대중교통 서비스에 대한 수용성 및 실증 운행의 효과분석 연구가 수행되고 있다.

이러한 점으로 미루어 볼 때, 국내의 자율주행 대중교통 연구는 국외 선진국에 비해 약 3년 뒤쳐져 있으며, 향후 국내 기술개발 완료 후, 운영, 수용성, 효과분석 등에 대한 연구가 활발히 진행될 것으로 예상된다.

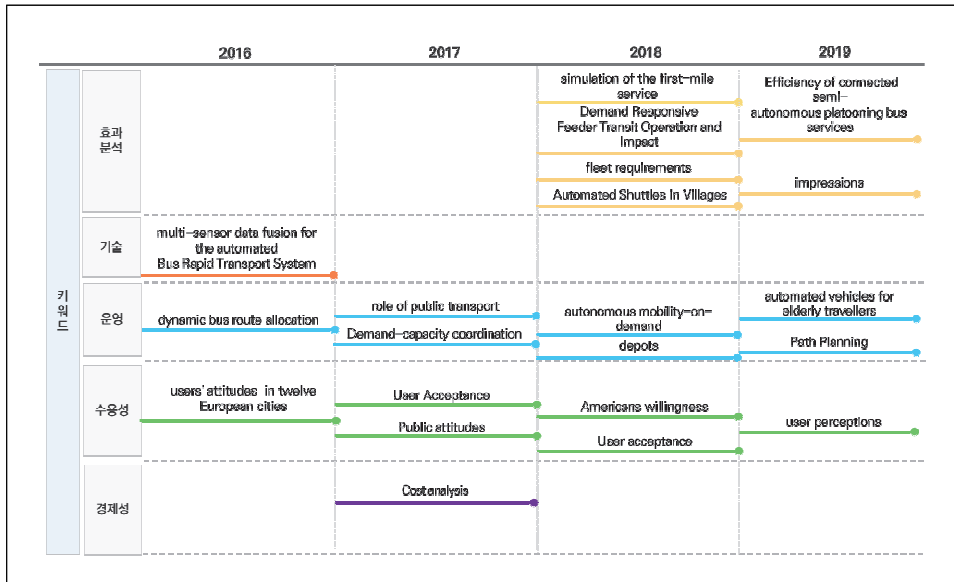
각 키워드 별 국내·외 핵심과제 수행 현황은 다음 그림과 같이 나타낼 수 있다.

그림 4-26 | 국내 자율주행 대중교통관련 연구 동향



자료: 저자 작성

그림 4-27 | 국외 자율주행 대중교통관련 연구 동향

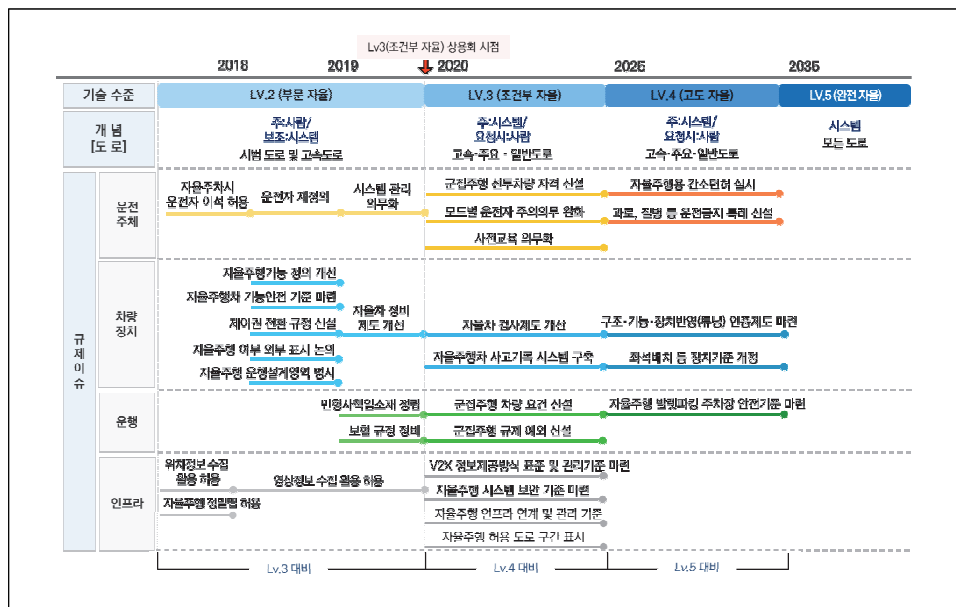


자료: 저자 작성

2) 규제이슈 현황

자율주행 대중교통을 포함한 전체 자율주행차량의 규제이슈에 대해서는 운전주체, 차량 및 장치, 운행, 인프라 4개 영역으로 정의할 수 있다. 운전주체 영역에서는 2020년까지 운전자 개념을 사람 뿐 아닌 시스템에게 부여하는 내용을 개정하고, 자동주차를 위한 운전자 이석도 허용하였고, 차량 및 장치 영역에서는 제어권 전환규정 (경고장치, 모드전환 표시장치 등)과 차량정비, 검사제도 등에 대해 정의하였다. 운행영역에서는 자율주행차량의 사고 시 책임에 대한 사회적 합의와 보험에 대한 정비를 명시하고 있으며, 인프라 분야에서는 위치정보 수집 허용을 포함한 차량간 통신제공방식 표준 및 관리기준, 시스템 보안 기준 등을 정의하였다.

그림 4-28 | 규제 이슈관련 로드맵



자료: 자율주행차분야 선제적 규제혁파 로드맵 (제56회 국정현안점검조정회의) 자료 저자 재구성

3. 서비스 도입순서 및 시기 예측

1) 서비스 도입을 위한 필수 기술 정의

서비스 도입순서 및 시기 예측을 위해서는 경제적 타당성, 운영방식의 결정, 사회적 수용성, 부작용에 대한 대책 마련, 기술개발 완료 등의 여러 측면을 고려해야하지만, 본 연구에서는 기술개발 완료 시점에 중점을 두어 도입순서와 시기를 제시하였다. 또한, 제시된 순서와 시기에 효율적인 도입을 위한 첨단인프라 구축방안 및 법·제도 개선 방안도 제시하였다.

환경인식기술에서 시내주행을 위한 보행자 및 기타 장애물 검지를 위한 79GHz MRR(Mid Range Radar), AI기반 다중 객체 인식 카메라 기술은 2023~2025년, 영상 기반 거리정보 획득을 위한 스테레오 카메라는 2025년 국내 상용화를 예상한다.

안전기술에서 충돌 회피 및 완화를 위한 비상조향기능(ESF)은 2023년, 통합 충돌 회피는 2025년, 완전 사고 회피(Lv. 5)는 2030년 이후 도입이 가능할 것으로 예상되며, 도로이탈방지와 교차로 충돌경고시스템은 2020년 이후 대중교통에 도입을 예상한다.

통신기술은 자율주행 일반승용차나 대중교통 모두 공통된 기술 적용을 보이고 있으며, 그 중 관제센터 구축을 통한 대중교통 제어를 위한 V2I관제는 2020년 이후 대중교통에 도입 가능할 것으로 예상된다.

자율주행 기술 중 연속류 고속구간 자율주행은 2022년, 개방형 구간 주행을 위한 차선변경시스템, 자율 발렛 주차기능, 신호 인식기반 단속류 자율주행은 2025년 상용화 예상된다.

기타 기술로는 정류장 자동 도킹시스템 및 탑승자 모니터링 장치가 2025년 이후 상용화가 가능할 것으로 예상된다.

이와 같이, 총 5개의 대분류 기술개발이 자율주행 대중교통을 위해 준비되고 있으나, 그 외에 연구, 법·제도 측면의 지원도 중요하며, 기술의 한계를 극복하기 위한 인프라 측면의 보완도 요구되며, 국내 자율주행기반 대중교통 도입을 위해 이용자 수용

성, 운영에 대한 연구가 요구된다. 수요응답형 대중교통을 위한 경로탐색 알고리즘에 대한 연구가 국내·외에서 수행되었고, Operation Research에서 다뤄지는 Travelling Salesman Problem과 유사하다. 또한, 규제 이슈 측면에서 자율주행 단계에 대응한 관리기준이 시급히 정비되어야 한다.

따라서, 자율주행 대중교통 서비스의 필수 기술 조건을 분류하면 다음과 같이 정리할 수 있다.

표 4-2 | 자율주행기반 대중교통 서비스 분류 조건 (● (필수), ○ (선택), ○ (해당없음))

분류	기술명	자율주행기반 대중교통 서비스			
		자율주행 간선/BRT	자율주행 지선	자율주행 순환/셔틀	자율주행 DRT
자율주행 환경인식 기술	77GHz LRR	●	●	●	●
	24GHz SRR	○	●	●	●
	79GHz MRR	○	●	●	●
	전방카메라	●	●	●	●
	AI기반 다중 객체 인식 카메라	○	●	●	●
	장거리 초음파 센서	○	○	○	●
	라이다	○	○	○	●
	열화상 카메라	○	○	○	○
	플래쉬 라이다	○	○	○	●
	Tri-focal 카메라	○	○	○	○
	스테레오 카메라	○	○	○	○
자율주행 안전 기술	ESC (Electronic Stability Control)	●	●	○	○
	TPMS (Tire Pressure Monitoring System)	●	●	○	○
	ACSF (Automatically Commanded Steering Function)	●	●	●	●
	ESF (Emergency Steering Function)	○	○	○	●
	완전 사고 회피	○	○	○	○
	AEBS (Autonomous	●	●	●	●

분류	기술명	자율주행기반 대중교통 서비스			
		자율주행 간선/BRT	자율주행 지선	자율주행 순환/셔틀	자율주행 DRT
	Emergency Braking System)				
	통합 충돌 회피	●	●	●	●
	LDW (Lane Departure Warning)	●	●	●	●
	FCW (Forward Collision Warning)	●	●	●	●
	RDW (Road Departure Warning)	●	●	●	●
	CIWS (Cooperative Intersection Warning System)	●	●	●	●
	WVICW (Vehicle to Vehicle Intersection Collision Warning System)	●	●	●	●
	교차로 충돌 회피(AEB-I)	●	●	●	●
자율주행 통신 기술	DSRC (Dedicated Short Range Communication)	●	●	●	●
	WAVE (Wireless Access in Vehicular Environments)	●	●	●	●
	4G-LTE	○	●	●	●
	E-Call	●	●	●	●
	5G 정보제공 인프라	○	●	●	●
	LDM 서버	○	●	●	●
	V2I 관제	○	●	●	●
	V2I 교차로 신호 정보 제공	○	●	●	●
	V2I 기반 합류로 정보 제공	○	●	●	●
	V2V 기반 교차로 차량 정보 제공	○	●	●	●
	보행자 위치 정보 제공(V2P)	○	●	●	●
자율주행 시스템 기술	FSRA (Full Speed Range ACC)	●	●	●	●
	LKS	●	●	●	●
	LCS (Lane Change System)	○	●	●	●
	연속류 시험구간 자율주행(Lv.2)	●	●	●	●

분류	기술명	자율주행기반 대중교통 서비스			
		자율주행 간선/BRT	자율주행 지선	자율주행 순환/셔틀	자율주행 DRT
	자율주차(Lv.2)	●	●	●	●
	자율 발렛 주차(Lv.4)	○	●	●	●
	연속류 고속구간 자율주행(Lv.2)	●	○	○	○
자율주행 기타 기술	GNSS(Global Navigation Satellite System, 위성측위 시스템)	●	●	●	●
	DR(Dead Reckoning, 추측항법, 추측측위)	●	●	●	●
	HD MAP (고정밀 지도)	●	●	●	●
	상용차 측위 보정 기술	●	●	●	●
	상용차 정밀 자제제어 기술	●	●	●	●
	정류장 자동 도킹 시스템	●	●	●	●
	탑승자 모니터링 장치	●	●	●	●

자료: 저자 작성

2) 서비스 도입순서 및 시기 예측

각 서비스의 도입을 위한 개발이 선행되어야 하는 필수 기술요소 중, 가장 늦게 완료되는 기술의 개발완료 시점 분석을 통해, 서비스 도입 순서 및 시기를 예측하였다.

BRT는 폐쇄형 서비스로서 도입을 위한 주경로를 분석하면 2022년 기술개발 완료 예정인 연속류 고속구간 자율주행 기술이 최상경로 (Critical Path)라 할 수 있으며, 자율주행 셔틀 서비스는 2025년 개발완료 예정인 79GHz MRR과 AI기반 다중객체 인식 카메라가 최상경로이며, 자율주행 지선 서비스도 동일하다.

자율주행 수요응답형 서비스는 통합 충돌 회피, CIWS (Cooperative Intersection Warning System), VVICW(Vehicle to Vehicle Intersection Collision Warning System)이 최상경로로 이는 2020, 2025년에 개발 완료를 목표로 한다.

따라서, 현재 자율주행 셔틀 서비스는 시범운영 중에 있으나, 완전한 형태의 서비스를 갖춘 셔틀 서비스는 기술완료 시점 분석을 통한 결과, 자율주행 BRT에 비해 약

3년 늦게 상용화될 수 있으며, 지선서비스도 비슷한 시기 상용화를 기대한다.

자율주행 수요응답형 서비스도 2025년 기술개발 완료되는 기술들의 조합을 통해 서비스가 가능할 것으로 예상되지만, 지선 및 셔틀 서비스와 비교하면 상대적으로 더 많은 기술이 요구되므로 두 서비스 상용화 후 도입 가능할 것으로 예측된다.

최종적으로 자율주행 대중교통 서비스의 도입 시기와 순서는 다음과 같다.

그림 4-29 | 자율주행 대중교통 서비스 도입 순서 및 시기



자료: 저자 작성

4. 첨단인프라 구축방안

1) 정의

본 연구에서 「자율주행 대중교통 첨단인프라」란 자율주행기술 기반의 대중교통 서비스가 안전하고 효율적으로 운행하기 위해 도로 및 교통 분야에서 기술적 지원을 하는 모든 기반시설 및 정보통신기술로 정의한다.

또한, 자율주행 대중교통 뿐 아니라 모든 자율주행차량(승용, 화물 등)의 안전하고 효율적인 주행을 위한 필수 공통 요구사항도 함께 제시하였다. 일부 요구사항에 대한 인프라 측면의 개선이 어려울 경우, 자율주행차량의 알고리즘 개발을 통해 보완이 가능할 것으로 예측된다.

2) 도로 및 교통 인프라

(1) 차선관리

오래되어 희미해지거나 파손된 차선을 보수하여 카메라를 통한 주·야간 주행 차선 식별 성능을 확보해야 한다. 또한, 야간 식별 성능 향상을 위해 형광물질 함량 관리 철저 및 기준치 상향 조정이 검토되어야 하며, 교차로에서 좌회전 시 자율주행차에서 차선 인식이 가능하도록 보조 차선을 명시해야 한다.

(2) 도로 및 표지판 관리

도로의 파열, 포트홀, 갈라짐으로 인해 차선 오인식 발생 가능성을 제거해야 하며, 도로의 제한속도 및 기타 교통 표지판의 일관성 유지 및 자율주행차를 고려한 설치 위치를 점검해야 한다. 표지판의 경우 전방카메라의 수평화각 40도와 인식 가능한 거리를 고려해야 한다.

혼란을 유발할 수 있는 제한속도 표시와 보행자로 오인식이 가능한 지역의 표지판 이전 또는 재설치가 고려되어야 하며, 버스전용차로 인식을 위한 추가 시설물 설치 운영(예: 자석, 스마트코드 등)을 고려해야 한다. 또한, 도로의 경계면 인식이 용이하도록 시설물 추가 또는 도로 관리가 요구된다.

3) 시설물

(1) 주행 환경 개선 시설물

터널이나 도심 고가도로 하단의 GPS 음역지역 해소를 위한 GPS 대체 시설물 구축 및 운영이 요구되며, DMB와 방송 인프라를 활용한 측위 보정시스템 구축 및 운영이 필요하다. 또한, 위치 정보 계산이 가능한 표식을 포함한 교통 표지판 또는 시설물 구축이 요구된다.

(2) 비상 상황 대응 시설물

자율주행차량의 고장 또는 시스템 이상 상황에서 안전하게 차량을 정차할 수 있는 노변 충격 흡수 시설물 또는 임시 주차 구역을 확보해야 하며, 도로 낙하물 모니터링 시스템이 필요하다.

(3) 자율주행 대중교통 정류장 시설

정류장으로 접근하는 버스에 탑승할 승객의 유무를 판단할 수 있는 시설을 탑재한 정류장의 구축 및 운영이 요구되며, 정밀주차 및 도킹 시스템을 탑재한 정류장 시설 구축 및 운영이 필요하다.

4) 정보통신 기술

(1) 교통정보 제공 인프라 구축 및 운영

노면에서 차량에 정보를 제공하는 V2X 인프라 구축 및 운영이 요구되고, 고정밀맵을 구축하여, 정보제공 인프라를 통해 수집된 이동 장애물과의 정보 연계 과정을 통한 체계적인 LDM 서버 구축 및 운영이 필요하다.

또한, LDM 서버 및 V2X를 통한 정보의 무결성 확보를 위한 보안성 강화 및 중요 신호에 대한 이중화 기술을 통해 자율주행 대중교통의 효율적 운영을 도모할 수 있으며, 노면, 날씨, 시계, 조도 등을 분석하여 도로 구간별 자율주행 운행 가능정보 제공이 요구된다.

(2) 자율주행 대중교통 관제 센터

운전자가 사라진 대신, 관리자의 역할이 증가하므로 운행상황을 모니터링하여 돌발 상황에 개입할 수 있는 관제센터 구축을 통해 실시간 도착정보 및 수단 별 정보 제공을 위한 데이터 수집 및 활용 역할을 기대한다.

5. 법·제도 개선방안

자율주행기반 대중교통의 효율적 도입을 위해 다음의 법령 및 훈령·지침을 검토하였다. 2020년 5월 시행예정인 자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률의 제9조 여객의 유상운송에 관한 특례 뿐 아니라, 아래 표에 제시된 대중교통 버스 관련 법령에 자율주행기반 대중교통의 효율적 운영을 위한 법·제도 관리방안을 제시하였다.

표 4-3 | 대중교통 버스 관련 법령

구분	명칭
법령	여객자동차운수사업법.시행령.시행규칙
	대중교통 육성 및 이용촉진에 관한 법.시행령.시행규칙
	물가안정에 관한 법률.시행령
	근로기준법.시행령.시행규칙
	교통안전법시행령.시행규칙
	교통약자의 이동편의 증진법.시행령.시행규칙
	자동차관리법.시행령.시행규칙
훈령·지침	자동차 및 자동차 부품의 성능과 기준에 관한 규칙
	여객자동차터미널 구조 및 설비기준에 관한 규칙
	여객자동차 운송사업 운임.요금 등 조정요령
	여객자동차 운수사업 인.면허업무처리요령
	시내버스 운전자 보호격벽 설치에 관한 기준
	교통안전관리 규정 심사 지침
	사업용자동차 운전자 운전적성에 대한 정밀검사 관리규정
	여객자동차 유가보조금 지급지침

자료: 저자 작성

자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률 제9조(여객의 유상운송에 관한 특례)에 시범운행지구에서 유상으로 서비스를 제공할 수 있는 한정운수면허 발급만을 명시하였다. 자율주행자동차 상용화 촉진 및 지원에 관한 법률에 대중교통에 대한 ‘조’를 신설하여 다음의 내용을 포함하거나 대중교통 관련 각 법령을 다음과 같이 개선할 것을 제안한다.

(1) 운수종사자 면허 관련 기준

현 법령에 운수종사자의 면허는 운전자에 한정되어 있어 이를 차량도 포함하도록 법령을 개선하고, 기존 버스운전 자격시험 등에 대해서도 자율주행차량의 성능평가 등으로 대체할 수 있는 방안 마련이 요구된다.

세부적으로 자율주행 대중교통의 안전한 운행, 체계적 관리를 위한 요구사항 정립 (예: 운행주체의 의무/교육내용 및 방법), 운전자의 필수 휴식시간과 관련된 항목 개정 등이 필요하다.

이와 관련된 법령은 다음과 같다.

관련법령

여객자동차운수사업법. 시행령. 시행규칙

제5조(면허 등의 기준)

제21조(운송사업자의 준수 사항)

제22조(운수종사자 등의 현황 통보)

제24조(여객자동차운송사업의 운전업무 종사자격)

제25조(운수종사자의 교육 등)

제26조(운수종사자의 준수 사항)

교통안전법시행령. 시행규칙

제7조(차량 운전자 등의 의무)

(2) 자율주행차량 표시 의무

기존 버스의 외관에 노선번호와 서비스별 정해진 색상에 대한 의무조항과 마찬가지로 자율주행차량임을 식별할 수 있는 표시 의무화 방안 마련이 요구된다.

이와 관련된 법령은 다음과 같다.

관련법령

여객자동차운수사업법. 시행령. 시행규칙

제17조(자동차 표시)

자동차관리법

제16조(자동차등록번호의 부여)

여객자동차운수사업 인·면허업무처리요령

제23조의9(버스번호 부여)

제23조의10(차량의 색상)

(3) 자율주행 대중교통을 위한 정류장 시설 정의

자율주행 대중교통의 정밀주차 및 도킹 시설을 여객자동차터미널 구조 및 설비기준에 관한 규칙에 추가하고, 전기자동차 충전시설 또한 의무화하는 방안이 요구된다.

이와 관련된 법령은 다음과 같다.

관련법령

여객자동차터미널 구조 및 설비기준에 관한 규칙

제5조(유도차로 및 주차장소)

(4) 관제 및 데이터 관리센터 정의

자율주행 대중교통의 운행정보와 차량정보 등을 일반차량과 식별할 수 있는 코드를 부여하는 등 데이터 관리를 위한 내용의 정의가 필요하며, 이와 관련된 법령은 다음과 같다.

관련법령

버스정보시스템의 기반정보 구축 및 관리 요령

제9조 (차량정보 구축)



CHAPTER 5

결론 및 향후 과제

- 1. 결론 및 정책제언 | 145
- 2. 연구의 한계와 향후 과제 | 149

결론 및 향후 과제

본 장에서는 연구의 주요결과를 요약·정리하고 이를 통한 시사점, 국내 기술수준에 기반한 도입 시기 예측, 자율주행 대중교통 서비스 확대 및 국내 도입 가속화 등의 정책제언을 제시하였다. 또한, 본 연구의 한계점인 기술개발 동향만을 고려한 자율주행 대중교통 서비스 도입 순서 및 시기 예측에 대한 한계, 구축방안에 대한 내용적 한계, 법·제도 개선방안에 대한 제시 한계 등을 명시하고 이에 대한 향후과제를 제시하였다.

1. 결론 및 정책제언

1) 결론

(1) 자율주행 대중교통 관련 연구의 시급성

국내·외 많은 국가들에서 자율주행 시대를 맞이할 준비를 철저히 하고 있으며, 완전 자율주행 시대는 안정성, 효율성 확보, 비싼 판매가격, 도시 교통문제 해결 등의 이유로 승용보다는 대중교통으로 도입이 더 기대고 있으나 이에 대한 연구가 부족하다.

(2) 자율주행 관련 선행연구 시사점

본 연구에서 검토한 국내·외 자율주행 및 자율주행 대중교통 관련 기술개발, 선행연구, 실증사례 등을 분석한 결과, 국내 자율주행 대중교통 관련 연구는 2016년 이후 증가추세를 나타내고 있으며, 그 내용은 주로 기술에 대한 것이다. 반면, 해외 선진국

은 기술에 대한 연구는 이미 완료된 상태이고 기술 실증에 대한 효과분석 연구와 이용자 수용성에 대한 연구가 주로 수행되고 있다.

자율주행 셔틀의 실증은 국내 판교, 대구 수성 알파시티에서 진행되었고, 전 세계적으로 북미지역과 유럽이 선도적으로 자율주행 대중교통을 시험운행 또는 정해진 짧은 구간의 노선을 운행 중에 있으며, 세부적으로 살펴보면 북미 18개 도시(미국 14개, 캐나다 4개 도시), 유럽 20개, 아시아 5개, 오세아니아 4개 등 약 50여개 도시에서 자율주행 대중교통 셔틀서비스가 시험운행 완료 또는 진행 중에 있다.

대부분이 소형차량을 이용한 저속 셔틀 서비스이지만, 고속주행 서비스도 시범운행을 한 사례가 있다. 현재까지 사례를 종합하여 분석하면, 자율주행 대중교통 시범운행이 시민을 위한 교통서비스 역할보다는 차량의 기술개발 실증을 위한 제한구역(테스트 베드) 내 시범운행의 성격이 강하다고 할 수 있다.

(3) 자율주행 대중교통 서비스 정의

자율주행 대중교통이 국내 도입 가능한 서비스로는 차량제원과 운행조건 등을 고려하여 본 연구에서는 자율주행 순환/셔틀, 자율주행 간선/BRT, 자율주행 DRT, 자율주행 지선으로 정의하며, 특히 셔틀과 BRT에 중점을 두어 연구를 진행하였다.

자율주행 순환/셔틀은 저속주행이 가능한 소형차량을 대상으로 단속류, 개방형 도로를 일반차량과 혼재하여 주행하며, 기존 대중교통의 접근성 개선을 위한 first/last mile 서비스로 활용가능하다.

자율주행 간선/BRT는 고속주행이 가능한 중·대형 차량을 활용하여 폐쇄형, 연속류 구간의 중·장거리 주행을 하며, 전용차로 주행을 통해 정시성이 확보된 서비스를 제공할 수 있다.

자율주행 DRT는 저속주행의 소형차량을 활용하여 이용자 수요에 따라 동적 경로 탐색을 실시하여 교통소외 지역 및 교통약자를 위한 서비스를 제공할 수 있다.

자율주행 지선은 저속주행 기반의 중·대형 차량을 활용하여 개방형, 단속류의 고정 단거리 노선을 주행하는 서비스로 활용할 수 있다.

(4) 자율주행 대중교통 도입효과

기존 대중교통 서비스의 문제점은 운전자 실수로 인한 사고와 고령 운전자 증가로 인한 안전 취약 문제, 낮은 접근성, 차내 혼잡 등으로 요약할 수 있다. 낮은 접근성과 차내 혼잡 문제는 운영비와 직접 연관이 있으며, 운영비의 가장 높은 비율을 차지하는 비용은 노무비로 나타났다.

자율주행 대중교통이 도입되면, 기존 대중교통 서비스에 비해 안전성과 서비스질이 향상될 것으로 기대된다. 또한, 노무비 절감으로 인해 기존 서비스에서 자율주행 서비스로 전환될 경우, 수송용량이 증가할 수 있으며, BRT의 경우 짧은 차두거리를 유지한 군집주행이 가능해 낮은 구축비용으로 LRT 대비 높은 효과를 나타낼 수 있으며, 자율주행 수요응답형 서비스라는 새로운 교통서비스를 제공하여, 적자노선, 교통소외지역, 고령자 등의 교통약자 문제 등을 완화시킬 수 있다.

전기 동력의 자율주행차량 도입 시, 환경오염 감소 효과를 기대할 수 있으며, 운행 시스템 최적화를 통해 기존의 운전자 운전습관에 의해 발생한 급가·감속 빈도감소로 경제운전이 가능하다.

이용자 설문조사 결과 자율주행 대중교통 도입에 대해 전체 응답자의 약 64%가 긍정적인 의견을 보였으며, 안전성에 대한 기대가 높게 나타났다.

(5) 자율주행 관련 기술 개발동향에 따른 서비스 도입순서 및 시기

한국자동차연구원과 협동연구를 통해 자율주행 환경 인식, 안전, 통신, 시스템, 기타 기술 등에 대해 기술 개발동향을 분석하였고, 이를 기반으로 서비스 도입순서 및 시기를 예측하였다.

자율주행 BRT는 2022년 경, 자율주행 셔틀은 이보다 약 3년 늦은 2025년 경 기술 개발 완료에 따라 기술적으로 도입이 가능하다고 할 수 있으나, 경제적 타당성, 운영방식의 결정, 사회적 수용성, 부작용에 대한 대책 마련 등에 대한 충분한 논의 또한 요구된다.

(6) 효율적 구축방안 제시

자율주행 대중교통이 효율적으로 구축되기 위해서는 도로 및 교통 인프라 측면에서 차선관리와 도로·표지판 관리가 필요하며, 시설물 측면에서 주행 환경 개선 시설물, 비상 상황 대응 시설물, 자율주행 대중교통 정류장 시설에 대한 적절한 검토가 필요하다. 이와 더불어 교통정보 제공 인프라 구축 및 운영과 관제센터에 대한 역할도 중요하다.

또한, 법·제도 측면에서 운수종사자 면허 관련 기준, 자율주행차량 표시 의무, 자율주행 대중교통을 위한 정류장 시설 정의, 관제 및 데이터 관리센터 정의 등에 대한 관련 법 개정이 요구된다.

2) 정책제언

(1) 국내·외 기술개발 동향 및 선행연구 분석을 통한 국내 도입 시사점 도출

활발한 연구가 진행되고 있지 않은 자율주행기반 대중교통 분야에 대한 국내·외 선행연구와 시범운행 중인 국내·외 사례 분석을 통해, 현 국내수준을 진단하고 국내 도입을 위한 기초자료로 활용할 수 있다.

(2) 국내 기술수준에 기반한 도입시기 예측

자율주행차 도입시기를 해외 컨설팅 보고서에 의존했던 것과 달리, 국내 기술개발 수준에 맞는 객관성 있는 자율주행기반 대중교통의 도입시기 예측을 통해 로드맵을 구축하였으며, 서비스 도입 순서 및 시기 예측을 통해, 서비스 도입을 위한 요구사항 및 정책수립 타임라인 등을 제시할 수 있다.

(3) 자율주행기반 대중교통 서비스의 확대

지금까지 자율주행 대중교통은 곧 자율주행 셔틀이라 할 수 있을 정도로 그 범위가 국한되어 있었으나, 본 연구에서 제시한 다양한 서비스를 통해 미래 대중교통 체계 변화를 예측할 수 있다. 또한, 서비스 기대효과 제시를 통해, 투자재원 마련 및 투자 우선순위 결정을 위한 참고자료로 활용이 기대된다.

(4) 첨단인프라 구축 방안 및 법·제도 개선방안 제시를 통한 국내 도입 가속화

자율주행 대중교통의 효율적인 도입을 위해 정부가 준비해야 할 인프라 요구사항과 법·제도 개선안 제시를 통해 선진국에 비해 뒤쳐진 국내 자율주행 산업분야의 가속화를 위한 기초자료로 활용 가능하다.

2. 연구의 한계 및 향후과제

(1) 기술개발 분석에 따른 도입순서 및 시기 예측에 대한 한계

본 연구는 자율주행 대중교통 서비스의 차량 기술에 대한 개발동향을 분석하고 이에 대한 최상경로의 기술개발 완료시기에 따라 서비스 도입 순서 및 시기를 예측하였다. 하지만, 새로운 교통수단이 도입되기 위해서는 기술개발 뿐만 아니라 경제적 타당성, 운영방식의 결정, 사회적 수용성, 부작용에 대한 대책 마련 등이 함께 고려되어야 하기 때문에 이 부분의 한계점이 존재한다.

(2) 구축방안에 대한 내용적 한계

일반적으로 구축방안이라 함은 기술, 인프라, 운영(소프트웨어 측면), 사회적 수용성에 대해 포괄적 개념을 의미한다. 하지만 본 연구에서는 인프라, 그 중 첨단교통인프라

라와 법·제도의 일부에 대해서만 다루고 있으므로 향후 연구에서 본 연구에서 다루지 못한 기술, 운영, 수용성에 대해 연구가 수행되면 국내 자율주행 대중교통 도입을 위한 기초마련에 도움이 될 것으로 기대된다.

(3) 법·제도 개선방안에 대한 개정(안) 제시에 대한 한계

본 연구에서 제시한 법·제도 개선방안은 현재 대중교통 관련 법령, 훈령, 지침에 대한 검토 후, 추가되어야 할 내용에 대한 큰 방향을 제시하고 있으나, 세부내용에 대한 개정(안)을 제시하지 못하고 있다. 자율차 특별법을 통해 실증지구 내 자율주행 서비스 관련 규제를 면제하는 샌드박스 도입에 대해 현재 준비 중이며, 향후 연구에서 법·제도 개선방안에 대한 구체적 제시를 통해 자율주행 대중교통 도입을 가속화 할 수 있을 것으로 기대된다.

참고문헌

REFERENCE



【 인용문헌 】

- 국가기술표준원. 2015. KATS 기술보고서 ISO TC204의 스마트카 표준화 동향. 천안: 한국자동차연구원.
- 김광호 외. 2016. 자율주행시대를 대비한 첨단도로인프라의 전략적 관리 방안연구 : 운영 및 유지관리체계를 중심으로. 경기 : 국토연구원.
- 김규옥 외. 2017. 스마트 자율협력주행 도로시스템 개발 최종보고서. 세종: 한국교통연구원.
- 도로교통공단. 2018년판(2017년 통계) '17 도로교통 사고비용의 추계와 평가. 원주: 도로교통공단.
- 빈미영 외. 2016. 판교 창조경제밸리 자율주행차 운행 지원방안 연구. 경기: 경기연구원.
- 서울특별시. 2017. 2016년 시내버스 표준원가에 따른 운송비용 정산지침.
- 오성호·박종일·윤태관. 2017. 자율주행차량에 대응한 첨단교통인프라정책 방안연구-도로 운영방안을 중심으로. 세종: 국토연구원.
- 윤혁진 외. 2017. 대용량 BRT 자동운전 및 전기동력 시스템 실증연구 기획 최종보고서. 경기: 한국철도기술연구원.
- 윤혁진 외. 2017. 자율주행 대중교통의 안전성 향상을 위한 스마트 인프라 핵심기술 개발. 경기: 한국철도기술연구원.
- 이백진 외. 2016. 첨단인프라 기술발전과 국토교통분야 과제 - 자율주행 자동차를 중심으로. 경기: 국토연구원.
- 이백진 외. 2017. 자율주행차 도입이 국토공간 이용에 미치는 영향 연구. 세종: 국토연구원.
- 이승민. 2018. 자율주행자동차 최근 동향 및 시사점, p. 18 정보통신기술진흥센터 Weekly report. 대전: 정보통신기획평가원.

이항구·윤자영. 2018. 전기동력·자율주행자동차산업의 현황 및 전망. 세종: 산업연구원.
자율주행차분야 선제적 규제혁파 로드맵(제56회 국정현안점검조정회의).
전자통신부품연구원. 2012. 77GHz 자동차 레이더 부품 기술동향. 전자통신동향분석제
27권 제1호. 경기: 전자통신부품연구원.
정락교 외. 2016. 수요응답형 순환교통시스템[PRT] 핵심기술 개발. 경기: 한국철도기
술연구원.
한국교통안전공단, 2018년 대중교통 현황조사 종합결과보고서. 경북: 한국교통안전공단.
한국자치경제연구원. 2013. 시내·외 버스 운행 노선별 원가검증 용역 보고서. 제주: 한
국자치경제연구원.
홍윤석 외. 2018. 자율주행자동차 안전성 평가기술 및 테스트베드 개발. 경기: 국토교통
과학기술진흥원.

Clements and Kockelman. 2017. Economic effects of automated vehicles. Trans-
portation Research Record. No.2602.
Emily Castor Warren. 2017. A new vision for Los Angeles streets. News Article.
G. Peter, S. Zsolt, A. Szilard. 2014. Highly Automated Vehicle Systems, BME
MOGI.
NACTO 2017. Blueprint for autonomous urbanism.
NHTSA. 2016. Federal Automated Vehicles Policy.
PwC. 2019. The 2019 Strategy & Digital Auto Report.
SAE. 2016. Automated Driving-Level of driving automation are defined in new
SAE International Standard J3016.
USDOT Federal Transit Administration. 2018. Strategic Transit Automation
Research Plan.

【참고문헌】

- 김규욱. 2019. 자율주행 대중교통 공공성 확보를 위한 쟁점과 개선방향. 서울: 한국방송 미디어공학회.
- 나진성. 2018. 버스 승차 프로세스 개선방안 연구: 자율주행버스 도입을 위한 선결과제. 서울: 한국품질경영학회.
- 박만복. 2019. 한국교통대학교 협력자율주행셔틀버스 소개. 서울: 전력전자학회.
- 백재희. 2018. C-V2X를 활용한 군집주행 버스에 대한 연구. 부산: 한국정보통신학회
- 이주석. 2018. 인프라 정보 융합 기반 자율주행버스의 충돌 예측 알고리즘 설계. 서울: 한국ITS학회.
- 전국버스운송사업조합연합회. 2018. 버스통계편람. 서울: 전국버스운송사업조합연합회.
- 조아라. 2018. 자율주행 버스를 위한 모델 독립식 종 방향 가속도 제어기의 동특성 연구. 부산: 기계건설공학연구정보센터.
- 최영훈. 2018. 장애물 및 제한구역 클러스터링을 통한 자율주행 shuttle 경로탐색에 관한연구. 경기: 한국항공대학교.
- 최정단. 2019. 도심 자율주행서비스 테스트를 통한 자율주행 기술개발 현황 및 5G연계 미디어의 역할. 대전: 한국전자통신연구원.
- 태현철. 2017. 수요응답형 자율주행 대중교통체계를 위한 기계학습기반 최적차량경로 알고리즘과 협력게임기반 공정요금산정 알고리즘 개발. 서울: 대한산업공학학회.
- 한국과학기술원. 2019. 스마트도시를 위한 공유형 자율주행차량 기반 교통시스템 구축 기술개발. 경기: 국토교통과학기술진흥원.
- 한국전자통신연구원. 2016. 차세대 무인대중교통 인프라 구축을 위한 완전자율주행차 플랫폼 개발사업 중심으로. 대전: 한국전자통신연구원.
- 한국철도기술연구원. 2018. 기후 변화 대응형 스마트 모빌리티 연계기술을 활용한 PRT (Personal Rapid Transit)실용화 기술개발 기획연구 최종보고서(자율주행기반 대중교통시스템 실증 연구 기획). 경기: 한국철도기술연구원.
- 한국철도기술연구원. 2018. 자율주행 대중교통의 안전성 향상을 위한 스마트 인프라 핵

-
- 심기술개발. 경기: 한국철도기술연구원.
- 한대희. 2018. 자율주행 버스를 활용한 효율적 대중교통 운영 방안에 관한 연구. 경기: 단국대학교.
- 환경부. 2019. 1. 2019년 전기자동차 보급 및 충전인프라 구축사업 보조금 업무처리지침. 세종: 환경부.
- A. Agrawal. 2016. Analysing and designing automated and dynamic bus route allocation, 2016 International Conference on Computational Techniques in Information and Communication Technologies (ICCTICT).
- A. Alessandrini. 2016. Investigating users' attitudes towards conventional and automated buses in twelve European cities. 43. 413–436. 10.19272/201606704001.
- A. Lauber. 2018. Autonomous driving in public transportation depots. ATZ world-wide. 120. 68–71. 10.1007/s38311-018-0051-6.
- A. Millonig. 2019. Connected and automated vehicles: chances for elderly travellers. Gerontology. 1–8. 10.1159/000498908.
- C. Csiszar. 2017. Demand–capacity coordination method in autonomous public transportation. Transportation Research Procedia. 27. 784–790. 10.1016/j.trpro.2017.12.109.
- C. Pakusch. 2017. User Acceptance of Fully Autonomous Public Transport. 52–60. 10.5220/0006472900520060.
- E. Portouli. 2017. Public attitudes towards autonomous mini buses operating in real conditions in a Hellenic city. 571–576. 10.1109/IVS.2017.7995779.
- ERTRAC. 2015. Automated Driving Roadmap.
- IA. Ramgopal. 2016. Development of multi-sensor data fusion technique for the automated Bus Rapid Transport System. 1–6. 10.1109/RCITFC.2016.7893409.

-
- J. Bischoff. 2017. Re-defining the role of public transport in a world of shared autonomous vehicles. *Transport Systems Planning and Transport Tele-matics*, Technische Universität Berlin, Salzuffer 17-19, 10587 Berlin.
- K. Winter. 2018. Performance analysis and fleet requirements of automated demand-responsive transport systems as an urban public transport service. *International Journal of Transportation Science and Technology*. Volume 7. Issue 2. Pages 151-167.
- K. Winter. 2018. User acceptance of automated shuttles in Berlin-Schöneberg: A questionnaire study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Volume 58. Pages 843-854.
- M. Salazar. 2018. On the interaction between autonomous mobility-on-demand and public transportation systems. 2018 21st International Conference on Intelligent Transportation Systems (ITSC).
- PM. Bosch. 2017. Cost-based analysis of autonomous vehicle services. *Transport Policy*. Volume 64. Pages 76-91.
- R. Boersma. 2018. Application of Driverless Electric Automated Shuttles for Public Transport in Villages: The Case of Appelscha. *World Electr. Veh. J.* 9, 15.
- R. Oliveira. 2019. Path Planning for Autonomous Bus Driving in Urban Environments. Oliveira. ArXiv abs/1905.01683.
- S. Nordhoff. 2019. What impressions do users have after a ride in an automated shuttle? An interview study. *Transportation Research Part F: Traffic Psychology and Behaviour*. Volume 63. Pages 252-269.
- SR. Winter. 2018. Do Americans differ in their willingness to ride in a driverless bus? *Journal of Unmanned Vehicle Systems*. 6(4): 267-278.
- W. Zhang. 2019. Efficiency of connected semi-autonomous platooning bus services in high-demand transit corridors. *Journal of Advanced Transportation*.

-
- X. Dong. 2019. Transit user perceptions of driverless buses. *Transportation* 46: 35.
- Y. Shen. 2018. Integrating shared autonomous vehicle in public transportation system: A supply-side simulation of the first-mile service in Singapore. *Transportation Research Part A: Policy and Practice*. Volume 113. Pages 125-136.
- YJ. Lee. 2018. Optimal Automated Demand Responsive Feeder Transit Operation and Its Impact. Final Report. Urban Mobility & Equity Center at Morgan State University and the University Transportation Center(s) Program of the U.S. Department of Transportation.

【참고기사】

- IT News (2018. 1. 2.), 미국 자율차 정책·전략 집중 분석... 한국 '자율차 개발전략' 과 비교 분석
- Kotra (2017), 독일, 자율주행 미니버스 근거리 대중교통수단 첫 운행 시작, 해외시장뉴스, 뉴데일리. 대구시, 12인승 '자율주행 셔틀버스 실증' 스타트. 2019. 8. 19.
- 매일경제(2018. 02. 27.), 5G 자율주행버스 강릉 시내 질주
- 연합뉴스(2018. 09. 04.), 판교 달리던 자율주행버스 '제로셔틀', 옆 차 끼어들자 끼익~.
- 오토데일리(2018. 09. 04.), 국내최초 무인 자율주행차 제로셔틀, 3년만에 달린다, 11월 부터 실증운행.
- 오토데일리. 국내 최초 무인 자율주행차 제로셔틀, 3년 만에 달린다... 11월부터 실증운행. 2018. 9. 4.
- 조선비즈 (2016. 6. 19.), 자율주행차로 대중 교통을 즐기게 하겠다.
- 국민일보 (2018. 8. 23.), 자율주행시대, 화물트럭이 승용차보다 먼저 연다.
- 지디넷코리아(2018. 01. 08.), KT, 45인승 5G 자율주행 버스 운행 허가받아
- 지디넷코리아(2108. 11. 05.), “자율주행차 타러 판교 오세요” 제2회 판교자율주행모터쇼, 15일 개막.
- 한겨레(2018. 11. 11.), 인천공항 “자율주행 셔틀버스 시범운행 성공”

【참고 웹사이트】

국토교통부 웹사이트(https://www.molit.go.kr/7works/content/sub_0101.jsp), 신산업 육성-자율주행차-개요

도로교통공단 교통사고분석시스템 웹사이트(<http://taas.koroad.or.kr/>)

현대 트럭&버스 현대상용차 공식 홈페이지(<https://www-trucknbus.hyundai.com/kr>)

Bloomberg Philanthropies (<https://avsincities.bloomberg.org/>)

Bosch 홈페이지 (<https://www.bosch-mobility-solutions.com/en/>)

Designing Cities Edition (2017), Blueprint for autonomous urbanism, p. 32.

<http://www.car-2-car.org>

<https://blog.rgbsi.com/what-is-v2i-technology>

<https://g05.bimmerpost.com/>

<https://www.greencarcongress.com/2015/12/20151209-mb.html>

<https://www.japanautomotivedaily.com/2017/12/08/denso-begin-verification-testing-entry-automated-parking/>

NVIDIA 홈페이지 (<https://www.nvidia.com/en-us/self-driving-cars/drive-platform/hardware/1>)

Velodyne 홈페이지 (<https://velodynelidar.com/>)

구글이미지 검색

SUMMARY



Strategies to Implement Autonomous Public Transit : Focusing on Autonomous Bus Rapid Transit and Shuttle Services

Taekwan Yoon, Youngtae Lim, Jongil Park, Hyukki Lee, Kyubong Yeon, Kiyeon Jung

Keywords: Autonomous Vehicle, Autonomous Public Transit,
Bus Rapid Transit, Shuttle, Demand Response Transit, Automated Bus

The autonomous vehicle market is growing rapidly, and the government is also establishing a policy aimed at laying the foundation for fully autonomous driving by 2022. The fully autonomous driving era is expected to be introduced first by public transport rather than by car. The reasons for this are the high price of autonomous vehicles is burden to purchase as a personal vehicle and the limited and repetitive routes can provide more stable and safer operation. In this study, automated public transport is limited to buses, and the order and timing of introduction of automated public transport services based on trends of autonomous driving technology development are predicted, and the strategies how to adopt are suggested.

Korea's autonomous driving technology is estimated to be about three years behind that of Europe and the US, which have undertaken large-scale projects since 2010. In particular, autonomous driving technology for trucks and buses

is dependent on foreign countries. Most of the studies on autonomous public transportation in Korea have been focused on the development of small automated buses (shuttles), while the overseas development has already been completed, and the effect analysis and user acceptance studies are being conducted.

Automated shuttles were conducted in 50 cities, including 18 cities in North America, 20 cities in Europe, 5 cities in Asia, and 4 cities in Oceania, and piloted in Pangyo and Daegu Suseong Alpha City in Korea.

There are four autonomous public transport services defined in this study. Shuttle service using small vehicles that can drive at low speed can be used as a first / last mile service to improve accessibility of existing public transportation. BRT service using a large vehicle capable of high-speed driving can be used as a trunk line service that ensures timeliness. Demand-response services using small vehicles in low-speed driving are expected to be used to provide services for the underprivileged areas and to improve the convenience of the underprivileged through dynamic route search. Feeder services will be used as short-range fixed route services.

Major reason of existing bus accident is due to driver carelessness, and the recent increase in elderly drivers has raised safety concerns. In addition, many complains that they do not provide adequate services due to the high proportion of labor costs raised.

Therefore, the introduction of autonomous buses is expected to have a direct effect of improving safety through autonomous driving technology and providing more vehicles within limited budget, thereby improving service. In addition,

indirect effects such as efficiency of urban space, provision of new transportation services, and reduction of environmental pollution are also expected.

The technology for self-driving public transport can be classified into environmental awareness, safety, communication, systems, and other technologies. Based on the timing of relevant technology development, the order and timing of the introduction of automated public transport service are predicted, the autonomous driving BRT will be launched in 2025. Shuttle and branch services and demand-response services are expected after 2025.

For efficient adoption, the lane management and road and sign management on the advanced infrastructure side, the driving environment improvement facilities on the facilities side, the emergency response facilities, the self-driving public transportation stop facility review, traffic information infrastructure construction and operation and control center role, etc. are required. In addition, in terms of law, relevant laws and regulations on transportation worker license standards, duty to display autonomous vehicles, definition of stop facilities for self-driving public transportation, and definition of control and data management centers are required.

기본 19-17

자율주행기반 대중교통체계 구축방안 연구: BRT 및 셔틀 도입을 중심으로

연 구 진 윤태관, 임영태, 박종일, 이혁기, 연규봉, 정기윤

발 행 인 강현수

발 행 처 국토연구원

출판등록 제2017-9호

인 쇄 2019년 11월 27일

발 행 2019년 11월 30일

주 소 세종특별자치시 국책연구원로 5

전 화 044-960-0114

팩 스 044-211-4760

가 격 7,000원

I S B N 979-11-5898-492-2

홈페이지 <http://www.krihs.re.kr>

© 2019, 국토연구원

이 연구보고서를 인용하실 때는 다음과 같은 사항을 기재해주십시오.

윤태관, 임영태, 박종일, 이혁기, 연규봉, 정기윤. 2019. 자율주행기반 대중교통체계 구축방안 연구. 세종: 국토연구원.

이 연구보고서의 내용은 국토연구원의 자체 연구물로서 정부의 정책이나 견해와는 상관없습니다.

이 연구보고서는 한국출판인협회에서 제공한 KoPub 서체와 대한인쇄문화협회가 제공한 바른바탕체 등이 적용되어 있습니다.

자율주행기반 대중교통체계 구축방안 연구 : BRT 및 셔틀 도입을 중심으로

Strategies to Implement Autonomous Public Transit
: Focusing on Autonomous Bus Rapid Transit and Shuttle Services



제1장 서론

제2장 선행연구 및 사례 분석을 통한 시사점 도출

제3장 자율주행 대중교통 도입효과 분석

제4장 서비스 도입시기 예측과 효율적 구축방안 제시

제5장 결론 및 향후 과제



KRIHS 국토연구원

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

